

Кинематика

Система отсчета

- Тело отсчета
- Система координат
- Часы

Физические модели

Материальная точка – это тело, геометрическими размерами которого в условиях задачи можно пренебречь и считать, что вся масса тела сосредоточена в геометрической точке.

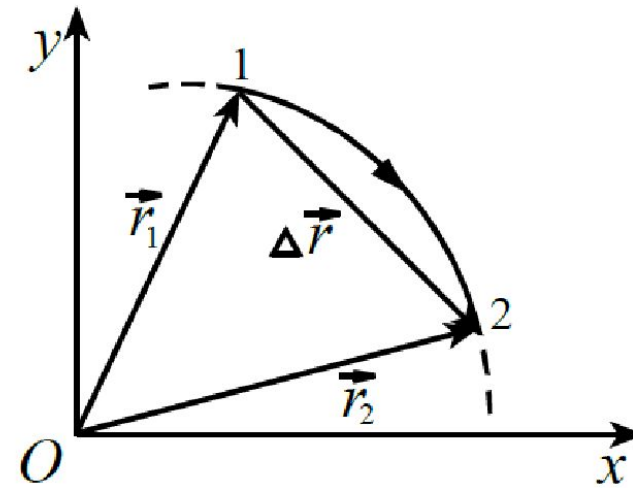
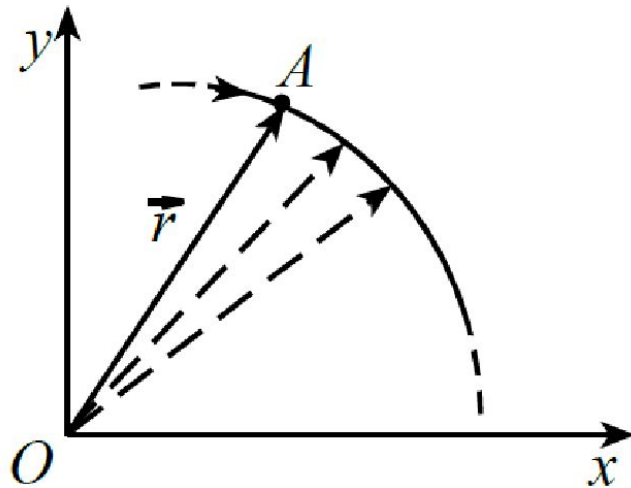
Абсолютно твёрдое тело (просто твёрдое тело) – это система, состоящая из совокупности материальных точек, расстояния между которыми в условиях задачи можно считать неизменными.

Часто в случаях, когда тело движется поступательно, не вращаясь, его можно считать материальной точкой независимо от размеров, формы и пройденного им пути.

Изменение физической величины

Способы описания движения

- Векторный способ:
 - Радиус-вектор $\vec{r} = \vec{r}(t)$ – вектор проведенный из точки O , соответствующей началу отсчета выбранной системы координат, в интересующую нас точку
 - Геометрическое место концов радиус-вектора – траектория точки A



Вектор $\Delta\vec{r}$, соединяющий начальное и конечное положения тела, называют перемещением тела.

Отношение $\Delta\vec{r}/\Delta t$ называют средней скоростью (средним вектором скорости) $\vec{v}_{\text{ср}}$ тела за время Δt :

$$\vec{v}_{\text{ср}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}. \quad (1)$$

Величина, к которой стремится отношение $\Delta\vec{r}/\Delta t$ при стремлении Δt к нулю, называется мгновенной скоростью \vec{v} :

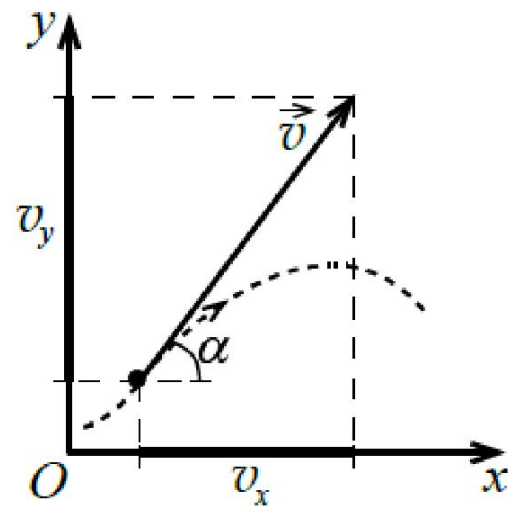
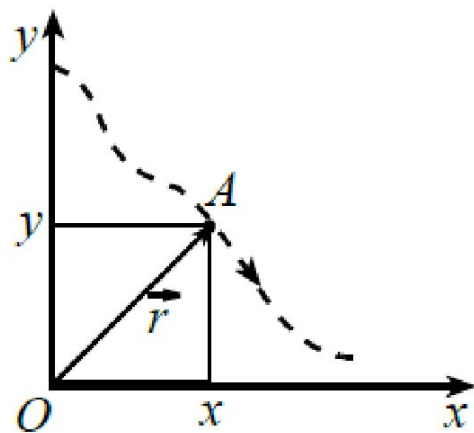
$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \text{ при } \Delta t \rightarrow 0.$$

вектор мгновенной скорости направлен по касательной к траектории в данной точке в сторону движения тела.

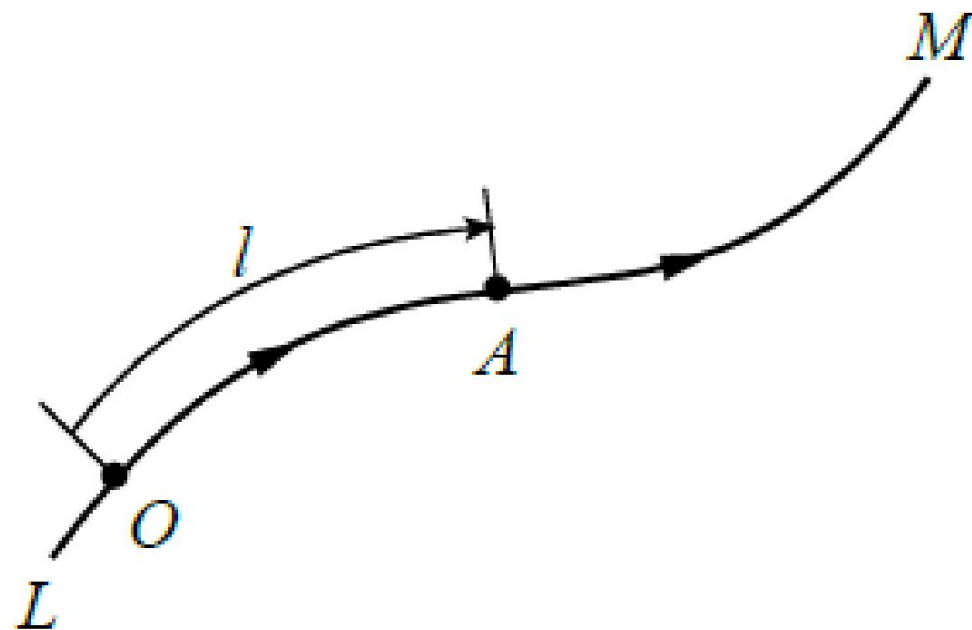
Ускорением \vec{a} тела называется величина, к которой стремится отношение $\Delta\vec{v} / \Delta t$ при стремлении к нулю знаменателя Δt :

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \text{ при } \Delta t \rightarrow 0. \quad (2)$$

Координатный способ



Естественный (или траекторный) способ



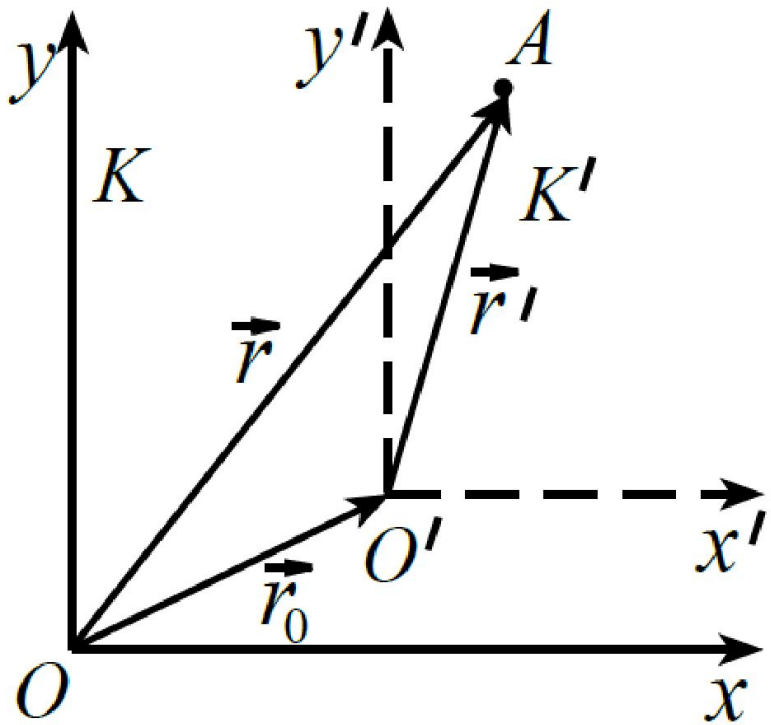
Движение тела определено, если известны его траектория, начало отсчёта O , положительное направление отсчёта дуговой координаты l и зависимость $l(t)$.

Средней путевой скоростью $v_{\text{ср}}$ тела называют отношение пути ΔS к промежутку времени Δt , в течение которого этот путь был пройден:

$$v_{\text{ср}} = \frac{\Delta S}{\Delta t}. \quad (3)$$

Пример 1. Городской троллейбус утром вышел на маршрут, а через 8 часов, проехав в общей сложности 72 км, возвратился в парк и занял своё обычное место на стоянке. Какова средняя скорость \vec{v}_{cp} и средняя путевая скорость v_{cp} троллейбуса?

Преобразование скорости и ускорения при переходе в другую систему отсчета



$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}'.$$

$$\vec{a} = \vec{a}_0 + \vec{a}'.$$

Пример 2. Два корабля движутся с постоянными скоростями \vec{v}_1 и \vec{v}_2 под углом α друг к другу (рис. 7). Найти скорость первого корабля относительно второго.

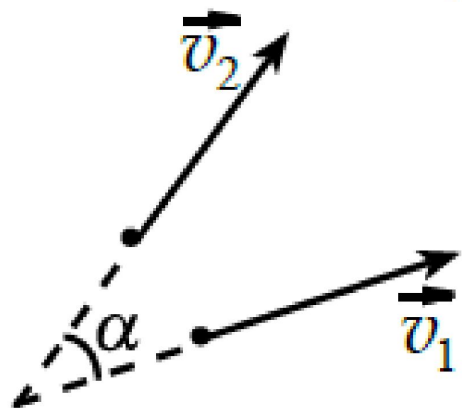
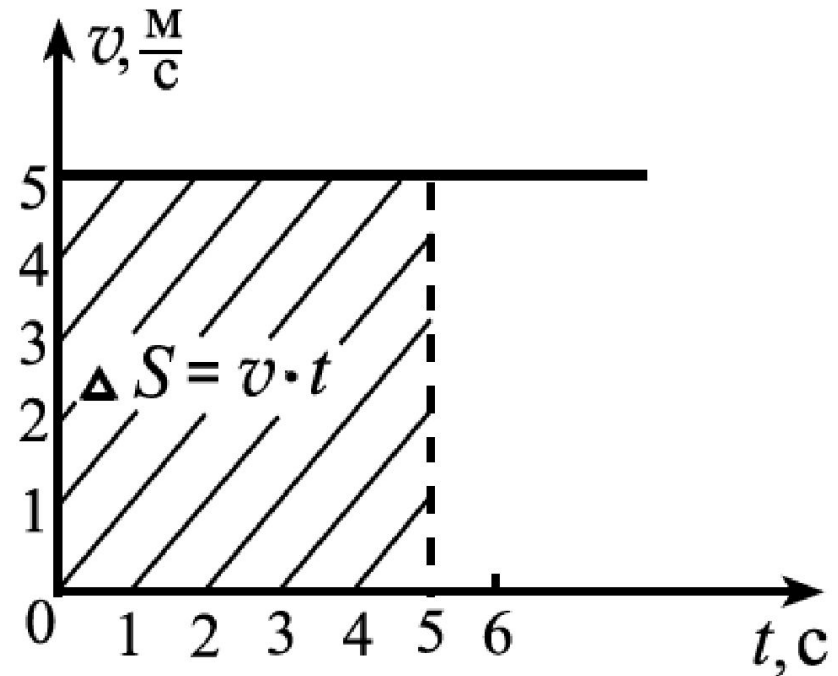
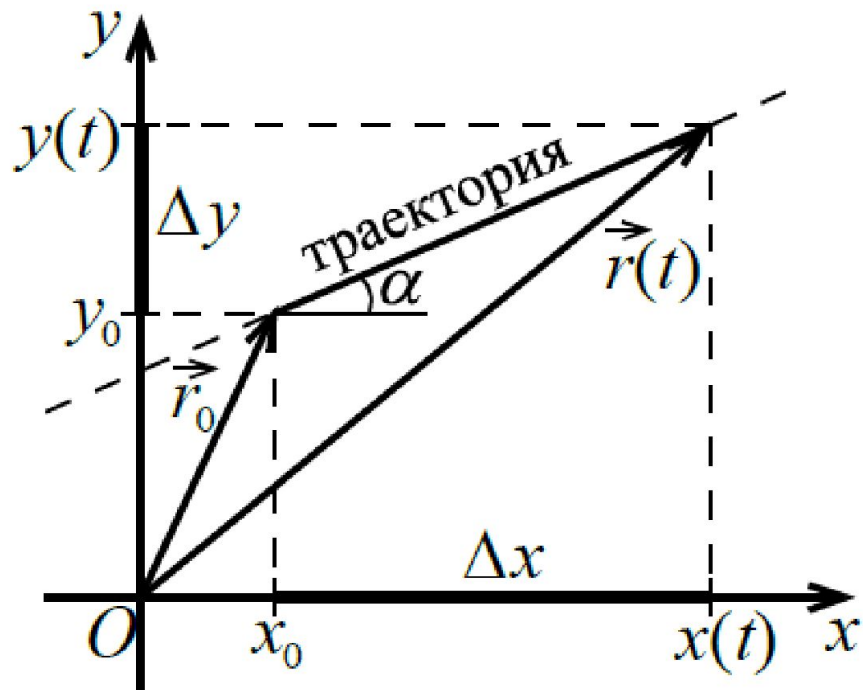


Рис. 7

Примеры движения тела

- РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ
$$\begin{cases} x(t) = x_0 + v_x t, \\ y(t) = y_0 + v_y t, \end{cases}$$



Пример 3. Равномерное прямолинейное движение тела на плоскости xOy описывается уравнениями: $x(t) = 6 + 3t$, $y(t) = 4t$ (величины измерены в СИ). Запишите уравнение траектории тела. Изобразите графически зависимость модуля вектора скорости от времени $v(t)$. Определите путь, пройденный телом в течение первых пяти секунд движения.

Пример 4. Координаты тела при равномерном прямолинейном движении на плоскости xOy за время $t = 2$ с изменились от начальных значений $x_0 = 5$ м, $y_0 = 7$ м до значений $x = -3$ м и $y = 1$ м. Найдите модуль скорости тела. Запишите уравнение траектории тела. Изобразите графически траекторию тела и направление вектора его скорости. Постройте графики зависимости координат тела от времени.

Неравномерное движение

* **Пример 5.** Любитель бега трусцой пробежал половину пути со скоростью $v_1 = 10$ км/ч. Затем половину оставшегося времени бежал со скоростью $v_2 = 8$ км/ч, а потом до конца пути шёл пешком со скоростью $v_3 = 4$ км/ч. Определить среднюю скорость движения бегуна.

Равнопеременное движение

3. Равнопеременное движение. Равнопеременным называется такое неравномерное движение, при котором скорость \vec{v} за любые равные промежутки времени Δt изменяется на одинаковую величину $\Delta\vec{v}$.

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}, \quad S = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}.$$

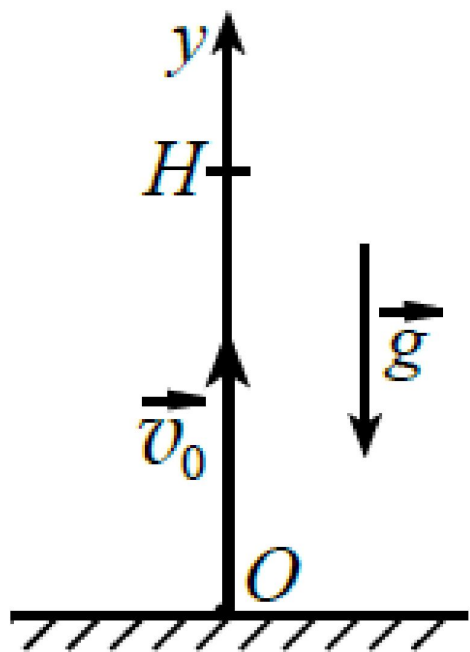
$$\begin{cases} v_x(t) = v_{0x} + a_x t, \\ v_y(t) = v_{0y} + a_y t. \end{cases}$$

(13)

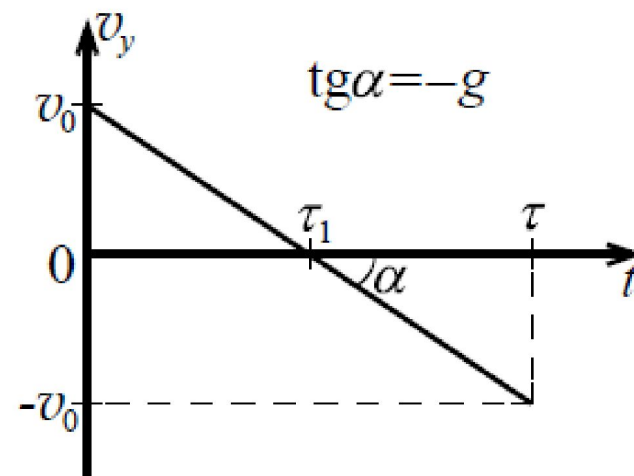
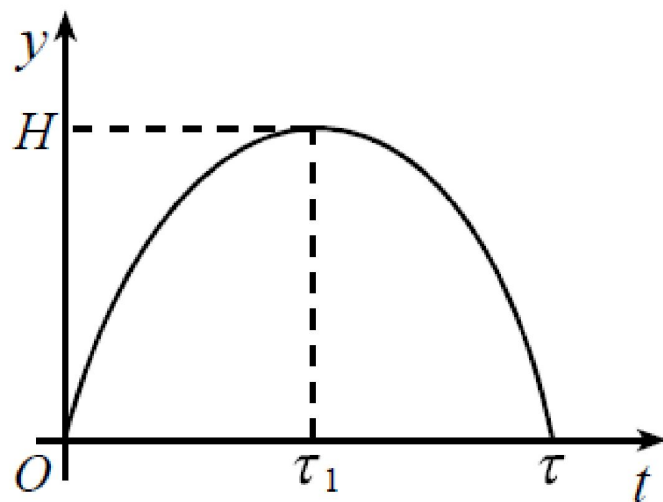
$$\begin{cases} x(t) = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}, \\ y(t) = y_0 + v_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2}, \end{cases}$$

Пример 6. За 2 с прямолинейного равноускоренного движения тело прошло 20 м, увеличив свою скорость в 3 раза. Определите конечную скорость тела. (ЕГЭ, 2005г., уровень *B*).

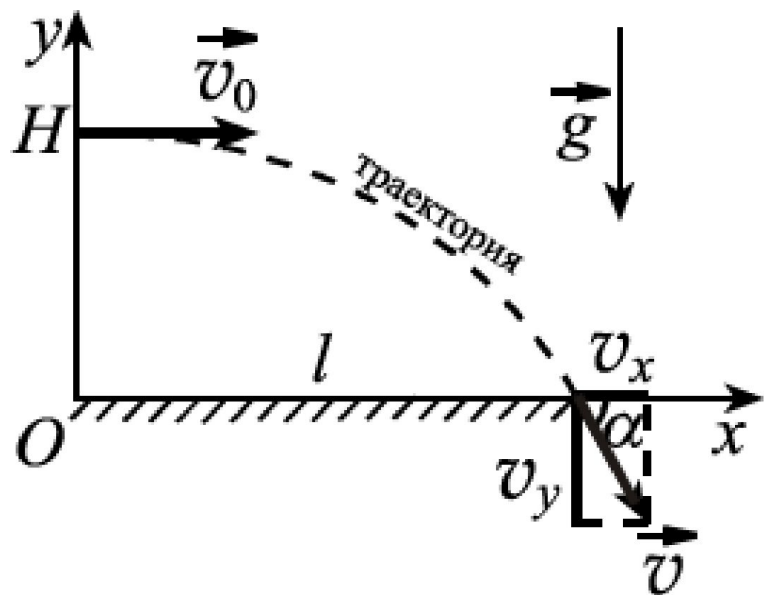
Движение тела, брошенного вертикально



$$v_y = v_0 - gt, \quad \tau = \frac{2v_0}{g}, \quad H = \frac{v_0^2}{2g}$$
$$y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$



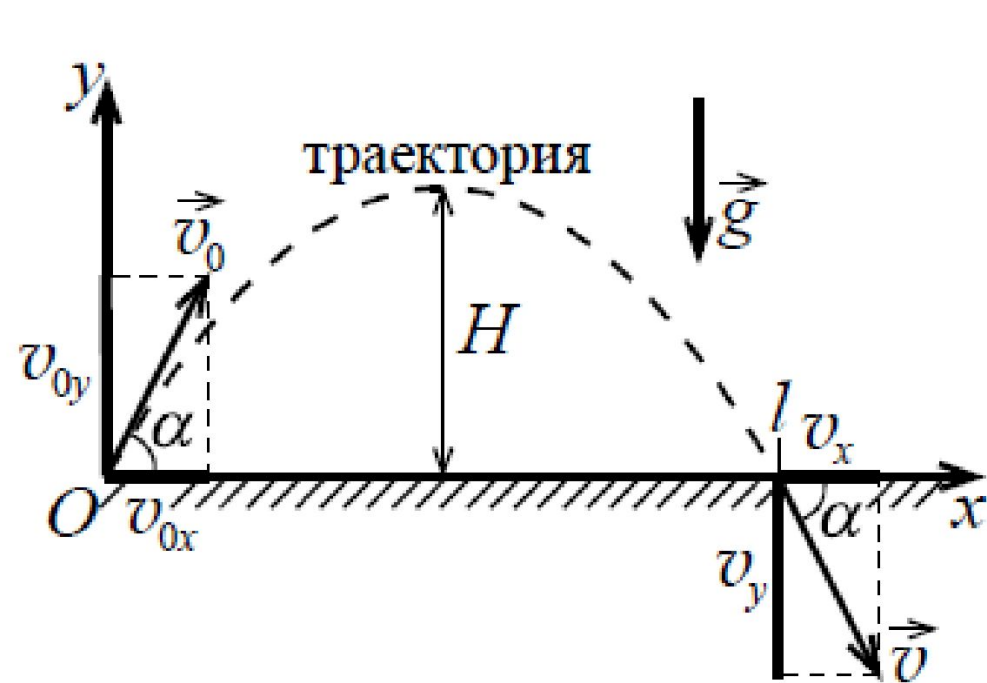
Движение тела, брошенного горизонтально



$$\begin{cases} v_x = v_0, \\ v_y = -gt, \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = v_0 t, \\ y = H - \frac{gt^2}{2}. \end{cases}$$

Движение тела, брошенного под углом к горизонту



$$\begin{cases} v_x = v_0 \cos \alpha, \\ v_y = v_0 \sin \alpha - gt \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = (v_0 \cos \alpha) t, \\ y = (v_0 \sin \alpha) t - \frac{gt^2}{2}. \end{cases}$$

$$y(x) = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + \operatorname{tg} \alpha x.$$

Задача 1. Два маленьких стальных шарика брошены одновременно из одной и той же точки с поверхности земли с начальными скоростями $v_{01} = 5 \text{ м/с}$ и $v_{02} = 8 \text{ м/с}$, направленными под углами $\alpha_1 = 80^\circ$ и $\alpha_2 = 20^\circ$ к горизонту соответственно. Чему равно расстояние между шариками, спустя время $t = \frac{1}{3} \text{ с}$ после броска?

* **Задача 2.** Два тела брошены вертикально вверх с поверхности земли из одной точки вслед друг за другом с интервалом времени τ , с одинаковыми начальными скоростями \vec{v}_0 . Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить, через сколько времени они «встретятся»? Прокомментируйте решение для $v_0 < g \frac{\tau}{2}$.

Задача 3. Мальчик, находясь на плоском склоне горы с углом наклона $\varphi = 30^\circ$, бросает камень в сторону подъёма горы, сообщив ему начальную скорость v_0 , направленную под углом $\beta = 60^\circ$ к горизонту. На каком расстоянии от мальчика упадёт камень? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Задача 4. Массивная платформа движется с постоянной скоростью \vec{V}_0 по горизонтальному полу. С заднего края платформы производится удар по мячу. Модуль начальной скорости мяча относительно платформы равен $u = 2V_0$, причём вектор \vec{u} составляет угол $\alpha = 60^\circ$ с горизонтом (рис. 23). На какую максимальную высоту над полом поднимется мяч? На каком расстоянии от края платформы будет находиться мяч в момент приземления. Высотой платформы и сопротивлением воздуха пренебречь. Все скорости лежат в одной вертикальной плоскости. (ФЗФТШ при МФТИ, 2009.)

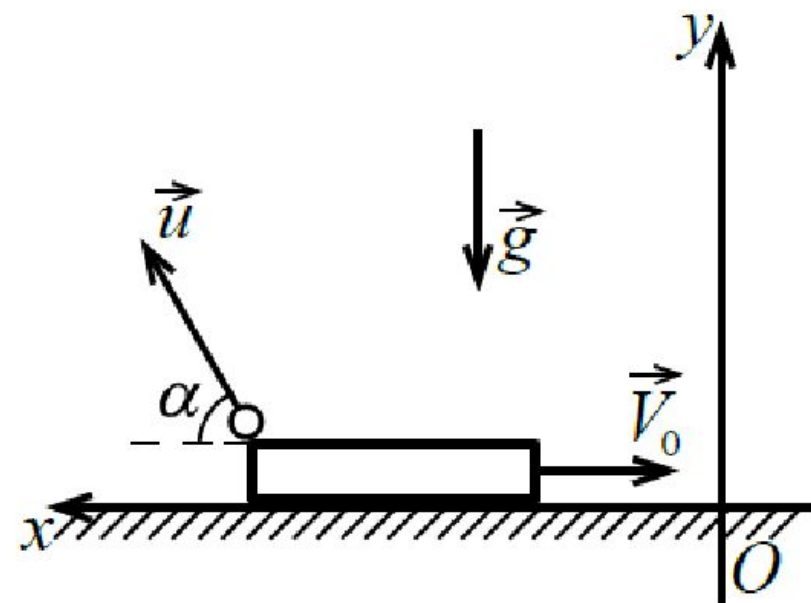


Рис. 23

2. Тело, двигаясь равноускоренно и прямолинейно из состояния покоя, прошло расстояние S за время τ . Какую скорость имело тело в тот момент, когда оно прошло расстояние S/n , где n – некоторое положительное число? (МИФИ, 2006 г.)

3. Тело падает без начальной скорости и достигает поверхности земли через 4 с. С какой высоты падало тело? Сопротивлением воздуха пренебречь. Выберите правильный вариант ответа и обоснуйте свой выбор:

1) 20 м; 2) 40 м; 3) 80 м; 4) 120 м; 5) 160 м.

(РГТУ им. К. Э. Циолковского (МАТИ), 2006 г.)

5. Из одной точки на высоте h от поверхности земли брошены с одинаковыми скоростями камень A вертикально вверх и камень B вертикально вниз. Известно, что камень A достиг верхней точки своей траектории одновременно с падением камня B на землю. Какой максимальной высоты (считая от поверхности земли) достиг камень A ? Сопротивление воздуха не учитывать.
(МФТИ, 1997 г.)

7. Тело брошено горизонтально. Через 3 с после броска угол между направлением полной скорости и направлением полного ускорения стал равным 60° . Определите величину полной скорости тела в этот момент времени. Сопротивлением воздуха пренебречь. (РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2006 г.)

Указание. Под полной скоростью и полным ускорением понимайте просто скорость и ускорение тела.

8. Снаряд разорвался на несколько осколков, полетевших во все стороны с одинаковыми скоростями. Осколок, полетевший вертикально вниз, достиг земли за время t_1 . Осколок, полетевший вертикально вверх, упал на землю через время t_2 . Сколько времени падали осколки, полетевшие горизонтально? Сопротивление воздуха не учитывать. (МФТИ, 1997 г.)

11. С какой скоростью v_0 должен вылететь снаряд из пушки в момент старта ракеты, чтобы сбить её? Ракета стартует вертикально с постоянным ускорением $a = 4 \text{ м/с}^2$. Расстояние от пушки до места старта ракеты (они находятся на одном горизонтальном уровне) равно $l = 9 \text{ км}$. Пушка стреляет под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту. Сопротивлением воздуха пренебречь.

КР

4. Камень, брошенный с поверхности земли вертикально вверх, упал на землю через $T = 2\text{ с}$. Определите путь S , пройденный камнем за время $\tau = 1,5\text{ с}$ после броска. Сопротивлением воздуха пренебречь. Ускорение свободного падения принять равным $g = 10\text{ м/с}^2$. (МИЭТ, 2006 г.)

9. Камень, брошенный под углом к горизонту, достиг наибольшей высоты 5 м . Найдите полное время полёта камня. Сопротивлением воздуха пренебречь. (РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2006 г.)

10. Камень, брошенный с поверхности земли под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, дважды побывал на одной и той же высоте h спустя время $t_1 = 3\text{ с}$ и $t_2 = 5\text{ с}$ после начала движения. Найдите начальную скорость камня v_0 . Ускорение свободного падения принять равным $g = 10\text{ м/с}^2$. Сопротивлением воздуха пренебречь. (Институт криптографии, связи и информатики Академии ФСБ РФ, 2006 г.)

3. Тело падает без начальной скорости и достигает поверхности земли через 4 с. С какой высоты падало тело? Сопротивлением воздуха пренебречь. Выберите правильный вариант ответа и обоснуйте свой выбор:

1) 20 м; 2) 40 м; 3) 80 м; 4) 120 м; 5) 160 м.

(РГТУ им. К. Э. Циолковского (МАТИ), 2006 г.)

3. Тело падает без начальной скорости и достигает поверхности земли через 4 с. С какой высоты падало тело? Сопротивлением воздуха пренебречь. Выберите правильный вариант ответа и обоснуйте свой выбор:

1) 20 м; 2) 40 м; 3) 80 м; 4) 120 м; 5) 160 м.

(РГТУ им. К. Э. Циолковского (МАТИ), 2006 г.)

4. Камень, брошенный с поверхности земли вертикально вверх, упал на землю через $T = 2$ с. Определите путь S , пройденный камнем за время $\tau = 1,5$ с после броска. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ускорение свободного падения принять равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. (МИЭТ, 2006 г.)

9. Камень, брошенный под углом к горизонту, достиг наибольшей высоты 5 м. Найдите полное время полёта камня. Сопротивлением воздуха пренебречь. (РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2006 г.)

10. Камень, брошенный с поверхности земли под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, дважды побывал на одной и той же высоте h спустя время $t_1 = 3$ с и $t_2 = 5$ с после начала движения. Найдите начальную скорость камня v_0 . Ускорение свободного падения принять равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. Сопротивлением воздуха пренебречь. (Институт криптографии, связи и информатики Академии ФСБ РФ, 2006 г.)