

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Справочное издание  
анықтамалық баспа

Для старшего школьного возраста  
мектеп жасындағы ересек балаларға арналған

НОВЫЙ СПРАВОЧНИК ШКОЛЬНИКА С ДУДЛАМИ

**Попова Ирина Александровна**  
**Вахнина Светлана Васильевна**

**НАГЛЯДНАЯ ФИЗИКА**  
(орыс тілінде)

Ответственный редактор *А. Жилинская*  
Ведущий редактор *Т. Судакова*  
Художественный редактор *Е. Брынчик*

Во внутреннем оформлении использованы иллюстрации: Andrei, A\_KUDR, Agnieszka Matejczyk, Aleksangel, Alexander\_P, AlexanderZam, AlexHliv, Alexvectors, Alisa\_Elly, anastasiaromb, Anastasiia Cherviaki, Andrew Rybalko, Andrew Brusov, Andris Torms, angelh, Antonio Baranessku, Arina Gladysheva, Arkadivna, Artchi art, ArtMari, artnLera, Artur Balytskyi, Astarina, autumn, AveNa, AVIcon, BadBrother, Bannykh Alexey Vladimirovich, Belozersky, binik, bio-raven, blablalena, brgfx, BTSK, Cat\_arch\_angel, chempina, Christophe BOISSON, clickyusho.id, corbac40, Creative Stall, Daniela Barreto, Daren Woodward, Denis Maliugin, derGriza, Designua, Devita ayu silvianingtyas, dimpank, dityazemli, Dn Br, Dr Project, Earlymorningproject, EDU WATANABE, Elena Medvedeva, Elena Verkhoturova, Emir Kaan, Emre Terim, Erik D, erolka, Evgen\_diz\_art, Fafarumba, father, FishDesigns, Fouad A. Saad, Freud, fridas, frozenbunn, GabrielJose, galacticus, George J, Giuseppe\_R, graphicwithart, grayjay, Gwens Graphic Studio, GzP\_Design, hchjil, Helen Stebakov, Heri Yusuf, Hilch, Honza Hruby, hudhud94, iaRada, Ilya Oktyabr, In Art, Istry Istry, IULIA CHERNIKOVA, ivangal, janista, Jeeraphon, Jemastock, K.Sorokin, Kamieshkova, Kate Garyuk, Kate\_gr, Kateryna Fedorova Art, Ken Benner, Kostenyukova Nataliya, LAATA9, Lagartija de colores, Lemon Workshop Design, Lemonade Serenade, LHF Graphics, likemuzzy, LineTale, LittleAirplane, M.Style, Macrovector, magic pictures, magnetix, Maria Zvonkova, mhazapa, microicon, mijatmijatovic, MilanB, molcay, More images here, Morozova Olga, Moschiorini, muuraa, Naci Yavuz, Nadya Ershova, Nasky, NastyaBob, Natata, nikiteev konstantin, Nikolaeva, Nsit, Nutkins.J, NYgraphic, Ole Lukojе, Oleksandr Panasovskyi, Olha Turchenko, Olha1981, Olkita, ollikeballoon, OneyWhyStudio, ONYXprj, oriolus\_art, osamuraisan, OsherR, OSweetNature, owatta, Oxy\_gen, P.S.Art-Design-Studio, Pani Lena, Pavel K, Pavlo S, PedroNevesDesign, Pen-Is Production, phipatbig, Photo smile, Polina Vari, ProStockStudio, pshava, puruan, radoma, restfor, RomanYa, Ron Leishman, Sapunkele, Sazhnieva Oksana, Semanche, Sergey Merkulov, Serorion, ShadeDesign, shonka, shoosarts, Simple Line, SketchJack, SkyPics Studio, smilewithjul, SpicyTruffel, Steve Cymro, strogaya, sumstock, Svetsol, ta\_samaya, Tetyana P, titi-kako, udaix, Uncle Leo, Vecton, Vector FX, VectorMine, VectorPixelStar, VectorPot, VectorV, Visual Generation, xpixel, yaruna, Yevgen Kravchenko, Yulistrator, Yuri Korchmar, Zaur Rahimov, Zdenek Sasek, ziiinvn, Zvereva Yana / Shutterstock.com

Используется по лицензии от Shutterstock.com

В коллаже на обложке и титуле использованы иллюстрации:

© dobrodzei, Pand P Studio, mijatmijatovic, Yayayoю, Varezka, AllNikArt, artnLera / Shutterstock.com  
Используется по лицензии от Shutterstock.com

**ООО «Издательство «Эксмо»**  
123308, Россия, город Москва, улица Зорге, дом 1, строение 1, этаж 20, каб. 2013.  
Тел.: 8 (495) 411-68-86.  
Home page: [www.eksmo.ru](http://www.eksmo.ru) E-mail: [info@eksmo.ru](mailto:info@eksmo.ru)  
Өңдіруші: «ЭКСМО» АҚБ Баспасы.  
123308, Ресей, қала Мәскеу, Зорге көшесі, 1 үй, 1 ғимарат, 20 қабат, офис 2013 ж.  
Тел.: 8 (495) 411-68-86.  
Home page: [www.eksmo.ru](http://www.eksmo.ru) E-mail: [info@eksmo.ru](mailto:info@eksmo.ru)  
Тауар белгісі: «Эксмо»  
**Интернет-магазин:** [www.book24.ru](http://www.book24.ru)  
**Интернет-магазин:** [www.book24.kz](http://www.book24.kz)  
**Интернет-дүкен:** [www.book24.kz](http://www.book24.kz)  
Импортер в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы»,  
Казахстан Республикасындағы импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.  
Дистрибутор и представитель по правому предельной на продукцию,  
в Республике Казахстан: ТОО «РДЦ-Алматы»  
Казахстан Республикасында дистрибутор және өнім бойынша арыз-талаптарды  
қабылдаушының өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС,  
Алматы қ., Дембровский көш., 3-ғ., литер Б, офис 1.  
Тел.: 8 (727) 251-59-90/91/92; E-mail: [RDC-Almaty@eksmo.kz](mailto:RDC-Almaty@eksmo.kz)  
Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.  
Сертификация туралы ақпарат сайтта: [www.eksmo.ru/certification](http://www.eksmo.ru/certification)  
Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ  
о техническом регулировании можно получить на сайте Издательства «Эксмо»  
[www.eksmo.ru/certification](http://www.eksmo.ru/certification)  
Өндірген мемлекет: Ресей. Сертификация қарастырылған

Страна происхождения: Российская Федерация

Шығарылған елі: Ресей Федерациясы

Соответствует техническому регламенту ТР ТС 007/2011

КО ТР 007/2011 техникалық регламентіне сәйкес келеді

Дата изготовления / Подписано в печать 16.11.2020. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,8.

Тираж экз. Заказ

6+

EAC

ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ К НАМ!



eksmo.ru

МЫ В СОЦСЕТЯХ:

eksmolive

eksmo

eksmolive

eksmo.ru

eksmo\_live

eksmo\_live

ISBN 978-5-04-109477-5



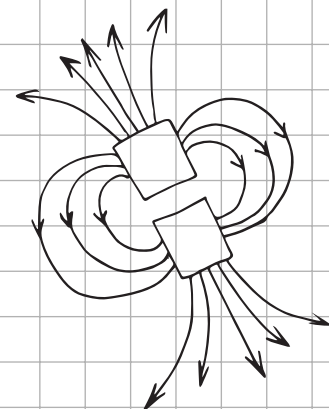
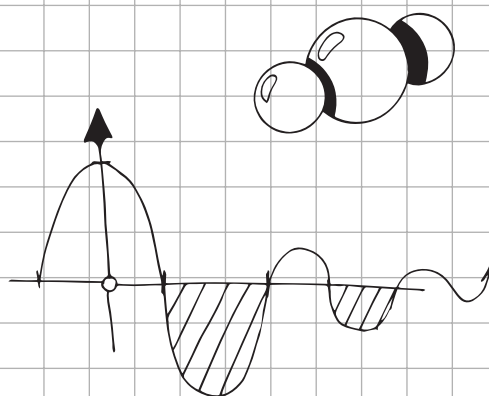
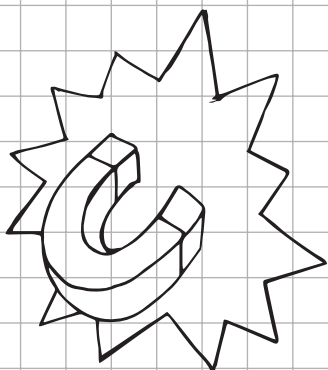
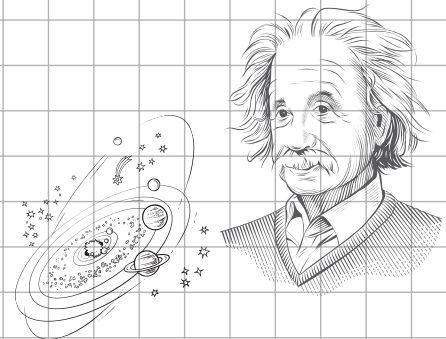
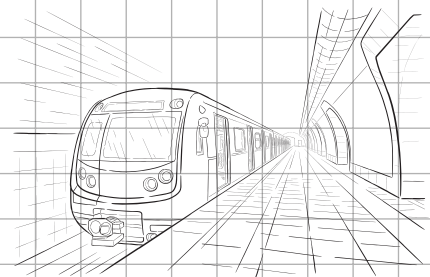
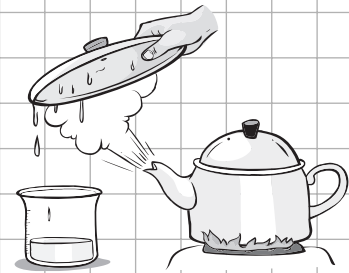
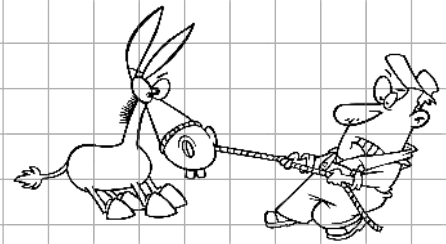
9 785041 094775 >

book 24.ru

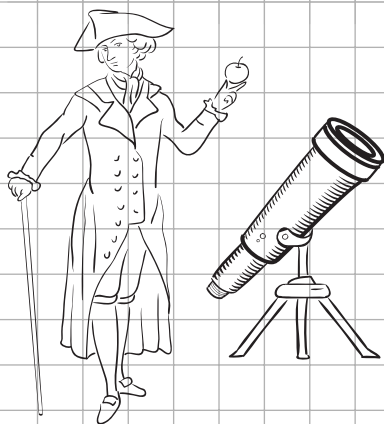
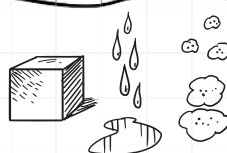
Официальный  
интернет-магазин  
издательской группы  
«ЭКСМО-АСТ»

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
МЕХАНИКА .....	5
Кинематика.....	5
Динамика.....	11
Статика .....	22
Законы сохранения в механике.....	28
Механические колебания и волны.....	36
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА .....	45
Молекулярно-кинетическая теория .....	45
Термодинамика.....	56
ЭЛЕКТРОДИНАМИКА .....	69
Электрическое поле .....	69
Законы постоянного тока .....	79
Магнитное поле.....	90
Электромагнитная индукция.....	96
Электромагнитные колебания и волны .....	100
Оптика .....	109
ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.....	120
КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И ЭЛЕМЕНТЫ АСТРОФИЗИКИ.....	122
Корпускулярно-волновой дуализм.....	122
Физика атома .....	127
Физика атомного ядра .....	129
Элементы астрофизики.....	135



# ВВЕДЕНИЕ



Мои заметки

Мои примеры

Перед вами необычный справочник, который поможет систематизировать и закрепить знания по физике за курс средней школы.

Главное отличие данного пособия от множества других — наличие дудлов. В переводе с английского языка *doodle* — каракули, рисунки на полях тетради, оставленные школьниками. Однако в данной книге дудлы не просто представляют собой спонтанные зарисовки, а являются важными элементами изучения теоретического материала. Они развивают ассоциативное мышление, помогают лучше запомнить полученную информацию, вносят в процесс обучения элемент игры, что делает его увлекательным и, следовательно, более эффективным.

В книге рассмотрены традиционные разделы курса: «Механика», «Молекулярная физика», «Электродинамика», «Специальная теория относительности», «Квантовая физика и элементы астрофизики».

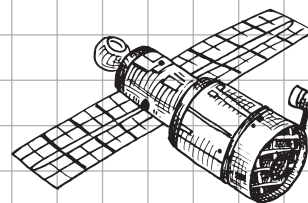
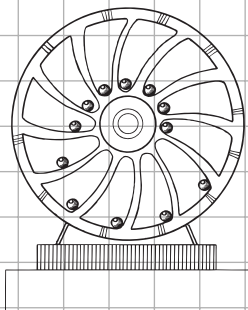
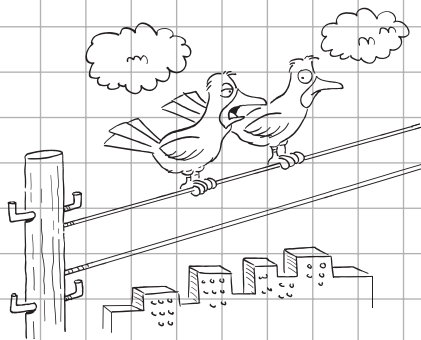
Весь теоретический материал систематизирован, он сопровождается примерами, наглядными схемами и таблицами. Это обеспечит максимальную сконцентрированность внимания, эффективное повторение и качественную подготовку по предмету.

На страницах книги предусмотрены специальные места («Мои заметки», «Мои примеры»), на которых можно делать пометки, приводить свои примеры, дополнять прочитанную информацию собственными рисунками и схемами.

Пособие предназначено для школьников, студентов, учителей школ и преподавателей вузов, а также для всех, кто интересуется физикой.

Надеемся, книга поможет учащимся старших классов и выпускникам при подготовке к школьным занятиям, различным формам текущего и промежуточного контроля, а также к сдаче единого государственного экзамена.

Желаем успехов!



# МЕХАНИКА

## КИНЕМАТИКА

**Кинематика** 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.

### 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.

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

### МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА

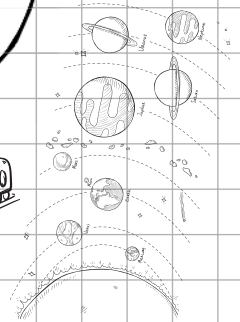
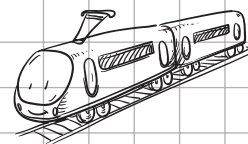
Тело, размерами которого в данных условиях можно пренебречь, называется **материальной точкой**.

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

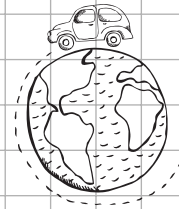
**Радиус-вектор**  $\vec{r}$  — вектор, соединяющий начало отсчёта с положением материальной точки в произвольный момент времени.

**Траектория** — воображаемая линия, вдоль которой движется тело.

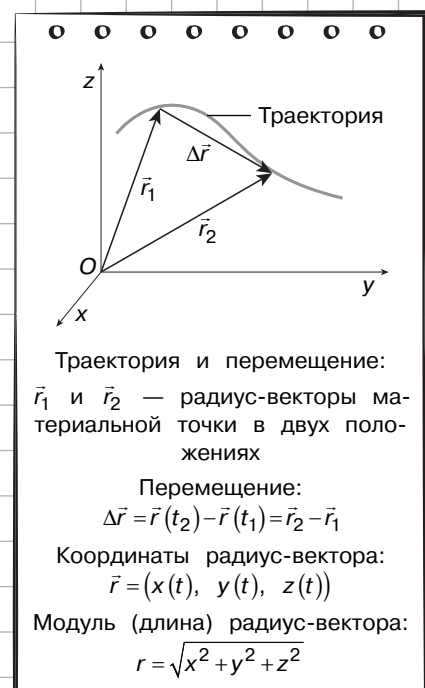
**Перемещение** — вектор, проведённый из начального положения материальной точки в конечное.

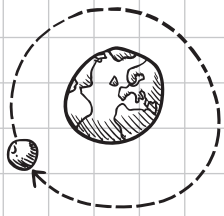


Движение может быть прямолинейным (например, движение поезда по прямому участку пути) и криволинейным (например, движение планеты по орбите)



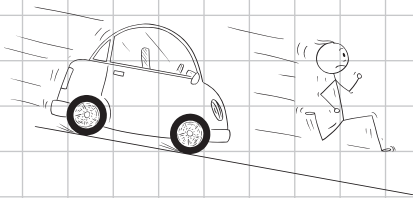
Движение автомобиля относительно Земли. Земля выступает телом отсчёта





Траектория движения спутника вокруг Земли

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



Мгновенная скорость определяется на бесконечно малом промежутке времени

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

## 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).

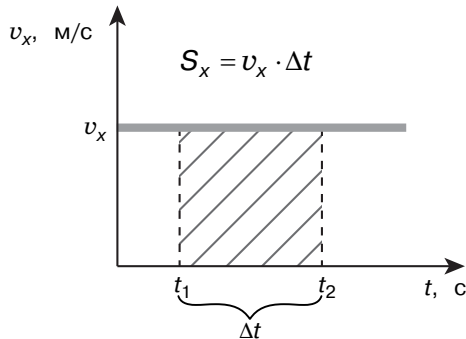
## МГНОВЕННАЯ СКОРОСТЬ

При уменьшении промежутка времени, за которое совершается перемещение, до минимального значения (мгновения) можно определить **мгновенную скорость  $\vec{v}$**  — скорость движения в данный момент времени — предел, к которому стремится средняя скорость на бесконечно малом промежутке времени  $\Delta t$ :

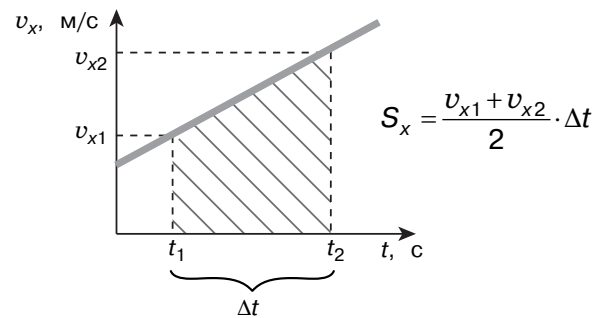
$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t}.$$

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТИ ПО ГРАФИКУ СКОРОСТИ

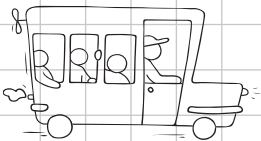
При равномерном движении



При равнопеременном движении



Площадь фигуры под графиком скорости равна пройденному пути.



Относительно движущегося автобуса скорость его пассажира равна нулю, а относительно земли равна скорости автобуса

## ОТНОСИТЕЛЬНАЯ СКОРОСТЬ

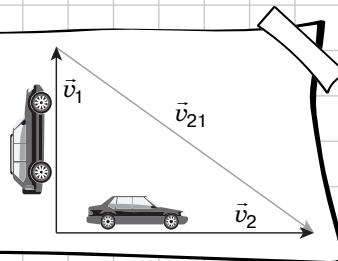
**Относительная скорость** — скорость одной материальной точки в системе отсчёта, связанной с другой. Относительная скорость равна векторной разности скоростей этих тел:

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



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

$$v_{21} = \sqrt{v_2^2 + v_1^2}$$



ⓐ

Кинематика

ⓑ

### 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. Единица ускорения — метр в секунду в квадрате (м/с<sup>2</sup>).

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

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$$

ⓐ

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

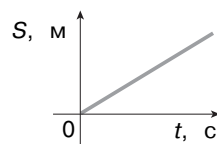
**Равномерное прямолинейное движение** — движение, при котором тело за любые равные промежутки времени проходит равные расстояния.

### ФОРМУЛЫ И ГРАФИКИ РАВНОМЕРНОГО ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ

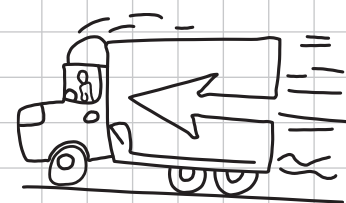
**Путь**

$$S = v \cdot t,$$

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



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



Равномерным прямолинейным можно считать движение машины на прямом участке дороги



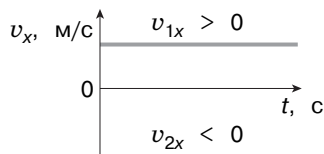
### Скорость

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

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

$v_x > 0$ , если направление движения тела совпадает с направлением оси  $Ox$  (см. линию  $v_1$ );

$v_x < 0$ , если направление движения противоположно направлению оси  $Ox$  (см. линию  $v_2$ ).



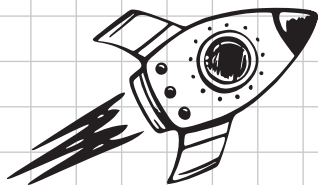
$v_x$  — проекция скорости,  $t$  — время



### 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.



Примеры равноускоренного движения: запуск ракеты со спутниками, свободно падающее тело

## РАВНОУСКОРЕННОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

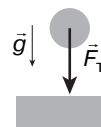
**Равнопеременное (равноускоренное/равнозамедленное) движение** — движение, при котором за любые равные промежутки времени материальная точка изменяет свою скорость на одну и ту же величину. При таком движении ускорение материальной точки  $\vec{a} = \text{const}$ .

### Ускорение свободного падения на Земле:

- ◆ всегда направлено к центру Земли;
- ◆ приблизительно равно  $9,81 \text{ м/с}^2$ .

**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  $\vec{g}$



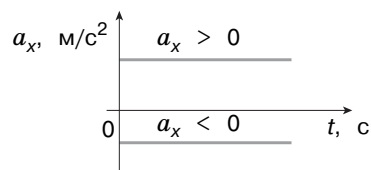
## ФОРМУЛЫ И ГРАФИКИ РАВНОУСКОРЕННОГО ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ

### Ускорение

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t},$$

где  $\vec{v}_0$  и  $\vec{v}$  — начальная и конечная скорости тела,  $t$  — время движения.

Скорость возрастает, если ускорение сонаправлено с вектором скорости, и убывает, если ускорение противоположно направлено с вектором скорости.

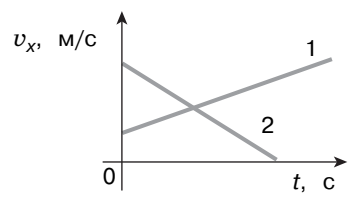


$a_x$  — проекция ускорения,  $t$  — время

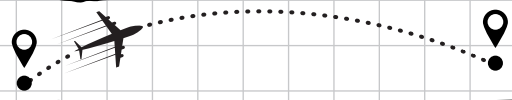
**Скорость**

$$v_x = v_{0x} + a_x \cdot t$$

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



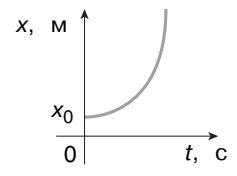
$v_x$  — проекция скорости,  $t$  — время



**Закон движения**

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

где  $x_0$  — начальная координата тела,  $a_x$  — проекция ускорения на ось  $Ox$ ,  $t$  — время движения,  $v_{0x}$  — проекция начальной скорости на ось  $Ox$ .

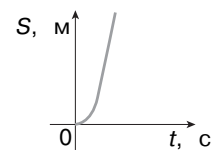


$x$  — координата тела,  $x_0$  — начальная координата,  $t$  — время

**Путь**

$$S = v_{0x} \cdot t + \frac{a_x \cdot t^2}{2}$$

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



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

**ДВИЖЕНИЕ ТОЧКИ ПО ОКРУЖНОСТИ**

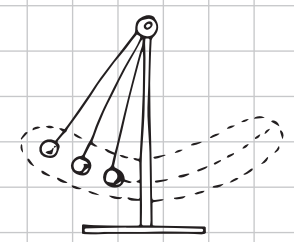
Движение по окружности является **периодическим**. Это движение, повторяющееся через равные промежутки времени.

**Вращательное движение** — движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения.

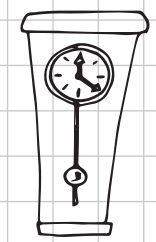
**РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ**

**Равномерное движение по окружности** — ускоренное движение. Направление скорости при движении меняется, модуль скорости тела остаётся постоянным:

$$|\vec{v}| = \text{const.}$$

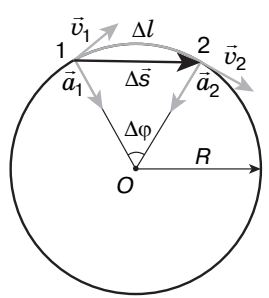


Колебания маятника являются примером периодического движения



Стрелки часов совершают равномерное движение по окружности

**ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЯ ПО ОКРУЖНОСТИ**



Движение материальной точки по окружности из точки 1 в точку 2:  
 $R$  — радиус окружности,  $\Delta\varphi$  — угол поворота,  $\Delta l$  — пройденный путь (длина дуги),  $\Delta\bar{s}$  — перемещение точки (хорда окружности),  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$  — линейные скорости,  $\vec{a}_1$  и  $\vec{a}_2$  — ускорения тела





Мои примеры

## УГЛОВАЯ И ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТЬ ТОЧКИ

**Линейная (мгновенная) скорость** всегда направлена по касательной к траектории, проведённой к той её точке, где в данный момент находится рассматриваемое физическое тело; совпадает по направлению с перемещением за малый промежуток времени. При равномерном движении

$$v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi \cdot R}{T},$$

где  $s$  — пройденный путь (длина дуги),  $t$  — время, за которое это перемещение произошло,  $R$  — радиус окружности,  $T$  — период вращения.

**Угловая скорость**  $\omega$  — физическая величина, равная отношению угла поворота тела к промежутку времени, в течение которого этот поворот произошёл.

Единица угловой скорости — радиан в секунду (рад/с).

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T},$$

где  $\Delta\varphi$  — угол поворота при перемещении тела на величину  $s$ ,  $T$  — период вращения.

**Центростремительное ускорение** — составляющая ускорения тела, движущегося по криволинейной траектории, направленная перпендикулярно его скорости всегда к центру окружности, характеризует изменение только направления скорости:

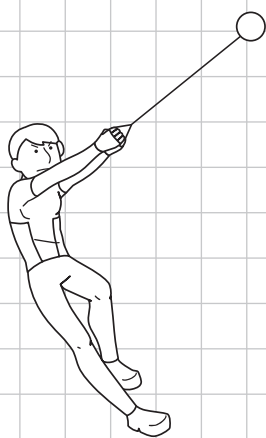
$$a_{ц} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 \cdot R.$$

**Касательное (тангенциальное) ускорение** — составляющая ускорения тела, движущегося по криволинейной траектории, направленная по касательной, характеризует изменение модуля скорости:

$$a_{\tau} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = R \cdot \frac{\Delta\omega}{\Delta t}.$$

Связь линейной и угловой скорости:

$$v = \omega \cdot R.$$



При метании молота спортсмен вращает снаряд вокруг себя, увеличивая скорость вращения. При достижении максимальной скорости он выпускает молот из рук. Поскольку мгновенная скорость всегда направлена по касательной, молот в начальный момент будет продолжать двигаться по инерции с такой же скоростью

**Фаза вращения**  $\varphi_0$  — угол поворота радиус-вектора в произвольный момент времени относительно его начального положения. Единица измерения — радиан (рад).

**Период вращения** — время одного оборота по окружности:

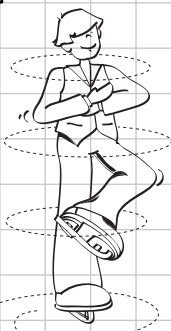
$$T = \frac{t}{N} = \frac{2\pi \cdot R}{v} = \frac{2\pi}{\omega},$$

где  $T$  — время одного оборота по окружности,  $N$  — число оборотов за время  $t$ .

**Частота вращения** — число оборотов в единицу времени:

$$\nu = \frac{N}{t}.$$

Единица частоты — герц (Гц):  $1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$ .



Автомобиль движется по закруглению дороги радиусом 20 м с центростремительным ускорением 5 м/с<sup>2</sup>. Чему равна скорость автомобиля?

**Дано:**

$$R = 20 \text{ м}$$

$$a = 5 \text{ м/с}^2$$

$$v = ?$$

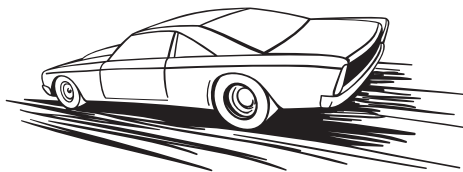
**Решение:**

Ускорение связано с радиусом окружности и линейной скоростью:

$$a = \frac{v^2}{R}, \text{ откуда } v = \sqrt{a \cdot R};$$

$$v = \sqrt{5 \text{ м/с}^2 \cdot 20 \text{ м}} = 10 \text{ м/с.}$$

**Ответ:**  $v = 10 \text{ м/с.}$

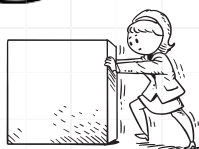


⊖

Динамика

⊕

## ДИНАМИКА



**Динамика** — раздел механики, посвящённый изучению движения тел под действием приложенных к ним сил.

### ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

#### ОТСЧЁТА

**Инерция** — свойство тел сохранять своё состояние неизменным.

**Движение по инерции** — движение тела, происходящее без внешних воздействий.

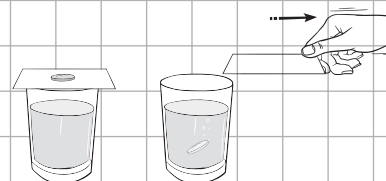
**Принцип инерции:** если на тело не действуют внешние силы, то оно сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.

**Инерциальная система отсчёта (ИСО)** — система отсчёта, в которой тело движется бесконечно долго, прямолинейно и равномерно или покоится, при этом на тело не действуют внешние силы или действие внешних сил скомпенсировано. Системы отсчёта, в которых принцип инерции не выполняется, называют **неинерциальными**.

Понятие инерциальной системы отсчёта является идеализацией, потому что она связана с телом отсчёта, а все тела в природе в большей или меньшей степени взаимодействуют друг с другом.

### ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

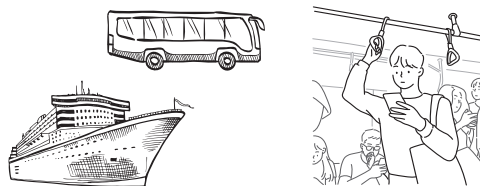
**Изолированное тело** — тело, на которое не действуют внешние силы или действие внешних сил скомпенсировано.

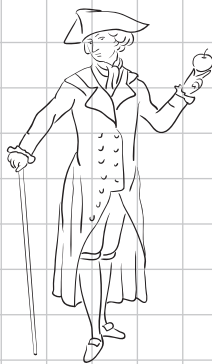


Если положить на стакан лист картона, сверху разместить монету, а затем резким движением выдернуть картон, монета упадёт в стакан. Благодаря действию инерции монета сохранила свою скорость относительно стола



Если систему отсчёта, связанную с Землёй, можно рассматривать как инерциальную, то и система отсчёта, связанная с кораблём, плывущим по прямой с постоянной скоростью, или автобусом, движущимся равномерно и прямолинейно, также будет инерциальной. При резком торможении автобуса пассажира отбрасывает вперёд, в сторону движения. Следовательно, скорость пассажира относительно автобуса изменяется в отсутствие внешних сил. Система отсчёта, связанная с автобусом, является неинерциальной.

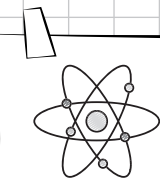




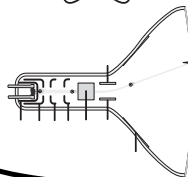
Исаак Ньютон — один из создателей классической физики

### Формулировка первого закона Ньютона

Существуют системы отсчёта, в которых изолированное тело движется бесконечно долго, прямолинейно и равномерно. Такие системы отсчёта называются инерциальными.

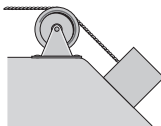


Рассмотрим случаи движения планет вокруг Солнца, ракеты в космическом пространстве, электронов в трубе кинескопа телевизора, электронов в атоме.



Законы Ньютона нельзя применять при расчёте движения электронов в атоме, так как атом представляет собой квантовую систему и в ней законы Ньютона не работают, — к атомным системам применимы законы квантовой физики. В остальных случаях при решении задач можно применять законы Ньютона.

Когда ящик поднимают вверх по наклонной плоскости с постоянной скоростью, сумма всех сил, действующих на ящик, равна нулю, поскольку система отсчёта, связанная с наклонной плоскостью, является инерциальной (покою относительно Земли).



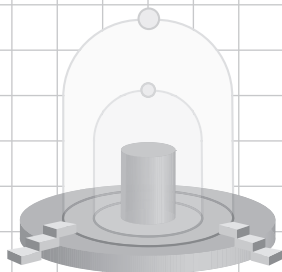
Земля — ИСО. Остальные ИСО движутся относительно Земли с  $\vec{v} = \text{const}$ .

## ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ

### Формулировка принципа относительности Галилея

Во всех инерциальных системах отсчёта законы классической динамики имеют один и тот же вид.

Принцип относительности Галилея был сформулирован **для любых физических явлений**. Это означает, что при переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой математические формулы, описывающие законы механики, не изменяются. Все инерциальные системы отсчёта равноправны. Это положение было впервые установлено итальянским учёным Г. Галилеем в 1636 г.



Эталонное тело — цилиндр из платиноиридиевого сплава, масса которого принята за 1 кг

## МАССА ТЕЛА. ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА

**Масса тела  $m$**  — физическая величина, являющаяся мерой инертности тела.

**Плотность  $\rho$**  — физическая величина, определяемая для однородного вещества массой его единичного объёма:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

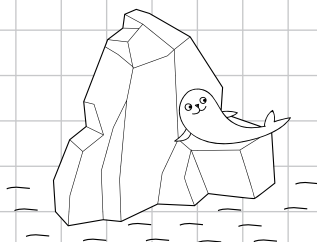
где  $V$  — объём тела.

Единица измерения плотности — килограмм на метр в кубе ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

Плотность вещества в твёрдом состоянии почти всегда больше, чем в жидком, и тем более в газообразном. Исключение составляет вода:

$$\rho_{\text{воды}} = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3, \quad \rho_{\text{льда}} = 900 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

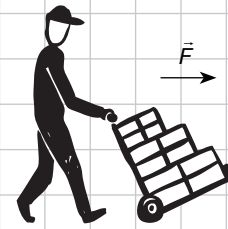
Потому лёд плавает на поверхности воды.



Лёд плавает на поверхности воды, поскольку обладает меньшей плотностью

## СИЛА

**Сила** — количественная мера воздействия одного тела на другое. Сила — векторная величина.



$\vec{F}$  — сила тяги рабочего

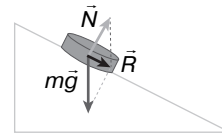
Динамика

**Равнодействующая нескольких сил** — сила, эквивалентная данной системе сил, то есть сила, вызывающая такое же механическое воздействие на рассматриваемое тело, что и система сил.

## ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦИИ СИЛ

Равнодействующая сил равна векторной сумме всех сил, приложенных к материальной точке.

Равнодействующая сил находится по правилу параллелограмма (см. рисунок справа).



Равнодействующая сил:

$m\vec{g}$  — сила тяжести,  $\vec{N}$  — сила реакции опоры,  $\vec{R} = m\vec{g} + \vec{N}$

На тело, находящееся на горизонтальной плоскости, действуют три горизонтальные силы (рис. а). Каков модуль равнодействующей этих сил, если  $F_1 = 1\text{Н}$ ? Ответ округлите до десятых.

**Решение:**

Сначала найдём равнодействующую сил, направленных вдоль одной прямой, —  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_3$ .

Из рисунка б видно, что её величина равна:

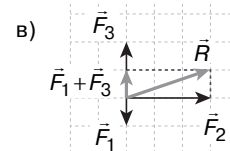
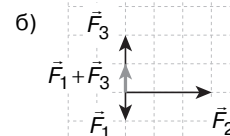
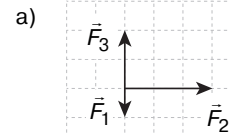
$$|\vec{F}_1 + \vec{F}_3| = 1\text{Н}.$$

Равнодействующей сил  $\vec{F}_1 + \vec{F}_3$  и  $\vec{F}_2$  будет гипотенуза прямоугольного треугольника (рис. в).

Её величина равна:

$$|\vec{R}| = \sqrt{(|\vec{F}_1 + \vec{F}_3|)^2 + (|\vec{F}_2|)^2} = \sqrt{(1\text{Н})^2 + (3\text{Н})^2} = \sqrt{10}\text{Н} \approx 3,2\text{Н}.$$

**Ответ:**  $R = 3,2\text{Н}$ .



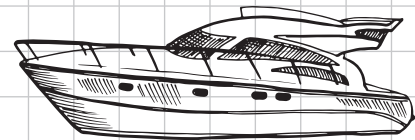
## ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА ДЛЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

### В ИСО

В инерциальной системе отсчёта ускорение тела прямо пропорционально векторной сумме всех действующих на тело сил и обратно пропорционально массе тела:

$$\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n}{m},$$

где  $\vec{a}$  — ускорение тела,  $\Sigma \vec{F}$  — равнодействующая сил  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n$ , действующих на тело,  $m$  — масса тела.



Катер продолжит скользить по воде после остановки двигателя по инерции с той же скоростью, с которой двигался, и сохранял бы её бесконечно долго, если бы на него не действовали никакие другие тела. Но так как на катер действует сила трения, его скорость будет уменьшаться



Равенство сил действия и противодействия при столкновении двух одинаковых шаров:  
 $\vec{F}_{12}$  — сила, действующая со стороны второго шара на первый,  
 $\vec{F}_{21}$  — сила, действующая со стороны первого шара на второй

## ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА ДЛЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ ТОЧЕК

Силы, с которыми два тела действуют друг на друга, равны по модулю, одной природы, противоположны по направлению и действуют вдоль прямой, соединяющей центры масс тел:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

**Формулировка Ньютона**

Любому действию всегда препятствует равное и противоположное противодействие.

Силы всемирного тяготения, действующие на два взаимодействующих тела:  
 $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$  — силы взаимодействия,  $m_1$  и  $m_2$  — массы взаимодействующих тел,  $r$  — расстояние между ними

## ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Между двумя любыми материальными точками действует сила взаимного притяжения, прямо пропорциональная произведению масс этих точек, обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними, направленная вдоль прямой, соединяющей материальные точки:

$$F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

где  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{кг}^2}$  — гравитационная постоянная (коэффициент пропорциональности, одинаковый для всех тел),  $m_1$  и  $m_2$  — массы взаимодействующих тел,  $r$  — расстояние между ними.

**Гравитационная постоянная** численно равна силе гравитационного притяжения двух тел массой по 1 кг каждое, находящихся на расстоянии 1 м одно от другого.

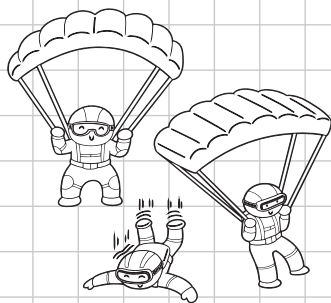
## СИЛА ТЯЖЕСТИ

**Сила тяжести** — гравитационная сила, действующая на любое тело со стороны планеты Земля.

Для тел массой  $m$ , расположенных близко к поверхности Земли, установлено, что сила притяжения примерно равна:

$$F_{\text{тяж}} = m \cdot g$$

где  $m$  — масса тела,  $g \approx G \cdot \frac{M_3}{R_3^2} \approx 9,8 \text{ м/с}^2$  — ускорение свободного падения.



Слово «гравитация» происходит от латинского *gravitas* — вес, тяжесть. Свободное падение тел на поверхность Земли объясняется наличием их притяжения к нашей планете

При решении задач ускорение свободного падения принимают равным  $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ .

Спортсмен совершает прыжок с шестом. В каком из случаев сила тяжести действует на спортсмена:

- 1) когда он разбегается;
- 2) когда он сгибает шест в начале прыжка;
- 3) когда он падает вниз после преодоления планки?

**Ответ:** сила тяжести действует на спортсмена во всех трёх случаях.