

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

УДК 37.6
ББК 92
О-21

Оболонский М. О.

О-21 Техническая физика / Оболонский М. О. — М. : Т8
Издательские технологии / RUGRAM, 2020. — 160 с. —
(Полезные конспекты).

Данная книга содержит полный курс лекций по технической физике. Материал предназначен для подготовки студентов средних и высших учебных заведений к сдаче зачета или экзамена и соответствует образовательному стандарту по данной дисциплине.

BIC JN
BISAC EDU000000

ЛЕКЦИЯ № 1. Механика

Механика — перемещение тел относительно друг друга. Существует три вида механики: **кинематика** (движение без выяснения причины), **динамика** (движение с причиной), **статика**.

Способы описания движения:

1. Векторный

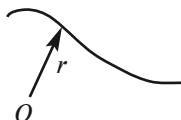


Рис. 1. Векторный способ описания движения

$$\vec{r} = \vec{r}(t),$$

где $\vec{r}$ — радиус-вектор точки;

O — тело отсчета (неподвижное).

2. Координатный (в точку O помещается система координат)

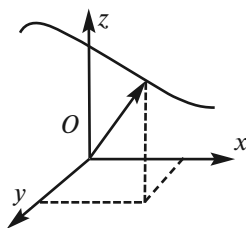


Рис. 2. Координатный способ описания движения

$$|\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2},$$

где

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t), \vec{r} = \vec{r}(x, y, z), \vec{r} = \vec{r}(t)$$

Модель исследования материальная точка — размерами и формой в условии данной задачи можно пренебречь.

Модель абсолютно твердого тела — совокупность жестко связанных материальных точек (расстояние между которыми не изменяется).

К кинетическим характеристикам поступательного движения относятся:

- 1) $\vec{r}$ — радиус-вектор или S — путь;
- 2) $\vec{v}$ (м/с) — скорость;
- 3) $\vec{a}$ (м/с²) — ускорение.

Рассмотрим скорость. Пусть тело в пространстве описывает траекторию: $\vec{r}_1$ во время t_1 и $\vec{r}_2$ во время t_2 , тогда $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ — вектор перемещения — направленный отрезок прямой, соединяющий конечное начальное положение точки на траектории. Пусть ΔS — путь. Тогда $\Delta t = t_2 - t_1$ и $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ (за время Δt), следовательно, $\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \vec{v}_{cp}$ — определили вектор средней скорости.

Если $\Delta t \rightarrow 0$, то $|\Delta\vec{r}| \rightarrow dS$, тогда

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1} = \bar{v}_{cp} \text{ — модуль средней скорости.}$$

Мгновенная скорость, т. е. скорость в определенный момент времени, определяется как:

$$\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}_{мгн}.$$

В физике скорость характеризует не только быстроту изменения расстояния, но и направление движения (вектор скорости направлен по касательной в данной точке траектории).

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt}.$$

Рассмотрим трехмерное пространство, значит $\vec{v}(v_x, v_y, v_z)$, тогда $\vec{v} = v_x i + v_y j + v_z k$ и $\bar{v} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$.

Получим:

$$\bar{k} = \left| \frac{dx}{dt} \bar{i} + \frac{dy}{dt} \bar{j} + \frac{dz}{dt} \bar{k} \right|$$

$$|\bar{v}| = \frac{d\bar{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(x\bar{i} + y\bar{j} + z\bar{k}),$$

тогда очевидно, что:

$$v_x = \frac{dx}{dt}; v_y = \frac{dy}{dt}; v_z = \frac{dz}{dt}.$$

Так как $v = \frac{dS}{dt}$, то $dS = vdt$. Пусть между точками 1 и 2 существует некоторое расстояние, тогда

$$S_{12} = \int_{t_1}^{t_2} v(t)dt.$$

Рассмотрим ускорение $\bar{a}$ — скорость изменения скорости. Рассмотрим точку в двух состояниях: $t_1, \bar{v}_1$ и $t_2, \bar{v}_2$, тогда $\Delta t = t_2 - t_1$ и $\Delta \bar{v} = \bar{v}_2 - \bar{v}_1$. Заметим, что $\bar{a}_{cp} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t}$ — изменение скорости в единицу времени. Если $\Delta t \rightarrow 0$, то

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = \bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt}$$

и

$$\frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\bar{r}}{dt} \right) = \frac{d^2 \bar{r}}{dt^2} = \bar{a}.$$

Рассмотрим в трехмерном пространстве, значит $\bar{a}(a_x, a_y, a_z)$, тогда

$$\bar{a} = a_x \bar{i} + a_y \bar{j} + a_z \bar{k}$$

и

$$\bar{a} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}.$$

Следовательно:

$$\bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(v_x\bar{i} + v_y\bar{j} + v_z\bar{k}) = \left| \frac{dv_x}{dt}\bar{i} + \frac{dv_y}{dt}\bar{j} + \frac{dv_z}{dt}\bar{k} \right|,$$

учитывая, что $v_x = \frac{dx}{dt}$; $v_y = \frac{dy}{dt}$; $v_z = \frac{dz}{dt}$, получим:

$$\bar{a} = \frac{d^2x}{dt^2}\bar{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\bar{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\bar{k}$$

или

$\bar{a} = a_x\bar{i} + a_y\bar{j} + a_z\bar{k}$ — представление вектора ускорения в системе координат.

Ускорение при криволинейном движении

Ускорение при криволинейном движении делят на **тангенциальное и нормальное**.

$\bar{a} = \bar{a}_n + \bar{a}_t$, $a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$, a_t — характеризует быстроту изменения по величине;

a_n — характеризует быстроту изменения по направлению.

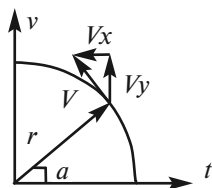


Рис. 3. Схема ускорения при криволинейном движении

Из рисунка 3 видно, что $v_x = -v \sin \alpha$; $v_y = v \cos \alpha$, тогда

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d}{dt}(-v \sin \alpha)$$

и

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d}{dt}(v \cos \alpha).$$

Следовательно:

$$a_x = -\frac{dv}{dt} \sin \alpha - v \cos \alpha \frac{da}{dt}$$

и

$$a_y = \frac{dv}{dt} \cos \alpha - v \sin \alpha \frac{da}{dt}.$$

За время dt радиус-вектор повернется на угол da .

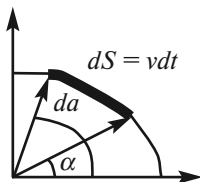


Рис. 4. Поворот радиус-вектора

Из рисунка 4 видно, что $dS = r d\alpha$ и $v dt = r d\alpha$, тогда

$$\frac{da}{dt} = \frac{v}{r}.$$

Подставив выражения для a_x и a_y , получим:

$$a_x = -\frac{dv}{dt} \sin \alpha - \frac{v^2}{r} \cos \alpha$$

и

$$a_y = \frac{dv}{dt} \cos \alpha - \frac{v^2}{r} \sin \alpha.$$

Совместим радиус-вектор с осью X, тогда $a = 0$, а

$$a_x = -\frac{v^2}{r}, \quad a_y = \frac{dv}{dt}.$$

Так как $a_x = a_n$; $a_y = a_t$, тогда

$$a_t = \frac{dv}{dt}$$

и

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

(знак «—» означает, что a_n направлен в противоположную сторону движения).

Если траектория представляет прямую линию, то $a_n = 0$ и $\bar{a} = \frac{dv}{dt}$ перейдет в скалярную форму, т. е. a и v лежат на одной прямой.

$$\bar{a} = \frac{dv}{dt}; t=0; \int_0^t a dt = \int_{v_0}^v dv \frac{dv}{dt},$$

но так как $a = \text{const}$, то $a \int_0^t dt = at$, тогда $v = v_0 + at$ — уравнение

для скорости. Заметим, что $v = \frac{dS}{dt}$ пусть $t=0$ и $S = S_0$, тогда

$$ds = v dt, \int_{S_0}^S dS = \int_0^t v dt.$$

Теперь

$$S - S_0 = \int_0^t (v_0 + at) dt = \int_0^t v dt + \int_0^t at dt = v_0 t + \frac{at^2}{2},$$

Следовательно:

$$S = S_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} \text{ — уравнение для перемещения.}$$

Движение материального тела будет поступательным, если любая прямая, проведенная в этом теле, при движении остается параллельной самой себе. Кинематические характеристики такого движения будут такими же, как и любой материальной точки этого тела.

Вращательное движение твердого тела — это точки тела, движущегося по окружности, центры которого лежат на одной прямой, называемой осью вращения.

1. Кинематика вращательного движения

Уравнение вращательного движения:

$$\varphi = \varphi(t),$$

где φ — угол поворота.

За время dt любая точка повернется на угол $d\varphi$. Вектор $\bar{\omega}$ связан с направлением вращения и направлен вдоль оси вращения. Направление вращения и направление вектора скорости представляют собой правый винт. Пусть во время t_1 угол φ_1 , а во время t_2 — φ_2 . Тогда $\Delta t = t_2 - t_1$ и $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$. Значит, $\bar{\omega}_{cp} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ — среднее

значение угловой скорости. Если $\Delta t \rightarrow 0$, то $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{d\varphi}{dt} = \omega$ — угловая скорость. Скорость изменения угловой скорости — угловое ускорение $\bar{\epsilon}$. $\bar{\epsilon}$ — направлен вдоль оси вращения, если $\bar{\epsilon} > 0$, то $\bar{\epsilon} \uparrow \uparrow \bar{\omega}$, а если $\bar{\epsilon} < 0$, то $\bar{\epsilon} \uparrow \downarrow \bar{\omega}$. Как и в поступательном движении $\frac{\Delta\bar{\omega}}{\Delta t} = \bar{\epsilon}_{cp}$, если $\Delta t \rightarrow 0$, то $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{d\bar{\omega}}{dt} = \frac{d\bar{\omega}}{dt} = \bar{\epsilon}$ — мгновен-

ное ускорение. Формула для мгновенного ускорения $\bar{\epsilon} = \frac{d^2}{dt^2}$.

Если тело вращается равномерно, то период и частота соответственно равны: $T = \frac{2\pi}{\omega}$ и $\nu = \frac{1}{T}$.

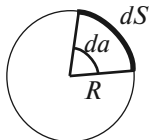


Рис. 5. Связь между линейными и угловыми скоростями и ускорением

Знаем, что $dS = vdt$. Из геометрии длина дуги равна $dS = Rda$, тогда $vdt = Rda$ и $v = \frac{Rda}{dt} = R\omega$. Таким образом, $v = R\omega$ — связь линейной и угловой скорости.

Заметим, что $\vec{v} = [\vec{\omega}, \vec{r}]$, тогда $|\vec{v}| = \omega r \sin \alpha = \omega R$.
 Что касается ускорения, то

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(\omega R) = R \frac{d\omega}{dt} = R\varepsilon.$$

Значит, $a_t = R\varepsilon$ — тангенциальное ускорение.

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = R^2 \omega — нормальное ускорение.$$

Следовательно, $a_n = [\vec{\varepsilon}, \vec{r}]$ — формула для нормального ускорения.

Динамика поступательного движения

Здесь будем считать, что m — масса тела — величина постоянная и не зависящая от скорости.

m [кг] — мера инертности тела при поступательном движении. Это скалярная величина.

Импульс тела $\vec{P} = \vec{v}m$ (кгм/с).

$\vec{F}$ — сила, векторная величина, мера взаимодействия тел. Сила характеризуется направлением, модулем и точкой приложения.

Законы Ньютона

Первый закон Ньютона

Всякое тело находится в покое до тех пор, пока воздействие на него других тел не выведет его из этого состояния. Системы, в которых выполняется первый закон Ньютона, называются **инерциальными**. **Гелиоцентрическая система** — инерциальная система, связанная с Солнцем.

Второй закон Ньютона

Уравнение движения $\vec{F} = \vec{a}m$. Для решения этого дифференциального уравнения второго порядка нужно задать начальные условия:

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{F}, \quad \vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt},$$