*

ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ
«АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Системы автоматизированного проектирования и моделирования»

Курс лекций по общей физике Раздел 1. Физические основы механики

Разработчик: к.п.н., доцент кафедры САПРиМ
Соболева В.В.

*

Общая структура изучаемого курса:

1	Физические основы механики. Молекулярная физика и термодинамика. Электрическое поле.
2	Колебания и волны. Оптика. Физика атомов и молекул.

Литература:

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Академия, 2012 г., 537 с.
2. Трофимова Т.И. Краткий курс физики с примерами решения задач.- М.: Кнорус, 2007 г., 279 с.
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. - М.: Высшая школа, 1989
4. Черноуцан А.И. Краткий курс физики: учебное пособие/А.И. Черноуцан. – М.: Физматлит, 2002 г., 309с. [Электронный ресурс]. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=82664
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 т. Т.1. Механика. – 6-е изд., стеорт. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 560 с. [Электронный ресурс]. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=275610
6. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. - М.: Высшая школа,1989, т. 1

1.1 Кинематика материальной точки и поступательного движения твердого тела

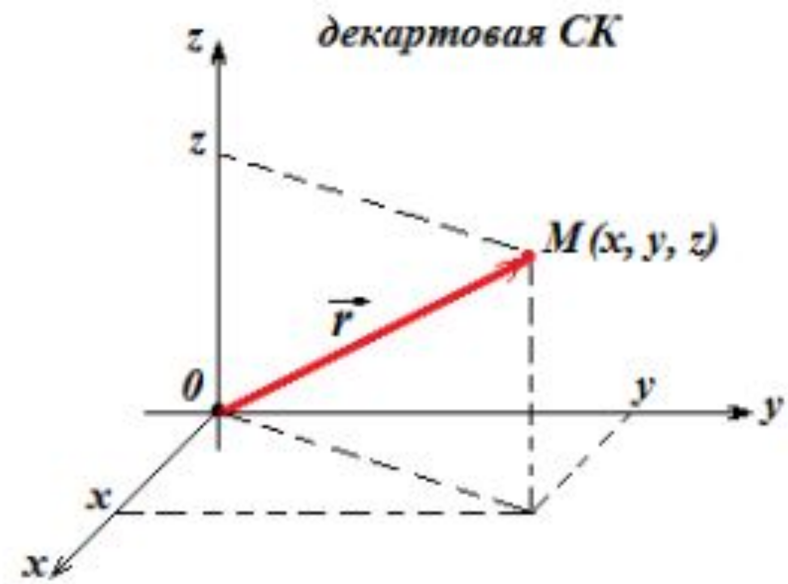
Физические модели в механике:

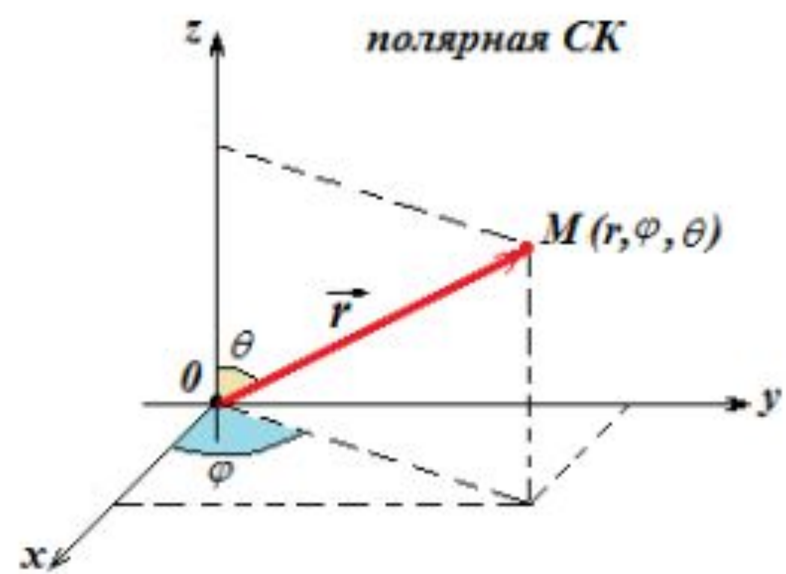
- ***Материальной точкой** (**тело точечной массы**)* называется идеализированная модель, соответствующая физическому телу, размерами которого в данных условиях можно пренебречь.
- ***Абсолютно твердое тело*** – тело, расстояние между двумя точками которого в условиях данной задачи можно считать постоянным. Иначе говоря - это тело, формы и размеры которого не изменяются при его движении.

Физические модели в механике:

- ***Абсолютно упругое тело*** – тело, деформация которого подчиняется закону Гука, а после прекращения внешнего силового воздействия восстанавливает свои первоначальные размеры и форму
- ***Абсолютно неупругое тело*** – тело, сохраняющее деформированное состояние после прекращения действия внешних сил.

* Схематичное изображение положения материальной точки в пространстве

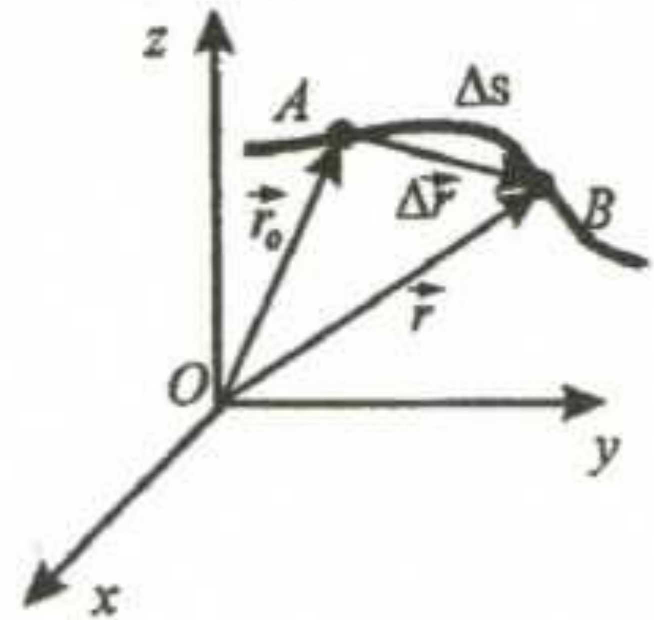




$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}.$$

Основные понятия и определения

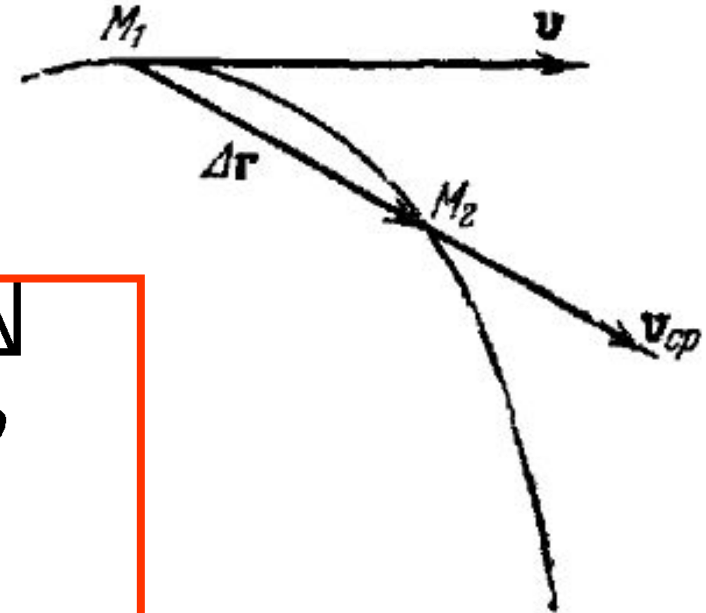
- *Траектория движения*
- *Длина пути*
- *Вектор перемещения*
- *Скорость*
- *Ускорение*



$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \vec{r}(t_2) - \vec{r}(t_1) =$$

$$= \Delta x \cdot \vec{i} + \Delta y \cdot \vec{j} + \Delta z \cdot \vec{k} - \textit{вектор перемещения}$$

Вектор средней скорости



$$\vec{\upsilon}_{cp} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Мгновенная скорость

$$\vec{\upsilon} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Вектор скорости

$$\vec{\upsilon} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}\right) =$$

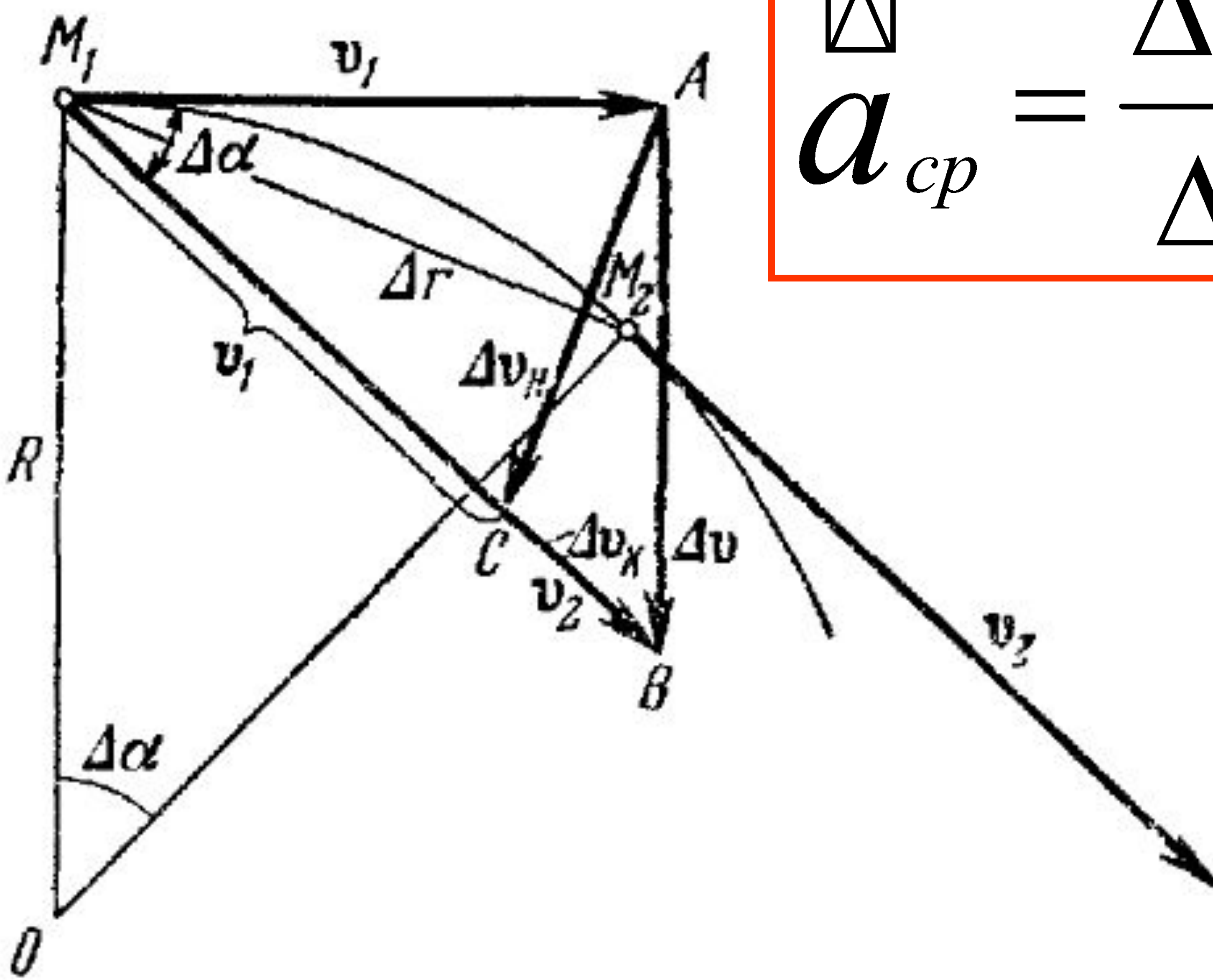
$$= \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k}$$

Модуль вектора скорости

$$\upsilon = \left|\vec{\upsilon}\right| = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2 + \upsilon_z^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}.$$

Ускорение



$$\vec{a}_{cp} = \frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t}$$

мгновенное ускорение

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \vec{a}_{cp} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{\upsilon}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\upsilon}}{dt}$$

Вектор ускорения

$$\vec{a} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k}\right) =$$

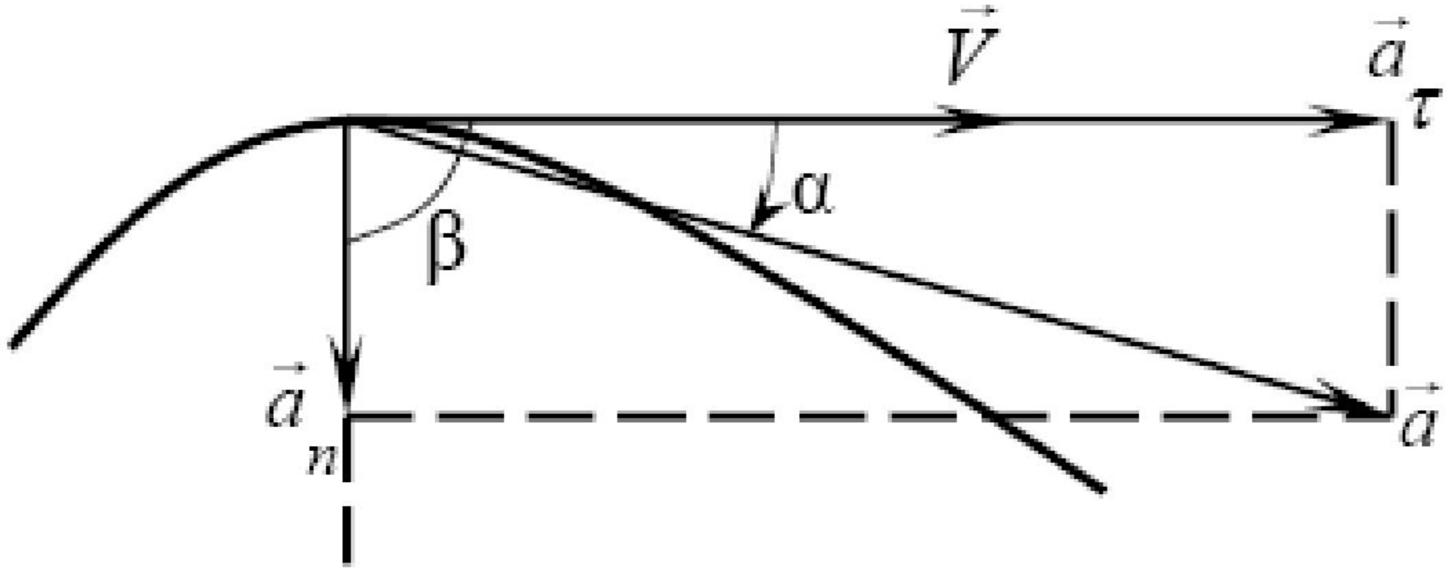
$$= \frac{d^2x}{dt^2}\vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\vec{k}\,.$$

Модуль вектора скорости

$$a = \left|\vec{a}\right| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)^2}.$$

Движение материальной точки вдоль криволинейной траектории



$$\vec{\upsilon} = \left|\vec{\upsilon}\right| \cdot \vec{\tau} = \upsilon \cdot \vec{\tau}$$

Ускорение материальной точки

$$\vec{a} = \frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\upsilon \cdot \vec{\tau}\right) =$$

$$= \vec{\tau} \cdot \frac{d\upsilon}{dt} + \upsilon \frac{d\vec{\tau}}{dt}.$$

Ускорение материальной точки при криволинейном движении

1) тангенциальное ускорение:

$$\boxed{\vec{a}_\tau = \vec{\tau} \cdot \frac{d\upsilon}{dt},}$$

2) нормальное ускорение :

$$\boxed{\vec{a}_n = \upsilon \frac{d\vec{\tau}}{dt}.}$$

Полное ускорение материальной точки

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$$

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \frac{v^4}{R^2}}.$$

1. Прямолинейное равномерное движение

$$a_\tau = 0, \; a_n = 0 \qquad \vec{\upsilon} = const \qquad \upsilon_\tau = |\vec{\upsilon}| = \upsilon > 0$$

$$\boxed{x = \int_0^t \upsilon_x dt + x_0 = \upsilon t + x_0,}$$

$$S = x - x_0 = \upsilon t \; .$$

2. Прямолинейное равнопеременное движение

$$\boxed{\upsilon = \upsilon_0 + \int_0^t a_\tau \, dt = \upsilon_0 + a_\tau t},$$

$$x = x_0 + \int_0^t \upsilon \, dt = x_0 + \int_0^t (\upsilon_0 + a_\tau t) dt = x_0 + \upsilon_0 t + \frac{a_\tau t^2}{2}$$

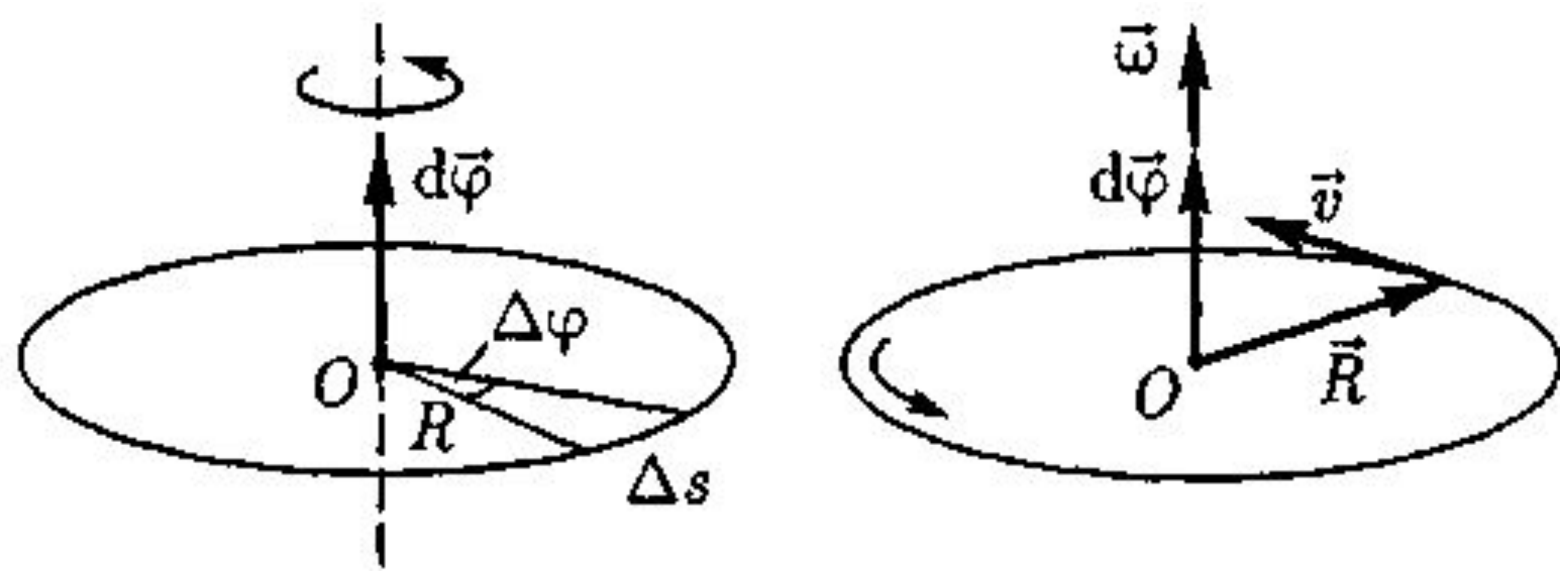
$$S = x - x_0 = \upsilon_0 t + \frac{a_\tau t^2}{2}$$

3. Равномерное движение по окружности

$$a_n = \frac{\upsilon^2}{R}$$

Кинематика вращательного движения

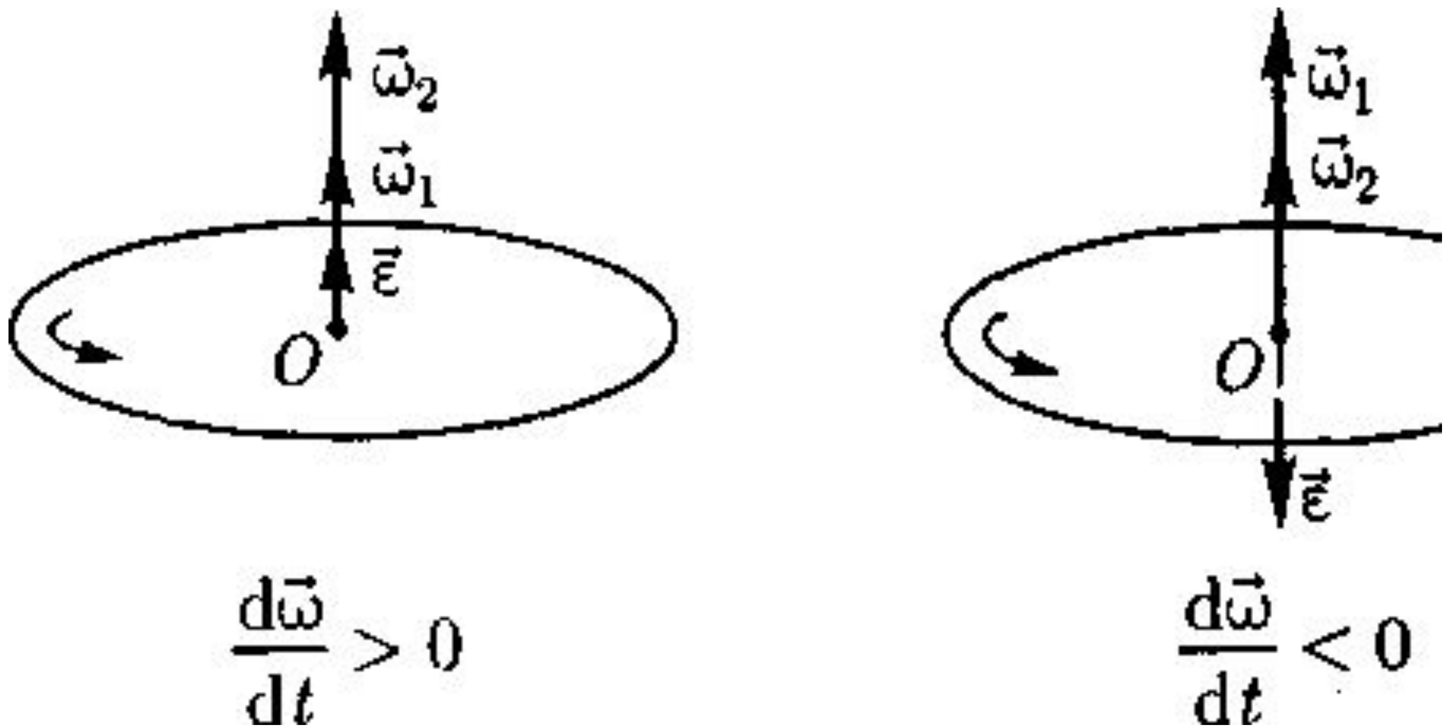
Угловая скорость



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

$$\left[\frac{рад}{с}\right]$$

Угловое ускорение: $\vec{\varepsilon} = \dfrac{d\vec{\omega}}{dt}$



Уравнения кинематики вращательного движения твердого тела

а) Равномерное вращение:

$$\varepsilon = 0, \quad \omega = const$$

$$\varphi = \int_0^t \omega \, dt + \varphi_0 = \omega \cdot t + \varphi_0$$

Уравнения кинематики вращательного движения твердого тела

б) Равнопеременное вращение относительно оси OZ:

$$\varepsilon = const \qquad \omega = \omega_0 + \int_0^t \varepsilon_z dt = \omega_0 + \varepsilon_z t$$

$$\varphi = \varphi_0 + \int_0^t \omega dt = \varphi_0 + \int_0^t (\omega_0 + \varepsilon_z t) dt =$$

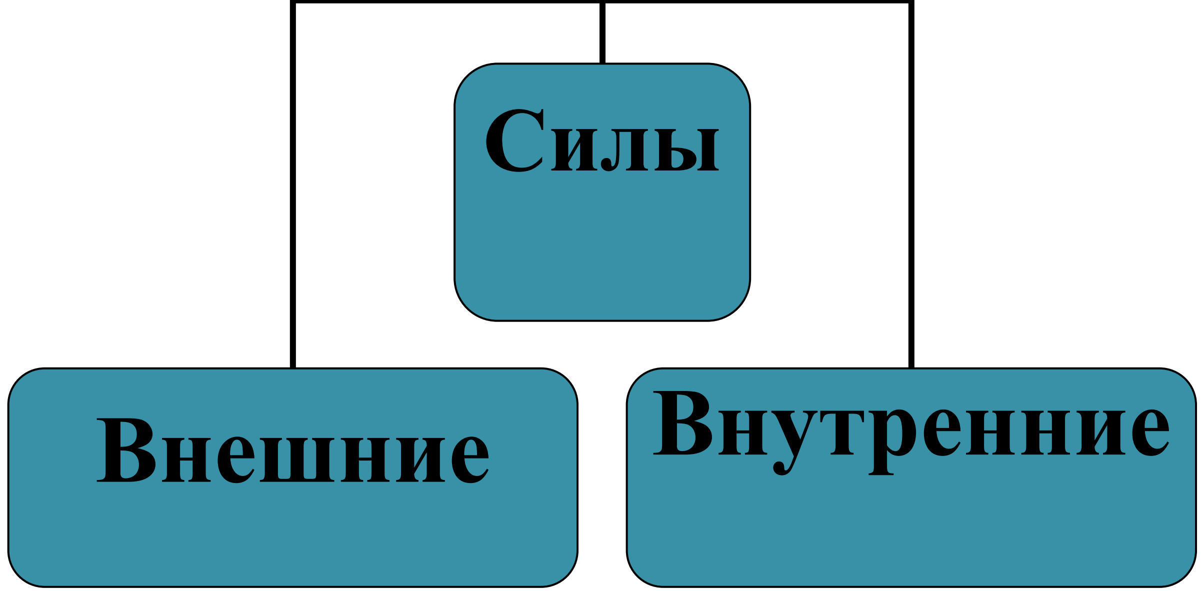
$$= \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon_z t^2}{2}$$

$$S = \int_{t_1}^{t_2} \upsilon dt = \int_{t_1}^{t_2} \omega R dt = R \int_{t_1}^{t_2} \frac{d\varphi}{dt} dt = R\varphi$$

Динамические характеристики материальной точки: сила, масса.

Законы Ньютона

*



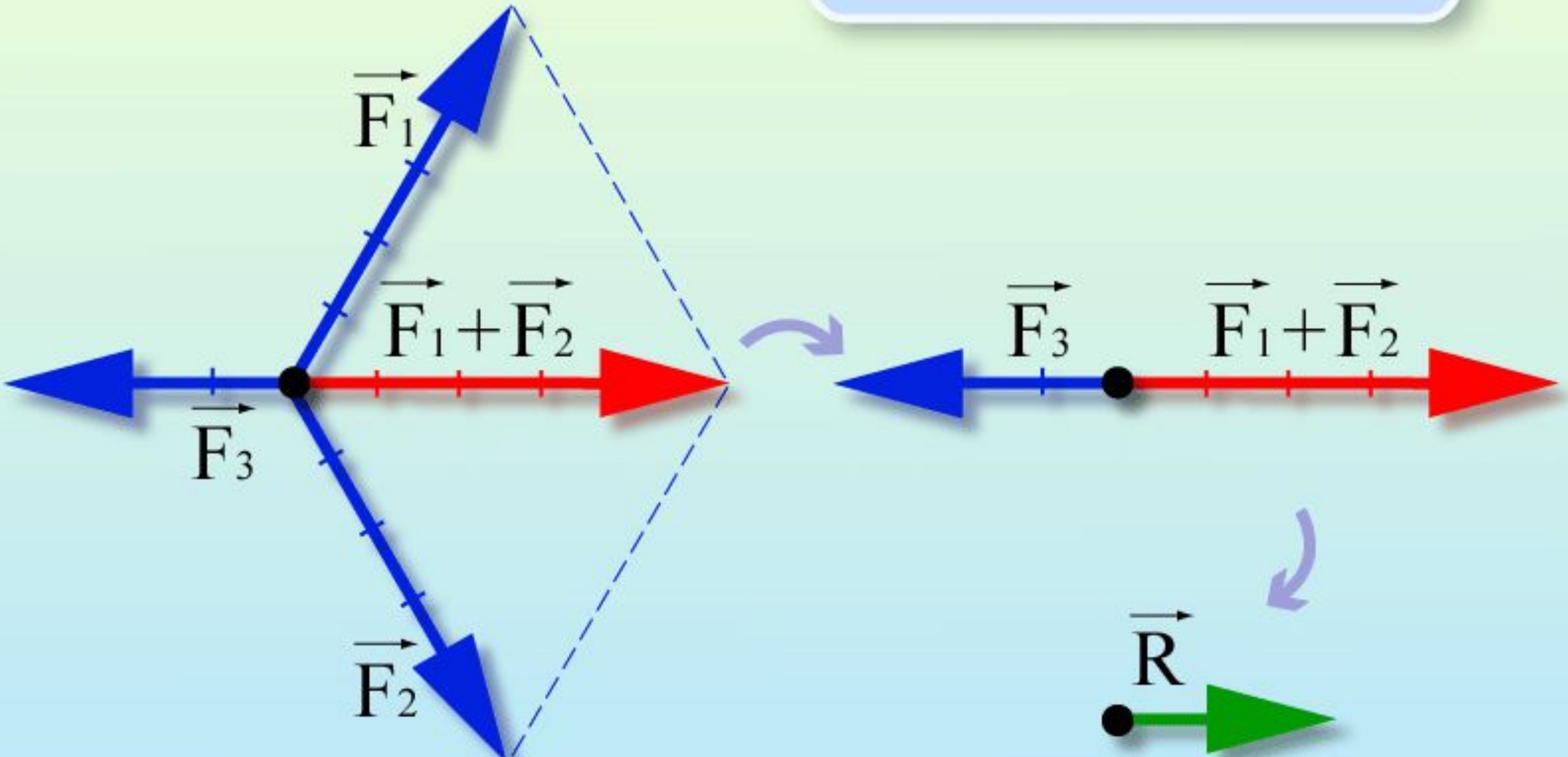
Сила F задана:

- указан модуль F;
- направление в пространстве;
- точка приложения.

Единица измерения силы:
Ньютон [Н]

*

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$



Равнодействующая сила:

$$\vec{F}_p = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n$$

*

Свойства массы (m) тела:

1) масса материальной точки не зависит от состояния движения точки, являясь ее неизменной характеристикой;

2) масса – величина аддитивная:

$$m = \sum_{i=1}^{n} m_i$$

3) масса замкнутой системы остается неизменной при любых процессах, происходящих в этой системе (закон сохранения массы).

*

Законы Ньютона

*

Первый закон Ньютона:

Материальная точка сохраняет состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние

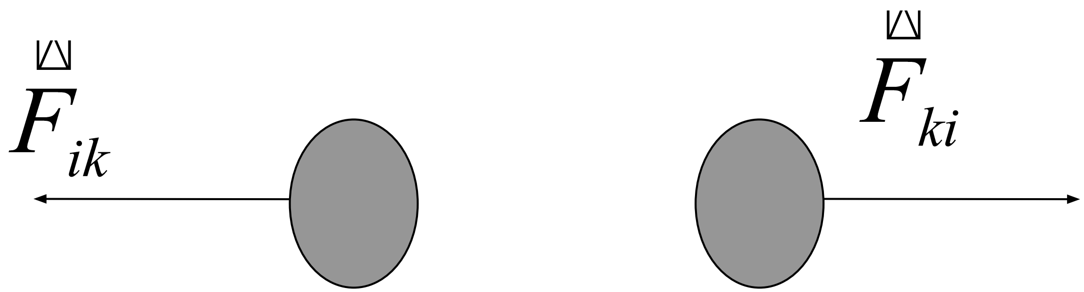
*

Второй закон Ньютона

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

*

Третий закон Ньютона



$$\boxed{\vec{F}_{ik} = -\vec{F}_{ki}}$$

Силы в природе

Силы всемирного тяготения (гравитационные силы)

Закон всемирного тяготения:

$$\boxed{F = G\frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}}$$

$G = 6{,}672 \cdot 10^{-11}$ Н·м^2/кг^2 – гравитационная постоянная

Ускорение свободного падения

$$mg = G\frac{mM_З}{R_З^2}$$

$$g = G\frac{M_з}{R_з^2}.$$

$$g = G\frac{M_з}{\left(R_з + h\right)^2}.$$

Сила тяжести

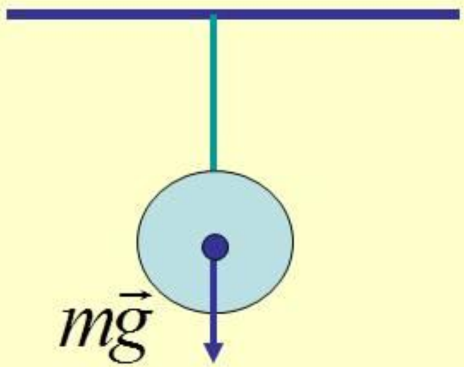
Одно из проявлений силы всемирного тяготения – сила притяжения тела к Земле, называемая *силой тяжести.*

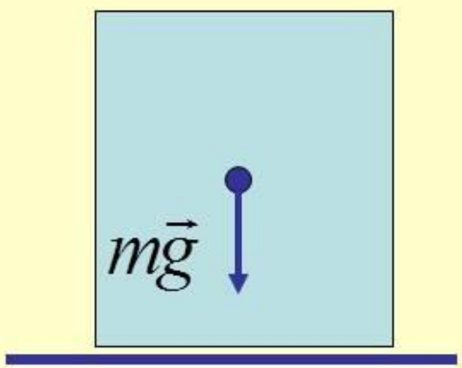
Она направлена к центру Земли.

$$\vec{F}_m = m\vec{g}$$

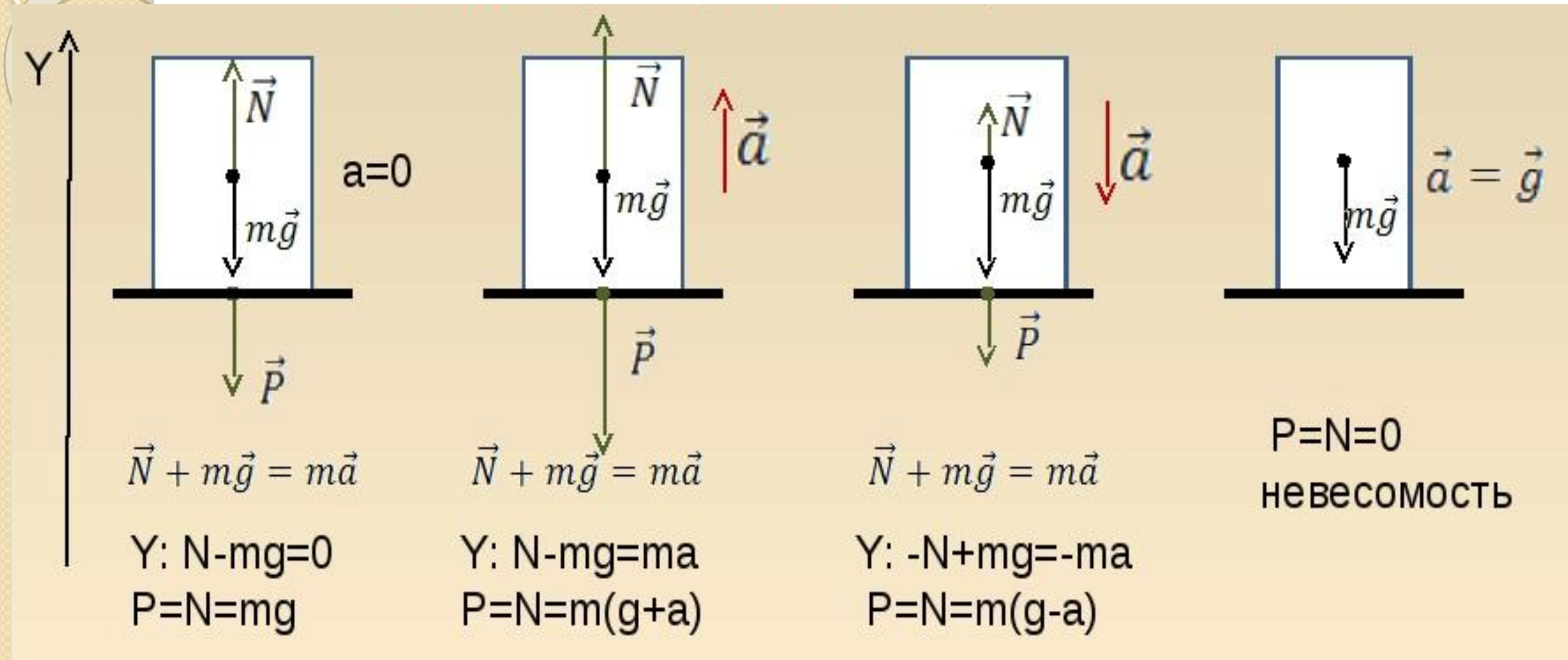
Точку приложения силы тяжести называют *центром тяжести тела*.

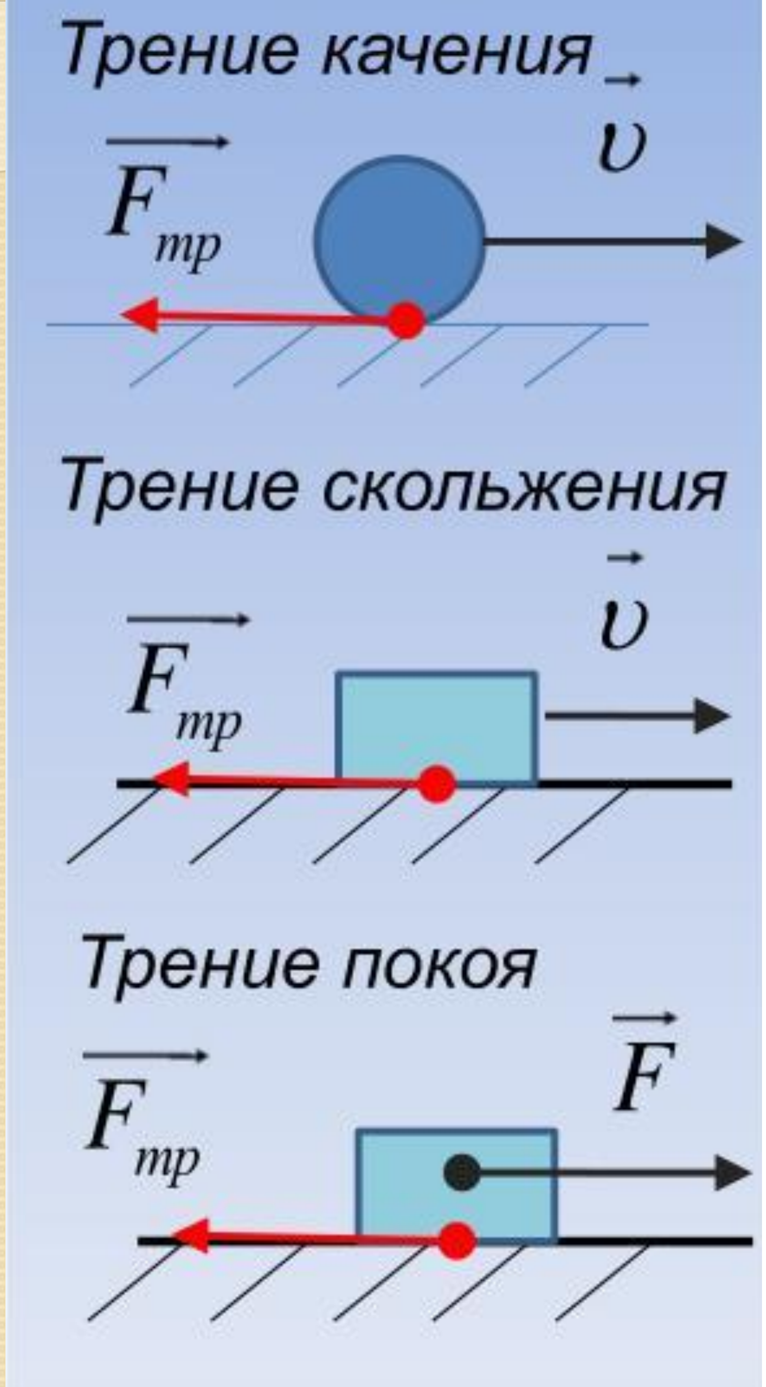
Положение центра тяжести тела совпадает с его центром масс.





Вес тела


Y
$\vec{N}$
$m\vec{g}$
$\vec{P}$
a=0
$\vec{a}$
$\vec{a} = \vec{g}$
$\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$
Y: N-mg=0
P=N=mg
Y: N-mg=ma
P=N=m(g+a)
Y: -N+mg=-ma
P=N=m(g-a)
P=N=0
невесомость



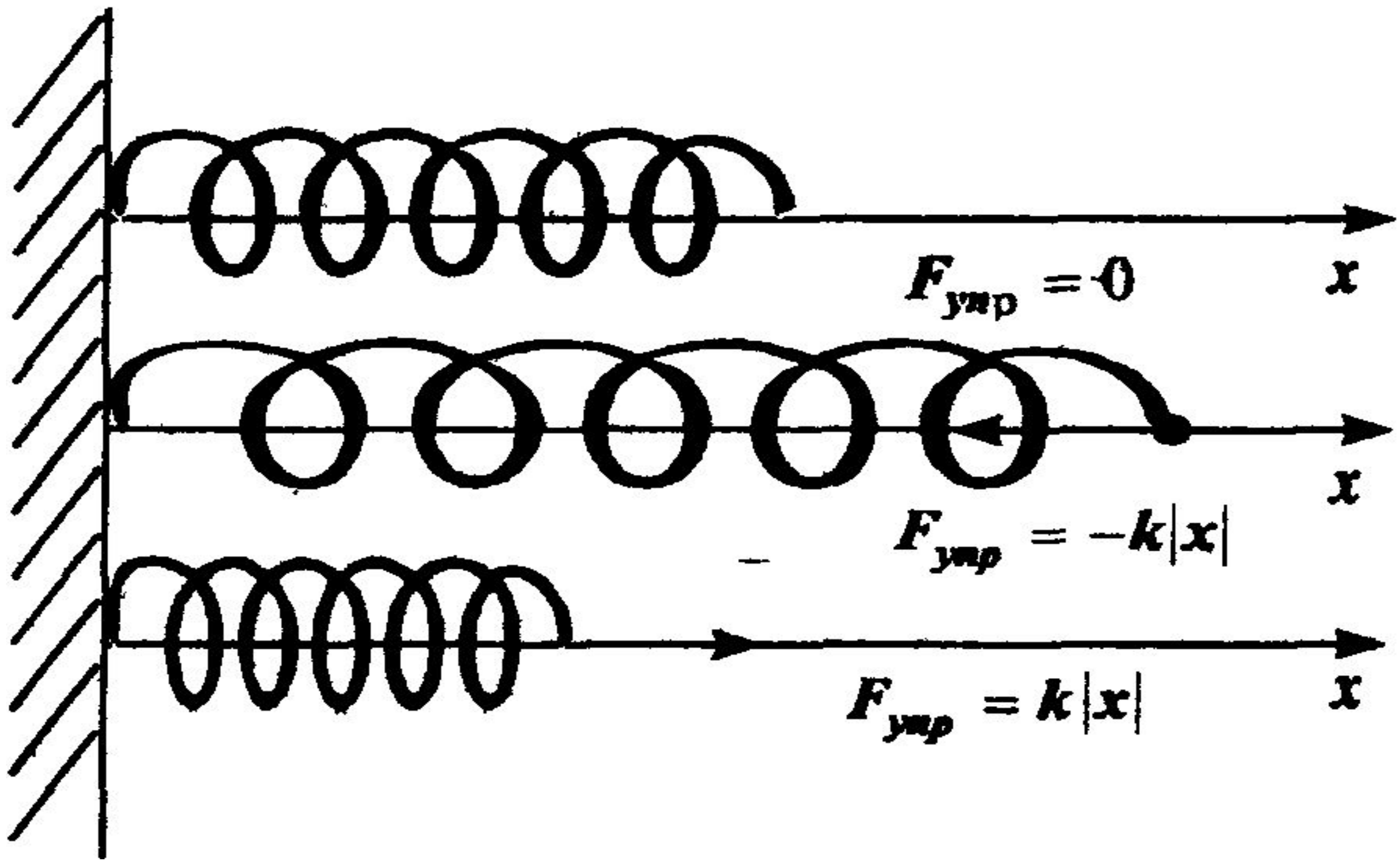
Сила трения

$$\boxed{\vec{F}_{тр} = \mu \cdot \vec{N}}$$

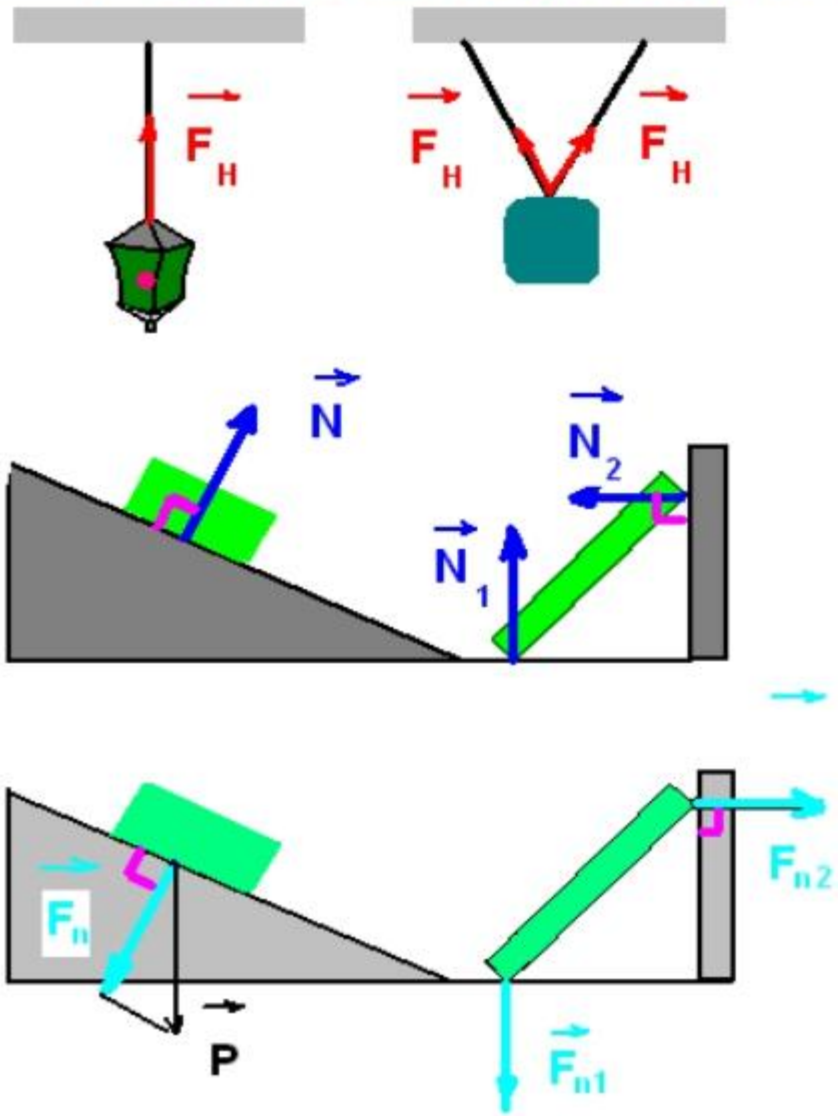
Сила упругости

- ***Упругой деформацией*** называют такую деформацию, которая исчезает после прекращения действия приложенных сил
- ***Пластической или остаточной деформацией*** называют такую деформацию, которая имеет место и после прекращения действия сил

Сила упругости



Разновидности силы упругости



- **Сила натяжения** -это сила упругости, действующая на тело со стороны нити или пружины Направлена вдоль нити

- **Сила реакции опоры**- это сила упругости, действующая на тело со стороны опоры. Направлены перпендикулярно ее поверхности вверх.

- **Сила нормального давления** это сила упругости действующая со стороны тела на опору. Направлены перпендикулярно поверхности вниз

Закон Гука

$$\sigma = E\left|\varepsilon\right|$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_o}$$ – *модуль относительной деформации*

$$\Delta l = l - l_o$$ *- модуль абсолютной деформации*

$$\sigma = \frac{F}{S}$$ *- механическое напряжение*

Коэффициент Пуассона: отношение относительного поперечного сжатия стержня к его относительному продольному удлинению (деформации):

$$\nu = -\frac{\Delta a}{a_0} : \frac{\Delta l}{l}$$

Работа. Мощность. Энергия. Импульс

Работа (A)

$$\delta A = \left(\vec{F} \cdot d\vec{r}\right) = \left(\vec{F} \cdot \vec{\upsilon}\right) \cdot dt,$$

$$A = \lim_{\Delta \vec{r} \to 0} \sum_{i=1}^{n} \left(\vec{F}_i \cdot \Delta \vec{r}_i\right) = \int_{\vec{r}} \left(\vec{F} \cdot d\vec{r}\right)$$

$$A = \int_0^l F \cdot \cos\alpha \cdot dl = \int_0^l F_l \cdot dl.$$

Единица измерения: джоуль [Дж]

ВЫВОДЫ

1) работа обладает свойством аддитивности;

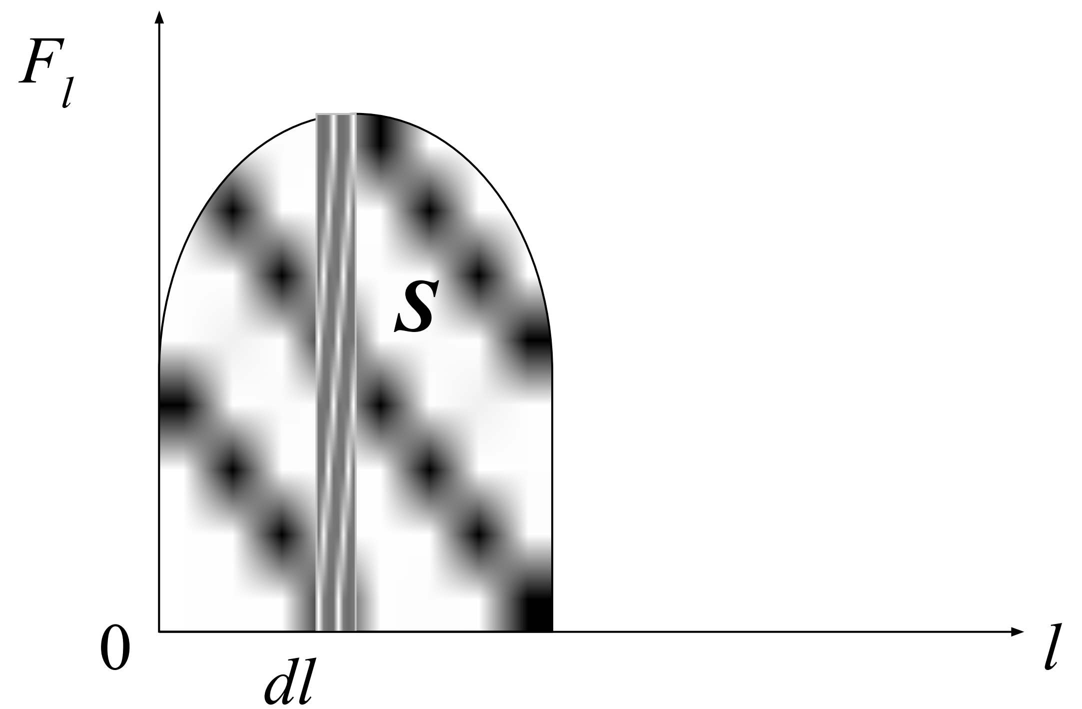
2) если $\pi/2>\alpha>0$, то $cos\alpha>0$ – работа положительна;

3) если $\alpha=\pi/2$, то работа равна нулю;

4) если $\pi>\alpha>\pi/2$, то работа совершается против действия силы и она отрицательна;

5) «центростремительная» сила (например, сила Лоренца) не совершает работы.

Схема зависимости касательной составляющей силы от длины
пути, пройденного телом



Мощность силы в поступательном движении

$$N = \frac{\delta A}{dt}$$

Мощность силы в поступательном движении

$$N = F\cdot\cos\alpha\cdot\frac{dl}{dt} = F\cdot\upsilon\cdot\cos\alpha$$

$$N = F\cdot v\cdot\cos\alpha = F_l\cdot v = \left(\vec{F}\cdot\vec{v}\right)$$

Вывод формулы кинетической энергии поступательно движущегося тела

$$\delta A = F_l \cdot dl$$

$$-F_l = m\frac{d\upsilon}{dt}$$

Вывод формулы кинетической энергии поступательно движущегося тела

$$\delta A = -m\frac{d\upsilon}{dt}\cdot dl = -m\frac{dl}{dt}d\upsilon$$

$$\delta A = -m\cdot\upsilon\cdot d\upsilon$$

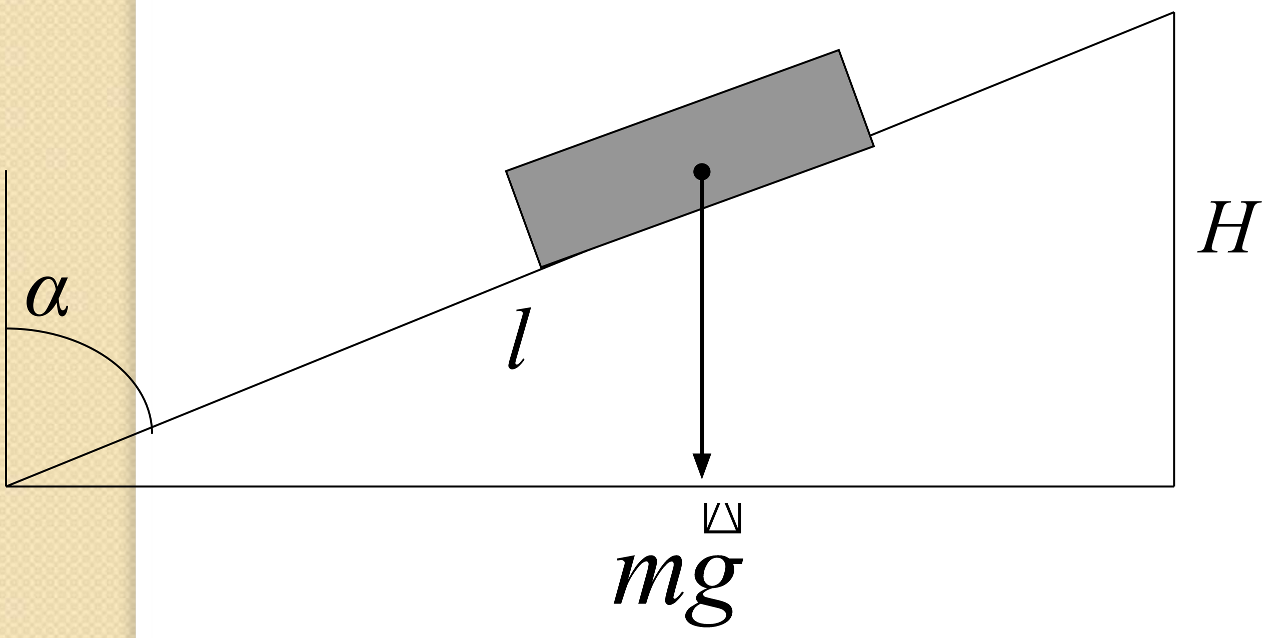
Вывод формулы кинетической энергии поступательно движущегося тела

$$A = -\int_{\upsilon}^{0} m \cdot \upsilon \cdot d\upsilon = \frac{m \cdot \upsilon^2}{2}$$

$$\boxed{W_k = A = \frac{m \cdot \upsilon^2}{2}}$$

Потенциальная энергия

$$A_{1\text{-}2} = W_{n1} - W_{n2}$$



$$A = P \cdot l \cdot cos\alpha = m \cdot g \cdot H$$

Работа силы тяжести на криволинейном пути

$$A = \sum_{i=1}^{n} \Delta A_i = \sum_{i=1}^{n} P \cdot \Delta H_i = P \cdot H = m \cdot g \cdot H$$

$$W_n = m \cdot g \cdot H + W_{n0}$$

$$\boxed{W_n = m \cdot g \cdot H}$$

Полная механическая энергия системы:

$$W = W_к + W_п$$

Импульс (количество движения) материальной точки

$$\boxed{\vec{p} = m \cdot \vec{\upsilon}}$$

$$\left[\frac{кг \cdot м}{с}\right]$$

Основное уравнение динамики поступательного движения материальной точки

$$m \cdot \vec{a} = m\frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = \frac{d(m\vec{\upsilon})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

$$\boxed{\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}} \qquad d\vec{p} = \vec{F} \cdot dt$$

Следствие из основного уравнения динамики поступательного движения

$$1.\ \vec{F} = const$$

$$\vec{p} = \int_0^t \vec{F} \cdot dt + m \cdot \vec{\upsilon}_0 = \vec{F} \cdot t + \vec{p}_0$$

$$2.\ \vec{F} \neq const,$$

$$m \cdot \vec{\upsilon}_2 - m \cdot \vec{\upsilon}_1 = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} \cdot dt = \vec{F}_{cp} \cdot (t_2 - t_1)$$

Законы сохранения в механике:

- Закон сохранения количества движения (импульса) тела
- Закон сохранения механической энергии
- Закон сохранения момента импульса

Закон сохранения импульса

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = m\frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = 0 \qquad p_x = const$$

$$\boxed{\vec{p} = \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{\upsilon}_i = const}$$

Применение закона сохранения импульса

- Абсолютно неупругий удар

Рис.
Схематическое изображение неупругого удара двух тел:
а) состояние до удара; б) после удара

$$\boxed{\vec{u} = \frac{m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2}{m_1 + m_2}.}$$

*

Закон сохранения и превращения энергии в механике

в замкнутой системе энергия может переходить из одних видов в другие и передаваться от одного тела к другому, но ее общее количество остается неизменным

закон сохранения механической энергии

$$W = W_к + W_п = const$$

полная механическая энергия консервативной системы

не изменяется с течением времени

применение закона сохранения механической энергии

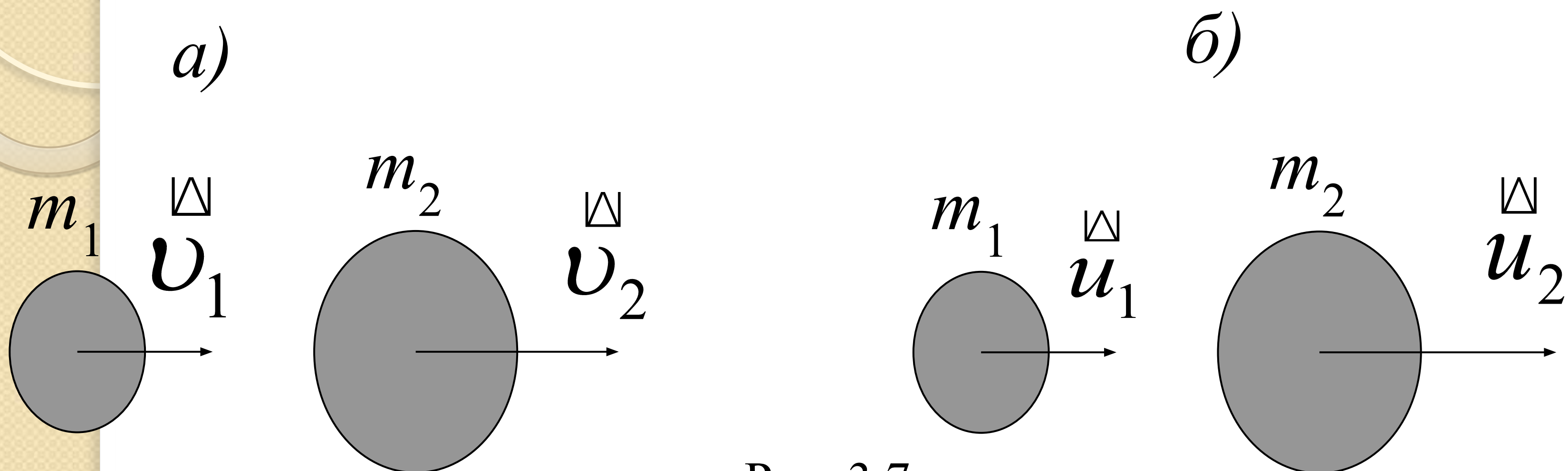


Рис. 3.7.
Схематическое изображение упругого прямого удара двух тел:
а) состояние до удара; б) после удара

$$\begin{cases} m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{u}_1 + m_1 \cdot \vec{u}_2 \\ \dfrac{m_1 \cdot v_1^2}{2} + \dfrac{m_2 \cdot v_2^2}{2} = \dfrac{m_1 \cdot u_1^2}{2} + \dfrac{m_2 \cdot u_2^2}{2} \end{cases}$$

Применение законов сохранения импульса и механической энергии (продолжение)

$$\begin{cases} u_1 = \dfrac{v_1(m_1 - m_2) + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2} \\ u_2 = \dfrac{v_2(m_2 - m_1) + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2} \end{cases}$$

Закон сохранения момента импульса

$$\vec{M}^{внеш} = 0$$

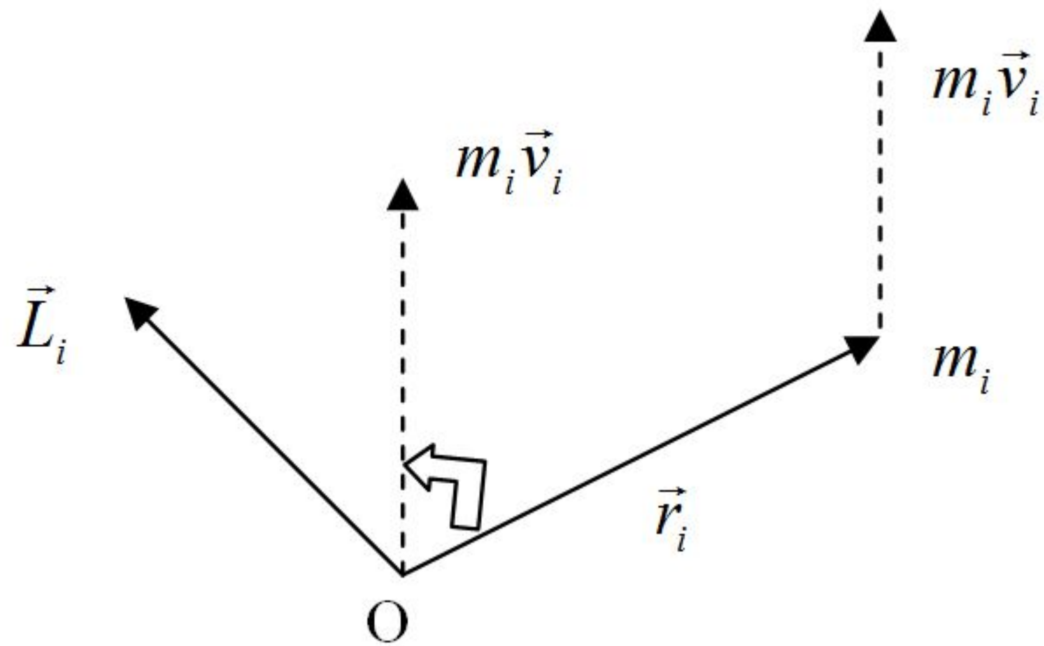
$$\frac{d\vec{L}_z}{dt} = 0$$

$$\boxed{\vec{L}_z = const}$$

$$I_z\vec{\omega} = const$$

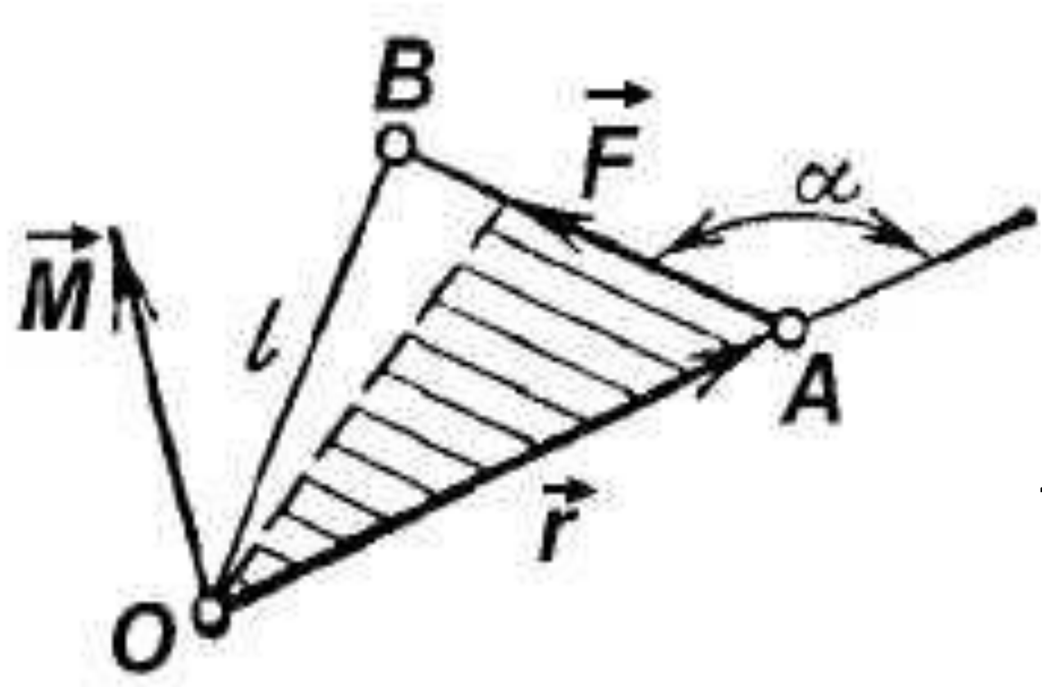
Элементы механики твердого тела. Работа, мощность и энергия вращательного движения

Момент импульса



$$\vec{L} = [\vec{r}, m\vec{v}]$$

Момент силы

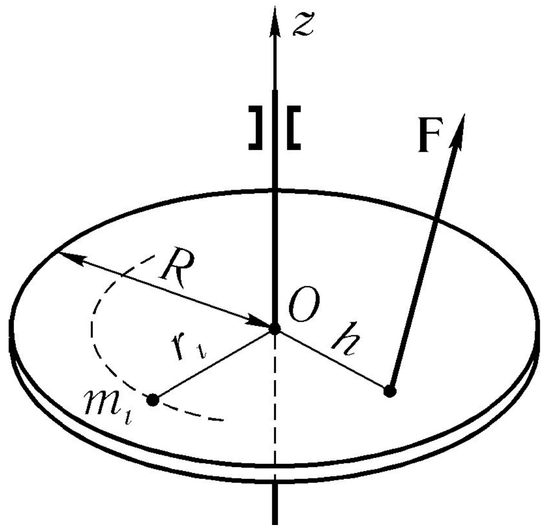


$$\vec{M}_i = [\vec{r}_i, \vec{F}_i]$$

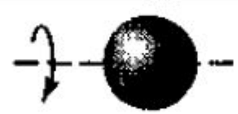
$$M = F \cdot r \cdot \sin\alpha$$

$$M = F \cdot l$$

Момент инерции тела

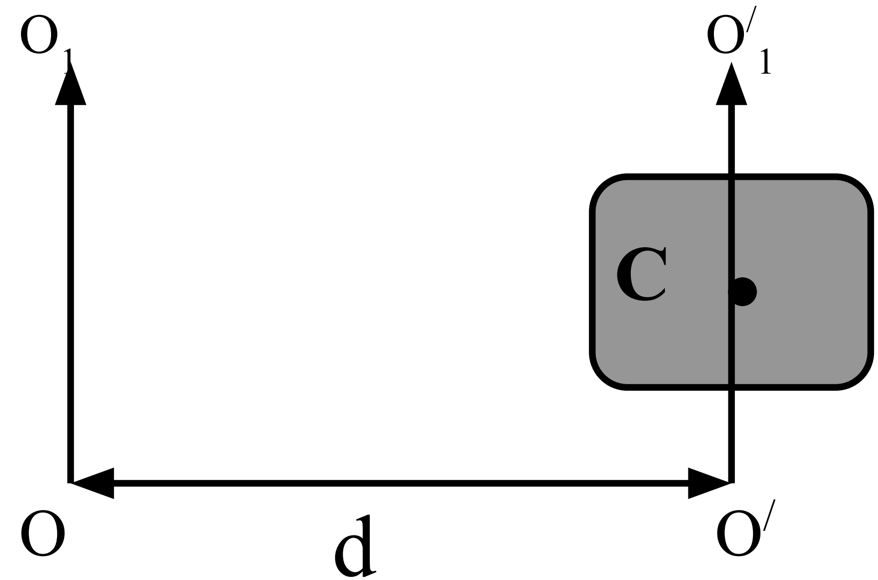


$$I_{Oz} = \sum m_i r_i^2$$

Тело	Положение оси вращения	Момент инерции
Полый тонкостенный цилиндр радиусом R	Ось симметрии 	$J = mR^2$
Сплошной цилиндр или диск радиусом R	Ось симметрии 	$J = \frac{1}{2}mR^2$
Прямой тонкий стержень длиной l	Ось перпендикулярна стержню и проходит через его середину 	$J = \frac{1}{12}ml^2$
Прямой тонкий стержень длиной l	Ось перпендикулярна стержню и проходит через его конец 	$J = \frac{1}{3}ml^2$
Шар радиусом R	Ось проходит через центр шара 	$J = \frac{2}{5}mR^2$

Теорема Штейнера (теорема о переносе осей инерции)

$$\boxed{I = I_C + m \cdot d^2}$$



Теорема Штейнера: момент инерции тела *I* относительно произвольной оси OO_1 равен сумме момента инерции тела I_C относительно оси $O^/O^/_1$, проведенной через центр инерции тела параллельно оси OO_1 и произведения массы *m* тела на квадрат расстояния между этими осями

Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}^{внеш}.$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = I\frac{d\vec{\omega}}{dt} = I\vec{\varepsilon} = \vec{M}$$

Второй закон Ньютона во вращательном движении

$$\boxed{\vec{\varepsilon} = \frac{\vec{M}_z^{\,внеш}}{J_z}.}$$

Угловое ускорение твердого тела, вращающегося относительно неподвижной оси OZ, прямо пропорционально результирующему моменту (относительно этой оси) действующих на тело всех внешних сил, и обратно пропорционально моменту инерции тела относительно той же оси

Работа, совершаемая за конечный промежуток времени при вращательном движении

$$A = \int_0^{\varphi} \delta A = \int_0^{\varphi} M_z \cdot \cos\alpha \cdot d\varphi = \int_0^{\varphi} \left(\vec{M}_z \cdot d\vec{\varphi}\right).$$

Мощность силы во вращательном движении

$$N = \frac{\delta A}{dt} = \frac{\left(\vec{M}_z \cdot d\vec{\varphi}\right)}{dt} = \left(\vec{M}_z \cdot \frac{d\vec{\varphi}}{dt}\right)$$

$$N = \left(\vec{M}_z \cdot \vec{\omega}\right)$$

Кинетическая энергия вращающегося тела

$$W_k^{вращ} = \frac{\omega^2}{2}\sum_{i=1}^{n} m_i \cdot \rho_i^2 = \frac{I_z \cdot \omega^2}{2}$$

$$W_k + W_k^{вращ} = \frac{m \cdot v_C^2}{2} + \frac{I_z \cdot \omega^2}{2}.$$