

Т. И. Трофимова

# РУКОВОДСТВО К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ БАКАЛАВРОВ

3–е издание, исправленное и дополненное

*Допущено Министерством образования и науки Российской Федерации  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по техническим направлениям и специальностям*

Книга доступна в электронной библиотечной системе  
[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)

Москва ■ Юрайт ■ 2014

УДК 53(03)  
ББК 22.3я73  
Т76

**Автор:**

**Трофимова Таисия Ивановна** — профессор, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры физики Московского государственного института электроники и математики (технического университета). Автор многочисленных учебных пособий, неоднократно переизданных в России и переведенных на иностранные языки.

**Трофимова, Т. И.**

Т76 Руководство к решению задач по физике : учеб. пособие для бакалавров / Т. И. Трофимова. — 3-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2014. — 265 с. — Серия : Бакалавр. Базовый курс.

ISBN 978-5-9916-3429-8

Изложены все разделы курса физики для вузов: механика, молекулярная физика, термодинамика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая и квантовая оптика, элементы квантовой физики атомов и молекул, элементы физики атомного ядра и элементарных частиц. Приводятся основные понятия, законы и формулы, примеры решения задач, а также задачи для самостоятельного решения.

Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования третьего поколения.

*Для студентов технических специальностей вузов и техникумов, а также старшеклассников и абитуриентов, готовящихся к поступлению в технические вузы.*

УДК 53(03)  
ББК 22.3я73

ISBN 978-5-9916-3429-8

© Трофимова Т. И., 2008  
© Трофимова Т. И., 2011,  
с изменениями  
© ООО «Издательство Юрайт», 2014

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие .....</b>	<b>5</b>
<b>Раздел I. Физические основы механики .....</b>	<b>7</b>
1.1. Элементы кинематики .....	9
1.2. Элементы динамики материальной точки и поступательного движения твердого тела .....	18
1.3. Работа и энергия .....	24
1.4. Механика твердого тела .....	32
1.5. Тяготение. Элементы теории поля.....	42
1.6. Элементы механики жидкостей .....	49
1.7. Элементы специальной (частной) теории относительности .....	55
<b>Раздел II. Основы молекулярной физики и термодинамики .....</b>	<b>60</b>
2.1. Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов .....	61
2.2. Основы термодинамики.....	71
2.3. Реальные газы и жидкости .....	79
<b>Раздел III. Электричество и магнетизм .....</b>	<b>84</b>
3.1. Электростатика .....	85
3.2. Постоянный электрический ток.....	101
3.3. Магнитное поле.....	110
3.4. Электромагнитная индукция .....	119
3.5. Магнитные свойства вещества .....	126
3.6. Основы теории Максвелла.....	130
<b>Раздел IV. Колебания и волны.....</b>	<b>132</b>
4.1. Механические колебания .....	133
4.2. Электромагнитные колебания .....	144
4.3. Упругие волны .....	152
4.4. Электромагнитные волны .....	159
<b>Раздел V. Оптика. Квантовая природа излучения .....</b>	<b>164</b>
5.1. Элементы геометрической оптики .....	165
5.2. Интерференция света .....	169
5.3. Дифракция света .....	177

---

5.4. Взаимодействие электромагнитных волн с веществом .....	184
5.5. Поляризация света.....	191
5.6. Квантовая природа излучения.....	197
<b>Раздел VI. Элементы квантовой механики.....</b>	<b>207</b>
6.1. Волновые свойства микрочастиц.....	208
6.2. Уравнение Шрёдингера и его применение в некоторых задачах .....	214
<b>Раздел VII. Элементы физики атомов и молекул .....</b>	<b>225</b>
7.1. Атом водорода по Бору и его квантово-механическое описание .....	226
7.2. Элементы современной физики атомов и молекул.....	233
<b>Раздел VIII. Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц .....</b>	<b>239</b>
8.1. Характеристики атомного ядра. Ядерные силы .....	240
8.2. Радиоактивность.....	243
8.3. Ядерные реакции и их основные типы .....	248
8.4. Элементы физики элементарных частиц.....	252
<b>Приложения.....</b>	<b>255</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое пособие охватывает все разделы курса физики: основы механики, молекулярная физика, термодинамика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая и квантовая оптика, элементы квантовой физики атомов и молекул, элементы физики атомного ядра и элементарных частиц. Оно соответствует программе курса физики для инженерно-технических специальностей.

Пособие предназначено *для изучения и повторения* курса физики, весьма *полезно при решении задач и подготовке к коллоквиумам, семинарам и экзаменам.*

Пособие может быть использовано студентами и преподавателями вузов и техникумов. Может быть полезно учащимся лицеев и колледжей, а также абитуриентам, готовящимся к поступлению в технические вузы.

**О структуре пособия.** Каждый параграф пособия начинается с перечисления основных физических понятий и законов, знание которых важно для усвоения данной темы. Затем приводятся формулы, необходимые для решения задач. Далее следуют примеры решения задач и задачи для самостоятельного решения.

**О задачах и их решении.** В пособии около 400 задач, примерно 60% из них решены без каких-либо пояснений, поскольку сначала следует изучить материал по данной теме, провести собственный анализ задачи, решив ее, и только затем для сравнения посмотреть готовое решение, которое не всегда бывает единственным.

Все задачи оформлены однотипно (запись условия, перевод данных в СИ, запись необходимых уравнений, их решение в общем виде, подстановка числовых значений в конечную формулу, запись ответа). Цифры в задачах и ответах даны с точностью до трех значащих цифр. Значащие цифры — нули, стоящие в конце чисел, для упрощения записи опускаются.

Единицы физических величин вынесены в приложение, где задаются определяющие их уравнения, приводятся обозначения и определения. В приложении имеются также и другие вспомогательные таблицы.

## Раздел I

# ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

### РАЗДЕЛЫ МЕХАНИКИ

- ◆ Классическая механика
- ◆ Релятивистская механика
- ◆ Квантовая механика

### РАЗДЕЛЫ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

- ◆ Кинематика
- ◆ Динамика
- ◆ Статика





# 1.1. Элементы кинематики

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ

- ◆ Материальная точка
- ◆ Абсолютно твердое тело (твердое тело)
- ◆ Абсолютно упругое тело
- ◆ Абсолютно неупругое тело
- ◆ Поступательное движение
- ◆ Вращательное движение
- ◆ Колебательное движение
- ◆ Тело отсчета
- ◆ Система координат
- ◆ Система отсчета
- ◆ Траектория
- ◆ Длина пути
- ◆ Вектор перемещения
- ◆ Скорость
- ◆ Средняя скорость
- ◆ Мгновенная скорость
- ◆ Ускорение и его составляющие
- ◆ Среднее ускорение
- ◆ Мгновенное ускорение
- ◆ Тангенциальная составляющая ускорения
- ◆ Нормальная составляющая ускорения
- ◆ Кинематические уравнения различных видов движения
- ◆ Угловая скорость
- ◆ Угловое ускорение
- ◆ Период вращения
- ◆ Частота вращения

## Основные формулы

Средняя и мгновенная скорости материальной точки

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}, \quad \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}.$$

Модули средней и мгновенной скоростей

$$\langle v \rangle = |\langle \vec{v} \rangle| = \left| \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \right| = \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \quad \langle v \rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t},$$
$$v = |\vec{v}| = \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}, \quad v = \frac{ds}{dt},$$

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

Среднее и мгновенное ускорения материальной точки

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}, \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}.$$

Тангенциальная и нормальная составляющие ускорения

$$a_\tau = \frac{dv}{dt}, \quad a_n = \frac{v^2}{r}$$

[ $r$  — радиус кривизны траектории в данной точке].

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

$a_\tau$	$a_n$	Движение
0	0	прямолинейное равномерное
$a_\tau = a = \text{const}$	0	прямолинейное равномерное
$a_\tau = f(t)$	0	прямолинейное с переменным ускорением
0	const	равномерное по окружности
0	$\neq 0$	криволинейное равномерное
const	$\neq 0$	криволинейное равномерное
$a_\tau = f(t)$	$\neq 0$	криволинейное с переменным ускорением

**Полное ускорение при криволинейном движении**

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

**Кинематическое уравнение равномерного движения материальной точки вдоль оси  $X$**

$$x = x_0 + vt$$

[ $x_0$  — начальная координата,  $t$  — время].

**Путь и скорость для равнопеременного движения**

$$s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}, \quad v = v_0 \pm at.$$

**Длина пути, пройденного материальной точкой за промежутков времени от  $t_1$  до  $t_2$ ,**

$$s = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt.$$

Свободное падение:

- путь, пройденный телом в свободном падении при  $\vec{v}_0 = 0$ ,

$$h = \frac{gt^2}{2}$$

[ $g$  – ускорение свободного падения];

- скорость тела в произвольный момент времени  $t$

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

[начальная скорость падения  $\vec{v}_0 = 0$ ];

- модуль скорости тела при падении с высоты  $h$

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

- время падения тела с высоты  $h$  при  $v_0 = 0$

$$t = \sqrt{2/hg}.$$

Движение тела, брошенного вертикально вверх (рис. 1):

- движение вертикально вверх с начальной скоростью  $v_0$

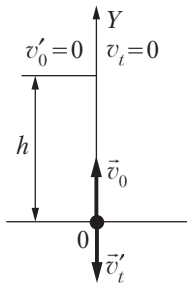


Рис. 1

$$\begin{cases} 0 = v_0 - gt, \\ 0 - v^2 = -2gt; \end{cases}$$

- время и высота подъема

$$t = \frac{v_0}{g}, \quad h = \frac{v_0^2}{2g};$$

- свободное падение от максимальной точки подъема

$$(v'_t)^2 - 0 = 2gh, \quad (v'_t)^2 = 2g \frac{v_0^2}{2g},$$

так как высота падения равна высоте подъема.

Конечная скорость падения равна начальной скорости бросания:

$$v'_t = v_0,$$

$$v'_t = 0 + gt'.$$

Время падения равно времени подъема:

$$t' = \frac{v'_t}{g} = \frac{v_0}{g} = t.$$

Движение тела, брошенного горизонтально с начальной скоростью  $\vec{v}_0$  с высоты  $h$ , рассматривают как комбинацию двух движений (рис. 2):

- горизонтальное (равномерное) со скоростью  $\bar{v}_0$ ;
- вертикальное свободное падение (равноускоренное с ускорением  $g$ )

$$x = v_0 t, \quad y = \frac{gt^2}{2}.$$

Уравнение траектории тела — парабола:

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

Горизонтальная дальность полета

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

Мгновенная скорость и ее модуль в каждой точке траектории

$$\bar{v} = \bar{v}_0 + \bar{g}t, \quad v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}.$$

Движение тела, брошенного под углом  $\alpha$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0$  (рис. 3). Это движение рассматривают как комбинацию двух движений:

- горизонтальное (равномерное) движение со скоростью  $\bar{v}_x$ ;
- движение тела, брошенного вертикально вверх со скоростью  $\bar{v}_y$ .

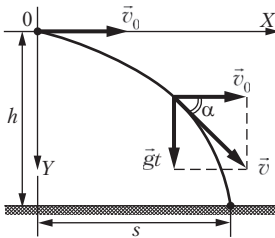


Рис. 2

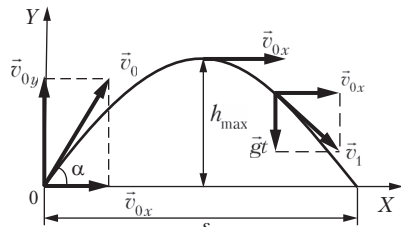


Рис. 3

Проекции скорости в любой момент времени при подъеме до верхней точки траектории

$$v_x = v_0 \cos \alpha, \quad v_y = v_0 \sin \alpha - gt.$$

Модули мгновенной скорости в каждой точке траектории при подъеме и спуске

$$v_{\text{п}} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(v_0 \cos \alpha)^2 + (v_0 \sin \alpha - gt)^2},$$

$$v_{\text{сп}} = \sqrt{v_{0x}^2 + (gt)^2} = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \alpha + g^2 t^2}$$

$[v_{0x} = v_0 \cos \alpha$  и  $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$  — проекции начальной скорости на оси координат].

Время подъема тела

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

$[v_y = 0; 0 = v_0 \sin \alpha - gt_{\text{п}}]$ .

Общее время движения

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

[время падения равно времени подъема].

Дальность полета тела

$$s = \frac{v_0 \sin 2\alpha}{g}$$

$[s = v_{0x} t_{\text{общ}} = v_0 t_{\text{общ}} \cos \alpha]$ .

Максимальная высота подъема

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

$\left[ h = v_{0y} t_{\text{п}} - \frac{gt_{\text{п}}^2}{2} = v_0 t_{\text{п}} \sin \alpha - \frac{gt_{\text{п}}^2}{2} \right]$ .

**У**гловая скорость

$$\bar{\omega} = \frac{d\bar{\varphi}}{dt}$$

**У**гловая скорость равномерного вращательного движения

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n$$

$[\varphi$  — угол поворота произвольного радиуса от начального движения;  $t$  — промежуток времени, за который произошел данный поворот;  $T$  — период вращения;  $n$  — частота вращения].

**У**гловое ускорение

$$\bar{\varepsilon} = \frac{d\bar{\omega}}{dt}$$

**К**инематическое уравнение равномерного вращения

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t$$

$[\varphi_0$  — начальное угловое перемещение;  $t$  — время].

**Угол поворота и угловая скорость для равнопеременного вращательного движения**

$$\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}, \quad \omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$$

[ $\omega_0$  — начальная угловая скорость].

**Связь между линейными (длина пути  $s$ , пройденного точкой по дуге окружности радиусом  $R$ , линейная скорость  $v$ , тангенциальная составляющая ускорения  $a_\tau$ , нормальная составляющая ускорения  $a_n$ ) и угловыми величинами:**

$$s = R\varphi, \quad v = R\omega, \quad a_\tau = R\varepsilon, \quad a_n = \omega^2 R$$

[ $\varphi$  — угол поворота,  $\omega$  — угловая скорость,  $\varepsilon$  — угловое ускорение].

## Примеры решения задач

**1.** Тело брошено со скоростью  $v_0 = 20$  м/с под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту (рис. 4). Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить для момента времени  $t = 1,5$  с после начала движения: 1) нормальное ускорение; 2) тангенциальное ускорение.

*Дано:*

$v_0 = 20$ м/с	$v_y = v_{0y} - gt_1,$
$\alpha = 30^\circ$	$v_{0y} = v_0 \sin \alpha.$
$t = 1,5$ с	При $h_{\max}$
	$v_y = 0,$
	$v_0 \sin \alpha = gt_1,$
1) $a_n$ — ?	
2) $a_\tau$ — ?	

$$t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} = 1,02 \text{ с}, \quad t = 1,5 \text{ с} > t_1 \text{ (спуск),}$$

$$t' = t - t_1 = 1,5 \text{ с} - 1,02 \text{ с} = 0,48 \text{ с},$$

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos \alpha, \quad v_y = gt',$$

$$\frac{v_y}{v_x} = \operatorname{arctg} \frac{gt'}{v_0 \cos \alpha}, \quad a = g, \quad a_\tau = g \sin \varphi, \quad a_n = g \cos \varphi,$$

$$a_n = g \cos \left( \operatorname{arctg} \frac{gt'}{v_0 \cos \alpha} \right), \quad a_\tau = g \sin \left( \operatorname{arctg} \frac{gt'}{v_0 \cos \alpha} \right).$$

*Ответ:* 1)  $a_n = 9,47$  м/с<sup>2</sup>; 2)  $a_\tau = 2,58$  м/с<sup>2</sup>.

*Решение:*

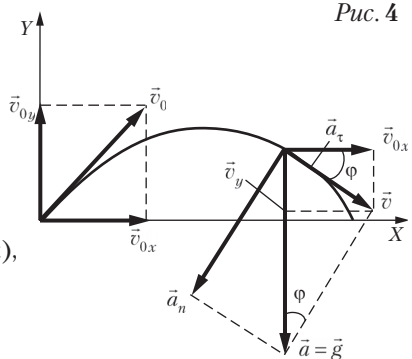


Рис. 4

2. Материальная точка движется вдоль прямой так, что ее ускорение линейно растет и за первые 10 с достигает значения  $5 \text{ м/с}^2$ . Определить в конце десятой секунды: 1) скорость точки; 2) путь, пройденный точкой.

Дано:

$$\begin{array}{l} a = kt \\ t_1 = 10 \text{ с} \\ a_1 = 5 \text{ м/с}^2 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1) v_1 - ? \\ 2) s_1 - ? \end{array}$$

Решение:

$$a = kt, \quad k = \frac{a}{t} = \frac{a_1}{t_1},$$

$$v = \int_0^t a(t) dt = \int_0^t kt dt = \frac{kt^2}{2}, \quad v_1 = \frac{kt_1^2}{2} = \frac{a_1 t_1}{2},$$

$$s = \int_0^t v dt = \int_0^t \frac{kt^2}{2} dt = \frac{kt^3}{6}, \quad s_1 = \frac{kt_1^3}{6} = \frac{a_1 t_1^2}{6}.$$

Ответ: 1)  $v_1 = 25 \text{ м/с}$ ; 2)  $s_1 = 83,3 \text{ м}$ .

3. Движение материальной точки в плоскости  $XU$  описывается законом  $x = At$ ,  $y = At(1 + Bt)$ , где  $A$  и  $B$  — положительные постоянные. Определить: 1) уравнение траектории материальной точки  $y(x)$ ; 2) радиус-вектор  $\vec{r}$  точки в зависимости от времени; 3) скорость  $v$  точки в зависимости от времени; 4) ускорение  $a$  точки в зависимости от времени.

Дано:

$$\begin{array}{l} x = At \\ y = At(1 + Bt) \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1) y(x) - ? \\ 2) \vec{r}(t) - ? \\ 3) v(t) - ? \\ 4) a(t) - ? \end{array}$$

Решение:

$$x = At, \quad t = \frac{x}{A},$$

$$y = At(1 + Bt) = A \frac{x}{A} \left( 1 + B \frac{x}{A} \right) = x + \frac{B}{A} x^2,$$

$$y = x + \frac{Bx^2}{A},$$

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} = At\vec{i} + At(1 + Bt)\vec{j},$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = A\vec{i} + (A + 2ABt)\vec{j},$$

$$v = \sqrt{A^2 + (A + 2ABt)^2} = A\sqrt{1 + (1 + 2Bt)^2},$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = 2AB\vec{j}, \quad a = 2AB = \text{const.}$$

Ответ: 1)  $y = x + \frac{Bx^2}{2}$ ; 2)  $\vec{r} = At\vec{i} + (1 + Bt)\vec{j}$ ;

3)  $v = A\sqrt{1 + (1 + 2Bt)^2}$ ; 4)  $a = 2AB = \text{const.}$

4. Якорь электродвигателя, имеющий частоту вращения  $n = 50 \text{ с}^{-1}$ , после выключения тока, сделав  $N = 500$  оборотов, остановился. Определить угловое ускорение  $\varepsilon$  якоря.

Дано:

$$n = 50 \text{ с}^{-1}$$

$$N = 500$$

$$\varepsilon = ?$$

Решение:

$$\varphi = \omega_0 t - \frac{\varepsilon t^2}{2}, \quad \varphi = 2\pi N,$$

$$\omega_0 = 2\pi n, \quad 2\pi N = 2\pi n t - \frac{\varepsilon t^2}{2}, \quad \omega = \omega_0 - \varepsilon t, \quad 0 = 2\pi n - \varepsilon t,$$

$$t = \frac{2\pi n}{\varepsilon}, \quad 2\pi N = 2\pi n \frac{2\pi n}{\varepsilon} - \frac{\varepsilon \cdot 4\pi^2 n^2}{2\varepsilon^2} = \frac{2\pi^2 n^2}{\varepsilon}, \quad \varepsilon = \frac{\pi n^2}{N}.$$

Ответ:  $\varepsilon = 15,7 \text{ рад/с.}$

## Задачи для самостоятельного решения

5. С башни высотой  $h = 30 \text{ м}$  в горизонтальном направлении брошено тело с начальной скоростью  $v_0 = 10 \text{ м/с}$ . Определить: 1) уравнение траектории тела  $y(x)$ ; 2) скорость  $v$  тела в момент падения на Землю; 3) угол  $\varphi$ , который образует эта скорость с горизонтом в точке его падения.

6. Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением  $s = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$  ( $C = 0,1 \text{ м/с}^2$ ,  $D = 0,03 \text{ м/с}^3$ ). Определить: 1) через какой промежуток времени после начала движения ускорение  $a$  тела будет равно  $2 \text{ м/с}^2$ ; 2) среднее ускорение  $\langle a \rangle$  тела за этот промежуток времени.

7. Зависимость пройденного телом пути  $s$  от времени  $t$  определяется уравнением  $s = At - Bt^2 + Ct^3$  ( $A = 2 \text{ м/с}$ ,  $B = 3 \text{ м/с}^2$ ,  $C = 4 \text{ м/с}^3$ ). Запишите выражения для скорости и ускорения. Определить для момента времени  $t = 2 \text{ с}$  после начала движения: 1) пройденный путь; 2) скорость; 3) ускорение.

8. Радиус-вектор материальной точки изменяется со временем по закону  $\vec{r} = t^3\vec{i} + 3t^2\vec{j}$ , где  $\vec{i}, \vec{j}$  — орты осей  $X$  и  $Y$ . Определить для момента  $t = 1 \text{ с}$ : 1) модуль скорости; 2) модуль ускорения.



**9.** Радиус-вектор материальной точки изменяется со временем по закону  $\vec{r} = 4t^2\vec{i} + 3t\vec{j} + 2\vec{k}$ . Определить: 1) скорость  $\vec{v}$ ; 2) ускорение  $\vec{a}$ . Вычислить модуль скорости в момент времени  $t = 2$  с.

**10.** Колесо радиусом  $R = 80$  см вращается с постоянным угловым ускорением  $\varepsilon = 2$  рад/с<sup>2</sup>. Определить полное ускорение колеса через  $t = 1$  с после начала движения.

**11.** Колесо автомобиля вращается равнозамедленно. За время  $t = 2$  мин оно изменило частоту вращения от  $n_1 = 240$  мин<sup>-1</sup> до  $n_2 = 60$  мин<sup>-1</sup>. Определить: 1) угловое ускорение колеса; 2) число полных оборотов, сделанных колесом за это время.

**12.** Диск вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением  $\varphi = At^2$  ( $A = 0,5$  рад/с<sup>2</sup>). Определить к концу второй секунды после начала движения: 1) угловую скорость диска; 2) угловое ускорение диска; 3) для точки, находящейся на расстоянии 80 см от оси вращения, тангенциальное  $a_\tau$ , нормальное  $a_n$  и полное  $a$  ускорения.

**13.** Диск радиусом  $R = 10$  см вращается так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением  $\varphi = A + Bt^3$  ( $A = 2$  рад,  $B = 4$  рад/с<sup>2</sup>). Определить для точек на ободе колеса: 1) нормальное ускорение в момент времени  $t = 2$  с; 2) тангенциальное ускорение для этого же момента; 3) угол поворота  $\varphi$ , при котором полное ускорение составляет с радиусом колеса угол  $\alpha = 45^\circ$ .

**ОТВЕТЫ:** **5.** 1)  $y = \frac{g}{2v_0^2}x^2$ ; 2) 26,2 м/с; 3) 67,8°. **6.** 1) 10 с; 2) 1,1 м/с<sup>2</sup>.

**7.** 1) 24 м; 2) 38 м/с; 3) 42 м/с<sup>2</sup>. **8.** 1) 6,7 м/с; 2) 8,48 м/с<sup>2</sup>. **9.** 16,3 м/с.

**10.**  $a = \varepsilon R \sqrt{1 + \varepsilon^2 t^4} = 3,58$  м/с<sup>2</sup>. **11.** 1)  $\varepsilon = \frac{2\pi(n_1 - n_2)}{t} = 0,157$  рад/с<sup>2</sup>;

2)  $N = n_1 t - \frac{(n_1 - n_2)t}{2} = 300$ . **12.** 1) 2 рад/с; 2) 1 рад/с<sup>2</sup>; 3) 0,8 м/с<sup>2</sup>;

3,2 м/с<sup>2</sup>; 3,3 м/с<sup>2</sup>. **13.** 1) 230 м/с<sup>2</sup>; 2) 4,8 м/с<sup>2</sup>; 3) 2,67 рад.

# 1.2. Элементы динамики материальной точки и поступательного движения твердого тела

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ

- ◆ Первый закон Ньютона
- ◆ Масса
- ◆ Сила
- ◆ Инертность тел
- ◆ Третий закон Ньютона
- ◆ Силы трения
- ◆ Механическая система
- ◆ Внутренние силы
- ◆ Внешние силы
- ◆ Замкнутая система
- ◆ Закон сохранения импульса
- ◆ Инерциальная система отсчета
- ◆ Импульс
- ◆ Второй закон Ньютона
- ◆ Принцип независимости действия сил
- ◆ Однородность пространства
- ◆ Центр масс системы материальных точек
- ◆ Закон движения центра масс
- ◆ Уравнение движения тела переменной массы
- ◆ Формула Циолковского

## Основные формулы

**Импульс** (количество движения) материальной точки

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

[ $m$  — масса материальной точки;  $v$  — ее скорость].

**Второй закон Ньютона** (основное уравнение динамики материальной точки)

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}, \quad \vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}.$$

Это же уравнение в проекциях на касательную и нормаль к траектории точки

$$F_{\tau} = ma_{\tau} = m \frac{dv}{dt}, \quad F_n = ma_n = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R.$$

**Третий закон Ньютона**

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$