

Основные понятия

Механика — это раздел физики, изучающий механическое движение тел.

Кинематика — это раздел механики, в котором изучается механическое движение тел без учета причин, вызывающих это движение.

Механическое движение — это изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.

Материальная точка — тело, обладающее массой, размерами которого в данной задаче можно пренебречь.

В кинематике рассматривают движение только материальных точек

Система отсчета — это тело отсчета, связанная с ним система координат и прибор для измерения времени.

Траектория — это линия, которую описывает тело при своем движении.

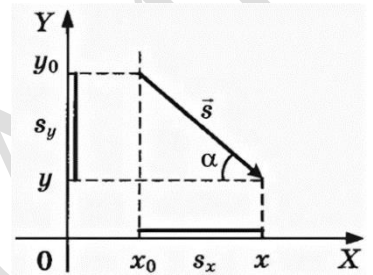
Путь (L) — это скалярная величина, равная длине траектории.

Перемещение (s) — это вектор, соединяющий начальное положение тела с его конечным положением за данный промежуток времени.

Связь между координатами и проекциями вектора перемещения:

$$x = x_0 + s_x$$

$$y = y_0 + s_y$$

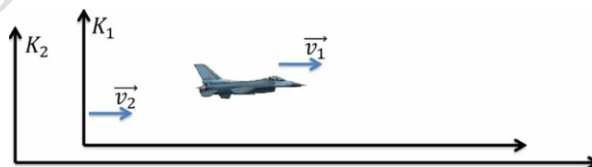


Важно! В процессе движения путь может только увеличиваться, а перемещение как увеличиваться, так и уменьшаться, например, когда тело поворачивает обратно. При прямолинейном движении в одном направлении путь равен модулю перемещения, а при криволинейном — путь больше перемещения. Перемещение на замкнутой траектории равно нулю.



Основная задача механики — определить положение тела в пространстве в любой момент времени.

Относительность движения — это зависимость характеристик механического движения от выбора системы отсчета.



Закон сложения перемещений

Перемещение тела относительно неподвижной системы отсчета равно векторной сумме перемещения тела относительно подвижной системы отсчета и перемещения подвижной системы отсчета относительно неподвижной системы отсчета:

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2,$$

где s — перемещение тела относительно неподвижной системы отсчета; s_1 — перемещение тела относительно подвижной системы отсчета; s_2 — перемещение подвижной системы отсчета относительно неподвижной системы отсчета.

Закон сложения скоростей

Скорость тела относительно неподвижной системы отсчета равна векторной сумме скорости тела относительно подвижной системы отсчета и скорости подвижной системы отсчета относительно неподвижной системы отсчета:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2,$$

где v — скорость тела относительно неподвижной системы отсчета; v_1 — скорость тела относительно подвижной системы отсчета; v_2 — скорость подвижной системы отсчета относительно неподвижной системы отсчета.

Алгоритм решения задач на закон сложения скоростей

1. Определить скорость какого тела необходимо найти в задаче;
2. Сделать выбор неподвижной системы отсчета (K_2) и подвижной системы отсчета (K_1).

Важно!!! В условиях задачи скорости тел заданы обычно относительно неподвижной системы отсчета (например, дороги или берега)

3. Обозначить интересующие нас скорости .
4. Выполнить чертеж, на котором показать координатные оси и обозначить все векторы скорости.
5. Записать закон сложения скоростей в векторном виде.
6. Записать уравнение в проекциях. Пользуясь чертежом, найти проекции, выразить их через модули.
7. Записать дополнительные уравнения, если требуется. Произвести необходимые преобразования и вычисления.

Важно! Чтобы определить скорость одного тела относительно другого, надо мысленно остановить то тело, которое мы принимаем за тело отсчета, а к скорости оставшегося тела прибавить скорость остановленного, изменив направление его скорости на противоположное.

Скорость

Скорость — это векторная величина, характеризующая изменение перемещения данного тела относительно тела отсчета с течением времени. Обозначение — v , единицы измерения — м/с (км/ч).

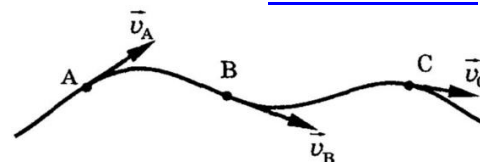
Важно! Чтобы перевести из км/ч в м/с нужно значение скорости в км/ч разделить на 3,6

Средняя скорость перемещения — это векторная величина, равная отношению всего перемещения к промежутку времени, за которое это перемещение произошло	$\vec{v}_{cp} = \frac{\vec{s}}{t}$
Средняя путевая скорость — это скалярная величина, равная отношению всего пути, пройденного телом, к промежутку времени, за которое этот путь пройден:	$v_{cp} = \frac{L}{t}$

Чаще всего в задачах просят найти среднюю путевую скорость, при этом пишут просто «среднюю скорость».

Важно! Чтобы определить среднюю скорость на всем участке пути, надо время разделить на отдельные промежутки и все время представить в виде суммы этих промежутков. Чтобы определить среднюю скорость за все время движения, надо путь разделить на отдельные участки и весь путь представить, как сумму этих участков.

Мгновенная скорость — это скорость тела в данный момент времени или в данной точке траектории. Мгновенная скорость направлена по касательной к траектории движения.



Ускорение

Ускорение – это векторная физическая величина, характеризующая быстроту изменения скорости. Обозначение — a , единица измерения — м/с^2 .

В векторном виде: $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$. В проекциях на ось ОХ: $a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$

где v – конечная скорость; v_0 – начальная скорость; t – промежуток времени, за который произошло изменение скорости.

Равномерное прямолинейное движение

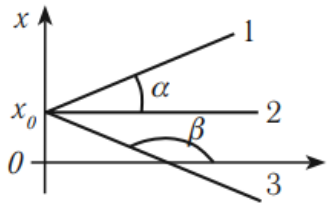
Равномерное движение – это движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает равные перемещения.

Скорость при равномерном прямолинейном движении – величина, равная отношению перемещения к промежутку времени, за которое это перемещение произошло: $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$

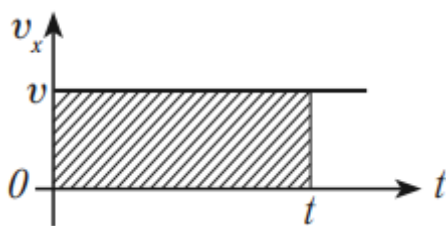
Проекция скорости	$v_x = \frac{s_x}{t}, v_x = \text{const}$
Проекция перемещения	$s_x = v_x t$
Координата	$x = x_0 + v_x t$

Графики кинематических величин

График проекции скорости $v_x = v_x(t).$	График скорости при равномерном движении – прямая, параллельная оси времени. График 1 лежит над осью t, тело движется по направлению оси ОХ. Графики 2 и 3 лежат под осью t, тело движется против оси ОХ.
График проекции перемещения $s_x = s_x(t).$	График перемещения при равномерном движении – прямая, выходящая из начала координат. График 1 лежит над осью t, тело движется по направлению оси ОХ. Графики 2 и 3 лежат под осью t, тело движется против оси ОХ.
График пути $v_1 > v_2$, т.к. $\text{tg } \alpha_1 > \text{tg } \alpha_2$	Путь – скалярная величина, поэтому график зависимости пути от времени всегда лежит выше оси t. График зависимости пути всегда начинается из начала координат. График зависимости пути от времени не может быть наклонен вниз, т.к. в процессе движения путь только увеличивается.

График координаты 	График координаты при равномерном движении – прямая. График 1 направлен вверх, тело движется по направлению оси ОХ: $v_{1x} = tg\alpha$ График 2 параллелен оси ОХ, тело покоится. График 3 направлен вниз, тело движется против оси ОХ: $v_{3x} = tg\beta$
---	---

По графику зависимости проекции скорости от времени можно определить проекцию перемещения, пройденного телом за время t . Для этого необходимо определить площадь фигуры под графиком (заштрихованной фигуры). Это утверждение справедливо для любого графика зависимости скорости от времени, неважно какой он имеет вид. Если фигура располагается ниже оси t , то проекция перемещения – отрицательна.



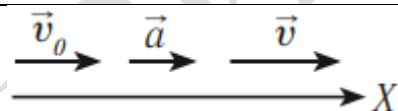
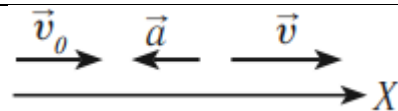
Прямолинейное равноускоренное движение

Прямолинейное равноускоренное движение – это движение по прямой, при котором тело движется с постоянным ускорением. При движении с ускорением скорость может как увеличиваться, так и уменьшаться.

Скорость тела при равноускоренном движении рассчитывается по формуле:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t.$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t.$$

При разгоне (в проекциях на ось ОХ) – ускорение направлено также, как и скорость: $v = v_0 + at, a_x > 0$	При торможении (в проекциях на ось ОХ) – ускорение направлено против вектора скорости: $v = v_0 - at, a_x < 0$
	

Графики кинематических величин

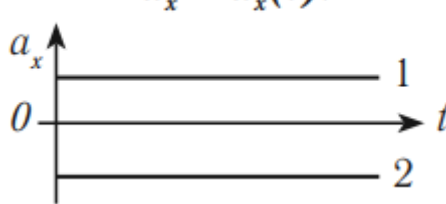
График ускорения (проекция ускорения) при равноускоренном движении $a_x = a_x(t).$ 	График ускорения при равноускоренном движении – прямая, параллельная оси времени. График 1 лежит над осью t, тело разгоняется, $a_x > 0$. График 2 лежит под осью t, тело тормозит, $a_x < 0$.
---	---

График скорости (проекции скорости)

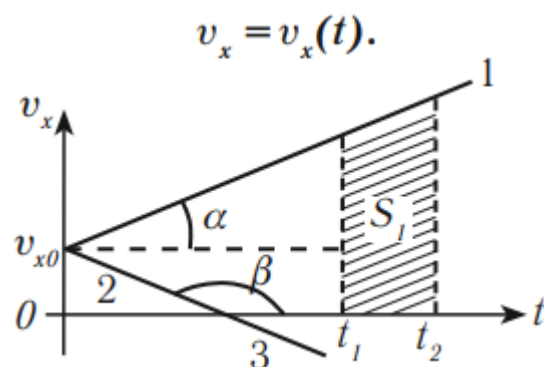


График скорости при равноускоренном движении – прямая. График 1 направлен вверх, тело движется равноускоренно в положительном направлении оси ОХ,

$$v_{0x} > 0, a_{1x} > 0, a_{1x} = tg\alpha.$$

График 2 направлен вниз, тело движется равнозамедленно вначале положительном направлении оси ОХ, потом останавливается и начинает движение против оси ОХ, но уже равноускоренно

$$v_{0x} > 0, a_{2x} < 0, a_{2x} = tg\beta$$

По графику зависимости скорости от времени можно определить перемещение, пройденное телом за промежуток времени от t_1 до t_2 . Для этого необходимо определить площадь фигуры под графиком (заштрихованной фигуры).

Проекция перемещения при прямолинейном равноускоренном движении

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

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$$

$$s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot t$$

Уравнение координаты тела при равноускоренном движении: $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$

Графиком координаты является парабола, направление ветвей зависит от знака проекции ускорения.

Движение тел с постоянным ускорением свободного падения

Если движение тела происходит в безвоздушном пространстве или движение происходит в воздухе, но силы сопротивления воздуха пренебрежимо малы, то можно считать, что движение происходит только под действием силы тяжести.

В таком случае все тела независимо от массы падают с одинаковым ускорением, называемым ускорением свободного падения. Ускорение свободного падения всегда направлено к центру Земли (на рисунках изображается направленным вертикально вниз).

Обозначение – g .

Важно! $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, но при решении задач считается, что $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Стоит отметить, что раз ускорение свободного падения является постоянной величиной, то для него справедливы все формулы в проекциях что мы записывали для прямолинейного равноускоренного движения.

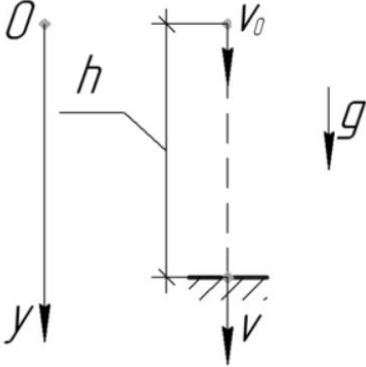
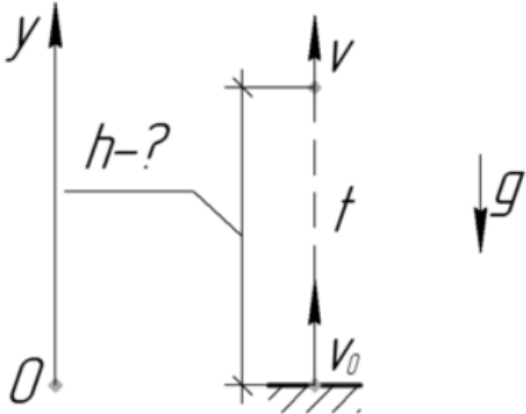
$$v_x = v_{0x} + g_x t$$

$$s_x = v_{0x}t + \frac{g_x t^2}{2}, s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2g_x}, s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot t$$

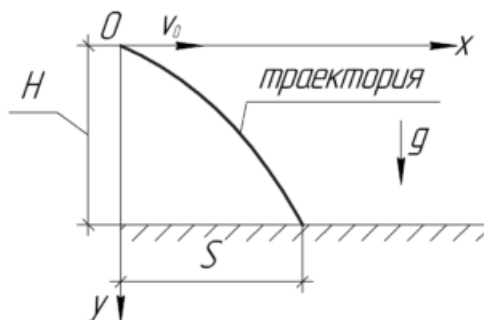
$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{g_x t^2}{2}$$

Остается переписать эти уравнения применительно к разным видам движения. Если движение происходит на плоскости и добавляется координата y , то вид уравнений не меняется.

Различают следующие виды движения с ускорением свободного падения.

Свободное падение	
 Если $v_0 = 0$, то время падения $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$	Уравнения в модулях $v = v_0 + gt,$ $s = v_0 t + \frac{gt^2}{2},$ $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2g},$ $s = \frac{v + v_0}{2} \cdot t$ $x = x_0 + v_0 t + \frac{gt^2}{2}$ Если в задаче сказано, что тело падает свободно, то $v_0 = 0$.
Движение тела, брошенного вертикально вниз	
 Время подъема равно времени падения. Время подъема: $t = \frac{v_0}{g} = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$ Все время движения: $t = \frac{2v_0}{g} = 2\sqrt{\frac{2h}{g}}$ Высота подъема: $h = \frac{v_0^2}{2g}$	Уравнения в модулях $v_x = v_0 - gt,$ $s = v_0 t + \frac{gt^2}{2},$ $s = \frac{v_x^2 - v_0^2}{-2g} = \frac{v_0^2 - v_x^2}{2g},$ $s = \frac{v + v_0}{2} \cdot t$ $x = x_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2}$ В формулах намеренно оставлена проекция скорости, т.к. скорость тела направлена вверх при подъеме и вниз при обратном движении, а значит ее проекция может быть, как положительной, так и отрицательной в зависимости от условия задачи.

Движение тела, брошенного горизонтально



Любое движение можно представить как сумму двух независимых: в данном случае в направлении оси OX – движение равномерное со скоростью v_0 , а в направлении оси OY – равноускоренное с ускорением g

$$v_x = v_0,$$

$$v_y = gt.$$

Начиная с этого движения задачи обычно решают с помощью координат, но можно использовать и формулы перемещения.

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{g_x t^2}{2} = v_0 t,$$

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

Дальность полета (S) – координата x .

Высота падения (H) – координата y .

Уравнение траектории

$$y = \frac{g}{2v_0^2} x^2 \text{ (парабола)}$$

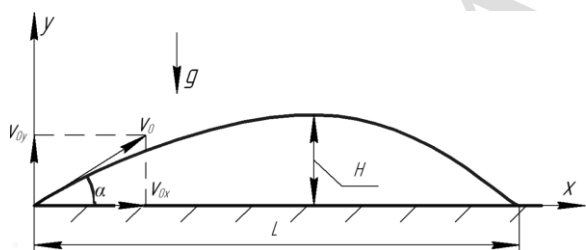
Скорость тела в любой момент времени

$$v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$$

Тангенс угла наклона скорости тела к горизонту в произвольный момент времени

$$tg\alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{v_0}$$

Движение тела, брошенного под углом к горизонту



$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha$$

Время полета равно удвоенному времени подъема

$$t_{\text{пол}} = 2t_{\text{под}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

Уравнения координат

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{g_x t^2}{2} = v_0 \cos \alpha t,$$

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2} = v_0 \sin \alpha t + \frac{gt^2}{2}.$$

$$v_x = v_{0x} + g_x t = v_0 \cos \alpha$$

$$v_y = v_{0y} + g_y t = v_0 \sin \alpha - gt$$

Модуль скорости и угол наклона скорости к горизонту определяются из соотношений

$$tg\alpha = \frac{v_y}{v_x} \text{ и } v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

Максимальная высота подъема

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Максимальная дальность полета

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Важно! При движении вверх вертикальная составляющая скорости будет уменьшаться, т. е. тело вдоль вертикальной оси движется равнозамедленно.

При движении вниз вертикальная составляющая скорости будет увеличиваться, т. е. тело вдоль вертикальной оси движется равноускоренно.

Скорость v_0 , с которой тело брошено с Земли, будет равна скорости, с которой оно упадет на Землю. Угол α , под которым тело брошено, будет равен углу, под которым оно упадет.

При решении задач на движение тела, брошенного под углом к горизонту, можно учитывать, что в точке максимального подъема проекция скорости на ось ОУ равна нулю. Это облегчает решение задач.

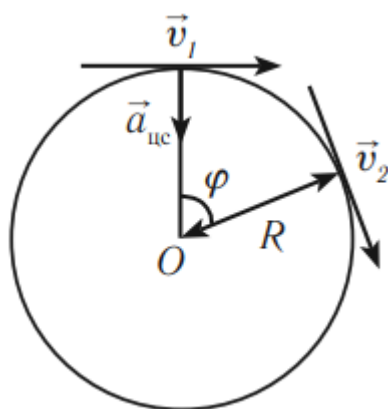
Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью

Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью – простейший вид криволинейного движения.

Траектория движения – окружность. Вектор скорости направлен по касательной к окружности.

Модуль скорости тела с течением времени не изменяется, а ее направление при движении по окружности в каждой точке изменяется, поэтому движение по окружности – это движение с ускорением.

Ускорение, которое изменяет направление скорости, называется центростремительным. Центростремительное ускорение направлено по радиусу окружности к ее центру.



Центростремительное ускорение – это ускорение, характеризующее быстроту изменения направления вектора линейной скорости. Обозначение – $a_{цс}$.

$$a_{цс} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

Движение тела по окружности с постоянной по модулю скоростью является периодическим движением, т. е. его координата повторяется через равные промежутки времени.

Период – это время, за которое тело совершает один полный оборот. Обозначение – T , единицы измерения – с.

$$T = \frac{t}{N}$$

где N – количество оборотов, t – время, за которое эти обороты совершены.

Частота вращения – это число оборотов за единицу времени. Обозначение – ν , единицы измерения – с^{-1} (Герц -Гц)

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{N}{t}$$

Линейная скорость – это скорость, с которой тело движется по окружности. Обозначение – v , единицы измерения – м/с. Линейная скорость направлена по касательной к окружности. За время равное периоду тело проходит путь равный длине окружности

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

где R – радиус окружности, по которой движется тело.

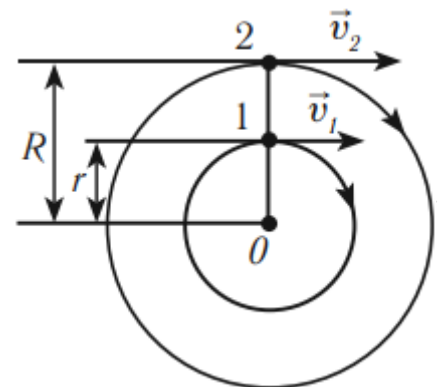
Угловая скорость – это физическая величина, равная отношению угла поворота к времени, за которое поворот произошел. Обозначение – ω , единицы измерения – рад/с. За время равное периоду тело повернется на угол $360^\circ = 2\pi$

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

Связь линейной и угловой скорости: $v = \omega R$.

Важно! При равномерном движении тела по окружности точки, лежащие на радиусе, движутся с одинаковой угловой скоростью, т. к. радиус за одинаковое время поворачивается на одинаковый угол. А вот линейная скорость разных точек радиуса различна в зависимости от того, насколько близко или далеко от центра они располагаются:

$$v_1 = \omega r, \quad v_2 = \omega R, \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{r}{R}$$



Если рассматривать равномерное движение двух сцепленных тел, то в этом случае одинаковыми будут линейные скорости, а угловые скорости тел будут различны в зависимости от радиуса тела:

$$\omega_1 = \frac{v}{R_1}, \quad \omega_2 = \frac{v}{R_2}, \quad \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

