

Раздел 1. Механика

Тема 1.1.

Кинематика

1. Механическое движение и его виды.
2. Относительность механического движения.
3. Скорость.
4. Ускорение.
5. Равномерное движение.
6. Прямолинейное равноускоренное движение.
7. Свободное падение (ускорение свободного падения).
8. Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью. Центробежное ускорение.

1. Механическое движение и его виды

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

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

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

Путь (S) - расстояние, отсчитываемое вдоль траектории за время Δt (скалярная величина).

Перемещение (\vec{S}) - вектор, соединяющий начальное и конечное положение тела.

Виды движения

по траектории

- прямолинейное
- криволинейное

по
пройденному
пути в
единицу
времени

- равномерное
- неравномерное

по траектории
точек тела

- поступательное
- вращательное

колебательное



2. Относительность механического движения

Тело движется относительно разных тел по-разному (человек в автомобиле имеет разную скорость относительно автомобиля и относительно земли).

Когда говорится о движении тела, необходимо указать, относительно какого тела рассматривается его движение.

Для однозначного определения положения тела необходимо задать **систему отсчета**:

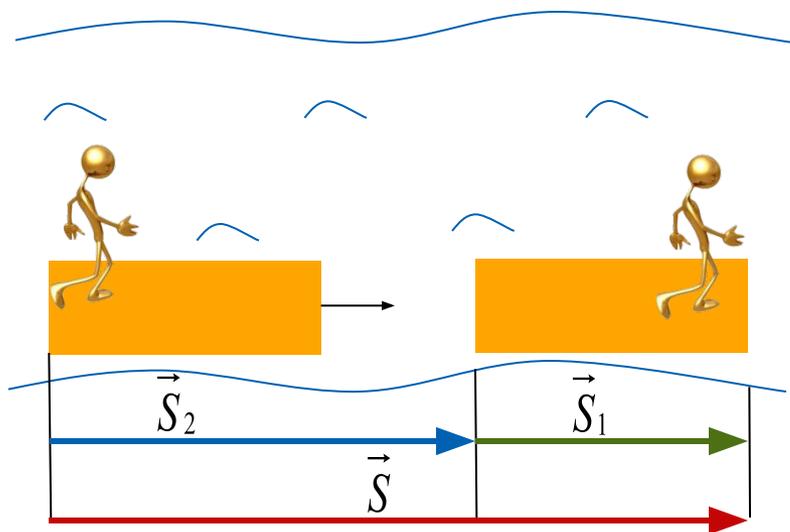
- 1) тело отсчета (тело, относительно которого изучается движение рассматриваемого тела - например, Земля);
- 2) система координат, связанная с телом отсчета (одномерная - автомобиль на шоссе, двумерная - шайба на хоккейном поле, трехмерная - воздушный шар);
- 3) часы, связанные с телом отсчета.



Тела в разных системах отсчета двигаются по-разному!

В разных с.о. изменяются: **скорость, путь, перемещение, траектория.**

Не изменяются в разных с.о. (при условии, что: $\vec{v} \ll \vec{v}_{\text{света}} (\approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с})$):
время, масса, сила, ускорение.



Какое перемещение совершит человек относительно берега (Земли)?

Берег (Земля) - неподвижная с.о.
Плот - подвижная с.о.

$$\vec{S} = \vec{S}_1 + \vec{S}_2$$

\vec{S} - перемещение человека относительно Земли (н.с.о.)

\vec{S}_1 - перемещение человека относительно плота (п.с.о.)

\vec{S}_2 - перемещение плота относительно Земли (п.с.о. относительно н.с.о.)

Правило сложения скоростей:

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

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

Принцип относительности Галилея

Все инерциальные системы равноправны. Это проявляется в том, что законы механики в них записываются одинаково.

Инерциальные системы отсчета (ИСО) - системы отсчета, которые движутся равномерно прямолинейно относительно друг друга.

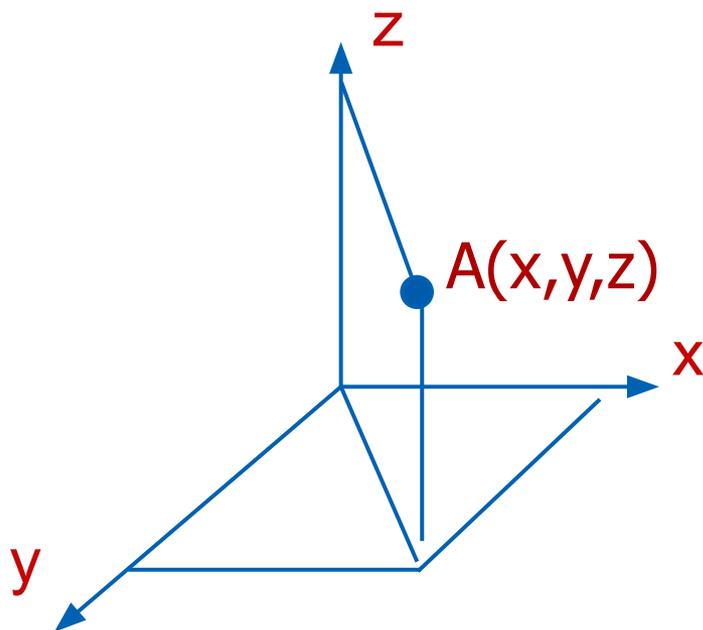


Система координат

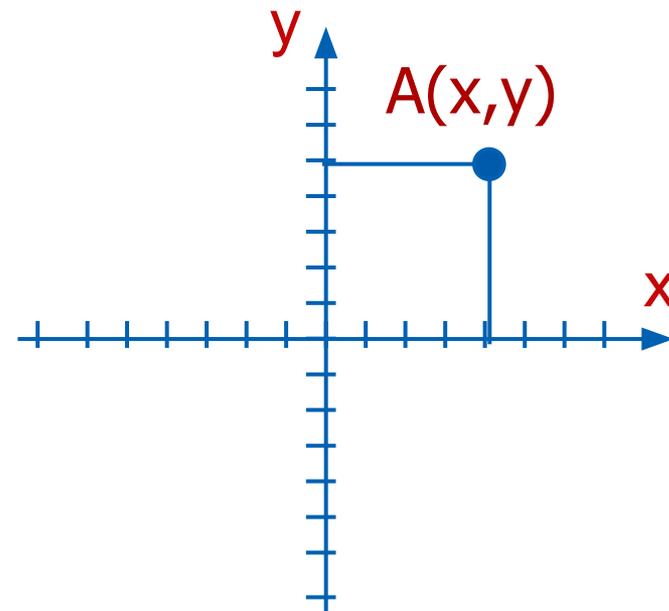
Одномерная - координатная прямая



Пространственная система
Координат (трехмерная)



Двумерная -
координатная плоскость



3. Скорость

Скорость - физическая векторная величина, характеризующая направление и быстроту движения. Показывает, какое перемещение совершило тело в единицу времени:

$$\vec{v} = \frac{\vec{S}}{t} \quad \vec{v} \uparrow \uparrow \vec{S} \quad \left[\frac{m}{c} \right]$$

Мгновенная скорость - скорость тела в данный момент времени или в данной точке траектории. Равна отношению малого перемещения к малому промежутку времени, за которое это перемещение совершено:

$$\vec{v}_{\text{мгн}} = \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t} \quad \vec{v}_{\text{мгн}} \uparrow \uparrow \Delta \vec{S} \quad \left[\frac{m}{c} \right]$$

Средняя скорость - физическая величина, равная отношению всего пройденного пути ко всему времени:

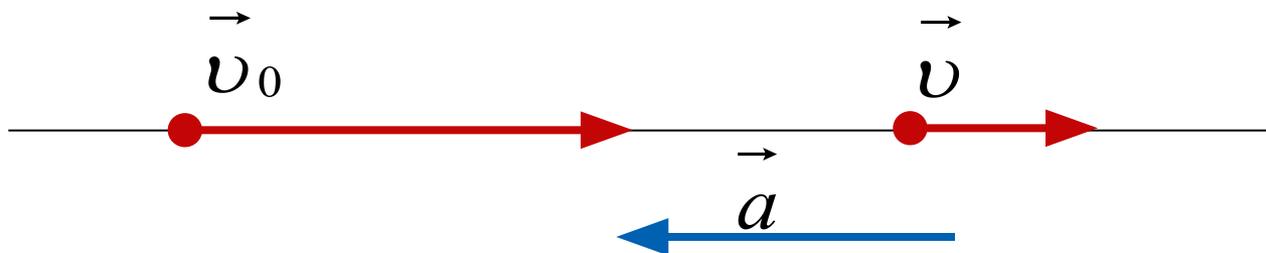
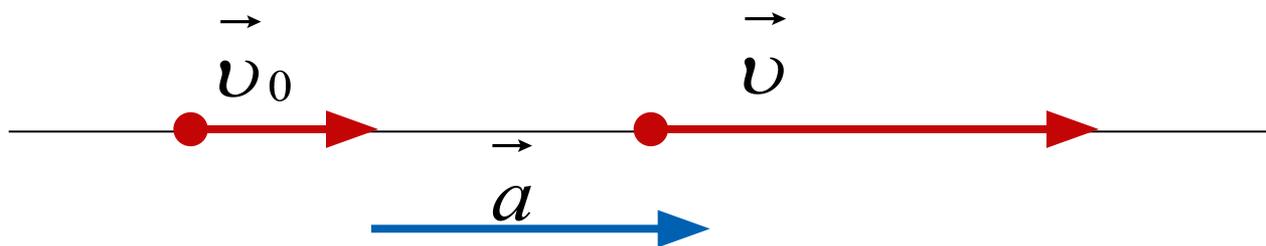
$$v_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{весь}}}{t_{\text{все}}} \quad \left[\frac{m}{c} \right]$$



4. Ускорение

Ускорение – физическая векторная величина, характеризующая быстроту изменения скорости по величине и направлению. Равна отношению изменения скорости к промежутку времени, за которое это изменение произошло:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} = \frac{\Delta \vec{v}}{t} \quad \vec{a} \uparrow \uparrow \Delta \vec{v} \quad \left[\frac{\mathcal{M}}{c^2} \right]$$



5. Равномерное движение

Прямолинейным равномерным движением (РПД) называют такое движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения.

Скорость РПД - векторная физическая величина, равная отношению перемещения тела ко времени, за которое это перемещение совершено:

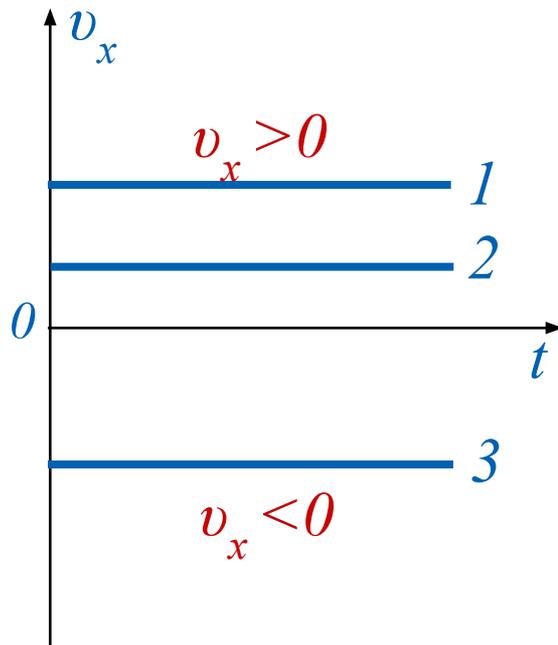
$$\vec{v} = \frac{\vec{S}}{t} \quad \vec{v} \uparrow \uparrow \vec{S} \quad \left[\frac{m}{c} \right]$$

Перемещение РПД $\vec{S} = \vec{v} \cdot t \quad [m] \quad S_x = v_x \cdot t$

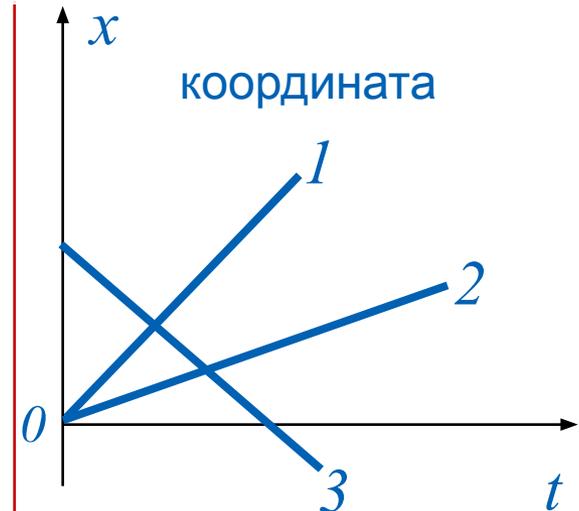
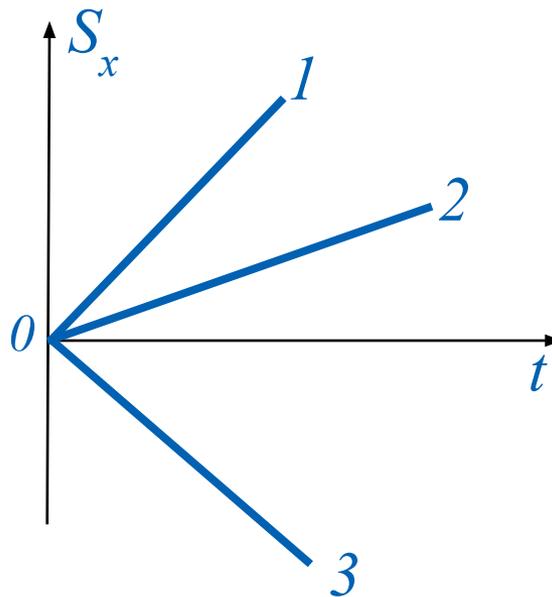
Координата $x = x_0 + v_x t \quad v_x = \frac{x - x_0}{t}$

Графическое представление РПД

скорость



перемещение



Графики 1 и 2. $v_1 > v_2$,
 $x_{01} = x_{02} = 0$.
Координата тела возрастает,
скорость тела положительна.

График 3. $x_{03} \neq 0$.
Координата тела
уменьшается. Оно движется
к началу координат, проекция
его скорости отрицательна.



6. Прямолинейное равноускоренное движение

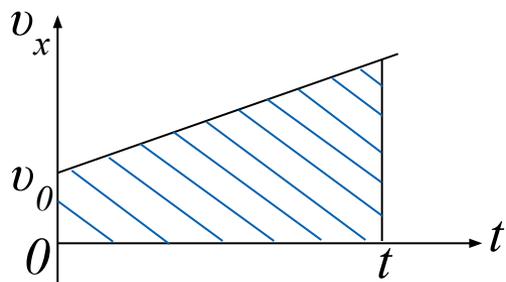
Прямолинейным равноускоренным движением (РУПД) называется движение, при котором скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется на одну и ту же величину.

Ускорение $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} = \frac{\Delta \vec{v}}{t}$ $a \uparrow \uparrow \Delta v \left[\frac{m}{c^2} \right]$

Мгновенная скорость (скорость в любой момент времени)

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t \quad v_x = v_{0x} + a_x t$$

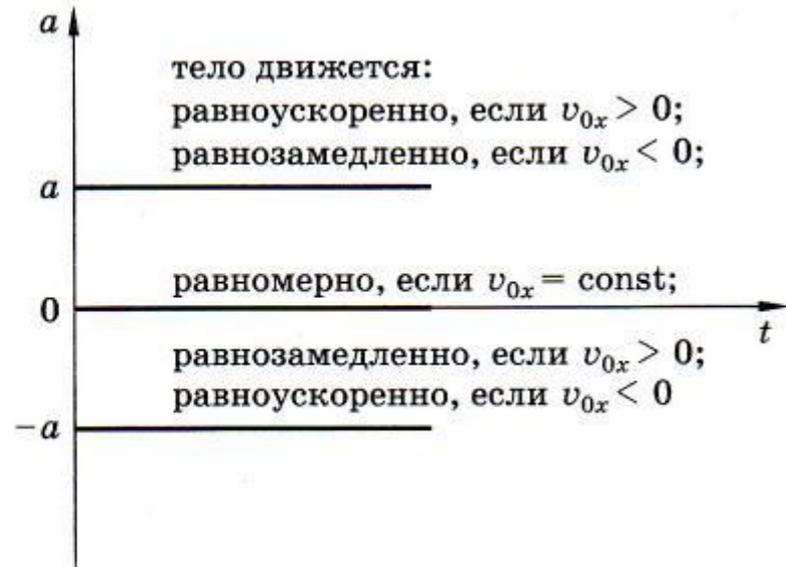
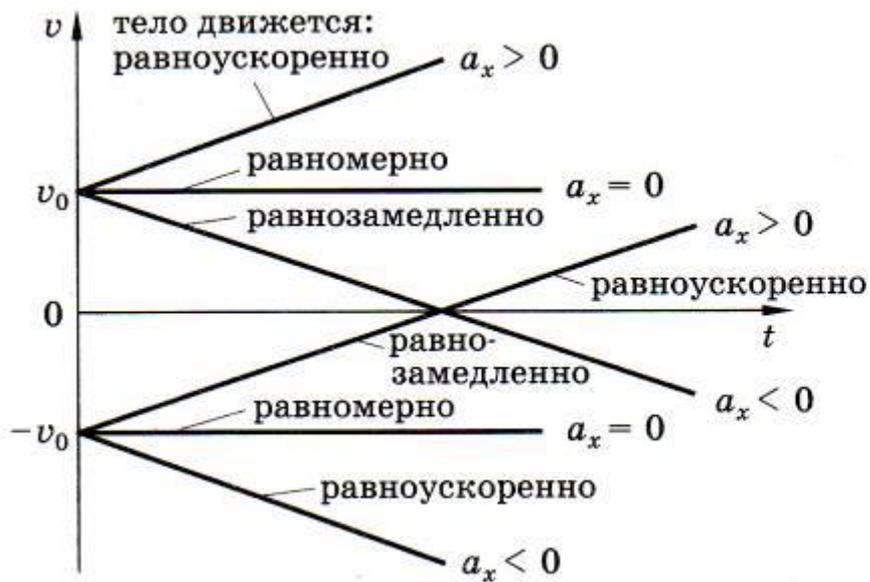
Перемещение (путь, пройденный телом) численно равно площади под графиком скорости.



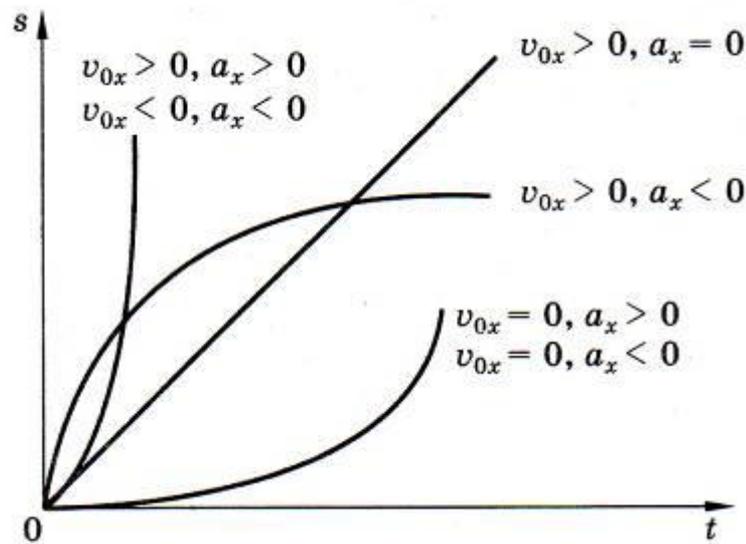
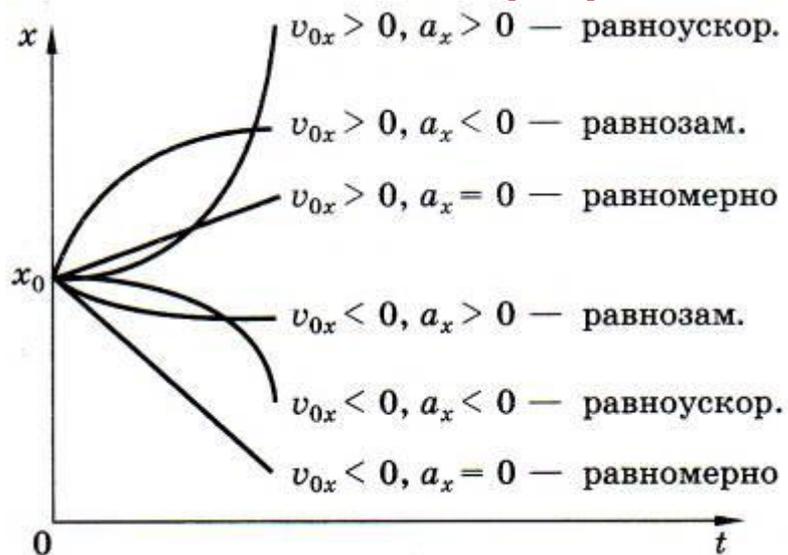
$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

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

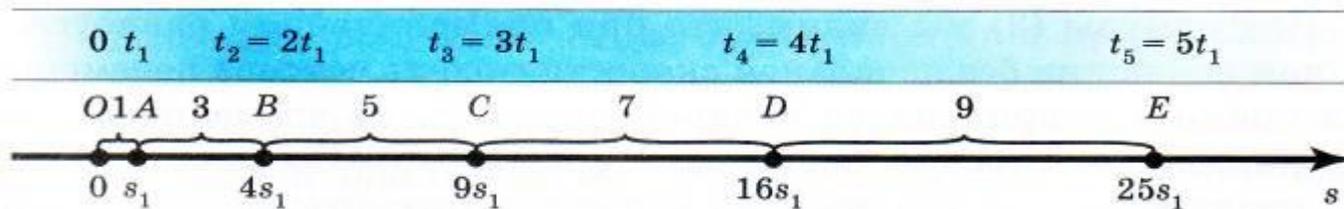
Графическое представление



Графическое представление



Перемещение тела при РУПД без начальной скорости



$$OA : OB : OC : OD : OE = 1 : 4 : 9 : 16 : 25$$

$$OA : AB : BC : CD : DE = 1 : 3 : 5 : 7 : 9$$

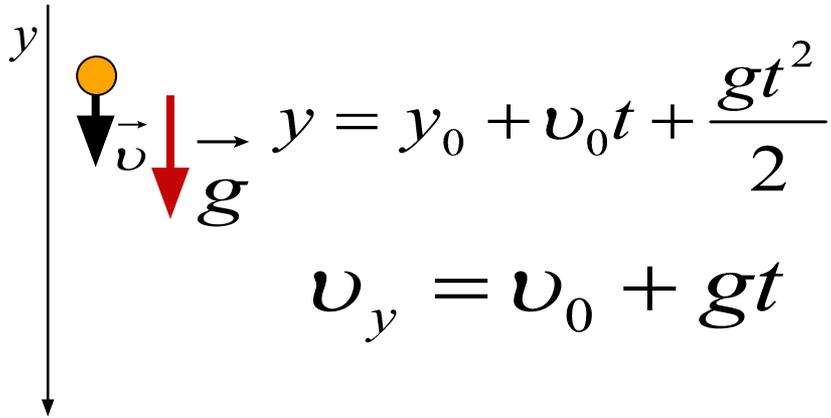


7. Свободное падение (ускорение свободного падения)

Свободное падение – движение тела в безвоздушном пространстве только под влиянием гравитационных сил (силы тяжести).

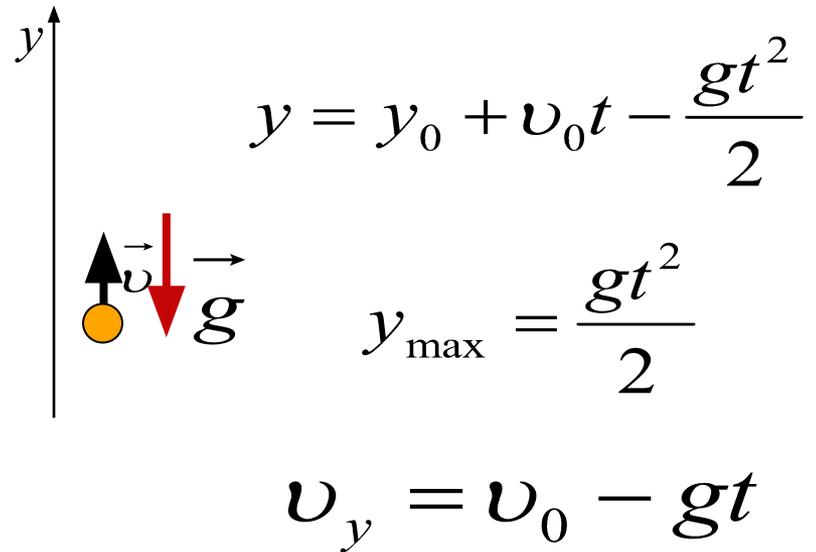
Ускорение свободного падения – $g \approx 9,8 \text{ м/с}^2$

(на экваторе g немного меньше, а на полюсах – немного больше)



A diagram showing a yellow sphere falling downwards. A vertical y-axis points downwards. A black arrow labeled \vec{v} points downwards from the sphere, and a red arrow labeled g points downwards below it.

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{gt^2}{2}$$
$$v_y = v_0 + gt$$

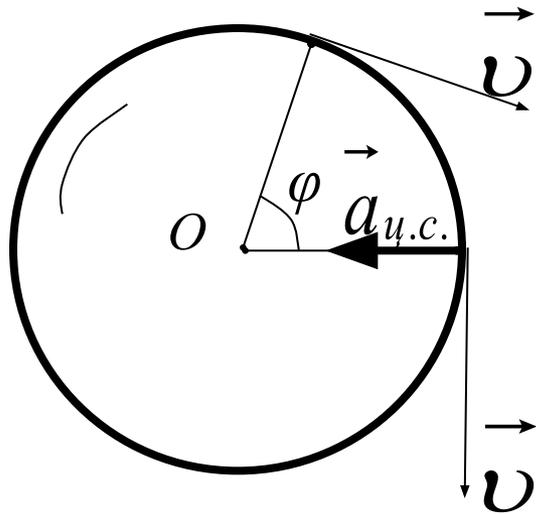


A diagram showing a yellow sphere moving upwards. A vertical y-axis points upwards. A black arrow labeled \vec{v} points upwards from the sphere, and a red arrow labeled g points downwards below it.

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$
$$y_{\max} = \frac{gt^2}{2}$$
$$v_y = v_0 - gt$$



8. Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью. Центробежное ускорение



Период обращения – время, в течение которого тело совершает один полный оборот:

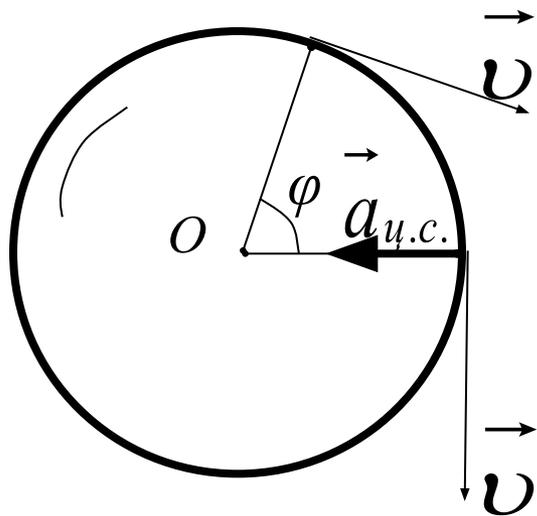
$$T = \frac{t}{N} = \frac{1}{\nu} \quad [c]$$

Частота обращения – число оборотов тела за одну секунду:

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T} \quad [c^{-1}; \text{Гц}]$$

Угловая скорость – физическая величина, равная отношению углового перемещения к промежутку времени, за которое это перемещение произошло:

$$\omega = \varphi t = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \quad \left[\frac{\text{рад}}{c} \right]$$



Линейная скорость тела, равномерно движущегося по окружности, оставаясь постоянной по модулю, непрерывно изменяется по направлению и в любой точке направлена по касательной к траектории:

$$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R \nu = \omega R$$

Равномерно движущееся по окружности тело имеет ускорение, направленное к центру окружности (перпендикулярно скорости) – **центростремительное ускорение**:

$$a_{ц.с.} = \frac{v^2}{R}$$



Основные уравнения.

ДВИЖЕНИЕ	СКОРОСТЬ	УСКОРЕНИЕ	ПРОЙДЕННЫЙ ПУТЬ	КООРДИНАТЫ
РАВНОМЕРНОЕ	$v = \frac{s}{t}$ $v = const$	$a = 0$	$S = vt$	$x = x_0 + vt$
РАВНОУСКОРЕННОЕ	$v = v_0 + at$ $v^2 = v_0^2 + 2aS$	$a = \frac{v - v_0}{t}$	$S = v_0t + \frac{at^2}{2}$	$x = x_0 + v_0t + \frac{at^2}{2}$
РАВНОЗАМЕДЛЕННОЕ	$v = v_0 - at$ $v^2 = v_0^2 - 2aS$	$a = \frac{v_0 - v}{t}$	$S = v_0t - \frac{at^2}{2}$	$x = x_0 + v_0t - \frac{at^2}{2}$

Подборка заданий по кинематике (А1)

1. Четыре тела двигались по оси Ox . В таблице представлена зависимость их координат от времени.

t, c	0	1	2	3	4	5
x_1, M	0	2	4	6	8	10
x_2, M	0	0	0	0	0	0
x_3, M	0	1	4	9	16	25
x_4, M	0	2	0	-2	0	2

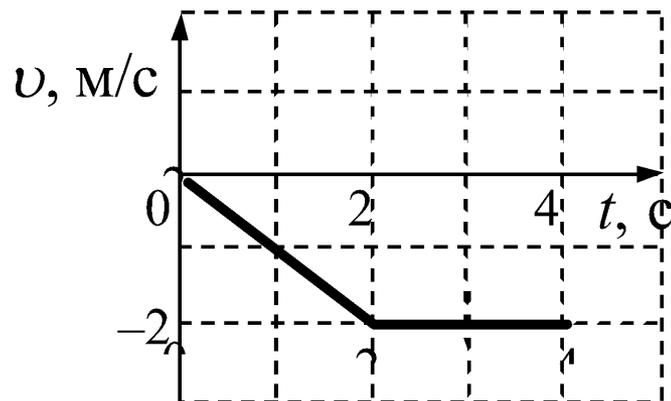
У какого из тел скорость могла быть постоянна и отлична от нуля?

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4



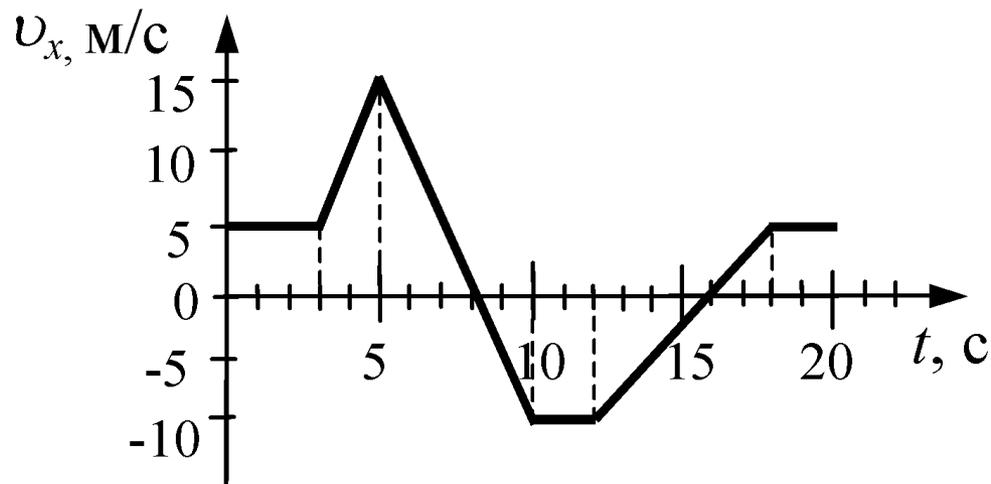
Подборка заданий по кинематике (А1)

2. Тело брошено вертикально вверх. Через 0,5 с после броска его скорость равна 20 м/с. Какова начальная скорость тела? Сопротивлением воздуха пренебречь.
3. На графике показана зависимость скорости тела от времени. Каков путь, пройденный телом к моменту времени $t = 4$ с?

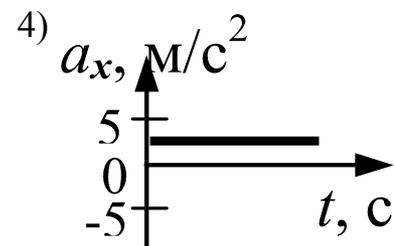
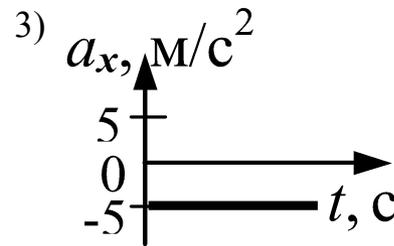
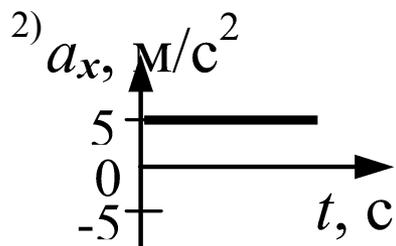
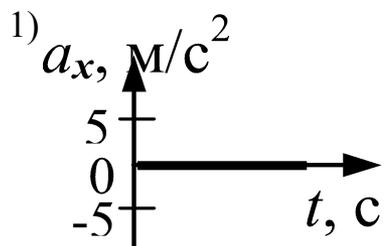


Подборка заданий по кинематике (А1)

4. На рисунке приведен график зависимости проекции скорости тела от времени.

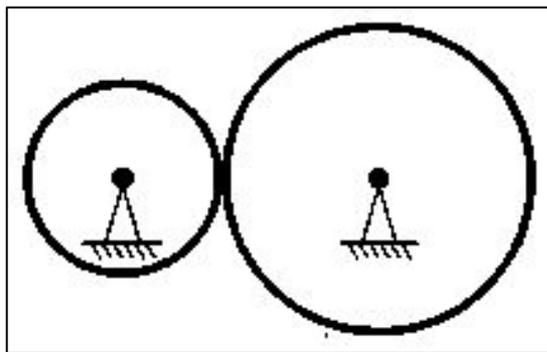


Проекция ускорения тела в интервале времени от 12 до 16 с представлена графиком



Подборка заданий по кинематике (с кратким ответом)

Две шестерни, сцепленные друг с другом, вращаются вокруг неподвижных осей (см. рисунок). Большая шестерня радиусом 10 см делает 20 оборотов за 10 с, а частота обращения меньшей шестерни равна 5 с^{-1} . Каков радиус меньшей шестерни? Ответ укажите в сантиметрах.



Решение

Дано:

$$R_1 = 0,1\text{ м}$$

$$N_1 = 20$$

$$t_1 = 10\text{ с}$$

$$v_2 = 5\text{ с}^{-1}$$

$$R_2 = ?$$

Решение

Т.к. шестерни сцеплены друг с другом, то можно записать:

$$v_1 = v_2$$

$$v_1 = \frac{2\pi R_1}{T_1} = \frac{2\pi R_1}{t_1} = \frac{2\pi R_1 N_1}{t_1}$$

$$v_2 = 2\pi R_2 v_2$$

$$\frac{2\pi R_1 N_1}{t_1} = 2\pi R_2 v_2$$

$$R_1 N_1 = t_1 R_2 v_2$$

$$R_2 = \frac{R_1 N_1}{t_1 v_2} = \frac{0,1\text{ м} \cdot 20}{10\text{ с} \cdot 5\text{ с}^{-1}} = 0,04\text{ м}$$

$$R_2 = 4\text{ см}$$



Подборка заданий по кинематике (с кратким ответом)

Небольшой камень, брошенный с ровной горизонтальной поверхности земли под углом к горизонту, упал обратно на землю в 20 м от места броска. Сколько времени прошло от броска до того момента, когда его скорость была направлена горизонтально и равна 10 м/с?



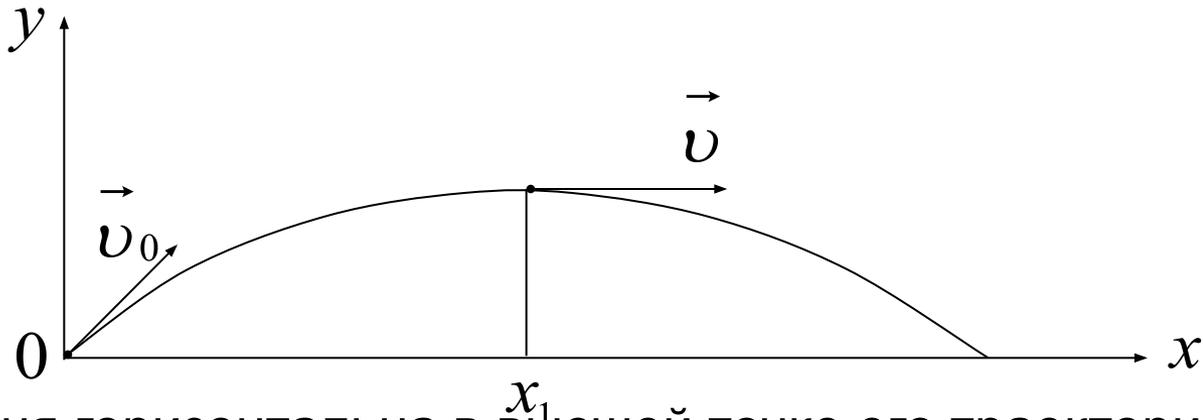
Решение

Дано:

$$S = 20\text{ м}$$

$$v = 10\text{ м/с}$$

$t - ?$



Скорость камня горизонтальна в высшей точке его траектории.

По времени – это ровно половина всего времени полета.

По горизонтали движение камня равномерное, следовательно можно вычислить общее время полета:

$$t_{\text{об}} = \frac{S}{v_x} = \frac{20\text{ м}}{10\text{ м/с}} = 2\text{ с}$$

$$t = \frac{t_{\text{об}}}{2} = \frac{2\text{ с}}{2} = 1\text{ с}$$



Подборка заданий по кинематике (с кратким ответом)

Мимо остановки по прямой улице проезжает грузовик со скоростью 10 м/с . Через 5 с от остановки вдогонку грузовику отъезжает мотоциклист, движущийся с ускорением 3 м/с^2 . На каком расстоянии от остановки мотоциклист догонит грузовик?



Подборка заданий по кинематике (с кратким ответом)

Мальчик катается на карусели. На рисунке показан график изменения центростремительного ускорения мальчика в зависимости от линейной скорости его движения. Масса мальчика равна 40 кг. На каком расстоянии от оси вращения карусели находится мальчик?

