

ГЛАВА I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЕГЭ

1. МЕХАНИКА

1.1. Кинематика

Механическое движение и его характеристики

Изучение курса физики принято начинать с механики. Механика изучает самый простой и наглядный вид движения — механическое движение.

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

По характеру движения точек различают три вида движения:

- а) *поступательное* — это движение, при котором все точки тела движутся одинаково и любая прямая, мысленно проведенная в теле, остается параллельна сама себе;
- б) *вращательное* движение, при котором все точки тела движутся по окружностям;
- в) *колебательное* движение — движение, которое повторяется или почти повторяется. В отличие от вращательного движения колебательное происходит в двух взаимно противоположенных направлениях.

По виду траектории различают *прямолинейное и криволинейное движения* (частный случай криволинейного движения — движение по окружности); по скорости — *равномерное и неравномерное*; по ускорению — *равноускоренное, равнозамедленное, ускоренное*.

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

Материальная точка — это тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи. Тело можно принять за материальную точку, если оно движется поступательно или если его размеры много меньше расстояний, которые тело проходит.

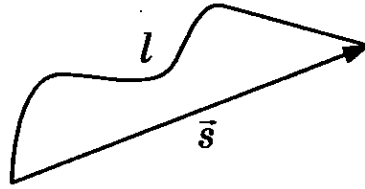
Систему отсчета вводят для того, чтобы задать положение материальной точки в пространстве. В нее входят: тело отсчета (любое тело), система координат (одномерная, двухмерная или трехмерная) и часы (начало отсчета времени совпадает с началом движения тела).

Решить основную задачу механики — определить координаты тела в любой момент времени.

Траектория — линия, вдоль которой движется тело.

Путь l (м) — длина траектории.

Перемещение \vec{s} (м) — это вектор, соединяющий начальное положение тела с конечным. Обычно $l > |\vec{s}|$; $l = |\vec{s}|$, если тело движется по прямой в одну сторону.



Проекция вектора перемещения на оси координат

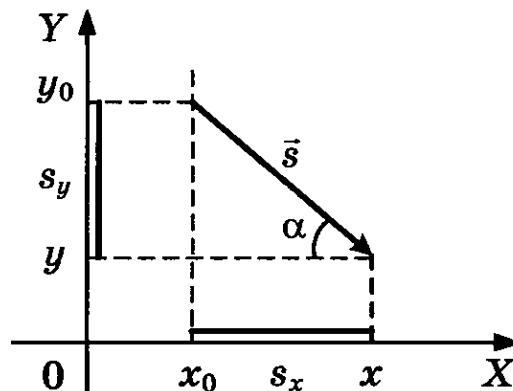
Проекция вектора перемещения на ось OX :

$$s_x = x - x_0.$$

Проекция вектора перемещения на ось OY :

$$s_y = y - y_0.$$

Проекция вектора на ось равна нулю, если вектор перпендикулярен оси.



Знаки проекций перемещения: проекцию считают *положительной*, если движение от проекции начала вектора к проекции конца происходит по направлению оси, и *отрицательной*, если против оси. В данном примере $s_x > 0$; $s_y < 0$.

Модуль перемещения — это длина вектора перемещения:

$$|\vec{s}| = s.$$

По теореме Пифагора:

$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad \text{или} \quad s = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}.$$

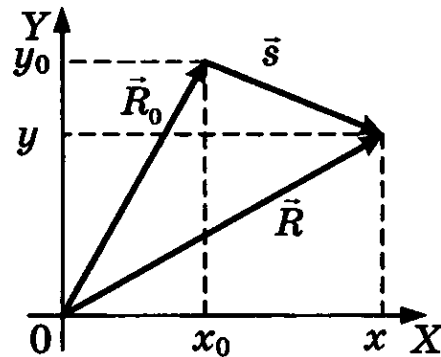
Проекция перемещения и угол наклона

$$s_x = \pm s \cos \alpha; \quad s_y = \pm s \sin \alpha.$$

В данном примере: $s_x = s \cos \alpha$; $s_y = -s \sin \alpha$.

Уравнение координаты (в общем виде):

$$x = x_0 + s_x \text{ или } y = y_0 + s_y.$$



Радиус-вектор — вектор, начало которого совпадает с началом координат, а конец — с положением тела в данный момент времени. Проекции радиус-вектора на оси координат определяют координаты тела в данный момент времени.

Радиус-вектор позволяет задать положение материальной точки в заданной системе отсчета:

$$\vec{s} = \Delta\vec{R} = \vec{R} - \vec{R}_0.$$

Равномерное прямолинейное движение

Равномерное прямолинейное движение — движение, при котором тело за любые равные промежутки времени, совершает равные перемещения.

Скорость при равномерном прямолинейном движении. Скорость \vec{v} (м/с) — векторная физическая величина, которая показывает, какое перемещение совершает тело за единицу времени.

В векторном виде:

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t} = \frac{\Delta\vec{R}}{\Delta t}.$$

В проекциях на ось OX :

$$v_x = \frac{s_x}{t} = \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

Дополнительные единицы измерения скорости:

$$1 \text{ км/ч} = 1000 \text{ м}/3600 \text{ с},$$

$$1 \text{ км/с} = 1000 \text{ м/с},$$

$$1 \text{ см/с} = 0,01 \text{ м/с},$$

$$1 \text{ м/мин} = 1 \text{ м}/60 \text{ с}.$$

Измерительный прибор — *спидометр* — показывает модуль скорости.

Знак проекции скорости зависит от направления вектора скорости и оси координат:

$$\begin{array}{c} \vec{v}_2 = 2 \text{ м/с} \quad \vec{v}_2 = 3 \text{ м/с} \\ \xrightarrow{\hspace{1.5cm}} \quad \xleftarrow{\hspace{1.5cm}} \\ \xrightarrow{\hspace{3.5cm}} \\ v_{1x} = 2 \text{ м/с}; v_{2x} = -3 \text{ м/с} \quad X \end{array}$$

График проекции скорости представляет собой зависимость проекции скорости от времени.

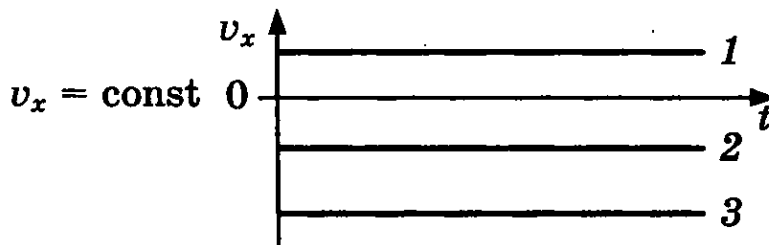
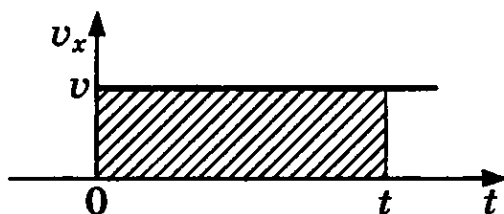


График скорости при равномерном прямолинейном движении — прямая, параллельная оси времени (1, 2, 3).

Если график лежит над осью времени (1), то тело движется по направлению оси OX . Если график расположен под осью времени, то тело движется против оси OX (2, 3).

Чем дальше график от оси времени, тем больше модуль скорости (3).

Геометрический смысл перемещения.



При равномерном прямолинейном движении перемещение определяют по формуле $s = v \cdot t$. Такой же результат получим, если вычислим площадь фигуры под графиком скорости в осях (v_x, t) . Значит, для определения пути и модуля перемещения при прямолинейном движении необходимо вычислять площадь фигуры под графиком скорости в осях (v_x, t) :

$$s = S_{\text{фигуры}}.$$

График проекции перемещения — зависимость проекции перемещения от времени.

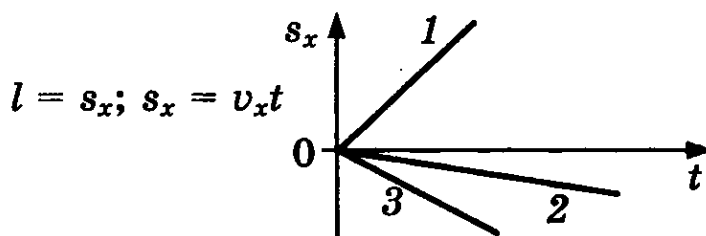


График проекции перемещения *при равномерном прямолинейном движении* — прямая, выходящая из начала координат (1, 2, 3).

Если прямая (1) лежит над осью времени, то тело движется по направлению оси OX , а если под осью (2, 3), то против оси OX .

Чем больше тангенс угла наклона (1) графика, тем больше модуль скорости.

График координаты — зависимость координаты тела от времени:

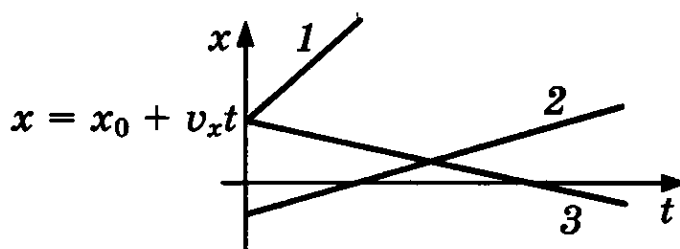


График координаты при равномерном прямолинейном движении — прямые (1, 2, 3).

Если с течением времени координата увеличивается (1, 2), то тело движется по направлению оси OX ; если координата уменьшается (3), то тело движется против направления оси OX .

Чем больше тангенс угла наклона (1), тем больше модуль скорости.

Если графики координат двух тел пересекаются, то из точки пересечения следует опустить перпендикуляры на ось времени и ось координат.

Относительность механического движения

Под относительностью мы понимаем зависимость чего-либо от выбора системы отсчета. Например, покой относителен; движение относительно и положение тела относительно.

Правило сложения перемещений. Векторная сумма перемещений

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

где \vec{s}_1 — перемещение тела относительно подвижной системы отсчета (ПСО); \vec{s}_2 — перемещение ПСО относительно неподвижной системы отсчета (НСО); \vec{s}' — перемещение тела относительно неподвижной системы отсчета (НСО)

Векторное сложение: $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$.

Сложение векторов, направленных вдоль одной прямой:

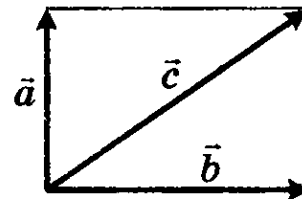
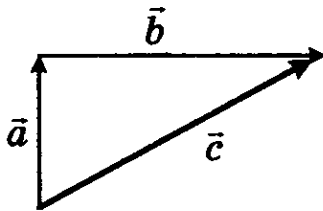
$$\begin{array}{c} \vec{a} \uparrow \uparrow \vec{b} \\ \vec{a} \quad \vec{b} \\ \hline \vec{c} \\ c = a + b \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \vec{a} \downarrow \uparrow \vec{b} \\ \vec{a} \\ \hline \vec{c} \quad \vec{b} \\ c = |a - b| \end{array}$$

Сложение векторов, перпендикулярных друг другу ($\vec{a} \perp \vec{b}$):

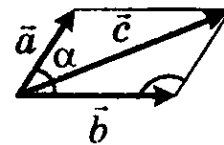
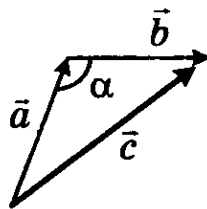
Правило треугольника

Правило параллелограмма



По теореме Пифагора $c = \sqrt{a^2 + b^2}$

Сложение векторов, расположенных под углом α друг к другу



По теореме косинусов

По теореме косинусов

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha}$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos(180^\circ - \alpha)}$$

Правило сложения скоростей. Векторная сумма скоростей:

$$\vec{v}' = \vec{v} + \vec{u},$$

где \vec{v} — скорость тела относительно подвижной системы отсчета (ПСО); \vec{u} — скорость ПСО относительно неподвижной системы отсчета (НСО); \vec{v}' — скорость тела относительно неподвижной системы отсчета (НСО).

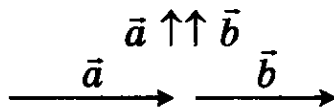
Относительная скорость. Векторная разность скоростей:

$$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2 = \vec{v}_{12},$$

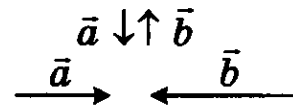
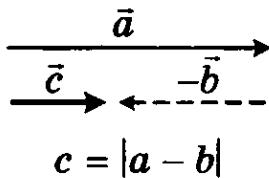
где $\vec{v}_{\text{отн}}$ — скорость первого тела относительно второго (относительная скорость); \vec{v}_1 — скорость первого тела; \vec{v}_2 — скорость второго тела.

Векторное вычитание: $\vec{c} = \vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$.

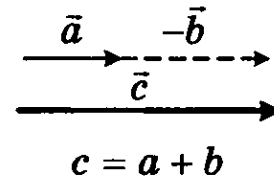
Вычитание векторов, направленных по одной прямой:



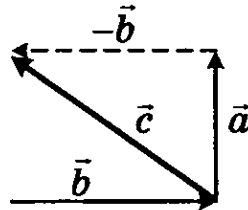
Построение:



Построение:

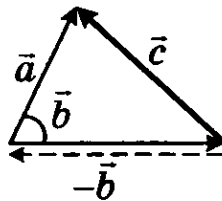


Вычитание векторов перпендикулярных друг другу ($\vec{a} \perp \vec{b}$):



По теореме Пифагора $c = \sqrt{a^2 + b^2}$

Вычитание векторов, расположенных под углом α друг к другу:



По теореме косинусов $c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha}$

Средняя скорость

Неравномерное движение — движение с переменной скоростью. Это самый распространенный вид движения.

Средняя скалярная (путевая) скорость:

$$v_{\text{ср}} = \frac{l}{t},$$

где l — весь путь; t — все время.

Средняя векторная скорость:

$$\vec{v}_{\text{ср}} = \frac{\vec{s}}{t},$$

где \vec{s} — все перемещение; t — все время пути.

Средняя скалярная и модуль средней векторной скорости:

$$v_{\text{ср}} \geq |\vec{v}_{\text{ср}}|$$

Равноускоренное прямолинейное движение

Равноускоренное прямолинейное движение — движение по прямой с постоянным ускорением ($\bar{a} = \text{const}$).

Ускорение \bar{a} (м/с²) — векторная физическая величина, показывающая, на сколько изменяется скорость тела за 1 с.

В векторном виде:

$$\bar{a} = \frac{\bar{v} - \bar{v}_0}{t}.$$

В проекциях на ось OX :

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}.$$

Измерительный прибор — акселерометр.

Знаки проекции ускорения зависят от направления вектора ускорения и оси OX (например, $\bar{v}_0 \uparrow \uparrow OX$):

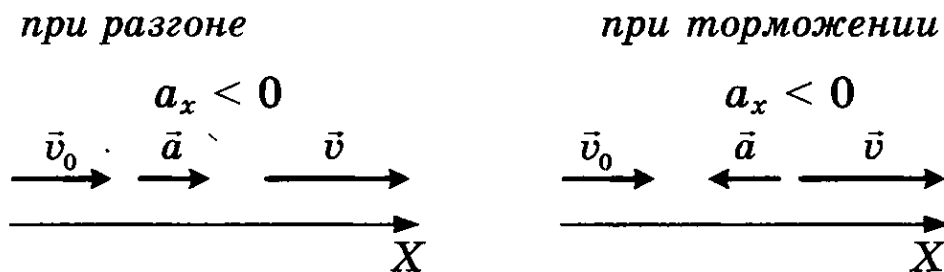


График ускорения — зависимость проекции ускорения от времени:

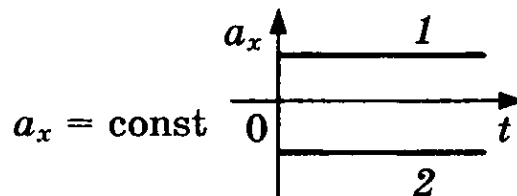


График ускорения при равноускоренном прямолинейном движении — прямая, параллельная оси времени (1, 2).

Чем дальше график от оси времени (2), тем больше модуль ускорения.

Мгновенная скорость — скорость в данный момент времени или в данном месте пространства.

Скорость при равноускоренном прямолинейном движении.

В векторном виде: $\bar{v} = \bar{v}_0 + \bar{a}t$.

В проекциях на ось OX : $v_x = v_{0x} + a_x t$.

С учетом знака ускорения («+» разгон, «-» торможение):

$$v = v_0 \pm at.$$

График мгновенной скорости — зависимость проекции скорости от времени.

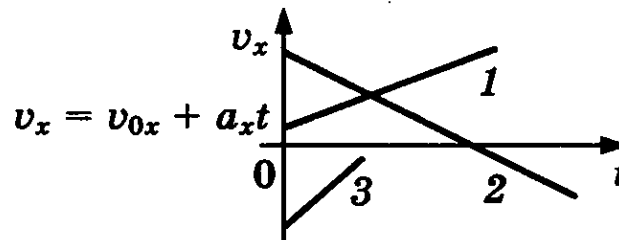


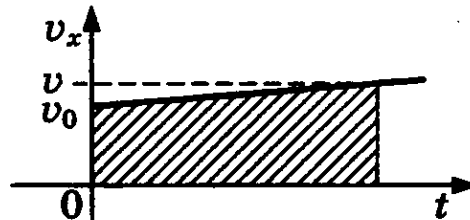
График скорости при *равноускоренном прямолинейном движении* — прямая (1, 2, 3).

Если график располагается над осью времени, то тело движется по направлению оси *OX*.

Чем больше тангенс угла наклона графика (3), тем больше модуль ускорения.

Если график пересекает ось времени (2, 3), то на первом этапе тело тормозило, а на втором двигалось ускоренно в противоположную сторону.

Геометрический смысл перемещения.



Для определения модуля перемещения при равноускоренном прямолинейном движении, вычислим площадь фигуры под графиком скорости в осях (v_x , t), т. е. найдем площадь трапеции

$$s = S_{\text{трап.}} = \frac{(v_0 + v)t}{2}.$$

Основные формулы для определения кинематических величин равноускоренного прямолинейного движения:

Ускорение: $\pm a = \frac{v - v_0}{t}.$

Мгновенная скорость: $v = v_0 \pm at.$

Время движения: $t = \frac{v - v_0}{\pm a}.$

Перемещение:

$$s = \frac{(v + v_0)t}{2} \text{ (без ускорения),}$$

$$s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2} \text{ (без конечной скорости),}$$

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{\pm 2a} \text{ (без времени).}$$

Перемещение в n -ую секунду равноускоренного прямолинейного движения:

$$s_n = s(n) - s(n - 1),$$

где $s(n) = v_0 n \pm \frac{an^2}{2}$;

$$s(n - 1) = v_0(n - 1) \pm \frac{a(n - 1)^2}{2}.$$

Уравнение координаты при равноускоренном прямолинейном движении позволяет определить кинематические величины равноускоренного прямолинейного движения даже в тех случаях, когда направление движения меняется.

Уравнение координаты:

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

Уравнение скорости:

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

Средняя скорость:

$$v_{cp} = \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

Совместное движение двух тел.

Уравнение координаты:

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

Уравнение координаты при запаздывании:

$$x = x_0 + v_{0x}(t - t_{\text{запазд}}) + \frac{a_x(t - t_{\text{запазд}})^2}{2}.$$

Уравнение координаты при опережении:

$$x = x_0 + v_{0x}(t + t_{\text{опер}}) + \frac{a_x(t + t_{\text{опер}})^2}{2}.$$

Расстояние между двумя телами:

$$r = |x_1 - x_2|.$$

Координаты двух тел в момент встречи:

$$x_1 = x_2.$$

Графики кинематических величин прямолинейного движения

	Покой $a_x = 0$ $v_x = 0$ $s_x = 0$ $x = x_0$	Равномерное движение $a_x = 0$ $v_x = \text{const}$ $s_x = v_x t$ $x = x_0 + v_x t$ $\vec{v}_1 \uparrow \uparrow OX$ $\vec{v}_2 \uparrow \downarrow OX$	Равноускоренное движение $a_x = \text{const}$, $\vec{a} \uparrow \uparrow \vec{v}_0, \vec{v}_0 \uparrow \uparrow OX$ $v_x = v_0 + at$ $s_x = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ $x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$	Равнозамедленное движение $a_x = \text{const}$, $\vec{a} \uparrow \downarrow \vec{v}_0, \vec{v}_0 \uparrow \uparrow OX$ $v_x = v_0 - at$ $s_x = v_0 t - \frac{at^2}{2}$ $x = x_0 + v_0 t - \frac{at^2}{2}$
$a_x(t)$				
$v_x(t)$				
$s_x(t)$				
$l(t)$				
$x(t)$				

Свободное падение

- Свободное падение происходит под действием только силы тяжести.
- Свободное падение — свободно от сопротивления воздуха.
- Все тела независимо от массы падают в вакууме с одинаковым ускорением.
- Ускорение свободного падения всегда направлено вниз, к центру Земли и равно $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; в задачах будем считать $g = 10 \text{ м/с}^2$.

- Свободное падение по вертикали — пример равноускоренного прямолинейного движения.
- В задачах на свободное падение единицы измерения всех величин сразу следует переводить в СИ.

Основные формулы для определения кинематических величин при свободном падении (вертикальный бросок).

Скорость: $v = v_0 \pm gt$.

Перемещение, высота:

$$s = h = \frac{(v + v_0)t}{2}, \quad s = h = v_0 t \pm \frac{gt^2}{2}, \quad s = h = \frac{v^2 - v_0^2}{\pm 2g}.$$

Перемещение в n -ую секунду свободного падения:

$$s_n = s(n) - s(n - 1),$$

где $s(n) = \frac{gn^2}{2}$; $s(n - 1) = \frac{g(n - 1)^2}{2}$.

Уравнение координаты при свободном падении позволяет определить кинематические величины свободного падения даже в тех случаях, когда направление движения изменяется.

Уравнение координаты позволяет определить высоту тела в любой момент времени:

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

Уравнение скорости:

$$v_y = v_{0y} + g_y t.$$

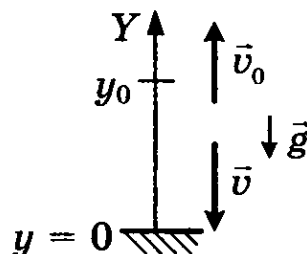
Модуль перемещения тела:

$$s = |y - y_0|.$$

Свободное падение на землю с некоторой высоты (начальная скорость направлена вверх).

Уравнение координаты: $0 = y_0 + v_0 t_{\text{пад}} - \frac{gt_{\text{пад}}^2}{2}$.

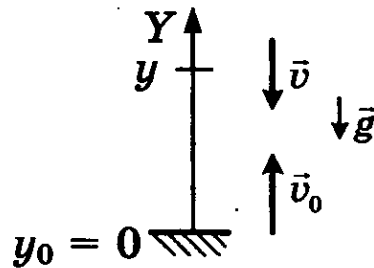
Уравнение скорости: $-v = v_0 - gt_{\text{пад}}$.



Тело подбросили от земли и поймали на некоторой высоте.

Уравнение координаты: $y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$.

Уравнение скорости: $-v = v_0 - gt$.



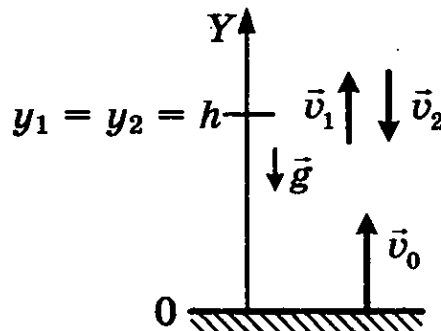
Тело подбросили от земли, на одной и той же высоте оно побывало дважды.

Уравнение координаты при подъёме: $y_1 = v_0 t_1 - \frac{gt_1^2}{2}$.

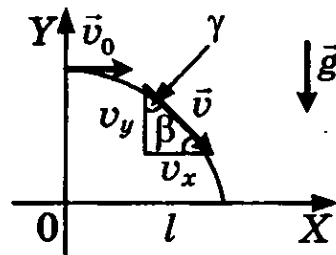
Уравнение координаты при спуске: $y_2 = v_0 t_2 - \frac{gt_2^2}{2}$.

Интервал времени между моментами прохождения высоты h :

$$\Delta t = t_2 - t_1.$$



Горизонтальный бросок.



Проекции начальной скорости: $v_{0x} = v_0$; $v_{0y} = 0$.

Проекции ускорения свободного падения: $g_x = 0$; $g_y = -g$.

Проекции мгновенной скорости: $v_x = v_0$; $v_y = -gt$.

Модуль мгновенной скорости: $v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$.

Минимальная скорость, начальная скорость: v_0 .

Максимальная скорость, конечная скорость (при падении): v .

Угол наклона вектора скорости к горизонту: $\operatorname{tg} \beta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{v_0}$.

Угол наклона вектора скорости к вертикали: $\operatorname{tg} \gamma = \frac{v_x}{v_y} = \frac{v_0}{gt}$.

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

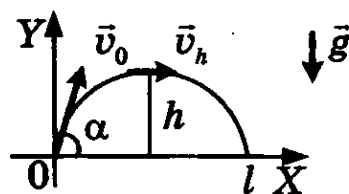
Мгновенная высота: $y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$, $y = h_0 - \frac{gt^2}{2}$.

Время падения ($y = 0$): $t_{\text{пад}} = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$.

Дальность полета: $l = v_0 t_{\text{пад}} = v_0 \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$.

Уравнение траектории: $y(x) = h_0 - \frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_0} \right)^2$.

Бросок под углом к горизонту.



Проекции начальной скорости: $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$; $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$.

Проекции ускорения свободного падения: $g_x = 0$; $g_y = -g$.

Проекции мгновенной скорости: $v_x = v_0 \cos \alpha$; $v_y = v_0 \sin \alpha - gt$.

Модуль мгновенной скорости:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}, \quad v = \sqrt{v_0^2 - 2v_0 \sin \alpha \cdot gt + g^2 t^2}.$$

Минимальная скорость, скорость в верхней точке траектории:

$$v_{\min} = v_0 \cos \alpha = v_h.$$

Максимальная скорость, начальная скорость, конечная скорость: $v_{\max} = v_0 = v$.

Угол наклона вектора мгновенной скорости к горизонту:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{v_y}{v_x} = \frac{v_0 \sin \alpha - gt_1}{v_0 \cos \alpha}, \quad \operatorname{tg} \beta_2 = \frac{v_y}{v_x} = \frac{-(v_0 \sin \alpha - gt_2)}{v_0 \cos \alpha}.$$

Угол наклона вектора скорости к вертикали:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{v_x}{v_y} = \frac{v_0 \cos \alpha}{v_0 \sin \alpha - gt}.$$

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

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

Время подъема ($v_y = 0$): $t_{\text{под}} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$.

Полное время (время полета): $t_{\text{полн}} = 2t_{\text{под}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$.

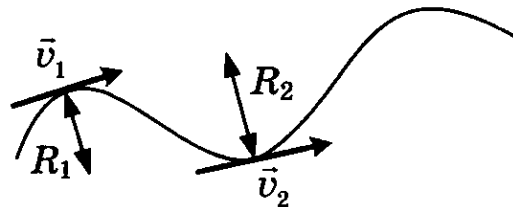
Наибольшая высота подъема: $h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$.

Дальность полета: $l = \frac{v_0^2 2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$.

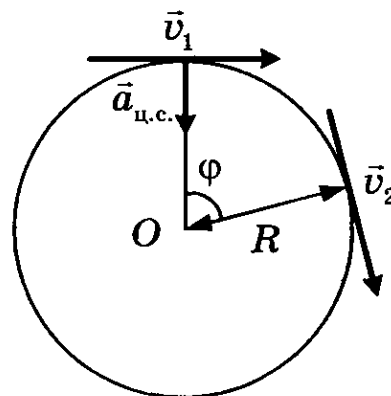
Уравнение траектории: $y(x) = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}$.

Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью

Криволинейное движение — движение, траекторией которого является кривая линия. Вектор скорости в любой момент времени направлен по касательной к траектории.



Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью — простейший вид криволинейного движения. Любой участок криволинейного движения можно представить в виде движения по дуге окружности или по участку ломаной. Это движение с переменным ускорением.



- Траектория движения — окружность.

- Вектор скорости всегда направлен по касательной к окружности.
- Направление скорости постоянно изменяется.
- Ускорение, которое изменяет направление скорости, называют центростремительным.
- Центростремительное ускорение не меняет модуля скорости.
- Центростремительное ускорение направлено к центру окружности.

Величины, характеризующие движение по окружности с постоянной по модулю скоростью.

Период T (с) — время одного полного оборота:

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

Частота ν (Гц) — число полных оборотов за 1 с:

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

Линейная скорость v (м/с) показывает, какой путь проходит тело за 1 с:

$$v = \frac{l}{t} = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu = \frac{2\pi RN}{t} = \omega R.$$

Угловая скорость ω (рад/с) показывает, на какой угол поворачивает тело за 1 с:

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

Центростремительное ускорение $a_{ц.с.}$ (м/с²) изменяет направление вектора скорости:

$$a_{ц.с.} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 R\nu^2.$$

Число оборотов N — число полных оборотов за время t :

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

Путь l (м) — расстояние, пройденное телом.

Длина дуги:

$$l = \frac{\pi R}{180^\circ} \cdot \alpha^\circ.$$

Тело совершило N оборотов: $l = N2\pi R$.

Величины, характеризующие криволинейное движение

Название, обозначение, единица измерения	Направление	Формула	Для свободного падения
			
Касательное (или тангенциальное) ускорение a_t (м/с ²)	Параллельно скорости $\vec{a}_t \parallel \vec{v}$	Изменяет модуль скорости $a_t = \frac{v - v_0}{t}$	Движение вверх $a_t = -g \cos \gamma$ Движение вниз $a_t = g \cos \gamma$
Нормальное (или центростремительное) ускорение a_n (м/с ²)	Перпендикулярно скорости $\vec{a}_n \perp \vec{v}$	$a_n = \frac{v^2}{R}$	$a_n = g \sin \gamma$
Полное ускорение $a_{\text{полн}}$ (м/с ²)	Находится геометрически	$a_{\text{полн}} = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$	$a_{\text{полн}} = g$
Радиус кривизны R (м)	$R \perp v$	$R = \frac{v^2}{a_n}$ v — скорость в данный момент времени	В верхней точке $a_n = g$ $R = \frac{(v_0 \cos \alpha)^2}{g}$
Путь l (м)		$l = v_0 t + \frac{a_t t^2}{2}$	

1.2. Динамика

Три закона Ньютона

Динамика изучает причины движения тел и способы определения ускорения.

Инерция — явление, при котором тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения (т.е. в этих случаях отсутствует ускорение).

Инерциальные системы отсчета — системы отсчета, относительно которых наблюдается инерция, а также те, которые движутся равномерно и прямолинейно относительно ИСО. (ИСО — системы, ускорение которых равно нулю.)

Первый закон Ньютона: *существуют такие системы отсчета, называемые инерциальными, относительно которых*