КИНЕМАТИКА

ЕГЭ. ФИЗИКА
РЕПЕТИЦИЯ ПО ФИЗИКЕ

Владимир Петрович Сафронов
г. Ростов-на-Дону, 2015
звоните: т. 8 928 111 7884
пишите: safron-47@mail.ru

ЧАСТЬ 1. МЕХАНИКА

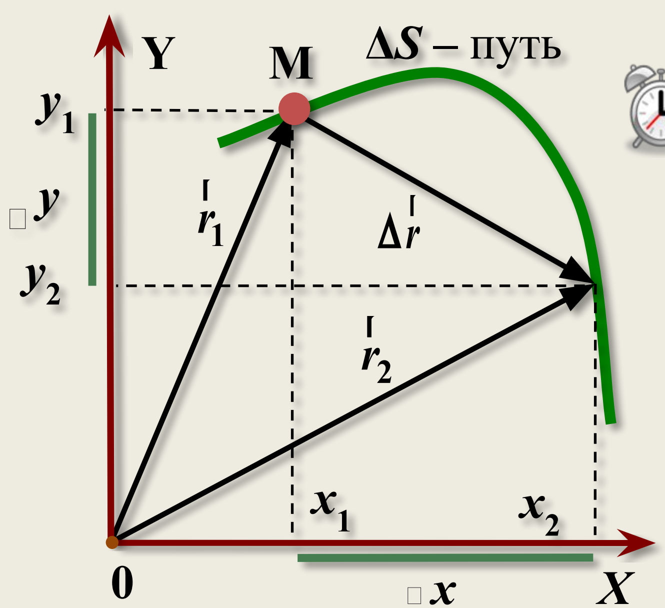
изучает закономерности механического движения.

1.1.1-2. Механическое движение — изменение взаимного расположения тел с течением времени.

Глава 1
КИНЕМАТИКА

Материальная точка (МТ) — тело, размерами которого можно пренебречь.

Система отсчета — служит для определения положения тела в пространстве и времени. Состоит из тела отсчета, системы координат и часов.



x_1, y_1 — координаты МТ .

$|\vec{r}_1| = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}$ — радиус-вектор МТ .

$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ — перемещение МТ .

$\Delta x = x_2 - x_1$ — проекция перемещения на ось X,

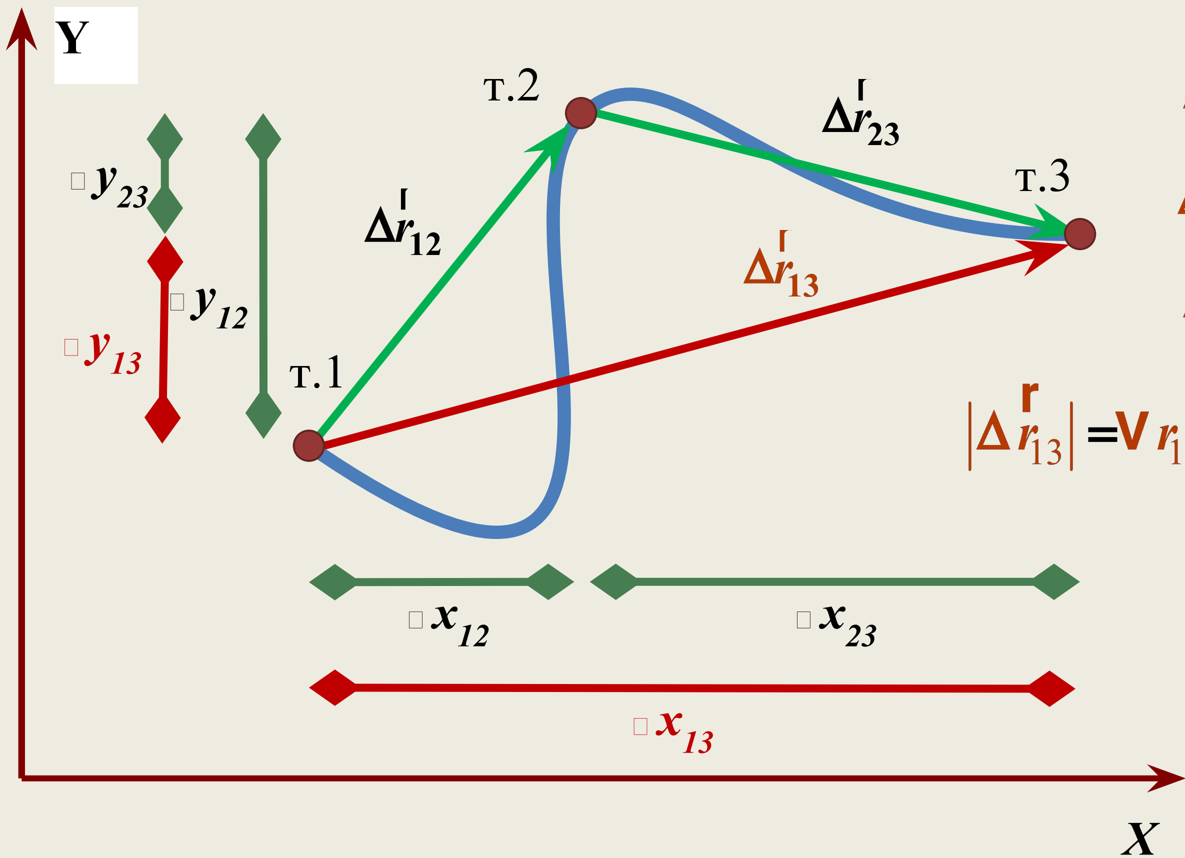
$\Delta y = y_2 - y_1$ — проекция перемещения на ось X,

$|\Delta\vec{r}| = \Delta r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ — модуль перемещения.

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

СЛОЖЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Перемещения складываются векторно.



$$\Delta\vec{r}_{13} = \Delta\vec{r}_{12} + \Delta\vec{r}_{23}$$

$$\Delta x_{13} = \Delta x_{12} + \Delta x_{23}$$

$$\Delta y_{13} = \Delta y_{12} + \Delta y_{23}$$

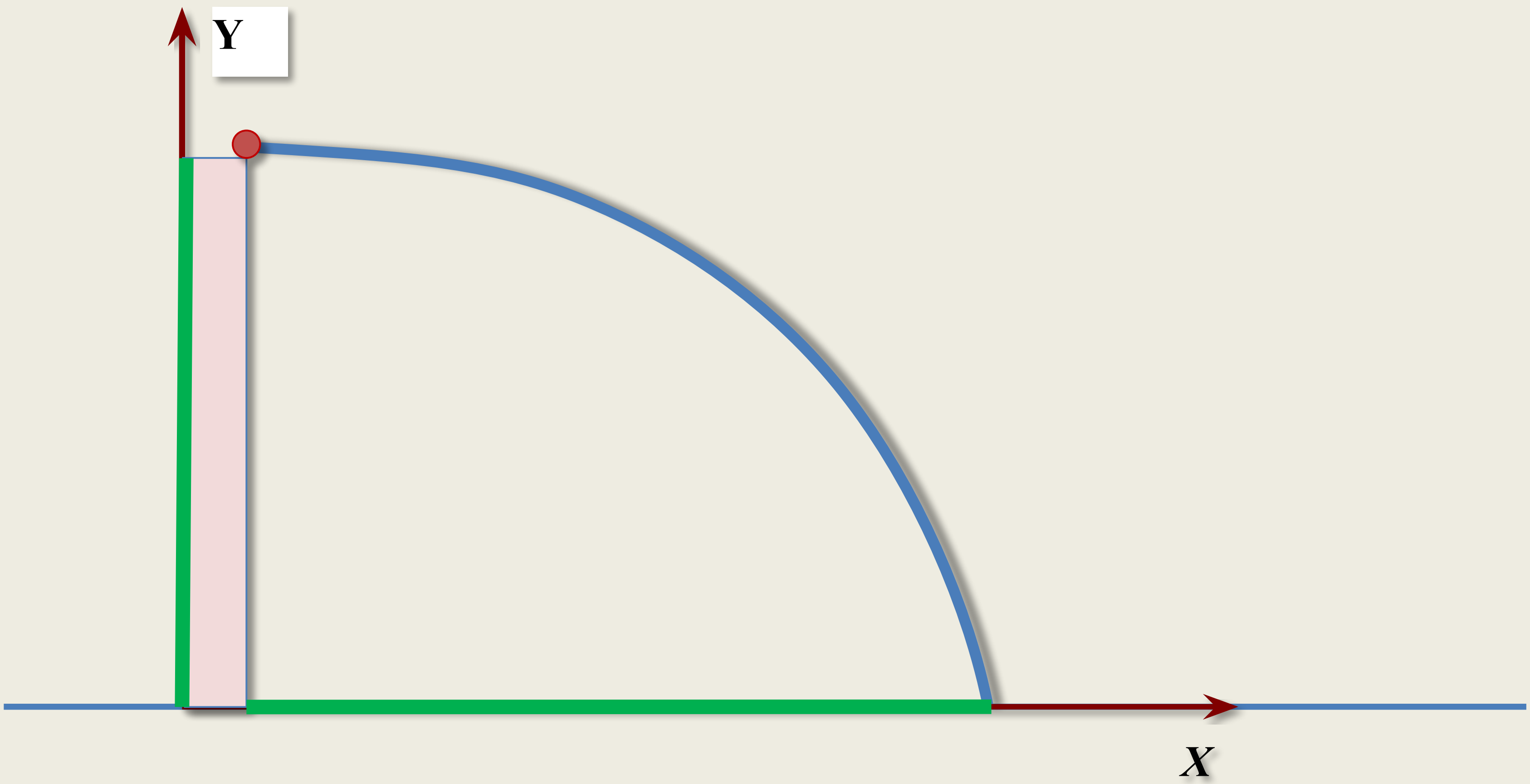
$$\left|\Delta\vec{r}_{13}\right| = \Delta r_{13} = \sqrt{(\Delta x_{13})^2 + (\Delta y_{13})^2}$$

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

СЛОЖЕНИЕ ДВИЖЕНИЙ

(принцип суперпозиции движений)

*Л*юбое сложное движение на плоскости можно представить как сумму двух прямолинейных независимых движений, например, вдоль осей X и Y

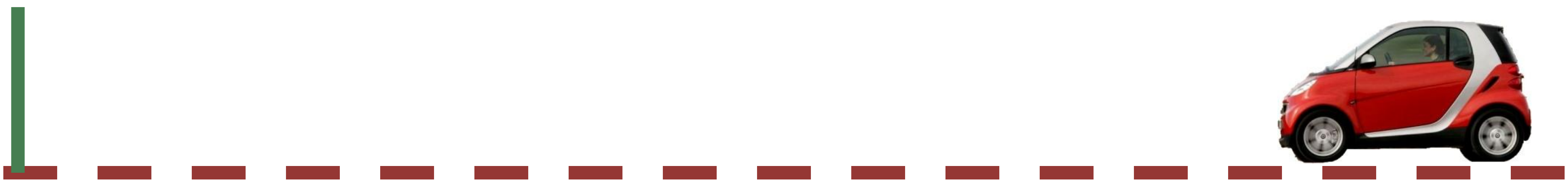


В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

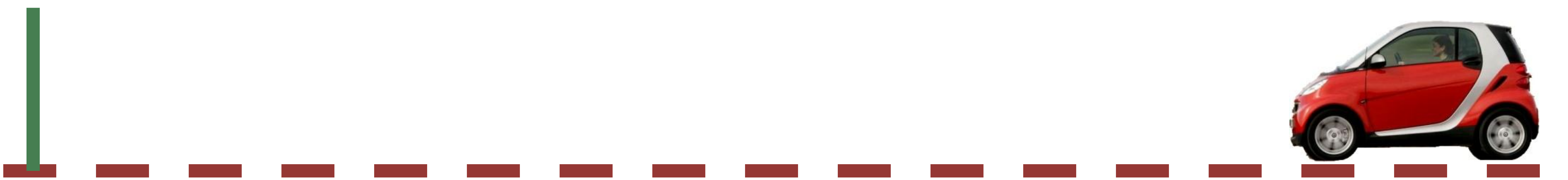
ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ
механического движения

Изменение системы отсчета меняет скорость, ускорение, траекторию движения.
Не меняются размеры тел.

НАБЛЮДАТЕЛЬ стоит НА ОБОЧИНЕ



НАБЛЮДАТЕЛЬ сидит В МАШИНЕ



В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

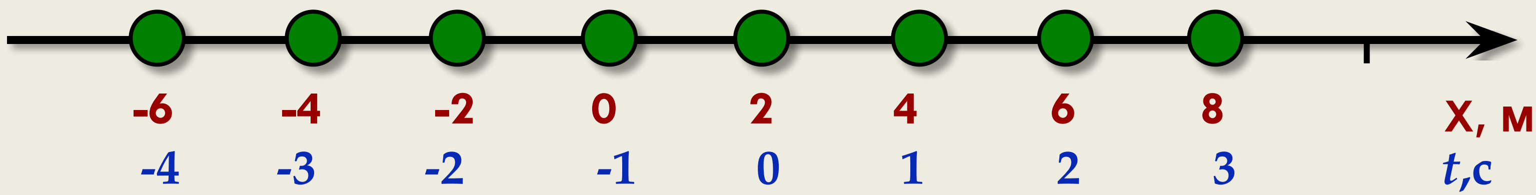
ПРИМЕРЫ ПРОСТЫХ ДВИЖЕНИЙ

Кинематические уравнения движения (законы движения) позволяют найти положение, движущейся материальной точки, в любой момент времени:

$$x = x(t), \quad y = y(t).$$

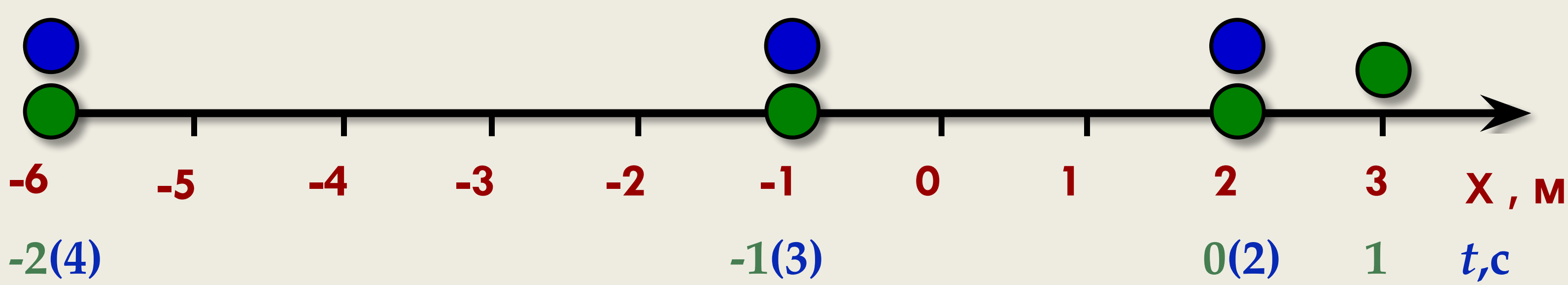
Примеры

1. $x(t) = 2 + 2t.$



Движение называется равномерное прямолинейное.

2. $x(t) = 2 + 2t - t^2.$



Движение называется равноускоренное прямолинейное.

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

СКОРОСТЬ

Математика

СРЕДНЕЙ СКОРОСТЬЮ изменения функции $f(t)$ называется отношение приращения функции $\Delta f = f_2 - f_1$ к приращению аргумента $\Delta t = t_2 - t_1$

$$v_{\text{ср}} = \frac{\Delta f}{\Delta t}.$$

Примеры

Средняя векторная скорость - $\vec{v}_{\text{ср}} = \dfrac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$

Средняя координатная скорость - $(v_x)_{\text{ср}} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} = \dfrac{x - x_0}{t}$

Средняя путевая скорость - $v_{\text{ср}} = \dfrac{\Delta S}{\Delta t}$

МГНОВЕННОЙ, ИСТИННОЙ СКОРОСТЬЮ изменения функции $f(t)$ называется предел, к которому стремится средняя скорость при $\Delta t \to 0$. Это скорость в заданный момент времени t:

$$v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta f}{\Delta t} = \frac{df}{dt} = f_t^{/}.$$

Таким образом, чтобы определить скорость изменения функции, нужно взять производную этой функции по времени.

Скорость определяет быстроту изменения функции.

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ

определяют быстроту движения.

При движении материальной точки радиус-вектор, координаты и путь становятся функциями от времени:

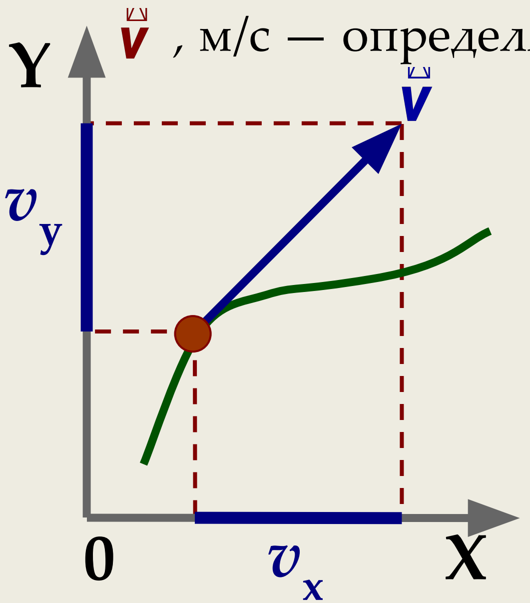
$$\vec{r} = \vec{r}(t), \quad \{x = x(t), \quad y = y(t)\}, \quad S = S(t).$$

Поэтому, вводится три типа скоростей:

Векторная скорость ***(просто скорость)***

$\vec{v}$, м/с — определяет быстроту изменения радиус-вектора и равна

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{r}_t^{\,/}.$$



Вектор скорости направлен по касательной к траектории.

Координатные скорости

определяют быстроту изменения координат точки и являются проекциями векторной скорости на оси *X, Y*.

$$v_x = \frac{dx}{dt} = x_t^{/}, v_y = \frac{dy}{dt} = y_t^{/}.$$

Скалярная скорость v , м/с — это скорость изменения пути *S*: $v = \frac{dS}{dt} = S_t^{/}.$

Из теоремы Пифагора

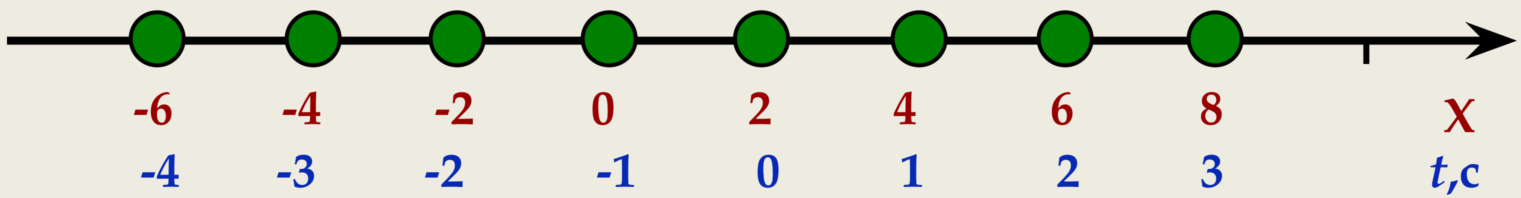
$$|\vec{v}(t)| = v(t) = \sqrt{v_x^{\,2} + v_y^{\,2}}.$$

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

СКОРОСТЬ. ПРИМЕРЫ

1. Равномерное прямолинейное движение.

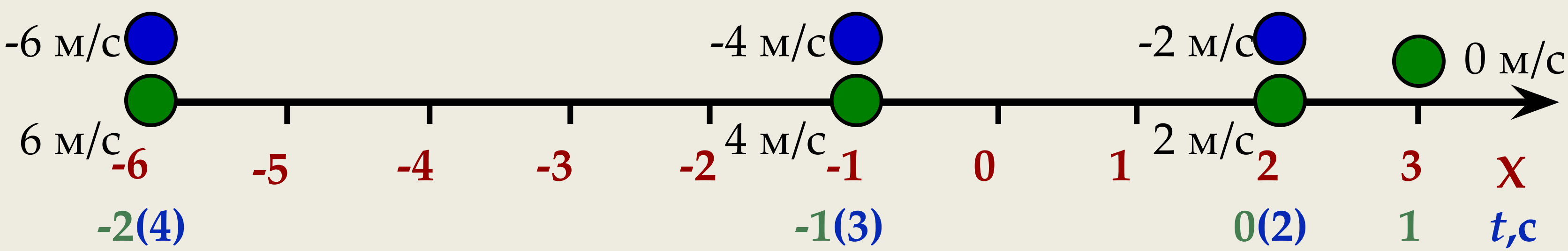
$$x(t) = 2 + 2t.$$



$$v_x = x'_t = \left(2 + 2t\right)'_t = 2 \text{ м/с}.$$

2. Равнопеременное прямолинейное движение.

$$x(t) = 2 + 2t - t^2.$$



$$v_x = x'_t = \left(2 + 2t - t^2\right)'_t = 2 - 2t \text{ м/с}.$$

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

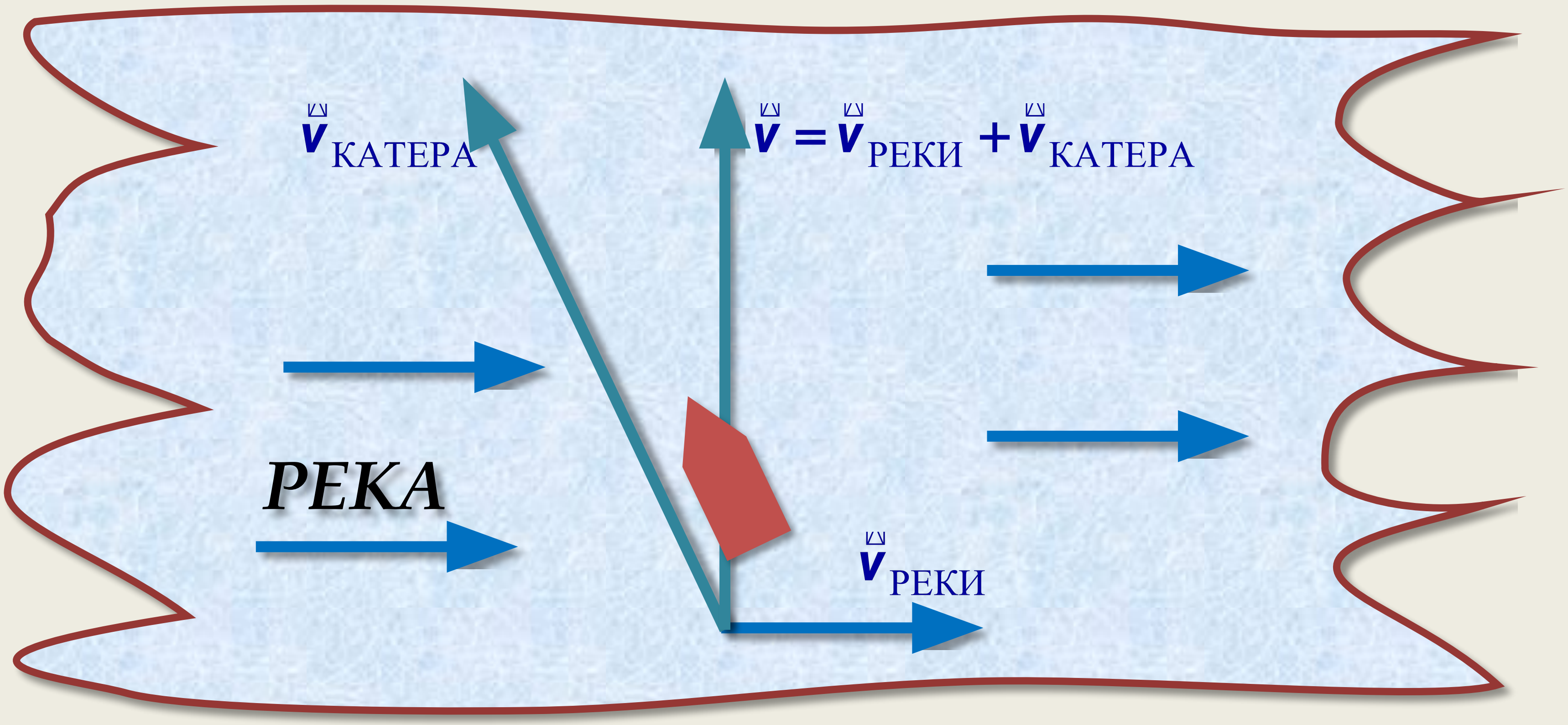
СЛОЖЕНИЕ СКОРОСТЕЙ

Если тело в выбранной системе отсчета одновременно участвует в нескольких движениях со скоростями

$$\vec{v}_1, \vec{v}_2 \ldots \vec{v}_n,$$

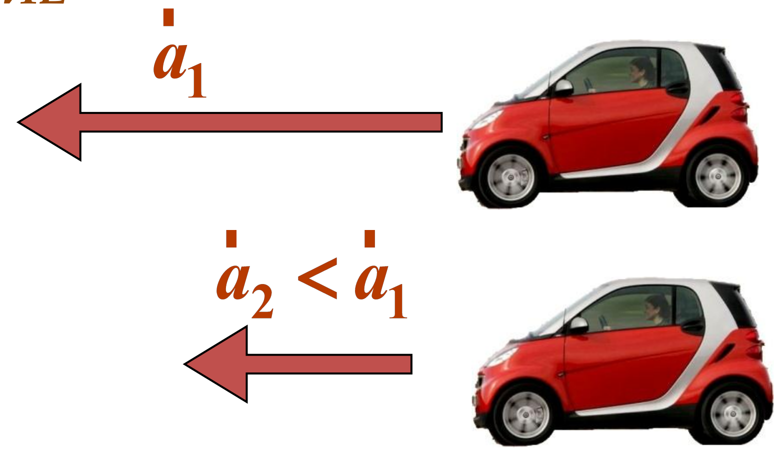
то его скорость равна векторной сумме этих скоростей:

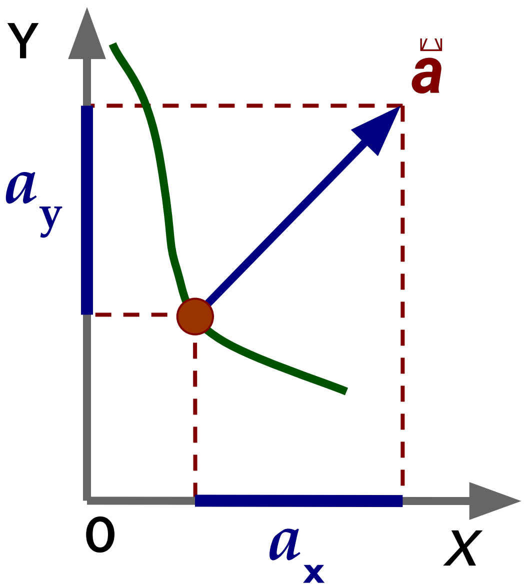
$$\vec{v} = \sum_{i=1}^{n} \vec{v}_i$$



В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

УСКОРЕНИЕ





$\vec{a}$, м/с^2 — определяет быстроту изменения скорости (скорость изменения скорости).

Среднее ускорение (схематично) $a_{ср} = \dfrac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$, м/с^2.

Векторное ускорение (*просто ускорение*) $\vec{a} = \dfrac{d\vec{\mathbf{v}}}{dt}$, м/с^2.

Проекции ускорения на оси координат: $a_x = \dfrac{d\mathbf{v}_x}{dt}$, $a_y = \dfrac{d\mathbf{v}_y}{dt}$.

Тангенциальное ускорение изменяет величину скорости $a_\tau = \dfrac{d\mathbf{v}}{dt}$.

По теореме Пифагора:

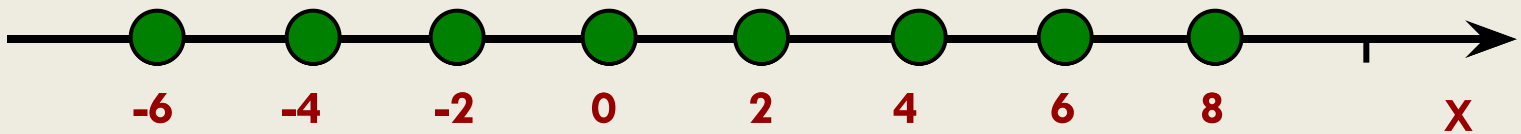
$$|\vec{a}| = a = \sqrt{a_x{}^2 + a_y{}^2}.$$

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

УСКОРЕНИЕ. ПРИМЕРЫ

1. Равномерное прямолинейное движение.

$$x(t) = 2 + 2t.$$

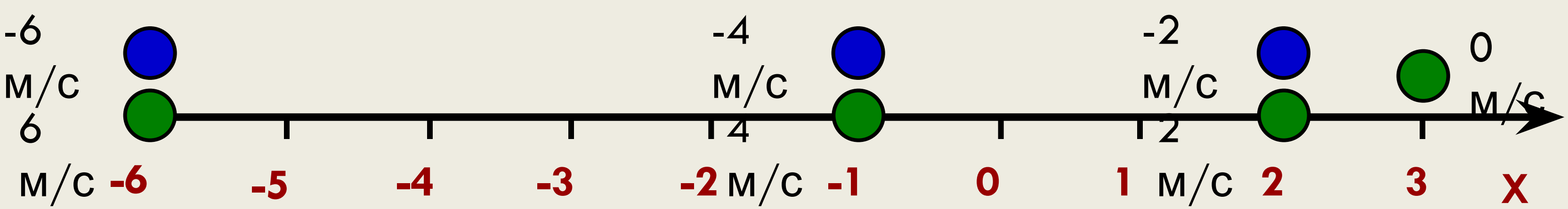


$$v_x = x'_t = \left(2 + 2t\right)'_t = 2 \text{ м/с}.$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \left(2\right)'_t = 0 \text{ м/с}^2.$$

2. Равноускоренное прямолинейное движение.

$$x(t) = 2 + 2t - t^2.$$

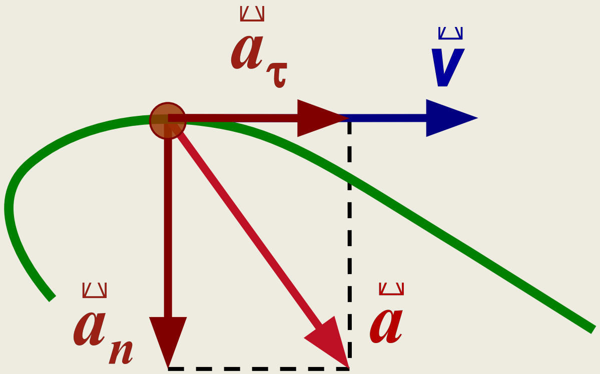


$$v_x = x'_t = \left(2 + 2t - t^2\right)'_t = 2 - 2t \text{ м/с}.$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \left(2 - 2t\right)'_t = -2 \text{ м/с}^2.$$

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

ТАНГЕНЦИАЛЬНАЯ И НОРМАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩИЕ УСКОРЕНИЯ



В общем случае, ускорение *a* может быть направлено под любым углом к скорости *v*.

Поэтому его удобно представить как векторную сумму двух ускорений:

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n; \quad |\vec{a}| = a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}.$$

$\vec{a}_\tau$ — тангенциальное ускорение — направлено по (против) скорости и определяет быстроту изменения модуля скорости материальной точки:

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = S''.$$

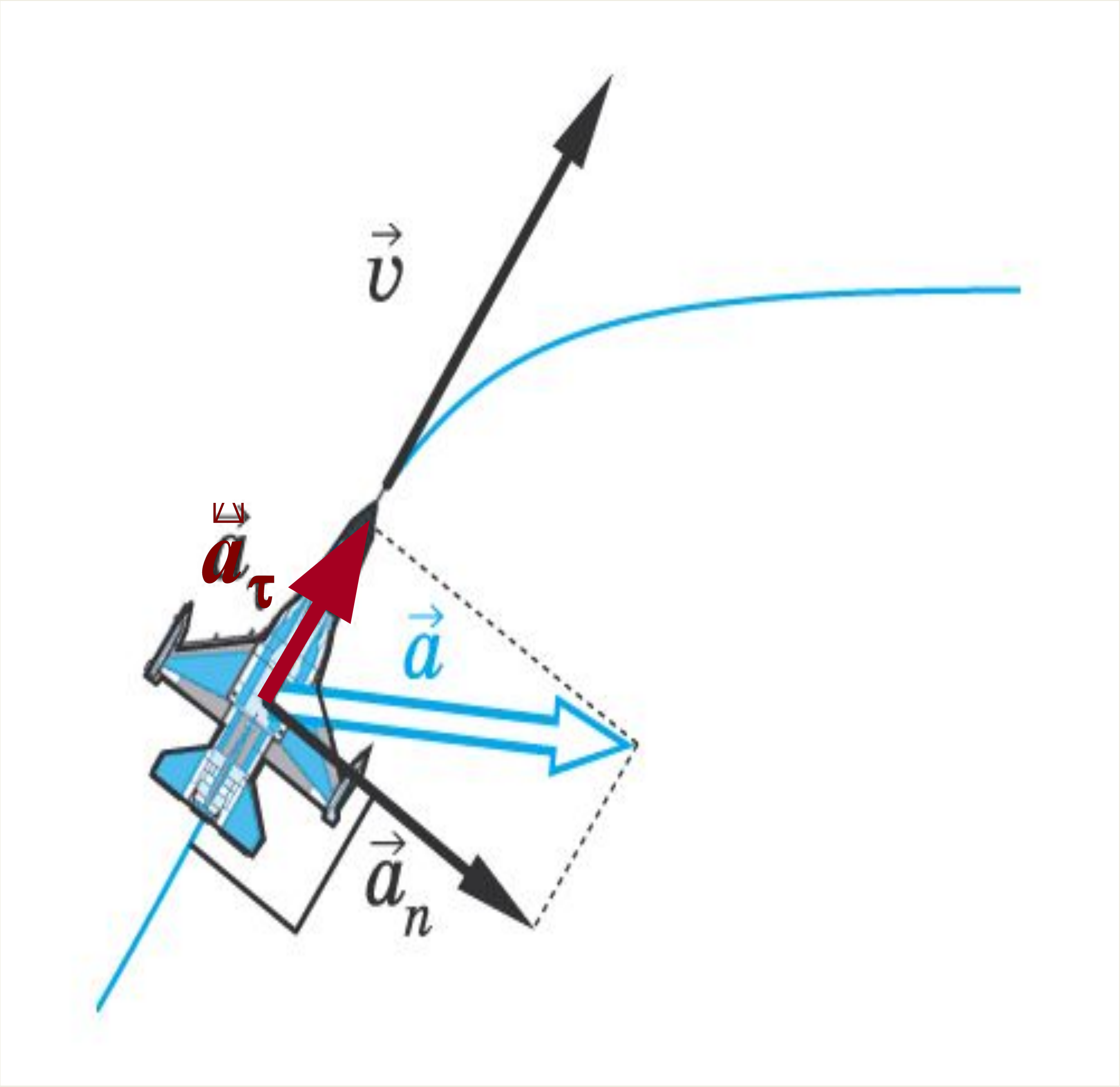
$\vec{a}_n$ — нормальное (центростремительное) ускорение направлено перпендикулярно скорости и определяет быстроту изменения направления скорости материальной точки:

$$a_n = v^2/R,$$

где R — радиус кривизны траектории (радиус окружности, по которой двигалась бы материальная точка при $a_\tau = 0$).

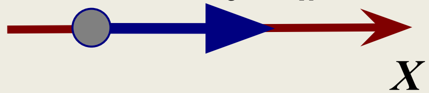
В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

САМОЛЕТ

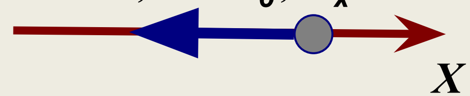


1.1.5. Равномерное прямолинейное движение

$\vec{a} = 0;\ \vec{v} = \vec{v}_0;\ v_x > 0$



$\vec{a} = 0;\ \vec{v} = \vec{v}_0;\ v_x < 0$



$$a_x = 0,$$

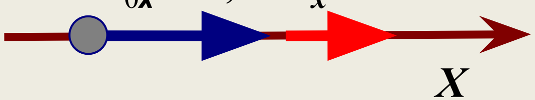
$$v_x(t) = v_{0x} = const, \qquad v_0 = |v_{0x}| = const,$$

$$x = x_0 + v_{0x} \cdot t, \qquad x = x_0 \pm v_0 \cdot t,$$

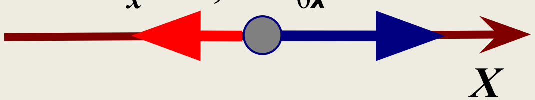
$$\Delta x = v_{0x} \cdot t, \qquad \Delta x = \pm v_0 \cdot t$$

1.1.6. Равноускоренное прямолинейное движение $a_x = const.$

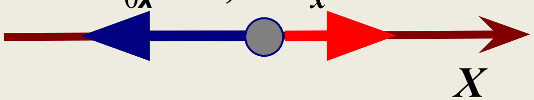
$\vec{v}_{0x} > 0;\ a_x > 0$



$a_x < 0;\ \vec{v}_{0x} > 0$



$\vec{v}_{0x} < 0;\ a_x > 0$



$$a_x = const,$$

$$v_x(t) = v_{0x} + a_x t,$$

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

$$2a_x \Delta x = v_x^2 - v_{0x}^2.$$

$$a = |a_x|,\ v_0 = |v_{0x}|;$$

$$v_x(t) = \pm v_0 \pm at;$$

$$x = x_0 \pm v_0 \cdot t \pm a \cdot t^2 / 2;$$

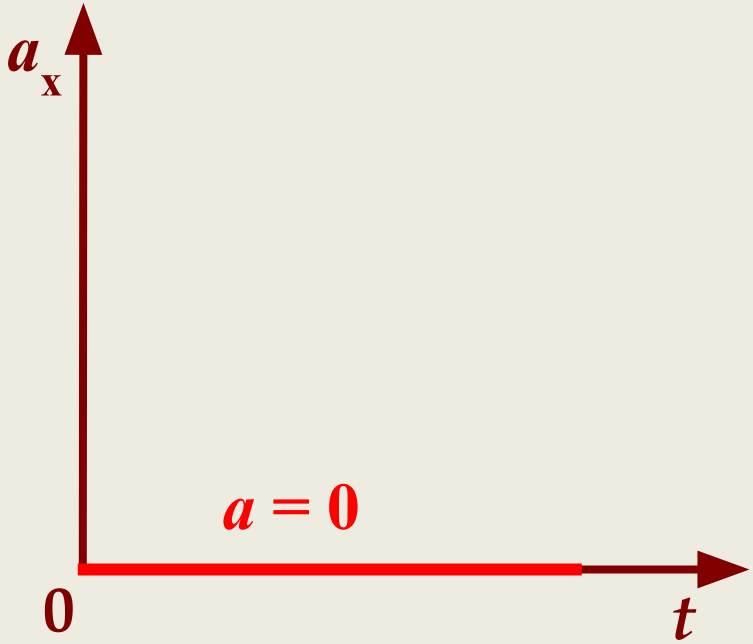
$$\pm 2a\Delta x = v^2 - v_0^2.$$

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

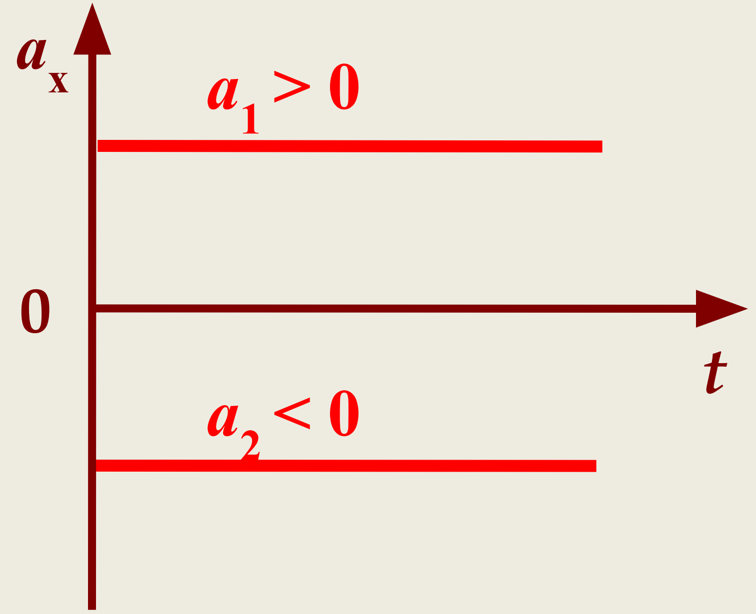
ГРАФИКИ

Графики ускорения

Равномерное движение



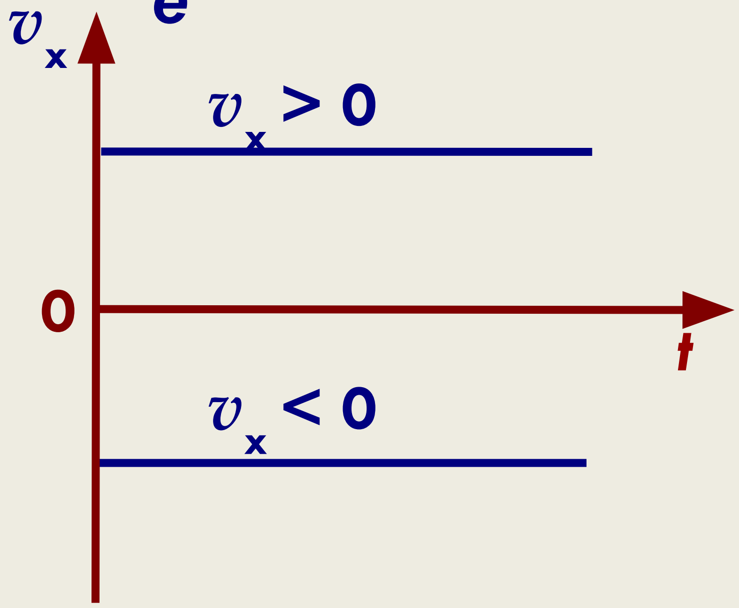
Равнопеременное



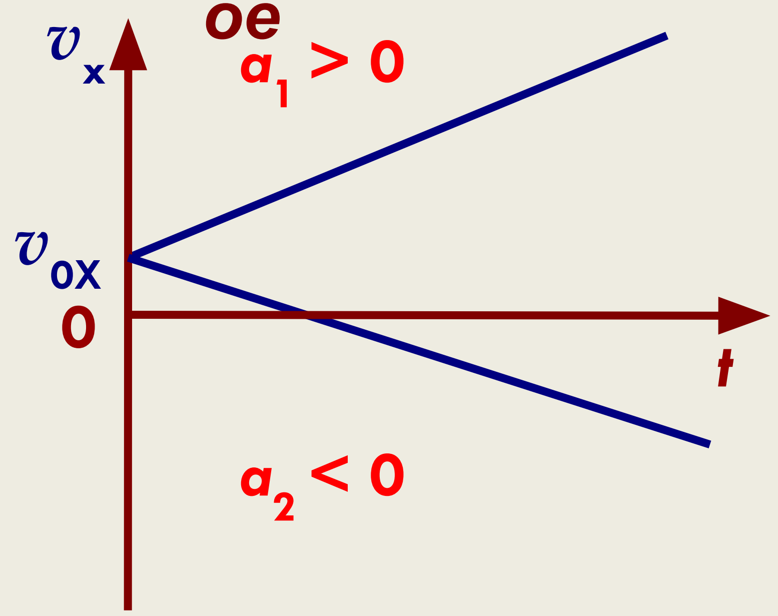
В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

Графики скорости

Равномерное



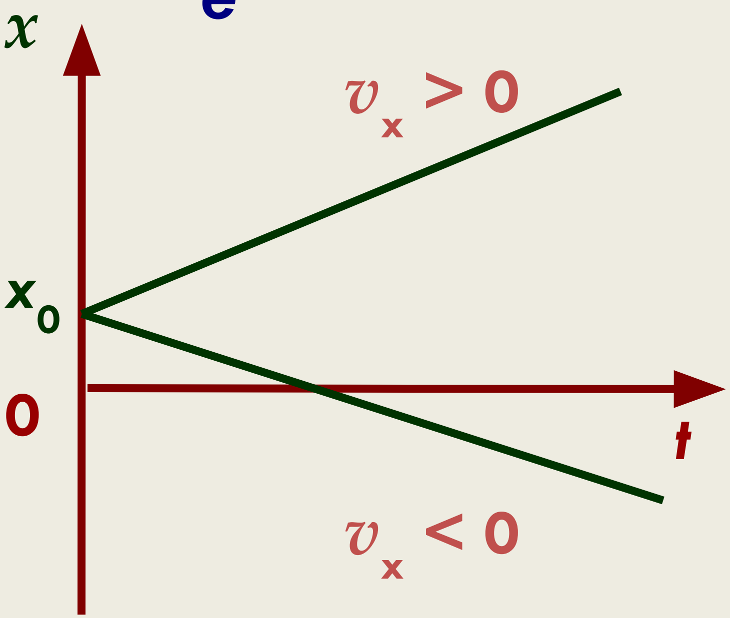
Равноускоренное



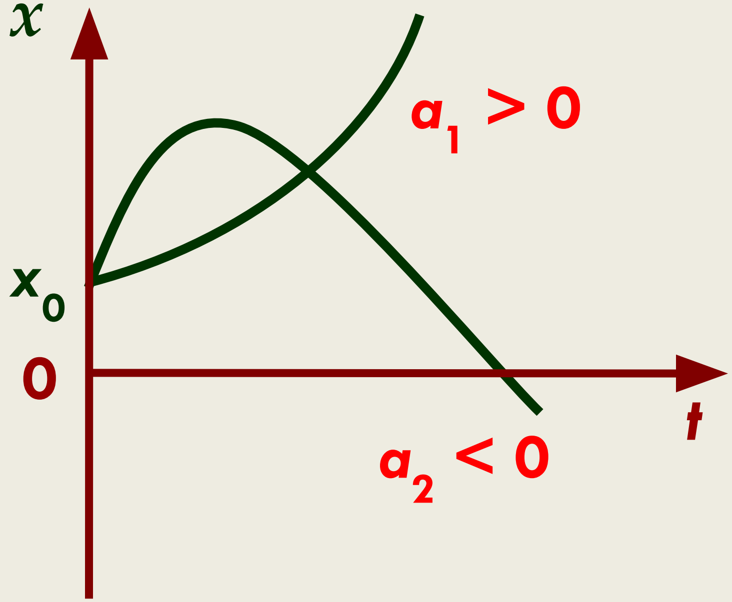
В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

Кинематические уравнения движения

Равномерное

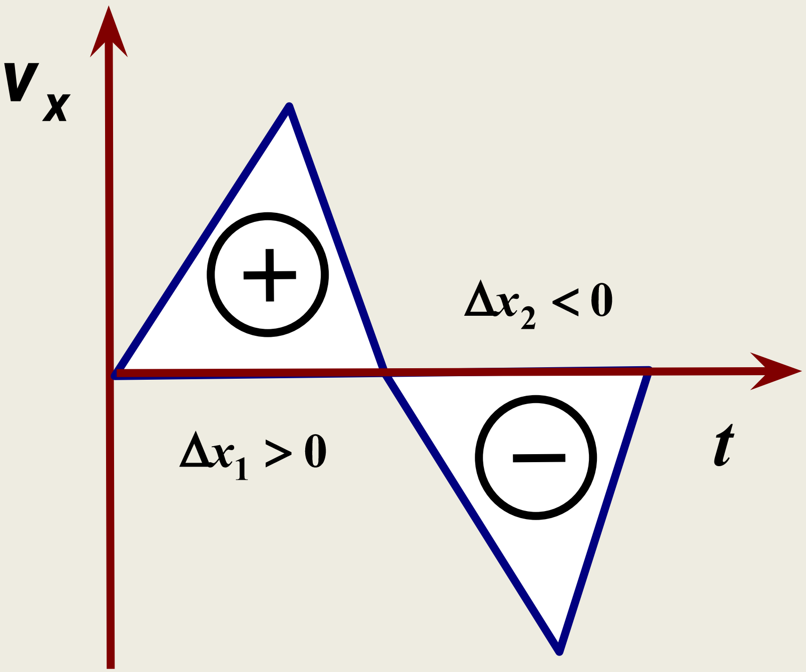


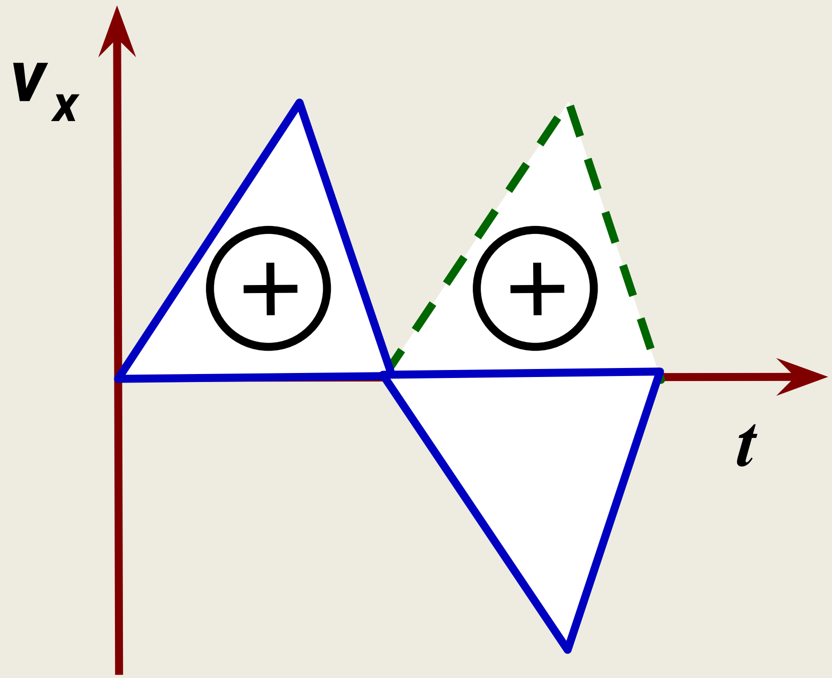
Равноускоренное



Вычисление пути и перемещения по площади

Площадь под графиком скорости — перемещение с соответствующим знаком.
Путь — сумма модулей всех перемещений.





$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 = 0$$

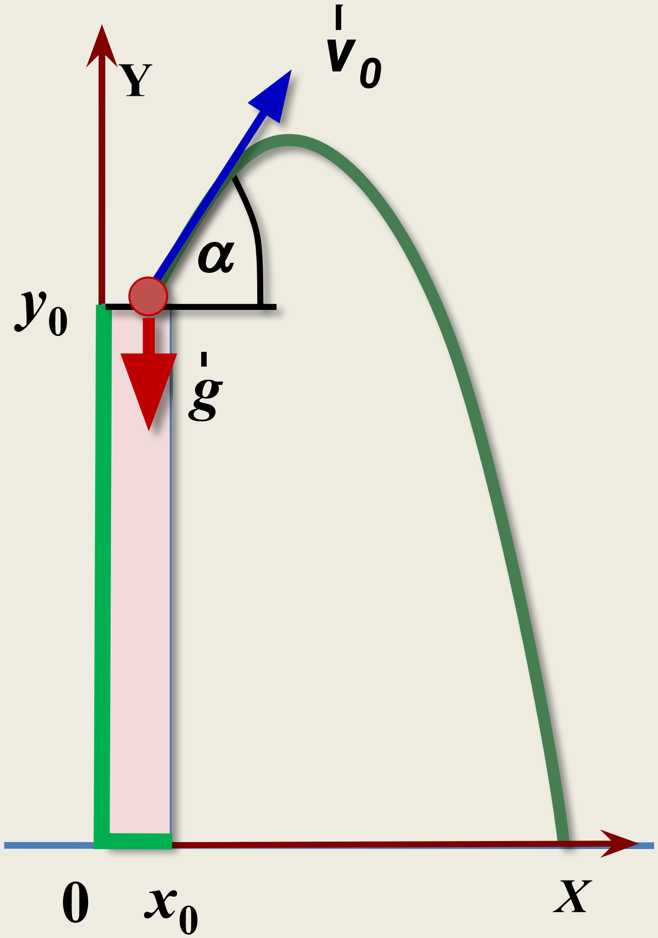
$$\Delta S = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| = 2|\Delta x|$$

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

1.1.7. Свободное падение

— равноускоренное движение тел под действием силы тяжести.

Все тела движутся с одинаковым ускорением — **ускорение свободного падения** $g = 9{,}8 = 10$ м/с^2.



Движение тел, брошенных под углом к горизонту — свободное падение.

Тело участвует в двух движениях.

Вдоль оси X тело движется равномерно:

$$\begin{cases} x(t) = x_0 + v_{0x} t = x_0 + v_0 \cos\alpha \cdot t \\ v_x(t) = v_{0x} = v_0 \cos\alpha \\ g_x = 0 \end{cases}$$

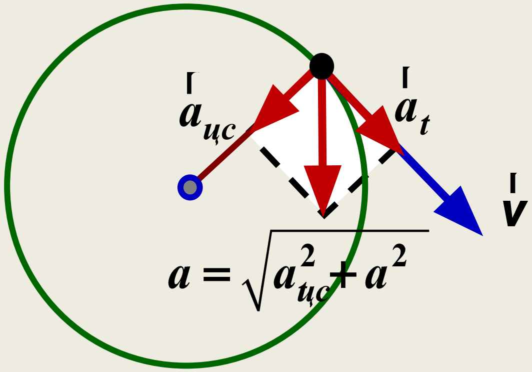
Вдоль оси Y — свободно падает:

$$\begin{cases} y(t) = y_0 + v_{0y} t + \dfrac{g_y t^2}{2} = y_0 + v_0 \sin\alpha \cdot t \pm \dfrac{gt^2}{2} \\ v_y(t) = v_{0y} + g_y t = v_0 \sin\alpha \pm gt \\ 2g_y \Delta y = v_y^2 - v_{0y}^2;\ \pm 2gh = (v_0 \sin\alpha)^2 - (v_0 \sin\alpha - gt)^2 \\ g_y = \pm g \end{cases}$$

$$\Delta r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2};\ v(t) = \sqrt{(v_x)^2 + (v_y)^2}$$

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

Движение точки по окружности — происходит за счет **центростремительного ускорения**, направленного перпендикулярно скорости, по радиусу к центру окружности.



φ (рад) — угол поворота.

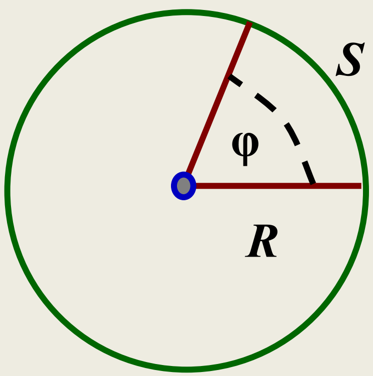
$\varphi = 2\pi \cdot N$, где N — число оборотов.

$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ (рад/с) — угловая скорость.

T(с) — период — время одного оборота. $T = t/N$.

ν (Гц, $с^{-1}$) — число оборотов за секунду.

$$\nu = N/t = 1/T; \quad \omega = 2\pi/T = 2\pi\nu.$$



$S = \varphi(\text{рад}) \cdot R$

Связь линейных и угловых переменных:

$$S = \varphi \cdot R, \quad v = \omega \cdot R.$$

Центростремительное ускорение :

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

Если $a_t = 0$, $a_{цс} \neq 0$, т.е. модуль скорости точки не меняется, то точка равномерно вращается.

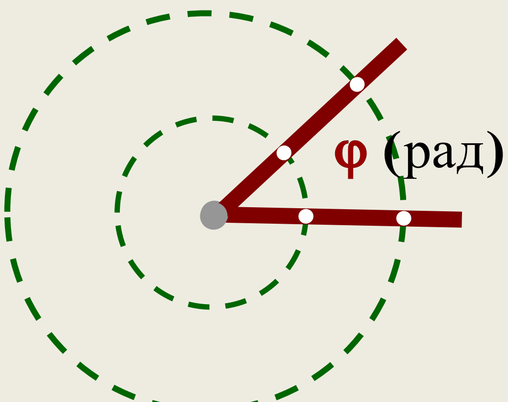
В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

Твердое тело

Твердое тело — не деформируется в процессе движения.

Любое движение твердого тела можно представить в виде комбинации *поступательного* и *вращательного* движений.

Поступательное движение — тело можно считать материальной точкой



При *вращательном* движении все точки движутся по концентрическим окружностям, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения.

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

КОНЕЦ КИНЕМАТИКИ