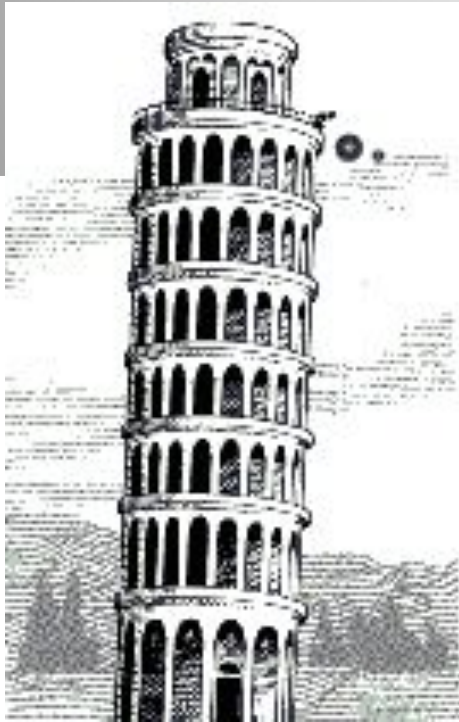


# СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛ.

## ДВИЖЕНИЕ С УСКОРЕНИЕМ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ



## ВСПОМНИМ ИЗУЧЕННОЕ

Какое движение называется равноускоренным ?

Определение ускорения.  
Физический смысл ускорения.

Формула проекции скорости при равноускоренном движении

Формула проекции перемещения при равноускоренном движении

Формула координаты при равноускоренном движении



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

$$v_y = v_{0y} + a_y t$$

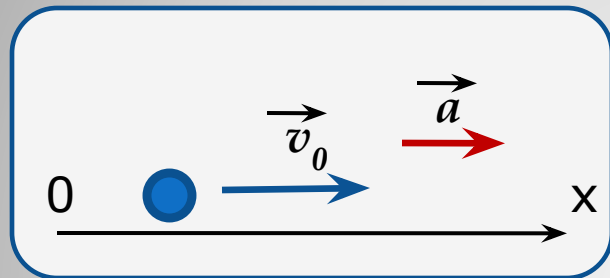
$$s_x = v_{0x} t + a_x t^2 / 2$$

$$s_y = v_{0y} t + a_y t^2 / 2$$

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

$$y = y_0 + v_{0y} t + a_y t^2 / 2$$

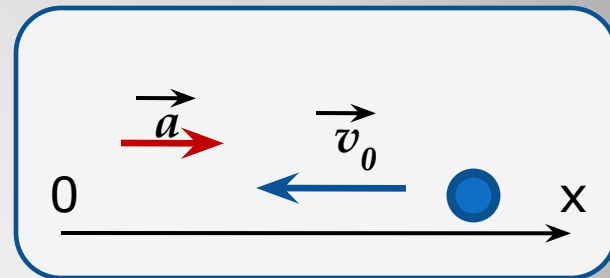
Определите характер движения, пользуясь рисунком и запишите формулы для расчета  $v$  и  $s$



равноускоренное

$$v = v_0 + at$$

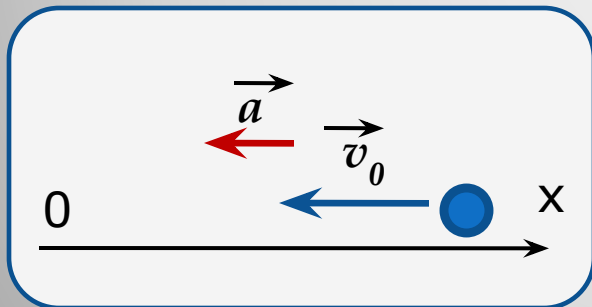
$$s = v_0 t + at^2/2$$



равнозамедленное

$$-v = -v_0 + at$$

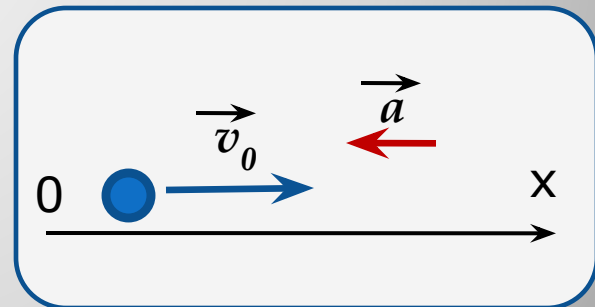
$$-s = -v_0 t + at^2/2$$



равноускоренное

$$-v = -v_0 - at$$

$$-s = -v_0 t - at^2/2$$

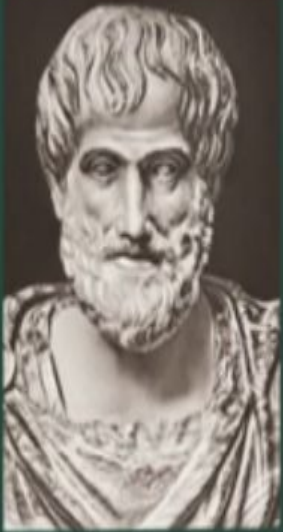


равнозамедленное

$$v = v_0 - at$$

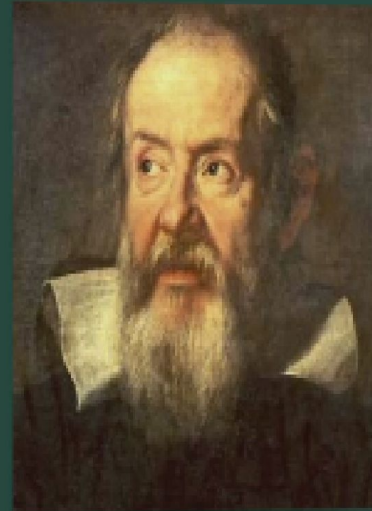
$$s = v_0 t - at^2/2$$

- Как тела разной массы падают на землю?



*Аристотель*  
(384 до н.э. – 322 до н.э.)

*Древнегреческий философ,  
создавший систему, включающую  
социологию, философию,  
политику, физику, логику.*



*Галилео Галилей*  
(1564 – 1642)

*итальянский механик,  
астроном, философ  
и математик*

**Утверждал, что чем тяжелее  
тело, тем быстрее оно упадет ■**

**Утверждал, что в безвоздушном  
пространстве тела упадут  
одновременно.  
Сила тяжести сообщает всем телам  
одинаковое ускорение.  
Тела в каждый момент времени  
одинаково изменяют свою скорость.**

## *Свободное падение тел*



*Галилей обнаружил, что шары одинакового диаметра, изготовленные из дерева, золота, слоновой кости, скатываются по наклонному желобу с одинаковыми ускорениями.*

*Итак, ускорения не зависят от массы шаров!*

## Свободное падение тел

В стеклянной трубке дроби́нка и перышко.



При наличии воздуха  
в трубке сначала падает  
дробинка, затем перышко.



При откачанном воздухе  
дробинка и перышко  
падают одновременно



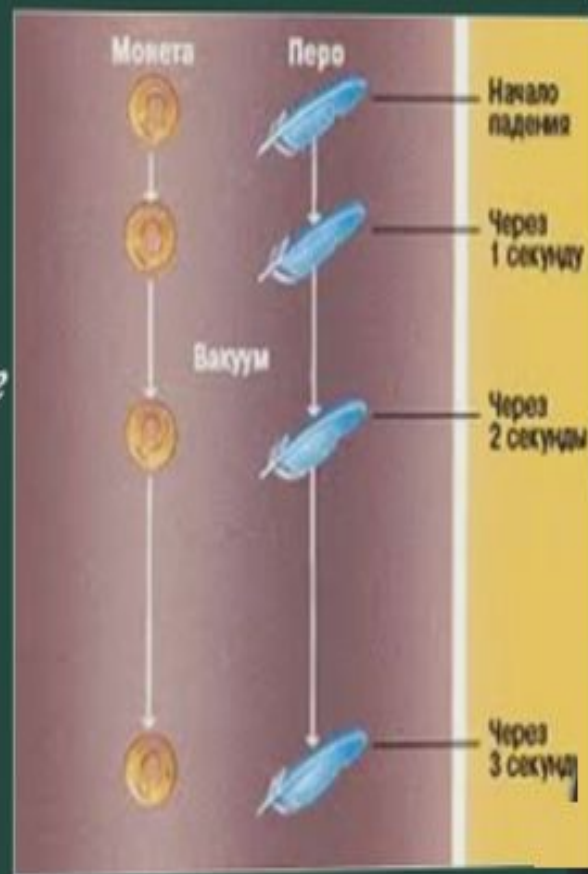
## Свободное падение тел

Почему заблуждался Аристотель и как Галилей устранил его заблуждения?

Аристотель заблуждался, т.к. на движение тел на поверхности Земли влияет воздух.

Галилей исключил влияние воздуха. Он установил, что сила тяжести сообщает всем телам одинаковое ускорение. Поэтому в любой момент времени тела будут иметь одинаковую скорость.

А при движении в воздухе на тела действует, кроме силы тяжести, еще сила сопротивления воздуха и архимедова сила.



## *Свободное падение тел*

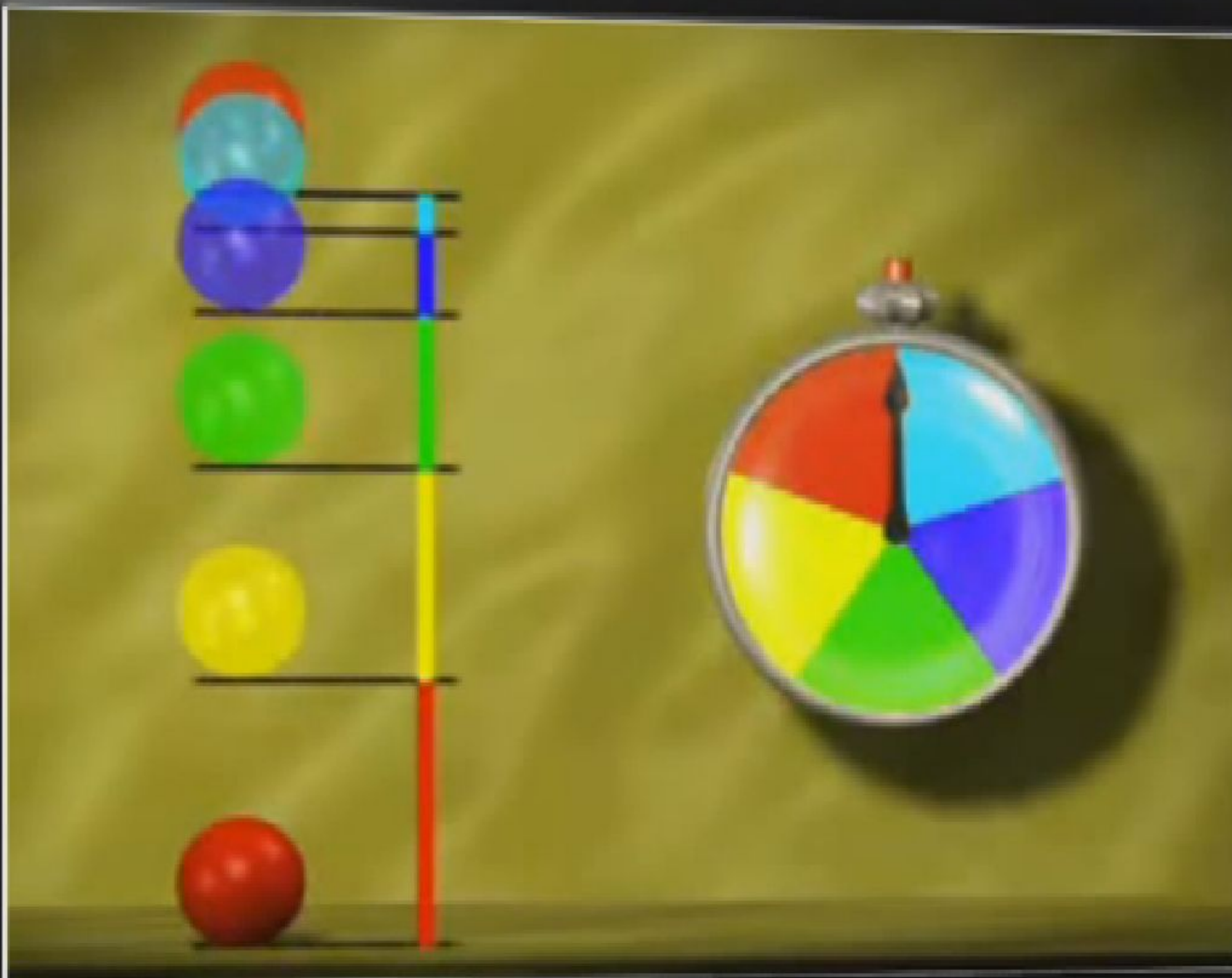
*Свободное падение – движение тела в безвоздушном пространстве под действием только силы тяжести.*

*Свободное падение – равноускоренное движение. Ускорение свободного падения не зависит от массы тела, постоянно в данной точке Земли и направленно к центру Земли.*

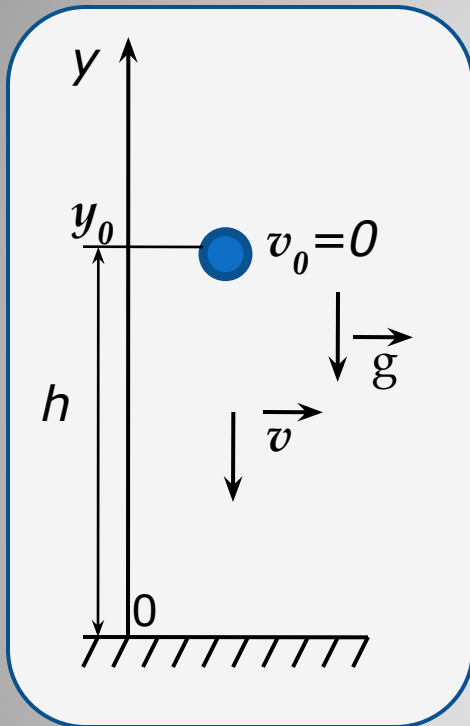
*Ускорение свободного падения обозначают буквой  $g$  (gravitas -тяжесть).*



# Свободное падение тел.



# 1. Свободное падение тел



Свободное падение

Анализируем рисунок

$$\mathbf{a=g, \quad s=h, \quad v_y=-v}$$
$$\mathbf{v_0=0, \quad g_y=-g, \quad y_0=h}$$

Работаем с формулами

$$\mathbf{v_y = v_{0y} + g_y t}$$
$$\mathbf{-v = 0 - gt}$$

$$\mathbf{v = gt}$$

$$\mathbf{h = gt^2/2}$$

$$\mathbf{y = h - gt^2/2}$$

$$\mathbf{s_y = v_{0y} t + g_y t^2/2}$$
$$\mathbf{-h = -g_y t^2/2}$$
$$\mathbf{y = y_0 + v_{0y} t + g_y t^2/2}$$

Равноускоренное движение

$$\mathbf{v_x = v_{0x} + a_x t}$$

$$\mathbf{v_y = v_{0y} + a_y t}$$

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

$$\mathbf{s_y = v_{0y} t + a_y t^2/2}$$

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

$$\mathbf{y = y_0 + v_{0y} t + a_y t^2/2}$$

## Свободное падение тел

Характеристики свободного падения:

1) ускорение свободного падения;

$$g \approx 9,8 \frac{M}{c^2}$$

2) мгновенная скорость;

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t \rightarrow \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$$

3) перемещение;

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$$

$$\vec{s} = \frac{\vec{v}^2 - \vec{v}_0^2}{2\vec{a}}$$

$$\vec{h} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g}t^2}{2}$$

$$\vec{h} = \frac{\vec{v}^2 - \vec{v}_0^2}{2\vec{g}}$$

4) координата.

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

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

уравнение движения

## Свободное падение тел

Характеристики свободного падения:

1) ускорение свободного падения;

$$g \approx 9,8 \frac{M}{c^2}$$

2) мгновенная  
скорость;

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$$

3) перемещение;

$$\vec{h} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g}t^2}{2}$$

$$\vec{h} = \frac{\vec{v}^2 - \vec{v}_0^2}{2\vec{g}}$$

4) координата.

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

уравнение движения

## Графическое представление свободного падения

График  $a_y(t)$   
(ось ОУ направлена)

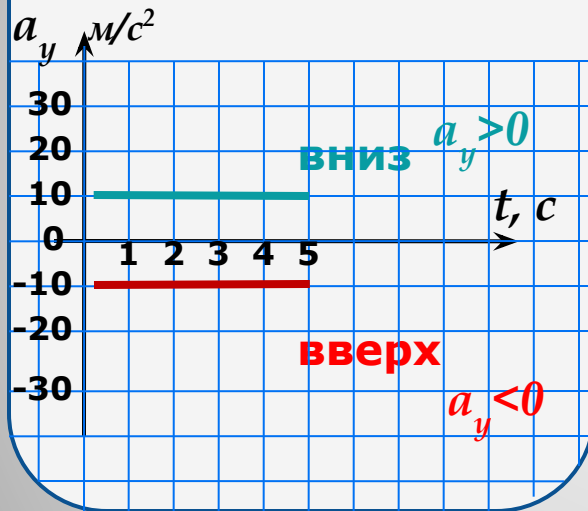
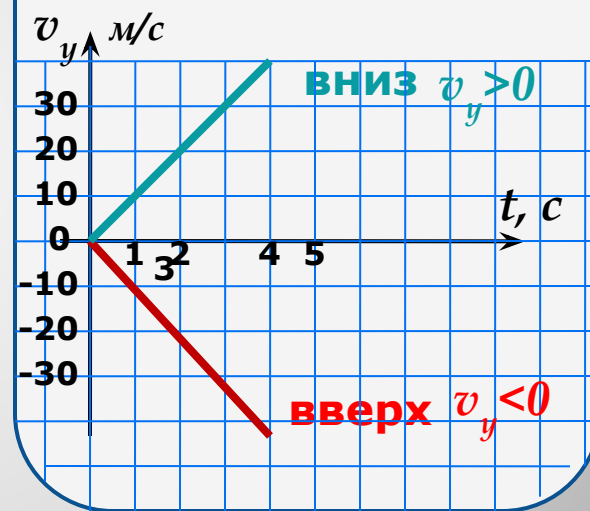


График  $v_y(t)$   
(ось ОУ направлена)



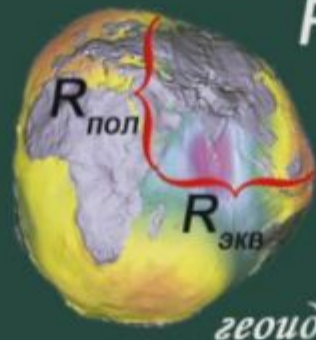


## Свободное падение тел

Ускорение свободного падения несколько изменяется в зависимости от географической широты места на поверхности Земли.

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

$G$  - гравитационная постоянная;  
 $R$  - радиус планеты;  
 $M$  - масса планеты.

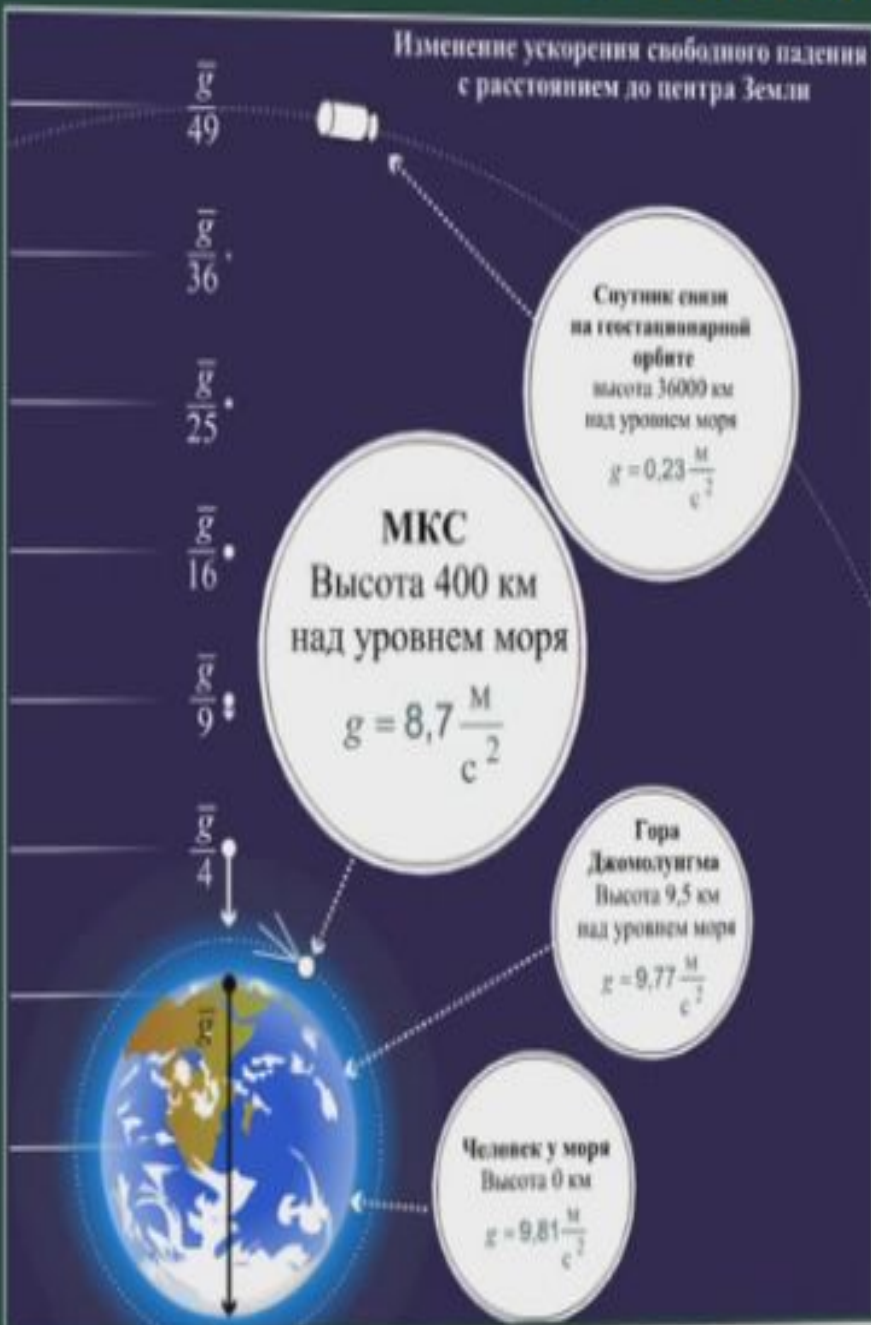


$$R_{\text{экв}} > R_{\text{пол}}$$

$$g_{\text{экв}} \approx 9,78 \frac{M}{c^2}$$

$$g_{\text{пол}} \approx 9,83 \frac{M}{c^2}$$

# Свободное падение тел



*На разной высоте от поверхности Земли ускорение свободного падения различно.*

$$g = G \frac{M}{(R + h)^2}$$

*$h$  - высота от поверхности Земли.*

## *Свободное падение тел*

*Ускорение свободного падения зависит от плотности пород, залегающих в недрах Земли. В районах, где залегают породы, плотность которых больше средней плотности Земли (напр., железная руда),  $g$  больше. А там, где имеются залежи нефти или газа,  $g$  меньше.*

*Этим пользуются геологи при поиске полезных ископаемых.*



*Курская магнитная аномалия*



## Свободное падение тел

*При наличии воздуха падающие тела имеют ускорение, равное  $g$ , только в начальный момент движения. По мере увеличения скорости ускорение уменьшается, движение тела стремится к равномерному.*

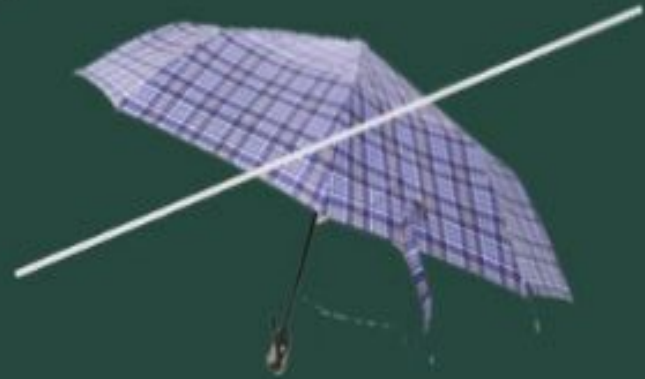
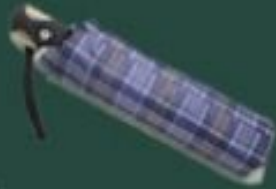


**Затяжной прыжок с высоты 4 км. Время свободного падения 12 с**

## Свободное падение тел

Для того, чтобы движение тела в воздухе на Земле считать свободным падением необходимо использовать тела:

1) обтекаемой формы;



2) плотность, которых намного больше плотности воздуха.

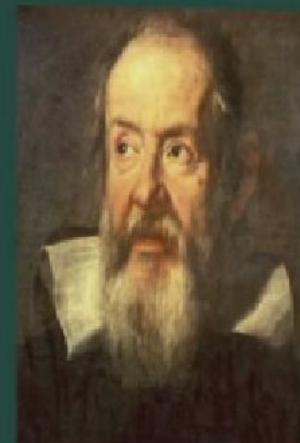
$$mg \gg F_A$$
$$\rho_T Vg \gg \rho_B Vg$$
$$\rho_T \gg \rho_B$$





## Свободное падение тел

*Свободное падение* – движение тела в вакууме под действием только силы тяжести.



Галилео Галилей

1) ускорение свободного падения;

$$g \approx 9,8 \frac{M}{c^2}$$

2) мгновенная скорость;

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$$

3) перемещение;

$$\vec{h} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g}t^2}{2}$$

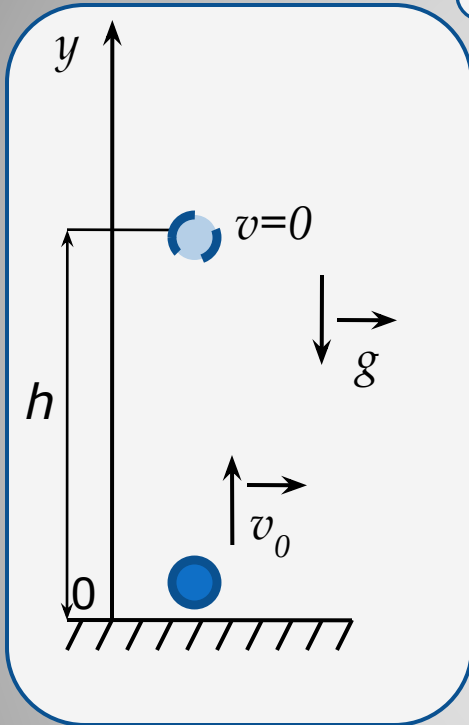
$$\vec{h} = \frac{\vec{v}^2 - \vec{v}_0^2}{2\vec{g}}$$

4) координата.

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2} \quad \text{уравнение движения}$$

**Повторяем!**

## 2. Движение тела, брошенного вертикально



Тело брошено вертикально вверх

Анализируем рисунок  
 $a=g$ ,  $s=h$ ,  $y_0=0$ ,  
 $v_{0y}=v_0$ ,  $g_y=-g$ ,  $y=h$

Работаем с формулами

$$v_y = v_{0y} + g_y t \quad v = v_0 - gt$$

Равноускоренное движение

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

$$v_y = v_{0y} + a_y t$$

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

$$s_y = v_{0y} t + a_y t^2 / 2$$

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

$$y = y_0 + v_{0y} t + a_y t^2 / 2$$

Важно помнить: в верхней точке  $v=0$ , и

$$0 = v_0 - gt$$

$$v_0 = gt$$

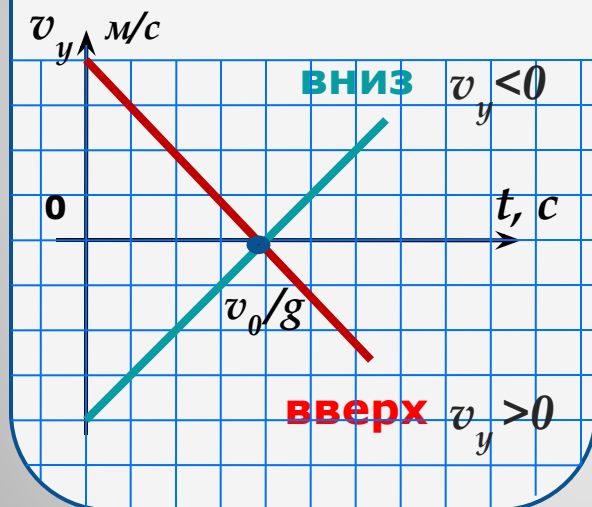
$$y = y_0 + v_{0y} t + g_y t^2 / 2$$

$$y$$

$$h = v_0 t - gt^2 / 2$$

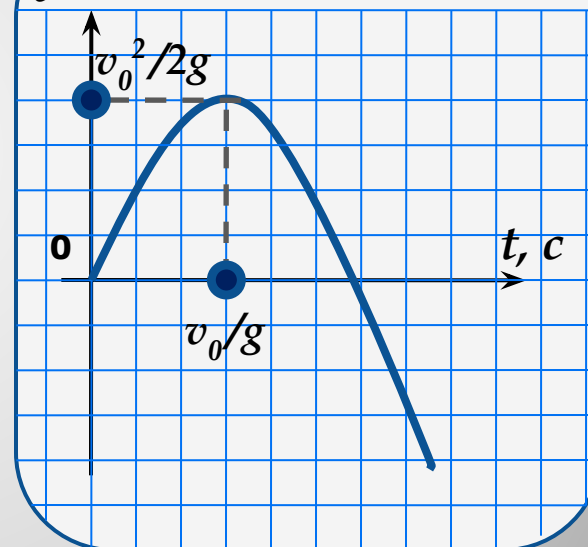
## Графическое представление движения тела, брошенного вертикально вверх

График  $v_y(t)$



(ось ОУ направлена)

$y, \text{ м}$  График  $y(t)$





$$v=0$$

$$H = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$
$$v = v_0 - gt$$


Diagram illustrating the motion of a ball. A ball is shown at the top of its trajectory with the label  $v=0$ . Below, a ball is shown with an upward arrow labeled  $v_0$  and a downward arrow labeled  $\bar{g}$ .


$$gt = v_0$$
$$t = \frac{v_0}{g}$$


Diagram illustrating the time to reach the top. A ball is shown at the top of its trajectory with the label  $v=0$ . A text box points to the equation  $t = \frac{v_0}{g}$  with the text "Время движения до верхней точки".

Время движения до верхней точки

**Движение тела брошенного вертикально вверх**

## ● Задача

- Тело падает с высоты 45 м без начальной скорости. Какой путь пройдет тело за последнюю секунду?

NI

$$S = 45 \text{ м} \quad S - ? \text{ за послед. сек.}$$
$$S = \frac{gt^2}{2} \quad \sqrt{\frac{2S}{g}} = t = \sqrt{\frac{2 \cdot 45}{10}} = 3 \text{ с.}$$
$$S_1 = 45 - S_2$$
$$S_3 = 45 - \frac{g \cdot 2^2}{2} = 45 - \frac{10 \cdot 2^2}{2} = 25 \text{ м}$$



## ● Задача 2

- Из арбалета вертикально вверх выпустили стрелу с начальной скоростью 50 м/с . Через какое время стрела упадет на землю?

N2

$$v_0 = 50 \text{ м/с}$$

$$t_3 - ?$$

$$v = 0 \uparrow$$

$$v = v_0 - gt$$

$$0 = 50 - 10 \cdot t$$

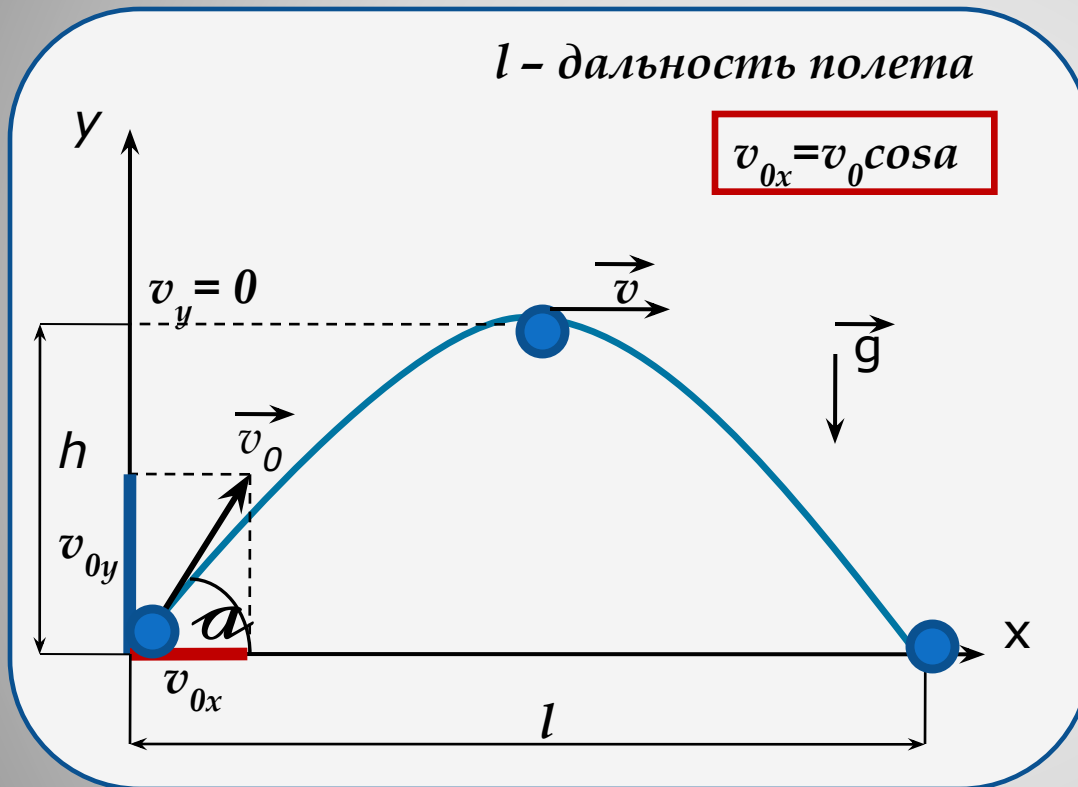
$$t = 5 \text{ с}$$

$$t_3 = 2 \cdot t = 10 \text{ с.}$$

$\bar{g}$

$$v_0 \uparrow$$

### 3. Движение тела, брошенного под углом к горизонту



#### По горизонтали:

т.е. вдоль оси ОХ тело движется равномерно (т.к. нет ускорения) с постоянной скоростью, равной проекции начальной скорости на ось ОХ



Т.о. при рассмотрении движения вдоль оси ОХ нужно пользоваться формулами, полученными для равномерного движения

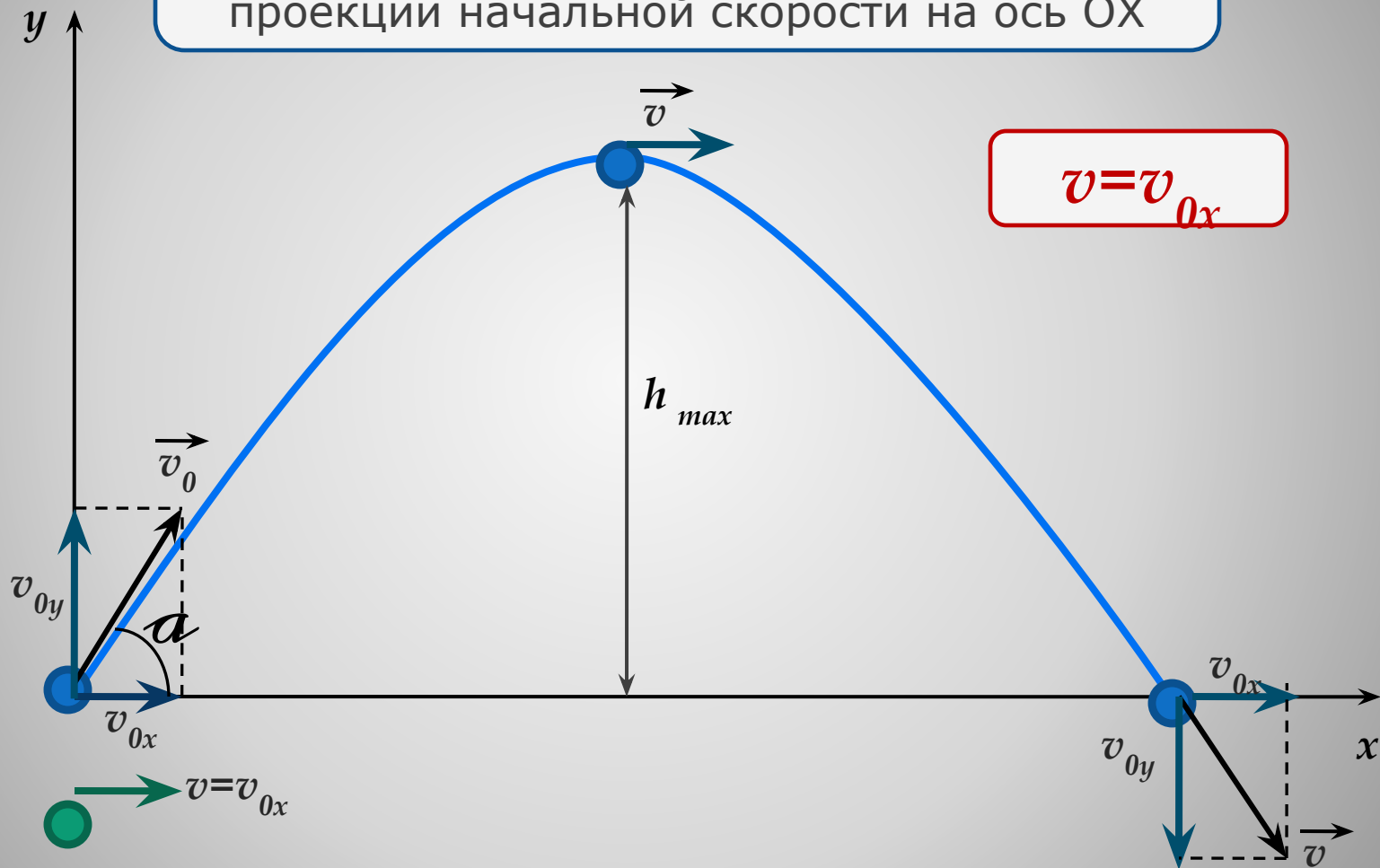
$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha = \text{const}$$

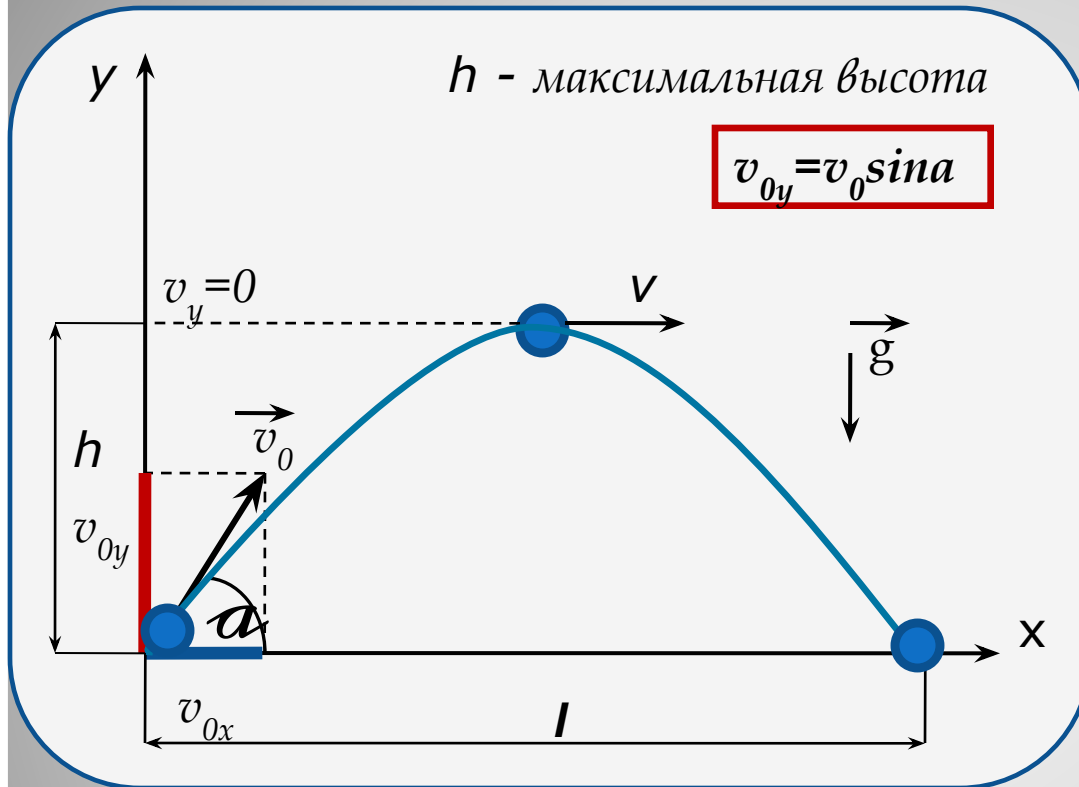
$$l = v_x t = v_0 \cos \alpha t$$

$$x = x_0 + v_0 \cos \alpha t$$



Вдоль оси  $Ox$  тело движется **равномерно**  
с постоянной скоростью, равной  
проекции начальной скорости на ось  $Ox$





### По вертикали:

Вдоль оси ОУ тело движется **равнозамедленно**, подобно телу, брошенному вертикально вверх со скоростью, равной проекции начальной скорости на ось ОУ



Таким образом, применимы формулы, которые мы использовали ранее для равноускоренного движения по вертикали

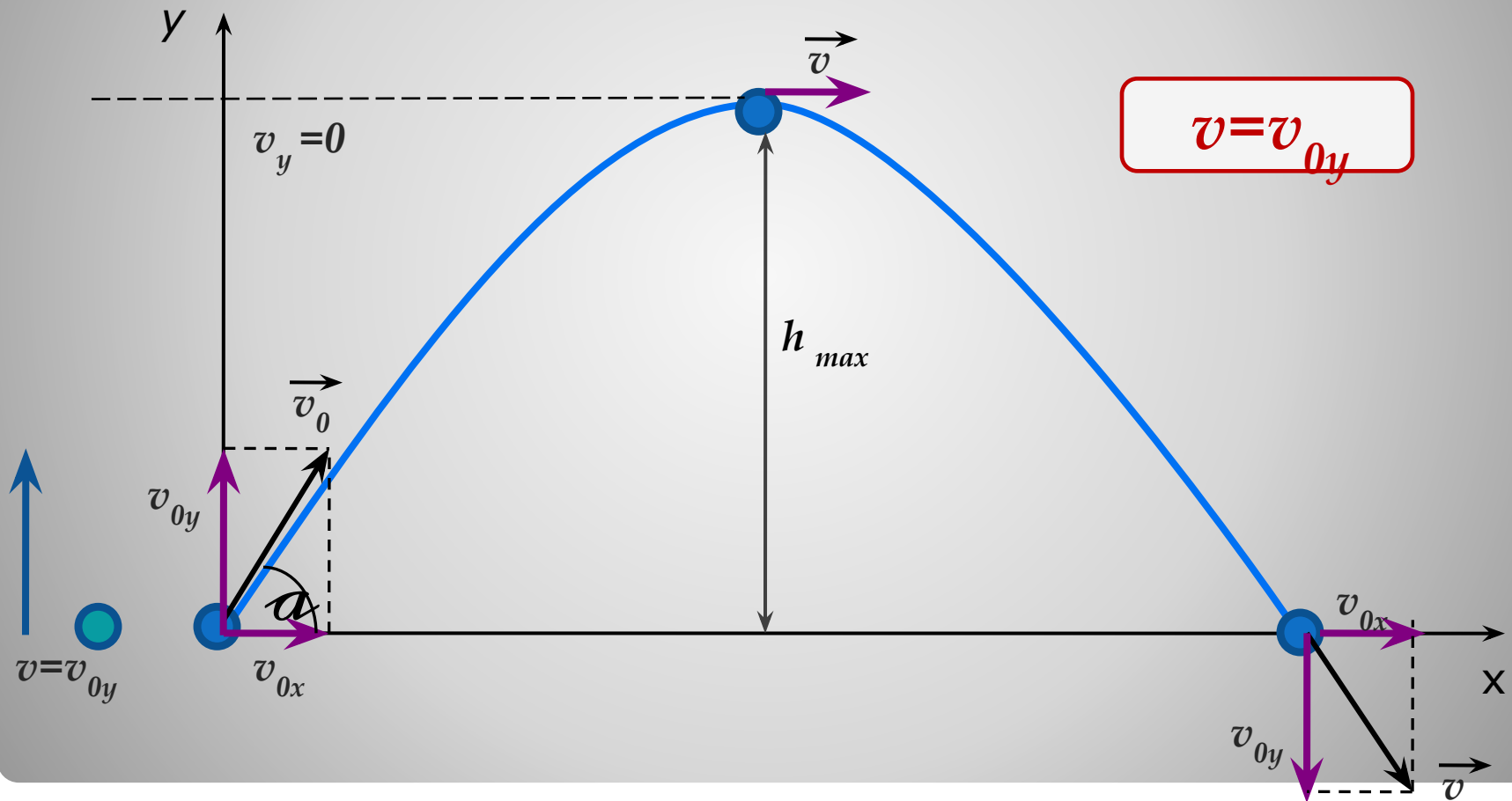
$$v_y = v_{0y} + g_y t = v_0 \sin \alpha - gt$$

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

$$g_y = -g, \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha$$

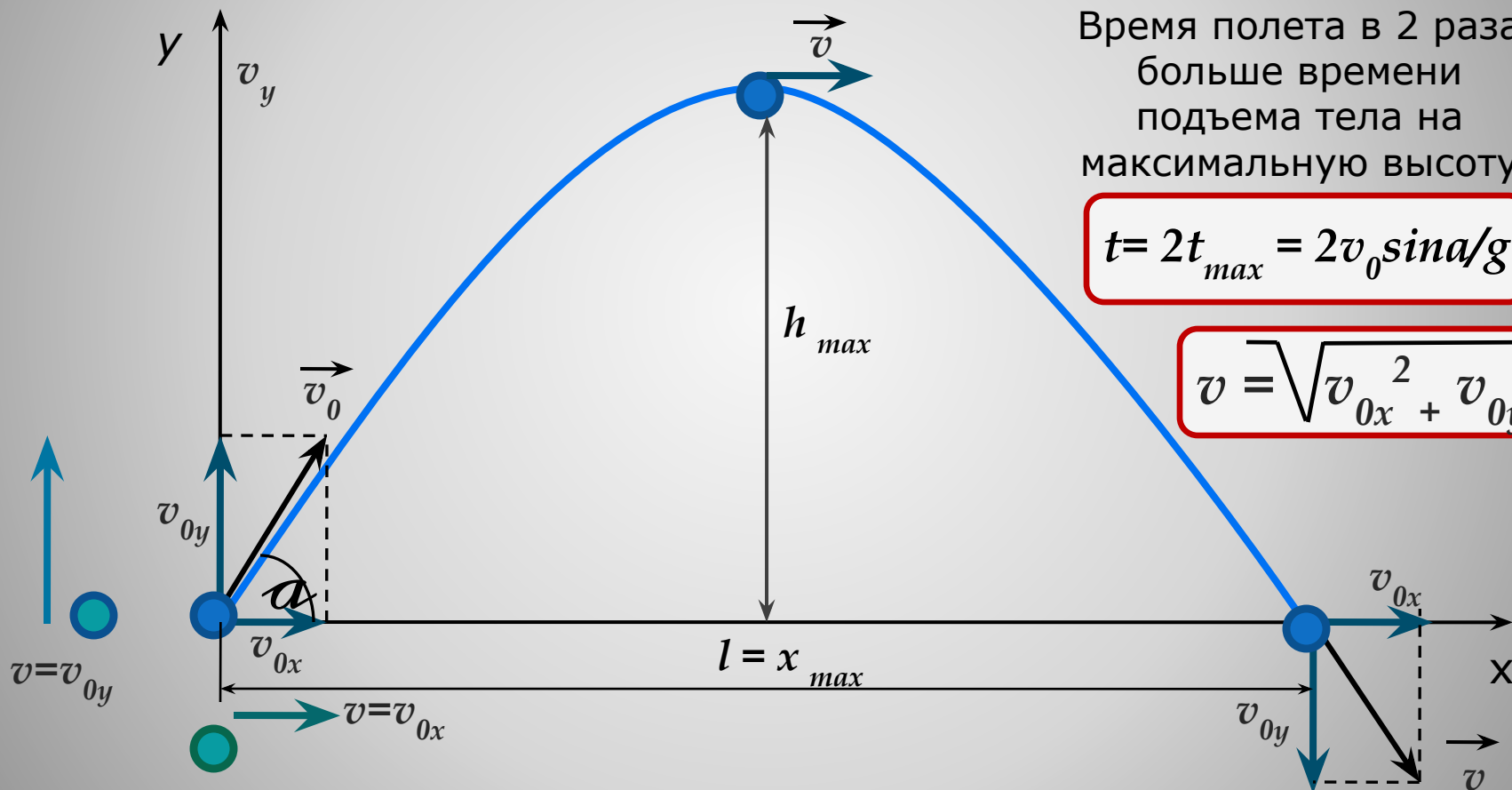


Вдоль оси  $OY$  тело движется равнозамедленно, подобно телу, брошенному вертикально вверх со скоростью, равной проекции начальной скорости на ось  $OY$





## Некоторые зависимости между величинами при движении под углом к горизонту (баллистическом движении)



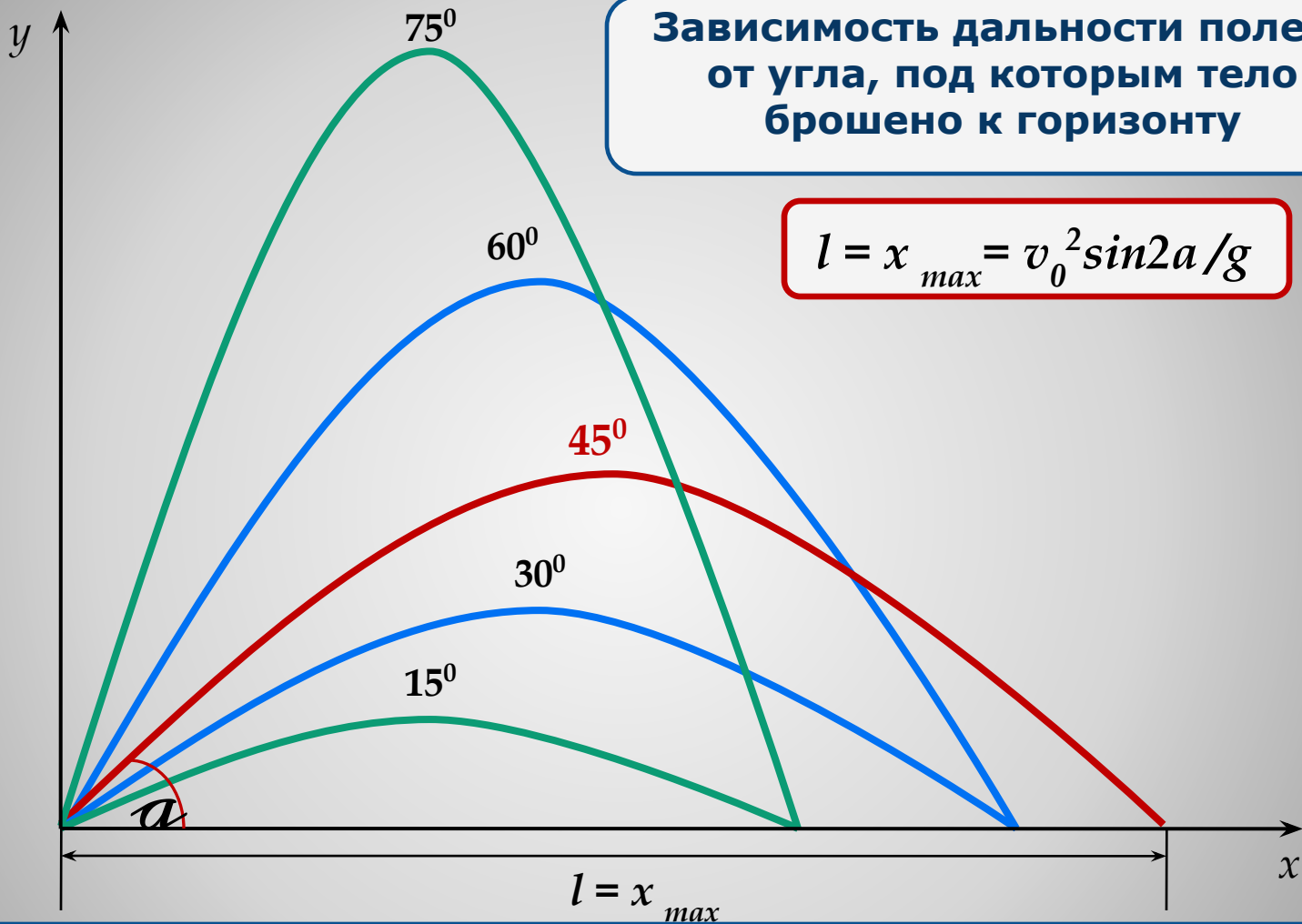
Время полета в 2 раза больше времени подъема тела на максимальную высоту

$$t = 2t_{max} = 2v_0 \sin \alpha / g$$

$$v = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}$$

Дальность полета при одной и той же начальной скорости зависит от угла

$$l = x_{max} = v_0^2 \sin 2\alpha / g$$



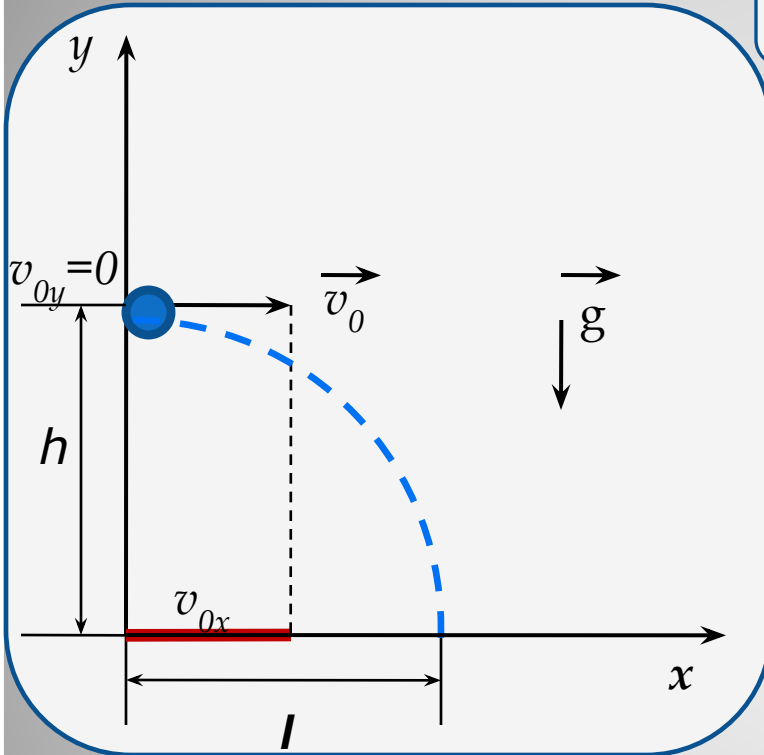
**Зависимость дальности полета от угла, под которым тело брошено к горизонту**

$$l = x_{max} = v_0^2 \sin 2a / g$$

Дальность полета максимальна, когда максимален  $\sin 2a$ .  
 Максимальное значение синуса равно единице при угле  $2a = 90^\circ$ ,  
откуда  $a = 45^\circ$

Для углов, дополняющих друг друга до  $90^\circ$  дальность полета одинакова

## 4. Движение тела, брошенного горизонтально



Анализируем рисунок:

$$\begin{aligned} a &= g, & s &= h, \\ v_{0y} &= 0, & g_y &= -g, & y_0 &= h \end{aligned}$$

По горизонтали:

тело **движется равномерно** с постоянной скоростью, равной проекции начальной скорости на ось OX

$$v_{0x} = v_0$$

$$l = v_{0x} t = v_0 t$$

По вертикали: Тело свободно падает с высоты  $h$ .

Именно поэтому, применимы формулы для свободного падения:

$$v = gt$$

$$h = gt^2/2$$

$$y = y_0 - gt^2/2$$



**Подумайте и дайте ответ**

- **С каким ускорением движется тело, брошенное вертикально вверх?**
- **С каким ускорением движется тело, брошенное
  - горизонтально?**
- **Что общего в движении тел, брошенных вертикально и под углом к горизонту?**
- **Три тела брошены так: первое – вниз без начальной скорости, второе – вниз с начальной скоростью, третье – вверх.**

**Что можно сказать об ускорениях этих тел?**
- **Тяжелый предмет подвешен на веревке к воздушному шару, равномерно поднимающемуся с некоторой скоростью. Каково будет движение предмета, если веревку перерезать?**