НАЧАЛЬНОЕ И СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Т. И. ТРОФИМОВА, А. В. ФИРСОВ

# ФИЗИКА

## Справочник

ACADEMIA

Москва
Издательский центр «Академия»
2010

УДК 53(075.32)
ББК 22.3я723я722
Т 761

Рецензент —
преподаватель физики ГОУ СПО «Московский политехнический колледж» *Е.В.Комолова*

**Трофимова Т.И.**

Т 761 Справочник по физике : учеб. пособие для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / Т.И.Трофимова, А.В.Фирсов. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 272 с.

ISBN 978-5-7695-6227-3

Материал пособия соответствует программе по физике для специальностей начального и среднего профессионального образования.

Вопросы программы систематизированы в компактные блоки, включающие основные понятия и формулы, формулировки физических законов.

Для обучающихся в образовательных учреждениях начального и среднего профессионального образования.

УДК 53(075.32)
ББК 22.3я723я722





**ISBN 978-5-7695-6227-3**

Раздел I

# МЕХАНИКА

## ОСНОВНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

| | | | |
|---|---|---|---|
| Время | $t$, с | Работа | $A$, Дж |
| Высота подъема | $h$, м | Сила | $F$, Н |
| Давление жидкости | $p$, Па | Сила Архимеда | $F_A$, Н |
| Длина пути | $s$, м | Сила нормального давления | $N$, Н |
| Импульс | $P$, кг·м/с | Сила тяжести | $P$, Н |
| Масса | $m$, кг | Скорость | $v$, м/с |
| Объем | $V$, м$^3$ | Угловая скорость | $\omega$, рад/с |
| Период | $T$, с | Угол поворота | $\varphi$, рад |
| Плотность жидкости | $\rho$, кг/м$^3$ | Ускорение | $a$, м/с$^2$ |
| Кинетическая энергия | $E_к$, Дж | Ускорение свободного падения | $g$, м/с$^2$ |
| Потенциальная энергия | $E_п$, Дж | Частота | $\nu$, Гц |
| Полная энергия | $E$, Дж | Частота вращения | $n$, с$^{-1}$ |

# ГЛАВА 1
# ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ

## § 1. СТРУКТУРА МЕХАНИКИ. ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

### 1.1. Механика и ее структура

***Механика*** — раздел физики, в котором изучаются закономерности механического движения и причины, вызывающие или изменяющие это движение.

**Классическая механика (механика Галилея — Ньютона)**

Изучает законы движения макроскопических тел, скорости которых малы по сравнению со скоростью света в вакууме.

**Релятивистская механика**

Изучает законы движения макроскопических тел со скоростями, сравнимыми со скоростью распространение света в вакууме (основана на специальной теории относительности).

**Квантовая механика**

Изучает законы движения микроскопических тел (атомов и элементарных частиц).

**Разделы классической механики**

***Кинематика***

Изучает движение тел без рассмотрения причин, вызывающих это движение.

***Динамика***

Изучает законы движения тел и причины, которые вызывают или изменяют это движение.

***Статика***

Изучает законы равновесия системы тел (если известны законы движения тел, то можно установить и законы равновесия).

### 1.2. Физические модели

***Физические модели*** — модели, применяемые в механике для описания движения тел (изменения с течением времени взаимного расположения тел или их частей) в зависимости от условий конкретных задач.

**Материальная точка**

Тело, обладающее массой, размерами которого в данной задаче можно пренебречь. Понятие материальной точки *абстрактное*, но его введение облегчает решение практических задач (например, при изучении движения планет по орбитам вокруг Солнца их можно принять за материальные точки).

**Абсолютно твердое тело**

Тело, которое ни при каких условиях не может деформироваться, и при всех условиях расстояние между двумя точками (точнее, между двумя частицами) этого тела остается постоянным.

### Абсолютно упругое тело

Тело, деформация которого подчиняется закону Гука, а после прекращения действия внешних сил принимает первоначальные размеры и форму.

### Абсолютно неупругое тело

Тело, полностью сохраняющее деформированное состояние после прекращения действия внешних сил.

# § 2. МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

## 1.3. Система отсчета. Кинематические уравнения движения

***Механическое движение*** — изменение с течением времени взаимного расположения тел или их частей.

### Тело отсчета

Произвольно выбранное тело, относительно которого определяется положение других (движущихся) тел. Положение любого движущегося тела фиксируется по отношению к телу отсчета, поэтому *механическое движение относительно*.

### Система координат

Система (в простейшем случае — прямоугольная декартова система $Oxyz$, рис. 1), связанная с телом отсчета. Положение материальной точки $A$ в декартовой системе координат определяется либо тремя координатами $x$, $y$, $z$, либо радиусом-вектором $\vec{r}$, проведенным из начала отсчета координат $O$ в точку $A$.

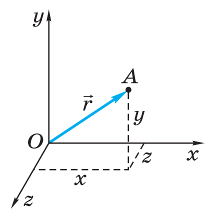



Рис. 1

### Система отсчета

Совокупность тела отсчета, связанной с ним системы координат и синхронизированных между собой часов.

### Кинематические уравнения движения

$$\boxed{\begin{cases} x = x(t), \\ y = y(t), \\ z = z(t) \end{cases}} \quad \text{или} \quad \boxed{\vec{r} = \vec{r}(t)}.$$

Уравнения, описывающие изменения положения материальной точки в пространстве и во времени.

## 1.4. Траектория, вектор перемещения, длина пути

***Траектория*** — линия, описываемая движущейся материальной точкой (телом) относительно выбранной системы отсчета.

### Виды движения

*Прямолинейное* (например, тело, отпущенное с небольшой высоты без начальной скорости, относительно Земли движется прямолинейно), *криволинейное* (например, тело, брошенное горизонтально, будет двигаться по параболе), *по окружности* и т. д. (в зависимости от формы траектории).

Форма траектории зависит от начальных условий и сил, действующих на материальную точку, а также от того, относительно какой системы отсчета рассматривается движение — *траектории движения одного и того же тела в разных системах отсчета различны*. Так, в покоящемся вагоне следы от капель дождя на стекле — прямые линии, а в движущемся вагоне — косые.

### Вектор перемещения

Вектор $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$, проведенный из начального положения $A$ движущейся точки в положение ее в данный момент времени $B$ (приращение радиуса-вектора точки за рассматриваемый промежуток времени), рис. 2.

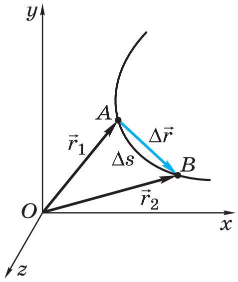



**Рис. 2**

### Длина пути

Длина участка траектории $AB$, пройденного материальной точкой за данный промежуток времени: $\Delta s = \Delta s(t)$ — скалярная функция времени.

При прямолинейном движении вектор перемещения совпадает с соответствующим участком траектории и модуль перемещения $|\Delta\vec{r}|$ равен пройденному пути $\Delta s$: $|\Delta\vec{r}| = \Delta s$.

Пути, пройденные точкой за последовательные промежутки времени, складываются *арифметически*, а векторы перемещений — *геометрически* (по правилу сложения векторов).

### Поступательное движение твердого тела

Движение, при котором любая прямая, жестко связанная с движущимся телом и проведенная через две произвольные точки тела, остается параллельной самой себе (рис. 3). *Все точки тела движутся одинаково*, поэтому поступательное движение тела можно охарактеризовать движением какой-то произвольной точки тела (например, центра масс тела).

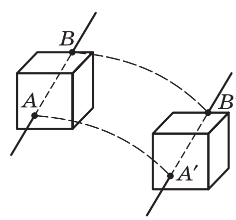



**Рис. 3**

### Вращательное движение твердого тела

Движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры

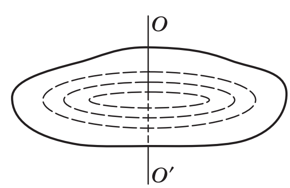



**Рис. 4**

которых лежат на одной прямой $OO'$, называемой осью вращения (рис. 4). *Различные точки твердого тела движутся по-разному*, поэтому вращательное движение тела нельзя охарактеризовать движением какой-либо одной точки.

# § 3. СКОРОСТЬ И УСКОРЕНИЕ

## 1.5. Скорость

***Скорость*** — векторная величина, определяющая *быстроту* и *направление* движения в данный момент времени.

### Средняя скорость

$$\boxed{\langle\vec{v}\rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}}$$

Векторная величина, равная отношению приращения радиуса-вектора $\Delta\vec{r}$ точки к промежутку времени $\Delta t$, в течение которого это приращение произошло.

Направления векторов средней скорости $\langle\vec{v}\rangle$ и перемещения $\Delta\vec{r}$ совпадают, т.е. векторы сонаправлены $\langle\vec{v}\rangle\uparrow\uparrow\Delta\vec{r}$ (рис. 5).

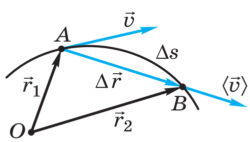



Рис. 5

### Модуль средней скорости

$$\boxed{\langle v\rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t}}$$

Имеем $\langle v\rangle = \left|\langle\vec{v}\rangle\right| = \left|\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}\right| = \frac{|\Delta\vec{r}|}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$.

[$\Delta\vec{r}$ — элементарное перемещение точки за промежуток времени $\Delta t$; $\Delta s$ — путь, пройденный точкой за промежуток времени $\Delta t$]

### Мгновенная скорость

$$\boxed{\vec{v} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t}}$$

Векторная величина, равная производной радиуса-вектора движущейся точки по времени. Направлена по касательной к траектории в сторону движения (см. рис. 5).

### Модуль мгновенной скорости

$$\boxed{v = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}}$$

Имеем

$$v = |\vec{v}| = \left|\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}\right| = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{|\Delta\vec{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}.$$

### Единица скорости

| Метр в секунду (м/с) |
|---|

1 м/с — скорость прямолинейно и равномерно движущейся точки, при которой эта точка за время 1 с перемещается на расстояние 1 м.

### Проекции вектора скорости на оси координат

$$\boxed{v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t};\quad v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t};\quad v_z = \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}}$$

[$v_x$, $v_y$, $v_z$ — соответственно проекции вектора скорости на оси координат $x$, $y$, $z$]

### Движение в одной плоскости

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y; \quad v_x = v\cos\alpha; \quad v_y = v\sin\alpha;$$
$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{v_y}{v_x}; \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

[$v_x$, $v_y$ — проекции вектора скорости $\vec{v}$ на оси $xy$] (рис. 6).

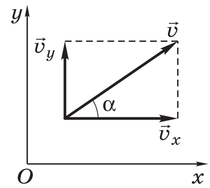



Рис. 6

## 1.6. Ускорение и его составляющие

***Ускорение*** — характеристика неравномерного движения, определяющая быстроту изменения скорости по модулю и направлению.

### Среднее ускорение

$$\langle\vec{a}\rangle = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

Векторная величина, равная отношению изменения скорости $\Delta\vec{v}$ к промежутку времени $\Delta t$, за которое это изменение произошло.

### Мгновенное ускорение

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Векторная величина, равная производной скорости по времени.

### Тангенциальная составляющая ускорения

$$a_\tau = \frac{dv}{dt}$$

Характеризует быстроту изменения скорости *по модулю*.

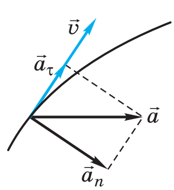



Рис. 7

### Нормальная составляющая ускорения

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

Характеризует быстроту изменения скорости *по направлению*.
[$r$ — радиус кривизны траектории в данной точке]

### Полное ускорение при криволинейном движении

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$$

Геометрическая сумма тангенциальной и нормальной составляющих ускорения.

На рис. 7 вектор $\vec{a}_\tau$ направлен вдоль вектора скорости $\vec{v}$ (по касательной к траектории), а вектор $\vec{a}_n$ — к центру кривизны траектории.

### Модуль полного ускорения

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$$

### Единица ускорения

Метр на секунду в квадрате (м/с$^2$)

$1\ м/с^2$ — ускорение прямолинейного ускоренного движения точки, при котором за 1 с скорость точки изменяется на 1 м/с.

**Классификация движения в зависимости от тангенциальной и нормальной составляющих ускорения**

| $a_\tau$ | $a_n$ | Движение |
|---|---|---|
| 0 | 0 | Прямолинейное равномерное |
| $a_\tau = a = \mathrm{const}$ | 0 | Прямолинейное равнопеременное |
| $a_\tau = f(t)$ | 0 | Прямолинейное с переменным ускорением |
| 0 | const | Равномерное по окружности |
| 0 | $\neq 0$ | Криволинейное равномерное |
| const | $\neq 0$ | Криволинейное равнопеременное |
| $a_\tau = f(t)$ | $\neq 0$ | Криволинейное с переменным ускорением |

# § 4. ПРИМЕРЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ДВИЖЕНИЯ

## 1.7. Равномерное прямолинейное движение

***Равномерное движение*** — движение, при котором материальная точка (тело) за любые равные промежутки времени совершает равные перемещения, т. е. движение с постоянной по модулю и направлению скоростью ($\vec{v} = \mathrm{const}$).

### Скорость

$$\boxed{\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}}$$

Вектор скорости $\vec{v}$ совпадает по направлению с вектором перемещения $\Delta\vec{r}$ и в каждой точке траектории направлен вдоль траектории.

### Кинематическое уравнение движения материальной точки вдоль оси x

$$\boxed{x = x_0 + v_x t}$$

[$x_0$ — координата тела в начальный момент времени; $v_x$ — проекция вектора скорости $\vec{v}$ на ось $x$; $t$ — время движения тела]

Если точка движется вдоль оси $x$, то проекция перемещения на эту ось равна $x - x_0 = v_x t$ и уравнение движения принимает вид $x = x_0 + v_x t$ (рис. 8, *а*, *б*).

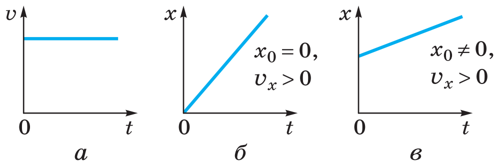



**Рис. 8**

Путь, пройденный телом за промежуток времени от $t_1$ до $t_2$, определяется площадью фигуры, ограниченной графиком $v(t)$ и прямыми $t = t_1$ и $t = t_2$ (в случае равномерного движения определяется площадью выделенного прямоугольника), рис. 9.

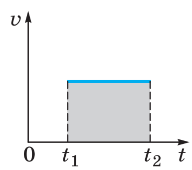



**Рис. 9**

## 1.8. Равнопеременное прямолинейное движение

***Равнопеременное прямолинейное движение*** — движение, при котором скорость материальной точки за любые равные промежутки времени изменяется на равные величины, т. е. движение с постоянным по модулю и направлению ускорением ($\vec{a} = \text{const}$).

Ускорение $\vec{a}$ направлено вдоль траектории движущейся точки.

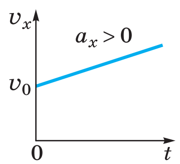
<table>
<tr><td>Равноускоренное прямолинейное движение</td><td>Равнозамедленное прямолинейное движение</td></tr>
<tr><td>Движение, при котором направления векторов ускорения $\vec{a}$ и скорости $\vec{v}$ точки совпадают (модуль скорости с течением времени возрастает), рис. 10, 12</td><td>Движение, при котором направление вектора ускорения $\vec{a}$ противоположно направлению вектора скорости $\vec{v}$ (модуль скорости с течением времени уменьшается), рис. 11, 13</td></tr>
<tr><td colspan="2">Скорость</td></tr>
<tr><td>$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$</td><td>$\vec{v} = v_0 - \vec{a}t$</td></tr>
<tr><td colspan="2">[$v$ — скорость точки в момент времени $t$; $v_0$ — скорость точки в начальный момент; $a$ — ускорение точки]</td></tr>
<tr><td colspan="2">Проекция скорости на ось x</td></tr>
<tr><td>$v_x = v_0 + a_x t$</td><td>$v_x = v_0 - a_x t$</td></tr>
<tr><td>

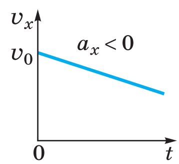
Рис. 10</td><td>

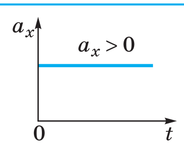
Рис. 11</td></tr>
<tr><td colspan="2">График зависимости проекции ускорения от времени</td></tr>
<tr><td>

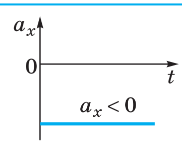
Рис. 12</td><td>

Рис. 13</td></tr>
<tr><td colspan="2">Пройденный путь</td></tr>
<tr><td>$s = v_0 t + \dfrac{at^2}{2}$</td><td>$s = v_0 t - \dfrac{at^2}{2}$</td></tr>
</table>

### Частные случаи

1. Движение без начальной скорости ($v_0 = 0$) из начала координат ($x_0 = 0$)

$$v = at; \quad s = \frac{at^2}{2}; \quad x = \frac{v^2}{2a}.$$

[$x$ — координата точки в момент $t$]

2. Движение с начальной скоростью ($v_0 \neq 0$) из начала координат ($x_0 = 0$)

$$v = v_0 + at; \quad x = v_0 t + \frac{a_x t^2}{2}; \quad x = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}.$$

## 1.9. Графики зависимостей проекций скорости и координаты от времени (рис. 14—21)

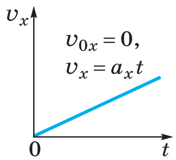
<table>
<tr><th>Проекция вектора скорости на ось x</th><th>Координата</th></tr>
<tr><td>$v_x = v_{0x} + a_x t$</td><td>$x = x_0 + v_{0x}t + \dfrac{a_x t^2}{2}$</td></tr>
<tr><td>


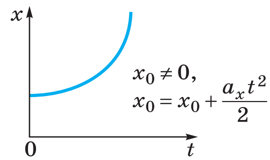

**Рис. 14**
</td><td>


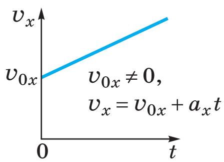

**Рис. 15**
</td></tr>
<tr><td>


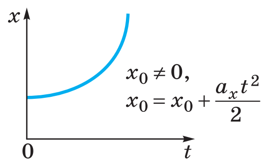

**Рис. 16**
</td><td>


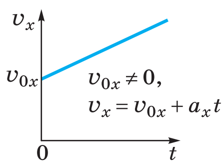

**Рис. 17**
</td></tr>
<tr><td>


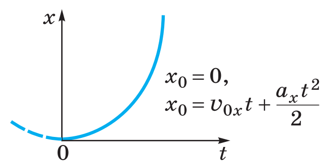

**Рис. 18**
</td><td>


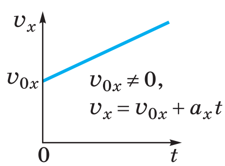

**Рис. 19**
</td></tr>
<tr><td>


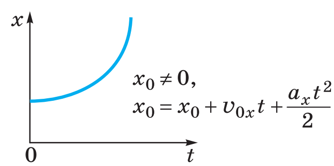

**Рис. 20**
</td><td>



**Рис. 21**
</td></tr>
</table>

## 1.10. Свободное падение

***Свободное падение*** — движение, которое совершало бы тело только под действием силы тяжести без учета сопротивления воздуха.

При свободном падении тела с небольшой высоты $h$ ($h \ll R$, $R$ — радиус Земли) оно движется с постоянным ускорением $\vec{g}$, направленным вертикально вниз ($g = 9{,}81$ м/с$^2$ — *ускорение свободного падения*).

### Проекции кинематических уравнений на ось *y* в любой момент времени

$$\boxed{y = v_0 t + \frac{gt^2}{2}, \quad v = v_0 + gt, \; a = g}$$

Ось $y$ направлена вертикально вниз.

*Начало отсчета помещено в точку начала движения.*

Принято $t_0 = 0$ (рис. 22).

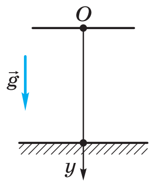



Рис. 22

### Путь, пройденный телом в свободном падении за время *t*

$$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}; \text{ при } v_0 = 0:\ h = \frac{gt^2}{2}$$

### Свободное падение тела без начальной скорости ($v_0 = 0$)

Продолжительность свободного падения

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}};$$

скорость

$$v = \sqrt{2gh}.$$

## 1.11. Движение тела, брошенного вертикально вверх

### Исходные данные

♦ Тело движется вертикально вверх с начальной скоростью $\vec{v}_0$ (рис. 23).

♦ *Без учета сопротивления воздуха* ускорение $\vec{a}$ тела в любой момент движения равно ускорению свободного падения $\vec{g}$ $(\vec{a} = \vec{g})$.

♦ До наивысшей точки подъема движение — равнозамедленное, после достижения ее — свободное падение без начальной скорости.

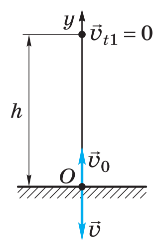



Рис. 23

### Проекции кинематических уравнений на ось *y* в любой момент времени

$$\boxed{y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}, \quad v = v_0 - gt, \quad a = -g}$$

Ось $y$ направлена вертикально вверх (совпадает с направлением вектора $\vec{v}_0$).

*Начало отсчета помещено в точку начала движения.*

Принято $t_0 = 0$.

### Время подъема

$$\boxed{t_1 = \frac{v_0}{g}}$$

В наивысшей точке подъема $v = 0$, т. е. $0 = v_0 - gt_1$, откуда $t_1 = \frac{v_0}{g}$.

### Высота подъема

$$\boxed{h = \frac{v_0^2}{2g}}$$

$$h = y_{\max} = v_0 t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = \frac{v_0^2}{2g}.$$

### Общее время движения

$$\boxed{t = \frac{2v_0}{g}}$$

При приземлении $y(t) = 0$. Имеем $0 = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$, откуда $t = \frac{2v_0}{g}$.

### Время падения

$$\boxed{t_2 = \frac{v_0}{g}}$$

$$t_2 = t - t_1 = \frac{2v_0}{g} - \frac{v_0}{g} = \frac{v_0}{g}$$

(время падения равно времени подъема).

### Конечная скорость движения

$$\boxed{v = -v_0}$$

$$v = v_0 - gt = v_0 - g\frac{2v_0}{g} = -v_0$$

(конечная скорость по модулю равна начальной скорости). Знак «минус» показывает, что конечная скорость направлена против оси $y$, т. е. вертикально вниз.

## 1.12. Движение тела, брошенного горизонтально

### Исходные данные

♦ Тело брошено горизонтально с начальной скоростью $\vec{v}_0$ с высоты $h$ (рис. 24).

♦ *Без учета сопротивления воздуха* ускорение $\vec{a}$ тела в любой момент движения равно ускорению свободного падения $\vec{g}\left(\vec{a} = \vec{g}\right)$.

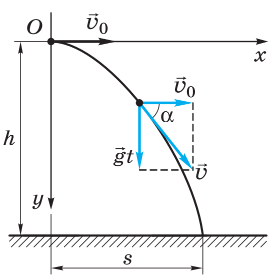



Рис. 24

### Проекции кинематических уравнений на оси координат

*Ось* $x$: $x = v_0 t$ (*), $v_x = v_0$, $a_x = 0$.

*Ось* $y$: $y = \dfrac{gt^2}{2}$ (**), $v_y = gt$, $a_y = g$.

### Уравнение траектории движения тела

$$\boxed{y = \frac{g}{2v_0}x^2}$$

Из уравнений (*) и (**), исключив время, получим $y = \dfrac{g}{2v_0}x^2$.

Траектория движения тела — парабола.

### Время полета

$$\boxed{t_{\text{п}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}}$$

Приравняв $y = h = \dfrac{gt_{\text{п}}^2}{2}$, получим $t_{\text{п}} = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$.

### Горизонтальная дальность полета

$$\boxed{s = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}}$$

Имеем $s = x_{\max} = v_0 t_? = v_0\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$.

### Модуль мгновенной скорости в любой момент времени

$$\boxed{v = \sqrt{v_0^2 + g^2t^2}}$$

Вектор мгновенной скорости $\vec{v}$ в каждой точке траектории направлен по касательной к траектории движения (см. рис. 24).

[$g$ — ускорение свободного падения]

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

### Исходные данные

♦ Тело брошено с начальной скоростью $\vec{v}_0$ под углом $\alpha$ к горизонту (рис. 25).

♦ *Без учета сопротивления воздуха* ускорение $\vec{a}$ тела в любой момент движения равно ускорению свободного падения $\vec{g}\left(\vec{a}=\vec{g}\right)$.

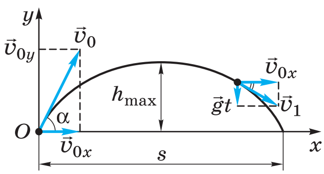



**Рис. 25**

### Проекции кинематических уравнений на оси координат

*Ось* $x$: $x=v_0t$, $v_x=v_{0x}$, $a_x=0$.

*Ось* $y$: $y=v_0t-\dfrac{gt^2}{2}, v_y=v_0-gt, a_y=g$.

### Проекции начальной скорости на оси координат

*Ось* $x$: $v_x=v_0\cos\alpha$.
*Ось* $y$: $v_y=v_0\sin\alpha$.

### Время подъема

$$\boxed{t_{\text{п}}=\frac{v_0\sin\alpha}{g}}$$

В наивысшей точке подъема вертикальная составляющая скорости $v_y=0$.

Имеем $0=v_0\sin\alpha-gt_{\text{п}}$, откуда получим $t_{\text{п}}=\dfrac{v_0\sin\alpha}{g}$.

### Максимальная высота подъема

$$\boxed{h_{\max}=\frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g}}$$

$$h_{\max}=y_{\max}=t_{?}v_0\sin\alpha-\frac{gt_{\text{п}}^2}{2}=\frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g}.$$

### Общее время движения

$$\boxed{t_{\text{общ}}=\frac{2v_0\sin\alpha}{g}}$$

В момент приземления $y(t)=0$, т. е. $0=v_0\sin\alpha;\ t_{>1I}=\dfrac{gt_{>1I}^2}{2}$, откуда $t_{\text{общ}}=$ $=\dfrac{2v_0\sin\alpha}{g}$.

### Время падения

$$\boxed{t_{\text{пад}}=\frac{v_0\sin\alpha}{g}}$$

$$t_{\text{пад}}=t_{\text{общ}}-t_{\text{п}}=\frac{2v_0\sin\alpha}{g}-\frac{v_0\sin\alpha}{g}=\frac{v_0\sin\alpha}{g}$$

(время падения равно времени подъема).

### Дальность броска

$$\boxed{s=\frac{v_0^2\sin2\alpha}{g}}$$

$$s=x_{\max}=v_{0x}t_{>1I}=\frac{2v_0^2\sin\alpha\cos\alpha}{g}=\frac{v_0^2\sin2\alpha}{g}.$$

## 1.14. Равномерное движение точки по окружности

***Равномерное движение по окружности*** — движение, при котором материальная точка (тело) за равные промежутки времени проходит равные по длине дуги окружности.

### Направление вектора $\vec{v}$

В любой точке траектории скорость $\vec{v}$ направлена по касательной к окружности, а модуль скорости точки с течением времени не изменяется: $v = \text{const}$ (рис. 26).

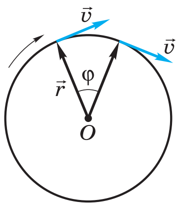



**Рис. 26**

### Угловая скорость

$$\boxed{\omega = \frac{\varphi}{t}}$$

При равномерном движении материальной точки по окружности $\omega = \text{const}$.
[$\varphi$ — угол поворота произвольного радиуса-вектора $\vec{r}$ от начального положения; $t$ — время, за которое произошел этот поворот]

### Единица угловой скорости

Радиан в секунду (1 рад/с)

1 рад/с — угловая скорость равномерно вращающегося тела, все точки которого за 1 с поворачиваются относительно оси на угол 1 рад.

### Период вращения

$$\boxed{T = \frac{2\pi}{\omega}}$$

Время, за которое точка совершает один полный оборот по окружности, т. е. поворачивается на угол $2\pi$.

Так как промежутку времени $\Delta t = T$ соответствует $\Delta\varphi = 2\pi$, то $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$.

### Частота вращения

$$\boxed{n = \frac{1}{T}}$$

Число полных оборотов, совершаемых точкой при равномерном ее движении по окружности в единицу времени.

### Единица частоты

Секунда в минус первой степени ($с^{-1}$)

1 $с^{-1}$ равна частоте вращения, при которой материальная точка, равномерно вращаясь, за время 1 с совершает 1 оборот.

### Характерная особенность равномерного движения по окружности

Равномерное движение по окружности — частный случай *криволинейного движения*.

Движение по окружности со скоростью, постоянной по модулю ($v = \text{const}$), является *ускоренным*. Это обусловлено тем, что при постоянном модуле направление скорости все время изменяется.

### Ускорение точки, равномерно движущейся по окружности

$$\boxed{a_\tau = 0}$$

Тангенциальная составляющая ускорения при равномерном движении точки по окружности равна нулю.

$$\boxed{a_n = \frac{v^2}{R}}$$

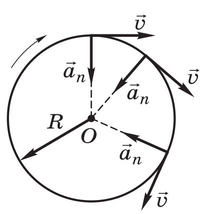



**Рис. 27**

Нормальная составляющая ускорения (*центростремительное ускорение*) направлена по радиусу к центру окружности (рис. 27). В любой точке окружности вектор нормального ускорения перпендикулярен вектору скорости.

Ускорение материальной точки, равномерно движущейся по окружности, в любой ее точке центростремительное.

**Связь между рассмотренными величинами**

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n,$$

$$\upsilon = \frac{2\pi R}{T} = \omega R,$$

$$a_n = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 n^2 R.$$