

Лекция 1

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Учебники:

Грабовский Р.И. Курс физики

Трофимова Т.И. Курс физики

Разделы физики:

Механика, Молекулярная физика и
Термодинамика, **Электричество и
магнетизм**, **Оптика**, Атомная и ядерная
физика.

Классическая механика ($M \gg m_e ; V \ll c$)

три раздела:

1) Кинематика

изучает движение тел, не рассматривая причины, которые это движение вызывают.

2) Динамика

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

3) Статика

изучает законы равновесия системы тел.

Механическое движение — это изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.

Механическое движение тела

Поступательное движение - при котором все точки движутся одинаково

Вращательное движение – при котором все точки тела описывают окружности, центры которых лежат на одной прямой, называемой **осью вращения**

Колебания - движения, характеризующиеся повторяемостью во времени.

§1 Кинематика.

Абсолютно твердым телом называется недеформируемое тело (форма и размеры тела не меняются).

Материальная точка – тело, формой и размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи.

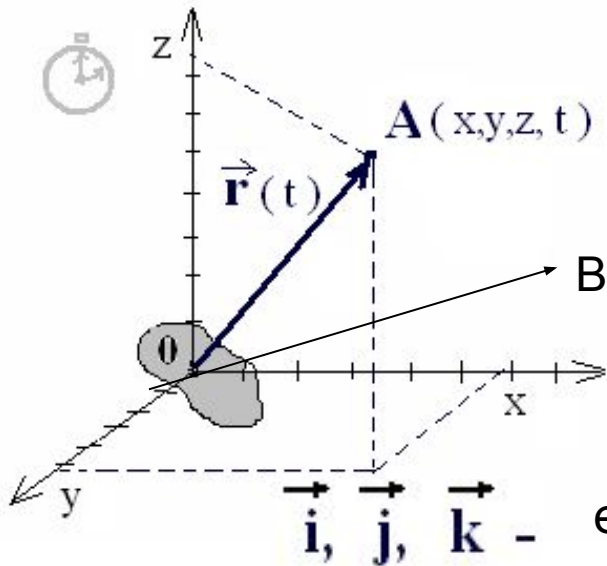
Тело отсчета – условно неподвижное тело, относительно которого рассматривается движение других тел.

Система отсчета: тело отсчета, жестко связанная с ним система координат и прибор для определения времени.

Декартова система – прямоугольная система координат

В классической механике **время абсолютно**

Способы задания положения и движения тела



1) С помощью **радиус-вектора** , проведенного из начала координат в точку нахождения тела.

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

2) С помощью **трех координат x, y, z** , отвечающих положению тела в данный момент времени **t** .

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

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - единичные вектора вдоль координатных осей

Траектория — линия, описываемая точкой в пространстве с течением времени.

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

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$

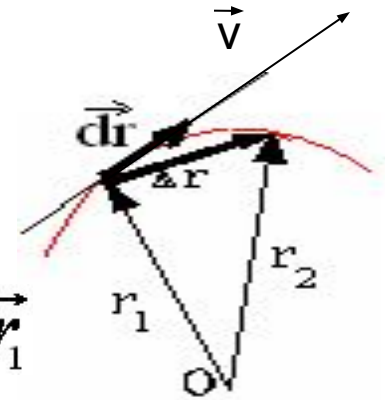
кинematicкими уравнениями движения материальной точки

Кинематические характеристики движения

Поступательное движение

Перемещение - вектор, проведенный из начального положения тела в его конечное положение.

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$



Пройденный путь s – скалярная величина, равная длине участка траектории между начальной и конечной точками пути.

При прямолинейном движении $|\Delta r| = \Delta s$.

Скорость – векторная величина, равная отношению бесконечно малого перемещения ко времени этого перемещения.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Ускорение характеризует быстроту изменения скорости движения

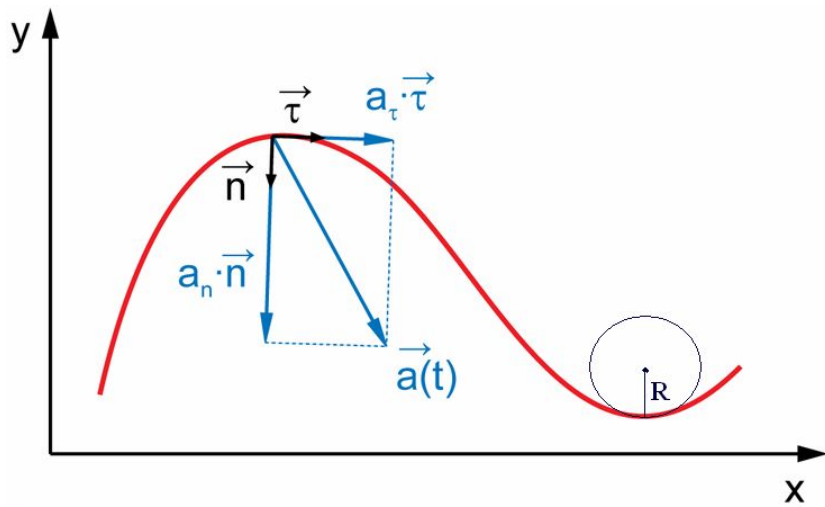
Ускорение материальной точки – векторная величина, равная отношению бесконечно малого изменения скорости ко времени этого изменения.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Вектор ускорения можно представить в виде суммы нормальной и тангенциальной составляющих.

$$\vec{a} = a_n \cdot \vec{n} + a_\tau \cdot \vec{\tau}$$

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



$$a_t = dV/dt$$

$$a_n = V^2/R$$

R – радиус кривизны траектории в точке определения a.

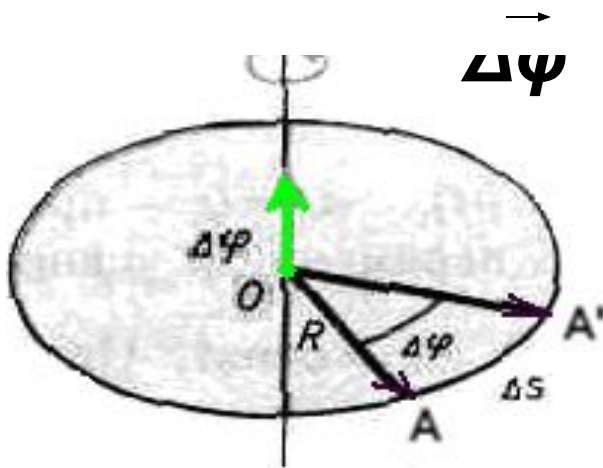
Нахождение пройденного пути :

Если выражение $ds = v dt$ проинтегрировать по времени в пределах от t_1 до t_2 , то найдем путь, пройденный точкой за время $\Delta t = t_2 - t_1$:

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

Вращательное движение

Угол поворота – аксиальный вектор, модуль которого равен углу между начальным и конечным положением радиус-вектора R , определяющего положения точки тела относительно оси вращения.



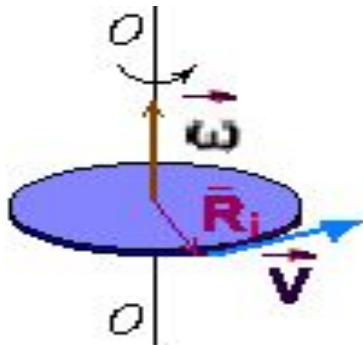
$\vec{\Delta\varphi}$ в СИ – $1 \text{ об} = 360^\circ = 2\pi \text{ рад} \approx 6,28 \text{ рад}$
[рад]

Период T – время одного оборота

- Аксиальные векторы откладываются вдоль оси вращения из любой ее точки.
- Направление такое, что из конца вектора вращение видно происходящим против часовой стрелки – правило правого винта

Угловая скорость – аксиальный вектор, равный отношению бесконечно малого угла поворота ко времени.

$$\vec{\omega} = d\vec{\varphi}/dt.$$



Нахождение угла поворота :

Если выражение $d\varphi = \omega dt$ проинтегрировать по времени в пределах от t_1 до t_2 , то найдем угол поворота время $t_2 - t_1$:

в СИ – [рад/с]

$$\varphi = \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt$$

Соотношения между угловой скоростью ω , периодом T и частотой вращения ν :

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

Угловое ускорение - аксиальный вектор, равный производной от угловой скорости по времени.

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

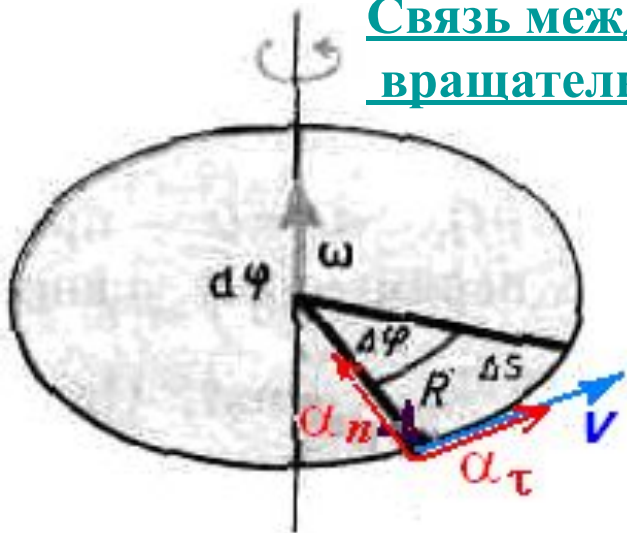
в СИ -

[рад/с²]

При ускоренном вращении $\vec{\varepsilon}$ совпадает по направлению с вектором угловой скорости, при замедленном - направлен противоположно $\vec{\omega}$.

При вращении тела относительно неподвижной оси все точки тела движутся с одинаковыми ω и одинаковыми ε .

Связь между линейными и угловыми характеристиками вращательного движения тела.



Длина дуги окружности (пути): $\Delta s = R\Delta\varphi$,
где R - модуль радиус-вектора.

Модуль линейной скорости: $v = \omega R$

Модуль линейного тангенциального ускорения: $\alpha_{\tau} = \varepsilon R$

Модуль нормального ускорения: $\alpha_n = \omega^2 R$

Полное ускорение: $a = \sqrt{a_{\tau}^2 + a_n^2} = \sqrt{\varepsilon^2 R^2 + \omega^4 R^2}$

Классификация движения по ускорению и форме траектории

Классификация движения материальной точки (поступательного движения тела)

1	$a_n = 0, a_\tau = 0$	– равномерное прямолинейное движение
2	$a_n \neq 0, a_\tau = 0$	– равномерное движение по окружности
3	$a_n = 0, a_\tau \neq 0$	– равнопеременное прямолинейное движение
4	$a_n \neq 0, a_\tau \neq 0$	– неравномерное криволинейное движение

Классификация вращательного движения тела

- Вращение:
1. **равномерное** ($\omega = \text{const}, \varepsilon = 0$),
 2. **равнопеременное** ($\varepsilon = \text{const} \neq 0$),
 3. **неравномерное.**

Поступательное

Вращательное

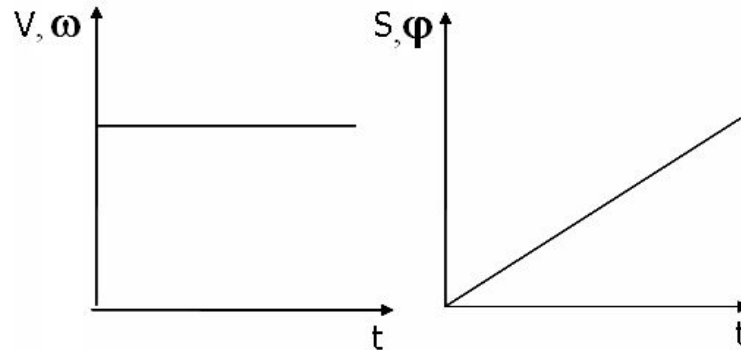
Равномерное прямолинейное движение

$$S = \Delta r = Vt$$

Равномерное вращение

$$\phi = \omega t$$

Графики движения



Равноускоренное прямолинейное движение

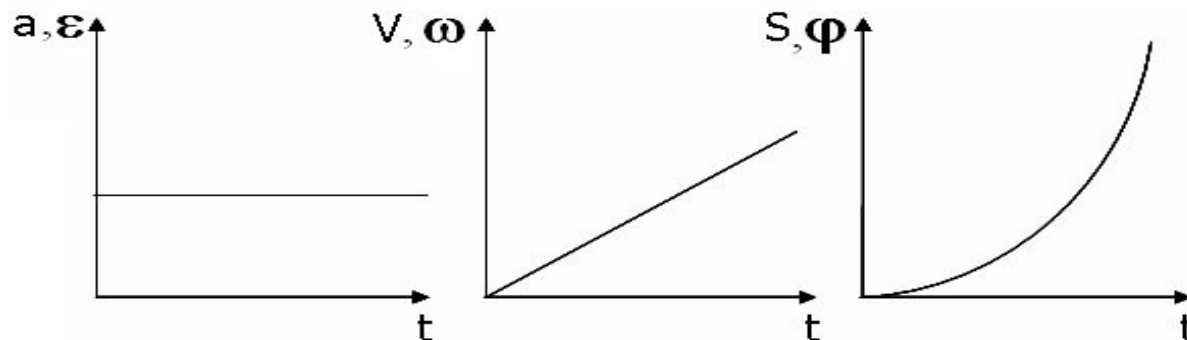
$$V = V_0 + at$$

$$S = \Delta r = S_0 + V_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Равноускоренное вращение

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t$$
$$\phi = \phi_0 + \omega_0 t + \varepsilon t^2 / 2$$

Графики движения (при $S_0, \phi_0 = 0, V_0, \omega_0 = 0$)



§2 Динамика поступательного движения.

Динамика устанавливает связь между взаимодействием тел и изменениями в их движении. Сила – вектор, мера взаимодействия

Первый закон Ньютона (закон

Материала) *Материальная точка сохраняет состояние покоя или прямолинейного равномерного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не выведет ее из этого состояния.* m – масса, мера инертности

Системы отсчета, где выполняется закон инерции – инерциальные.

Второй закон Ньютона (основной закон динамики)

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

Под действием силы материальная точка приобретает ускорение, пропорциональное силе, и направленное так же как сила.

Закон
изменени
я

$$F\Delta t = mv - mv_0$$

Импульсом точки называется векторная величина

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

Скорость изменения импульса пропорциональна действующей силе.

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$$

Закон
сохранени
я

В случае отсутствия внешних сил импульс тела (системы тел) сохраняется. $\Sigma p_i = \text{const}$

импульса:

Третий закон Ньютона

Если тело B воздействует на тело A с силой \vec{F}_1 , то тело A в свою очередь воздействует на тело B с силой \vec{F}_2 , численно равной \vec{F}_1 и направленной в противоположную сторону.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Силы Гравитационные силы (силы тяготения)

$$|F| = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Закон всемирного тяготения (Ньютон):

Между любыми двумя материальными точками действует сила взаимного притяжения, прямо пропорциональная произведению масс этих точек (m_1 и m_2) и обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними (r^2):

$$G = 6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$$

гравитационная постоянная.

Силы тяготения - притяжения; направлены по прямой, соединяющей центры масс тел; не зависят от среды, в которой находятся тела. **$F_{\text{тяжести}} = mg$** - сила притяжения тела к Земле

Сила упругости возникает в теле при его деформации.

Закон Гука в интегральной форме:

Абсолютное удлинение при упругой деформации пропорционально действующей силе.

$$F_{\text{упр}} = -kx$$

Закон Гука в дифференциальной форме: Относительное удлинение ε и напряжение σ прямо пропорциональны друг другу.

$$\sigma = E\varepsilon$$

E - модуль Юнга, $\varepsilon = \Delta l / l$, $\sigma = F / S$, S - площадь

Сила трения препятствует движению соприкасающихся тел друг относительно друга.

$$F_{\text{тр.ск.}} = \mu N$$

трение покоя

трение скольжения

трение качения

Трение

Сухое (внешнее)

Вязкое (внутреннее)

$$F_{\text{в.тр.}} \sim v$$

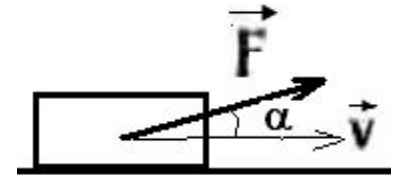
Центростремительная сила

действующая на тело массой m , движущееся по окружности радиусом R ,

$$F_{\text{ц}} = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R \quad v(\omega) \text{ — линейная (угловая) скорость тела.}$$

Работа и мощность силы

Работа постоянной силы F на прямолинейном участке пути s :



$$A = F s \cos \alpha$$

α — угол между направлением силы и пути.

При $\alpha < \pi/2$: работа силы > 0 , \vec{F} совпадает по направлению с \vec{v}

При $\alpha > \pi/2$: работа силы < 0 , \vec{F} направлено противоположно \vec{v}

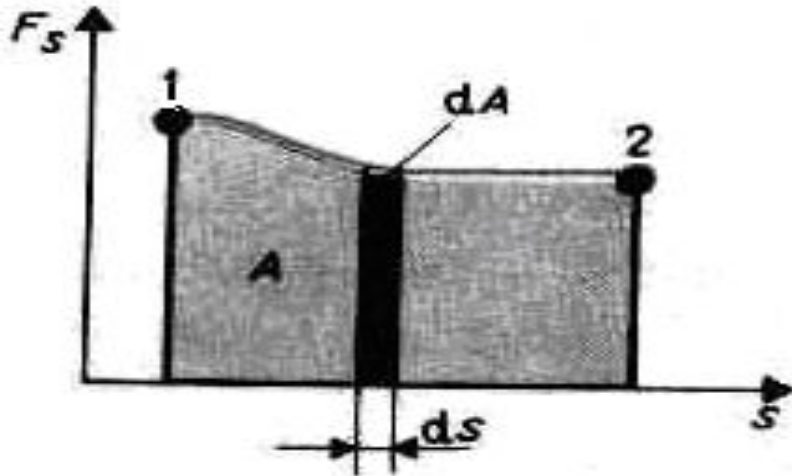
При $\alpha = \pi/2$ (сила \perp перемещению): работа силы $= 0$, $F_s = 0$

В СИ —
джоуль (Дж)

Работа переменной силы на конечном участке пути = алгебраической сумме dA на отдельных ds

$$A = \int_1^2 F ds \cos \alpha = \int_1^2 F_s ds$$

Графическое представление работы



$$A = \int_{t_1}^{t_2} N(t) dt$$

- Работа переменной мощности за конечный промежуток времени

Мощность – скалярная величина, характеризует скорость совершения работы

В СИ — **ватт (Вт)**

Для постоянной мощности

$$N = A/t = Fv \cos \alpha$$

A — работа, совершаемая за время t ;

F — сила; v — скорость движения;

α — угол между направлениями силы и скорости.

Консервативными (**потенциальными**) называются силы, **работа** которых **не зависит от траектории движения**, а определяется только **начальным и конечным положением** материальной точки.

(Силы тяготения, упругости)

Если **работа**, совершаемая силой, **зависит от траектории** перемещения тела, то сила называется **неконсервативной** или **диссипативной**. (Сила трения)

Способность тела к совершению механической работы — механическая энергия

Потенциальная

Потенциальная энергия – механическая энергия системы тел, определяемая их взаимным расположением и взаимодействием.

Для поля консервативных сил работу по изменению положения точки можно записать в виде разности 2 чисел: $A_{12} = \Pi_1 - \Pi_2$,

Π_1 – зависит от начального положения ; Π_2 – зависит от конечного положения

Тело в точке поля потенциальных сил, обладает **потенциальной энергией Π** .

$$dA = - d\Pi$$

Работа консервативных сил при элементарном изменении конфигурации системы равна **убыли потенциальной энергии**.

Если известна $\vec{F}(r)$:

$$A = \int_1^2 F ds \cos \alpha = \int_1^2 F_s ds$$

$$\Pi = - \int F dr + C,$$

Потенциальная энергия определяется с точностью до произвольной постоянной C .

Считают, что при определенной конфигурации системы $\Pi=0$, а Π в других положениях отсчитывают относительно нулевого уровня.

Сила тяготения – консервативна $\Pi = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r}$

Сила тяжести – консервативна $\Pi = mgh$

Сила упругости – консервативна. $\Pi =$

Силы трения – неконсервативные (диссипативные) $kx^2/2$

Кинетическая энергия

Кинетическая энергия (Т) — это энергия механического движения, измеряемая работой, совершаемой телом до полной остановки.

Сила \vec{F} , вызывая движение тела, совершает работу, а энергия движения тела изменяется на величину затраченной работы: $\underline{dA = dT}$

$$dA = (\vec{F} ds) = m(d\vec{v}/dt) ds = m(ds/dt) d\vec{v} = m\vec{v} d\vec{v} = dT$$

$$T = \int_0^v m\vec{v} d\vec{v} = mv^2/2$$

Тело массой m , движущееся со скоростью v , обладает кинетической энергией:

$$T =$$

Кинетическая энергия всегда положительна

Кинетическая энергия зависит от выбора системы отсчета.

✦ Работа, совершаемая над телом на участке пути, идет на приращение кинетической энергии:

$$A_{12} = T_2 - T_1$$

Полная механическая энергия — энергия механического движения и взаимодействия, равна сумме кинетической и потенциальной энергий

$$T + \Pi = E$$

Для материальной точки, движущейся под действием консервативных сил:

$$A_{12} = T_2 - T_1 \text{ и } A_{12} = \Pi_1 - \Pi_2 \longrightarrow \Pi_1 - \Pi_2 = T_2 - T_1 \longrightarrow E_1 = E_2$$

Закон сохранения механической энергии

$$T + \Pi = E = \text{const}$$

Полная энергия материальной точки в поле консервативных сил сохраняется

Закон сохранения механической энергии для замкнутой системы:

В системе тел, между которыми действуют только консервативные силы, полная механическая энергия сохраняется (не изменяется со временем).

В диссипативных системах (имеются неконсервативные силы) механическая энергия постепенно уменьшается за счет преобразования в другие (немеханические) формы энергии.

Закон сохранения механической энергии для незамкнутой системы:

Изменение полной механической энергии системы равно работе, совершенной внешними силами.

§ 3 Динамика вращательного движения

Таблица аналогий характеристик, определяющих динамику **вращения тела вокруг неподвижной оси** и поступательное движение тела.

Поступательное движение		Вращательное движение	
Масса	m	<u>Момент инерции</u>	J
Сила	\vec{F}	<u>Момент силы</u>	M_z или \vec{M}
Импульс	$\vec{p} = m\vec{v}$	<u>Момент импульса</u>	$L_z = J_z\omega$
Основное уравнение динамики	$\vec{F} = m\vec{a}$	<u>Основное уравнение динамики вращения</u>	$M_z = J_z\varepsilon$
	$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$		$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}$
Работа	$dA = F_x ds$	<u>Работа вращения</u>	$dA = M_z d\varphi$
Кинетическая энергия	$mv^2/2$	<u>Кинетическая энергия вращения</u>	$J_z\omega^2/2$

Момент инерции материальной точки I_i = произведению массы материальной точки на квадрат расстояния от оси вращения до рассматриваемой точки:

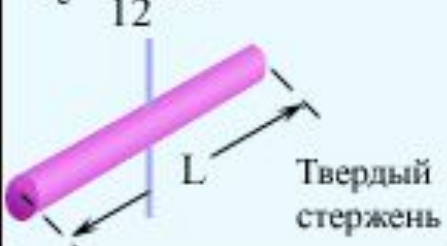
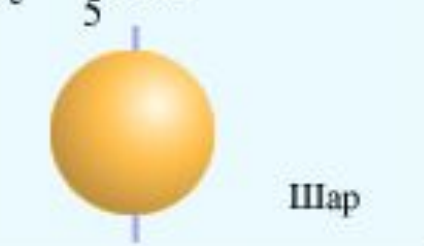




$$I_i = m_i r_i^2$$

Моментом инерции тела I относительно данной оси называется скалярная величина :

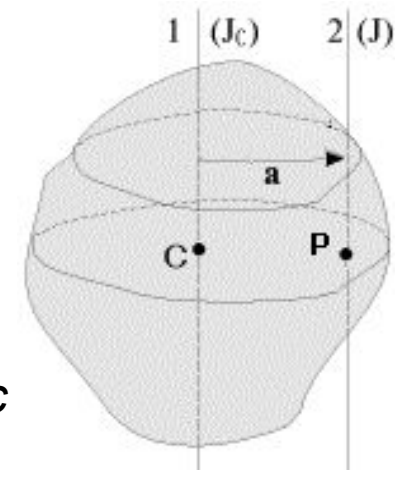
$$I = \sum m_i \cdot r_i^2$$

в СИ - [кг*м²].
Момент инерции тела зависит выбора оси вращения.

Моменты инерции тел относительно главных осей

 <p>Твердый стержень</p>	 <p>Шар</p>	 <p>Тонкостенная сферическая оболочка</p>
$I_c = MR^2$	$I_c = \frac{1}{2} MR^2$	$I_c = \frac{1}{4} MR^2$
 <p>Тонкостенный цилиндр</p>	 <p>Диск</p>	 <p>Диск</p>

Теорема Штейнера: Момент инерции I_P относительно неподвижной оси можно выразить через момент инерции I_C этого тела относительно оси, проходящей через центр масс тела и параллельной первой по формуле: **$I_P = I_C + ma^2$**



а – расстояние между осями

Моментом силы относительно неподвижной оси Z называется произведение:

$$M = FR \quad \text{В СИ -}$$

где R – расстояние между осью вращения и прямой, вдоль которой действует сила F , плечо силы

Основное уравнение динамики вращения

$$M = J\epsilon$$

ϵ – угловое ускорение вращающегося тела;
 J – момент инерции тела.

Моментом импульса материальной точки относительно неподвижной оси называется произведение: $L = pR = mvR$

где R – расстояние между осью вращения и прямой, вдоль которой действует импульс p

$$L_z = \sum_{i=1}^n m_i v_i r_i = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \omega = \omega \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = I_z \omega$$

$$L_z = I_z \omega$$

L и M – аксиальные вектора, их направление совпадает с направлением угловой скорости и углового ускорения соответственно.

Закон сохранения момента импульса в изолированной системе: $\sum L_i = \sum_{i=1} J_i \omega_i = \text{const}$

Закон изменения момента импульса: $dL/dt = M$ Скорость изменения момента импульса твердого тела = моменту сил относительно той же оси.

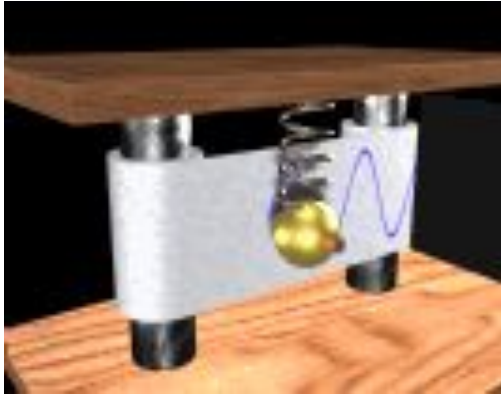
При сложном движении тела кинетическая энергия складывается из энергии поступательного движения и энергии вращения:

$$T = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{I_c \omega^2}{2}$$

§ 4. Гармонические колебания и их характеристики

Периодические процессы — процессы, повторяющиеся через равные промежутки времени (период колебания T – время одного полного колебания).

Гармонические колебания — колеблющаяся величина изменяется со временем по гармоническому закону (синуса или косинуса).



Свободные колебания пружинного маятника.

Уравнение гармонического колебания

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

A - максимальное значение колеблющейся величины – амплитуда колебаний,

$\omega t + \varphi_0$ - фаза колебаний в момент времени t

ω - круговая (циклическая) частота, φ_0 - начальная фаза колебаний

За период фаза гармонического колебания получает приращение 2π .

$$\omega(t+T) + \varphi = (\omega t + \varphi_0) + 2\pi \quad \implies \quad T = 2\pi/\omega \quad \nu = 1/T \text{ - частота (Гц)}$$

Скорость и ускорение точки, совершающей гармонические колебания:

$$v = \frac{\partial x}{\partial t} = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$a = \frac{\partial v}{\partial t} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x$$

Возвращающая сила

$$F = ma = -m\omega^2 x = -kx$$

пропорциональна смещению точки из положения равновесия и направлена к положению равновесия

Для пружинного маятника

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

m – масса точки, k – коэффициент возвращающей силы, жесткость пружины

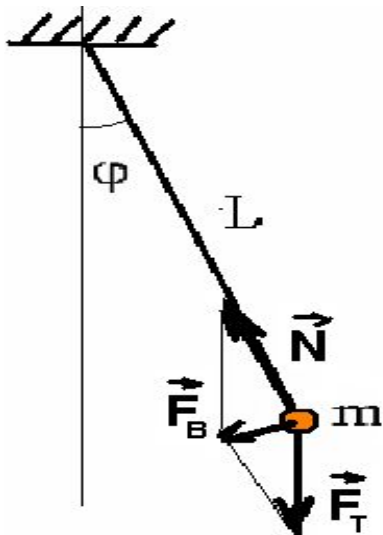
Кинетическая T ,
потенциальная Π
и полная E энергия
гармонического
колебания:

$$T = \frac{mv^2}{2} = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2} \cos^2 \left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0 \right)$$

$$\Pi = \frac{kx^2}{2} = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2} \sin^2 \left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0 \right)$$

$$E = T + \Pi = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2} = mA^2\omega^2/2$$

E остается постоянной, при гармонических колебаниях справедлив закон сохранения механической энергии (упругая сила консервативна)



Математическим маятником называется тело небольших размеров (материальная точка), подвешенное на длинной, невесомой и нерастяжимой нити.

Для малых колебаний математического маятника

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

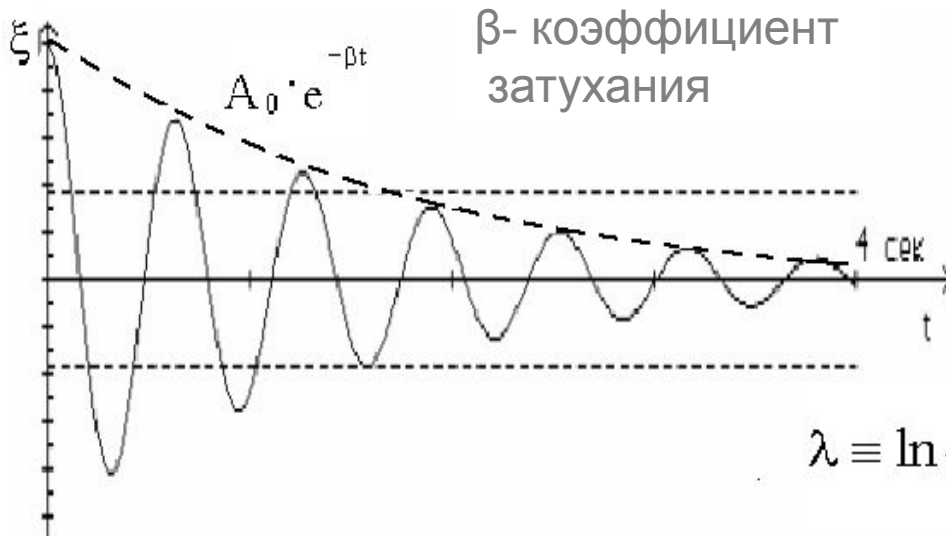
L – длина маятника, g – ускорение свободного падения

§ 4. Затухающие и вынужденные колебания. Резонанс.

В реальных системах всегда присутствуют силы трения. Колебания затухают.

При наличии затухания в системе существуют потери энергии - переход механической энергии в тепловую.

С течением времени уменьшается амплитуда колебаний. $A = A_0 \cdot e^{-\beta t}$



По сравнению с частотой свободных колебаний ω_0 частота колебаний системы при затухании уменьшается а период увеличивается

Логарифмический декремент затухания

$$\lambda \equiv \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \ln \frac{A_0 e^{-\beta t}}{A_0 e^{-\beta(t+T)}} = \ln e^{\beta T} = \beta T$$

Чтобы колебания не затухали, нужно периодически подводить энергию.

Вынужденные колебания - это колебания, происходящие под действием периодического внешнего воздействия.

Внешняя сила, изменяющаяся по гармоническому закону:

$$F(t) = F_0 \cdot \text{Cos } \omega t$$

Установившиеся вынужденные колебания – гармонические колебания с частотой вынуждающей силы:

$$\xi(t) = A \cdot \text{Cos}(\omega t - \varphi)$$

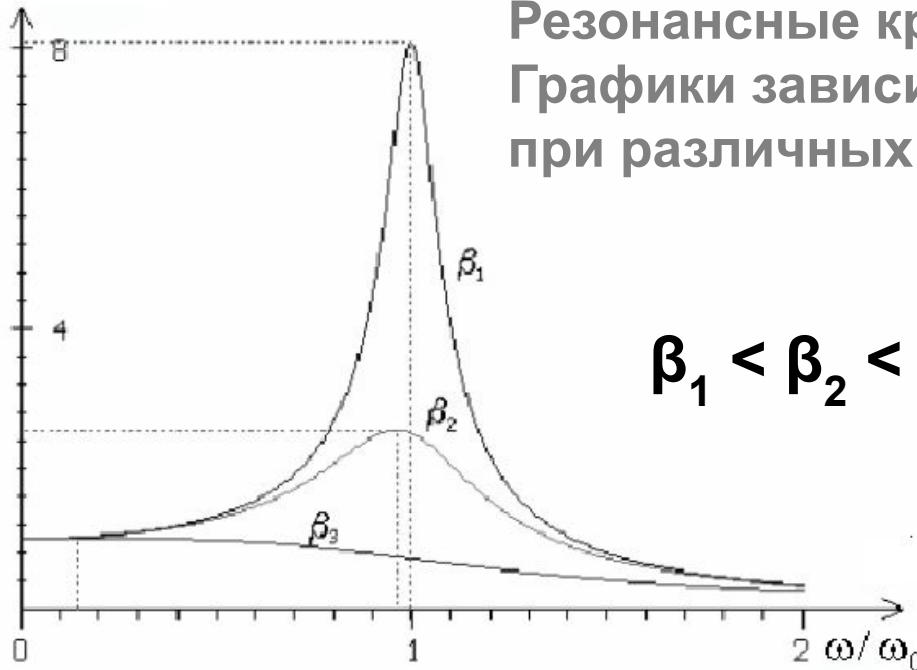
Амплитуда вынужденных колебаний изменяется с изменением частоты внешнего воздействия.

$$A = A(\omega)$$

При определенной частоте вынуждающей силы амплитуда резко возрастает, достигая максимума. Это явление называется резонансом, а соответствующая частота - $\omega_{\text{рез}}$ - резонансной.

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

$A(\omega)/A(0)$



Резонансные кривые -
Графики зависимости $A(\omega)$
при различных β .

$$\beta_1 < \beta_2 < \beta_3$$

$2\beta_3^2 > \omega_0^2$,
резонанс отсутствует

Вынужденные колебания – это **незатухающие** колебания.

Неизбежные потери энергии на трение компенсируются подводом энергии от внешнего источника периодически действующей силы.

§ 7. Описание упругой гармонической волны

Волна – процесс распространения колебаний в пространстве с течением времени. **Источник волны** - колебательный процесс

Упругая волна - это процесс распространения колебаний в упругой среде, **отдельные части которой упруго связаны между собой.**

Направление распространения волны называется лучом.

Если колебания происходят в направлении распространения волны (луча), волна называется продольной

Если колебания происходят в направлении перпендикулярном к лучу, волна называется поперечной.

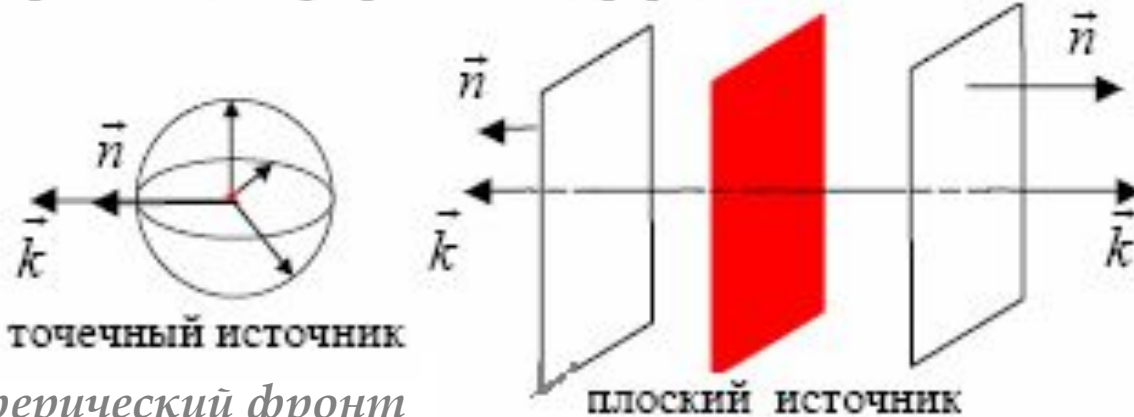
Описание движения

корпускулярного
– *траектория.*

волнового
– *волновая поверхность и фронт волны.*

В однородном и изотропном пространстве

Фронт волны при различных формах источника волны:



точечный источник

плоский источник

Фронт волны – поверхность, отделяющая возмущенную область пространства от невозмущенной.

*Сферический фронт
Сферическая волна.*

Фронт плоскость – Плоская волна

Геометрическое место точек, колеблющихся в одной фазе, называется **волновой поверхностью**. Фронт волны – передовая волновая поверхность.

Волновые поверхности для плоской волны представляют собой систему параллельных плоскостей.

Для сферической волны - **систему концентрических сфер.**

Волна называется гармонической или монохроматической, если колебания осуществляются по закону Sin или Cos с определенной циклической частотой.

Период колебаний **T** - время одного колебания – период волны.

Длина волны - это расстояние, на которое распространяется волна за один период колебаний.

$$\lambda = vT$$

$$T = \frac{1}{\nu}$$

- связь между периодом и частотой колебаний

Связь между длиной волны и частотой и циклической частотой волны

$$\lambda = \frac{v}{\nu}$$

$$\lambda = 2\pi v / \omega$$

Уравнение плоской волны, распространяющейся в направлении x .

$$\xi(x, t) = A \cdot \text{Cos} \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) + \alpha \right]$$

$$k = \frac{\omega}{v}$$

-
ВОЛНОВОЕ
ЧИСЛО

$$\xi(x, t) = A \cdot \text{Cos}(\omega t - kx + \alpha)$$

Характерное свойство бегущей волны – перенос энергии без переноса вещества.

Среда, в которой распространяется упругая волна, обладает дополнительной энергией деформации W .

Процесс переноса энергии характеризует

Вектор плотности потока энергии – вектор Умова: $\vec{u} = w \vec{v}$

w – плотность энергии упругой гармонической волны, v – скорость волны

Интенсивность волны – модуль среднего значения вектора Умова:

Среднее по времени значение w

$$\bar{w} = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2$$

$$I = |\vec{u}| = \bar{w} |\vec{v}| = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 v.$$

где ρ – плотность вещества,
 A – амплитуда, ω – циклическая частота, v – скорость волны

Самостоятельно разобрать:

1. Сложение колебаний
2. Гидростатика(законы Архимеда, Паскаля)
3. Гидродинамика (уравнения неразрывности, Бернулли)