https://study.physics.itmo.ru/

26 марта 2022

Физика

Факультет БИТ

Лекция 6

Скачать презентацию:

26 марта 2022

Физика с элементами компьютерного моделирования

https://study.physics.itmo.ru/

Факультет БИТ

Лекция 6

Скачать презентацию:

Неинерциальные системы отсчета

Системы отсчета, движущиеся относительно инерциальной системы с ускорением, называются ***неинерциальными***.

Использование неинерциальных систем отсчета позволяет решать многие задачи, которые трудно решить в рамках инерциальных систем.

Основной закон динамики для неинерциальных систем отсчета:

$$m\vec{a}' = \vec{F} + \vec{F}_{\text{ин}}$$

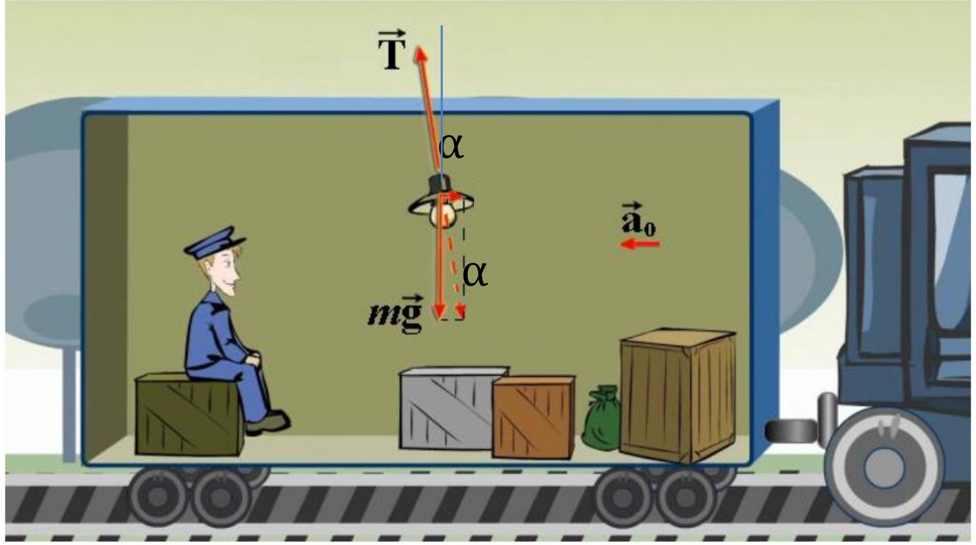
$\vec{a}'$ - ускорение тела в неинерциальной системе отсчёта

Силы инерции $\vec{F}_{\text{ин}}$ вводятся для описания движения в неинерциальных системах отсчёта. Силы инерции возникают за счет ускоренного движения системы отсчета, а не в результате взаимодействия тел. Силы инерции не имеют противодействующей силы (не выполняется третий закон Ньютона). В разных неинерциальных системах отсчета силы инерции будут разные. В неинерциальных системах отсчета не выполняются законы сохранения импульса, энергии и момента импульса.

Случаи проявления сил инерции в неинерциальных системах отсчёта:

1) *силы инерции при ускоренном поступательном движении системы отсчета;*
2) *силы инерции, действующие на тело, покоящееся во вращающейся системе отсчета;*
3) *силы инерции, действующие на тело, движущееся во вращающейся системе отсчета.*

Силы инерции при ускоренном поступательном движении системы отсчета



неподв. ИСО:

y

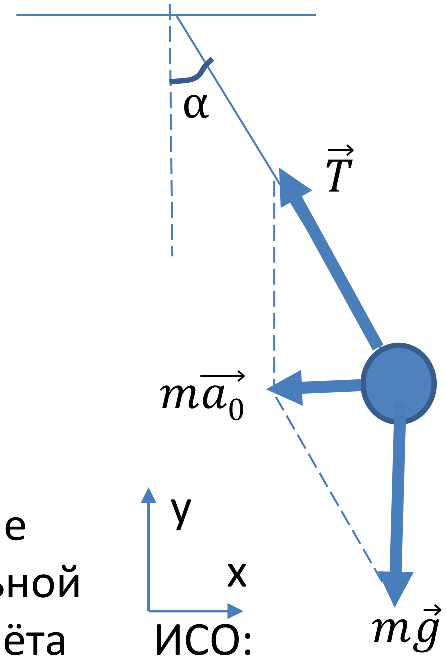
x

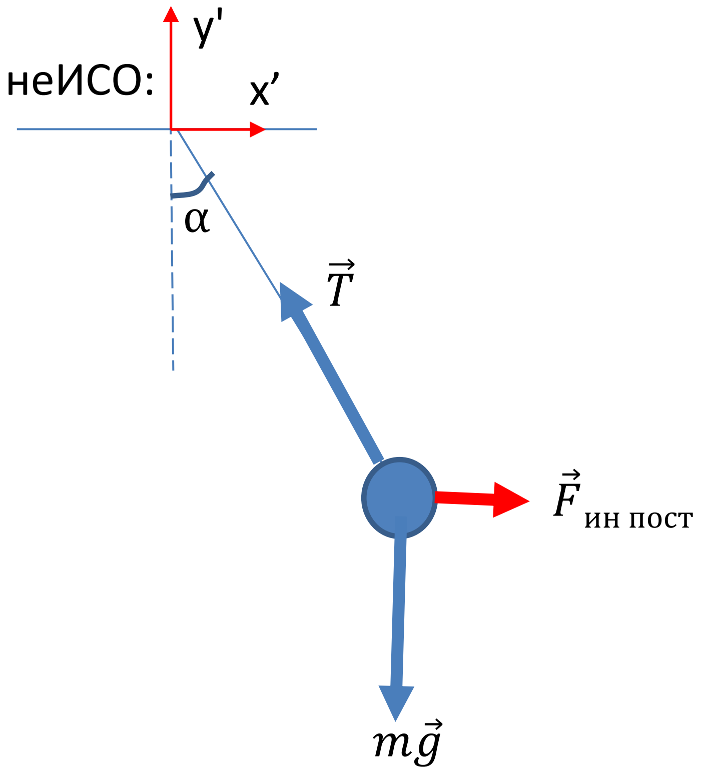
$$\vec{F} = \vec{T} + \vec{F_т} = m\vec{a_0}$$

$$\begin{cases} OX: -T\sin\alpha = -ma_0 \\ OY: T\cos\alpha = mg \end{cases}$$

$$\mathrm{tg}(\alpha) = \frac{a_0}{g}$$

$\vec{a_0}$ - ускорение неинерциальной системы отсчёта





$$\vec{T} + \vec{F_т} + \vec{F}_{ин\ пост} = 0$$

$$\vec{F}_{ин\ пост} = -(\vec{T} + \vec{F_т})$$

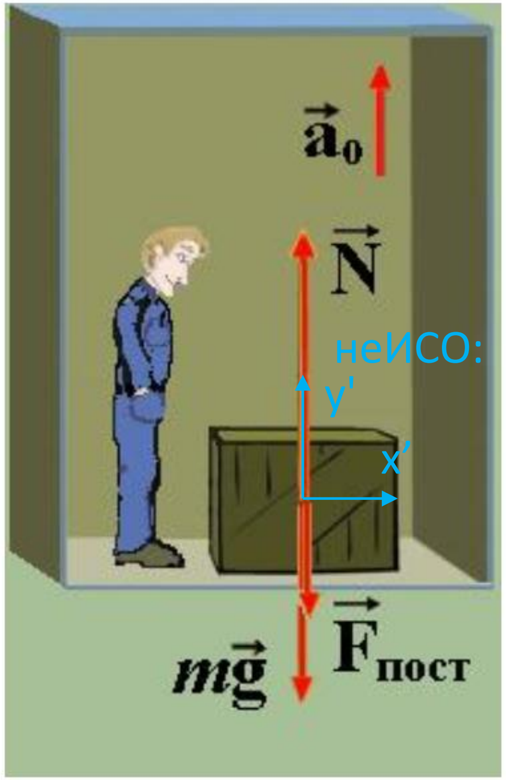
Поступательная сила инерции: $\vec{F}_{ин\ пост} = -m\vec{a_0}$

https://online.mephi.ru

Трофимова Т.И. Курс физики

Боярский К.К., Смирнов А.В., Прищепенок О.Б. Механика. Ч. 1 : Кинематика, динамика: Учебно-методическое пособие. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019.

Силы инерции при ускоренном поступательном движении системы отсчета



$$\vec{N} + \vec{F}_т = \vec{F}_{ин\ пост}$$

Поступательная сила инерции: $\vec{F}_{ин\ пост} = -m\vec{a_0}$

$$-mg + N = ma_0$$

$$N = m(a_0 + g)$$

[Боярский К.К., Смирнов А.В., Прищепенок О.Б. Механика. Ч. 1 : Кинематика, динамика: Учебно-методическое пособие. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019.]

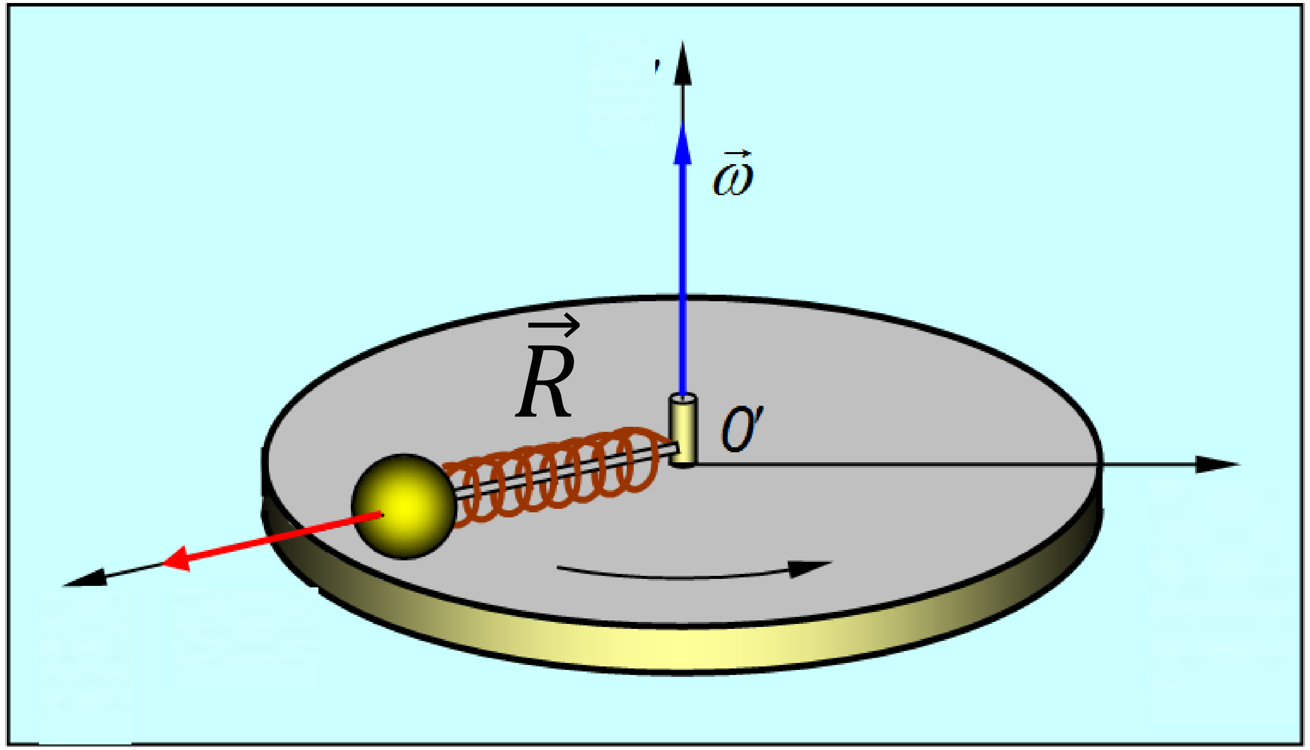
Центробежная сила инерции

действует во вращающихся системах отсчета на все без исключения материальные тела независимо от того, покоятся ли они в этих системах или движутся с некоторой относительной скоростью

$$\vec{F}_{цб} = m\omega^2\vec{R}$$

$$\vec{F}_{нат\ пруж} = m\overrightarrow{a_n} = -m\omega^2\vec{R}$$

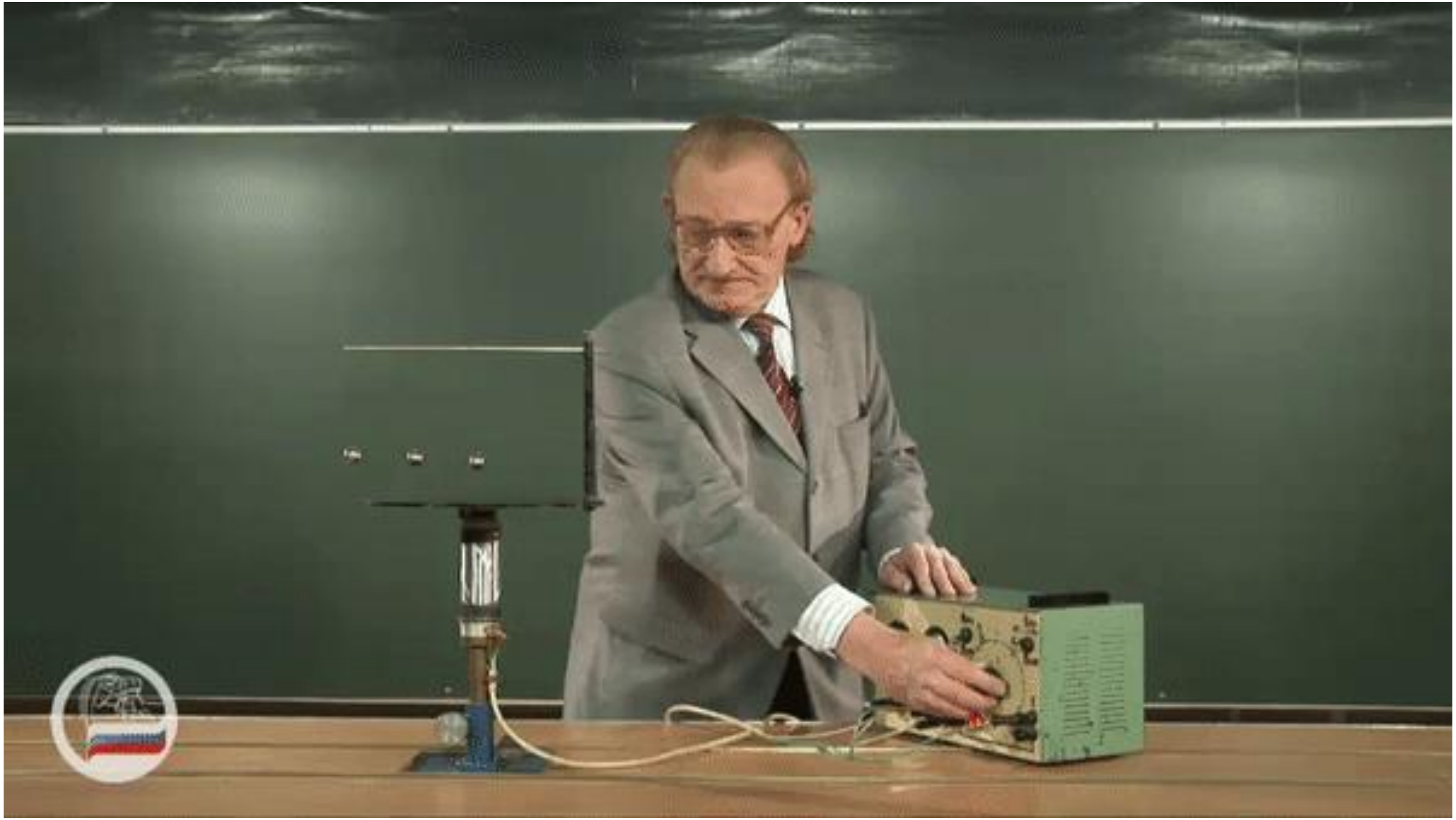
$$\vec{F}_{цб} = -\vec{F}_{нат\ пруж}$$



Величина центробежной силы инерции, действующей на тела во вращающихся системах отсчета, зависит только от угловой скорости вращения системы отсчета ω и от расстояния R до оси вращения, но не зависит от скорости тел относительно вращающихся систем отсчета.

Боярский К.К., Смирнов А.В., Прищепенок О.Б. Механика. Ч. 1 : Кинематика, динамика: Учебно-методическое пособие. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019.

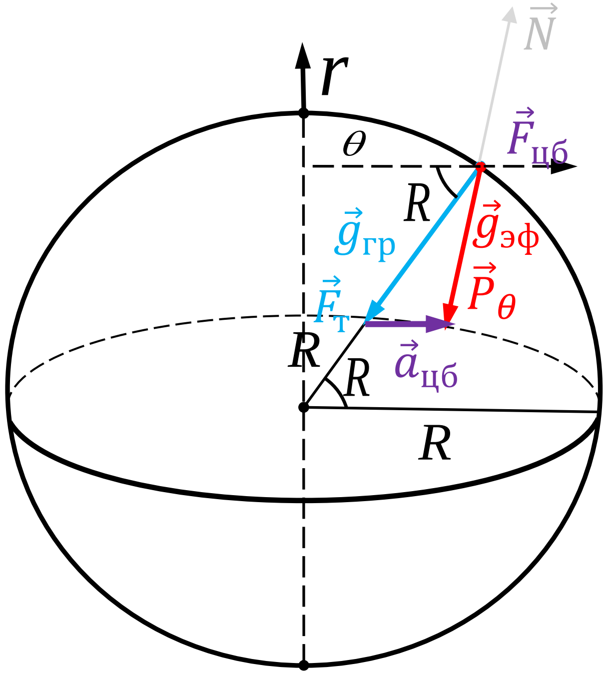
Центробежная сила инерции

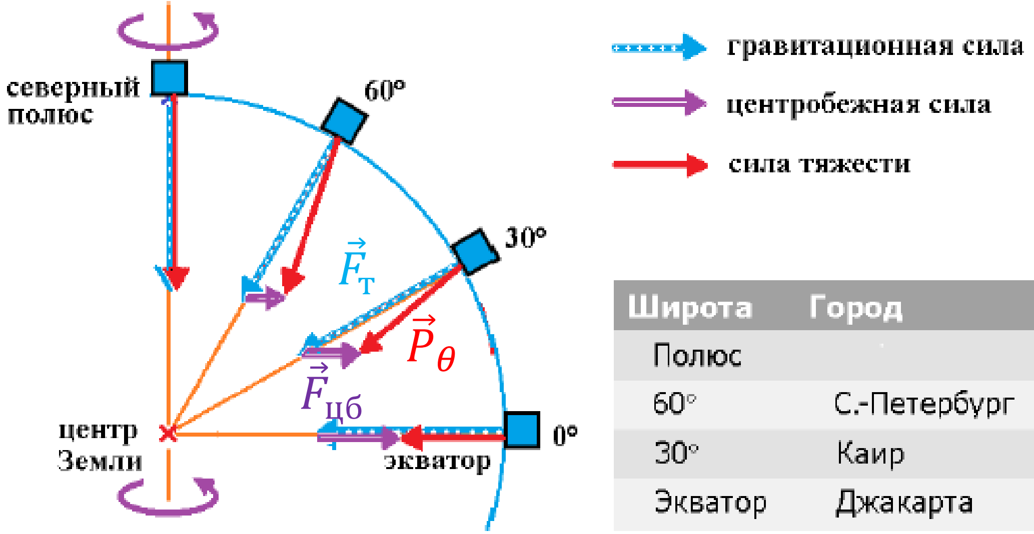


Центробежная сила инерции

Эффективное ускорение свободного падения

Центробежная сила инерции направлена по радиусу от оси вращения и равна: $F_{цб} = m\omega^2 r = m\omega^2 R_з \cos\theta$





Широта	Город	g, м/с²
Полюс		9.83216
60°	С.-Петербург	9.81908
30°	Каир	9.79321
Экватор	Джакарта	9.78030

$$\vec{P}_{\theta} = \overrightarrow{F_{т}} + \vec{F}_{цб}$$

$$g_{эф} = P_{\theta}/\mathrm{m}$$

$$\overrightarrow{g_{эф}} = \vec{g}_{гр} + \vec{a}_{цб}$$

$$g_{эф} = (9{,}832 - 0{,}052\cos^2\theta)\ \mathrm{м/с^2}$$

$\vec{\omega}$ - угловая скорость суточного вращения Земли

$\omega = \dfrac{2\pi}{T_з} \approx 7{,}2921158553 \cdot 10^{-5}$рад/с.

$T_з$=86164,090530833 с

≈ 23 часа 56 минут 4 секунды – период суточного вращения Земли.

$R_з$=6371 км – средний радиус Земли

(полярный радиус 6357 км, экваториальный- 6378 км).

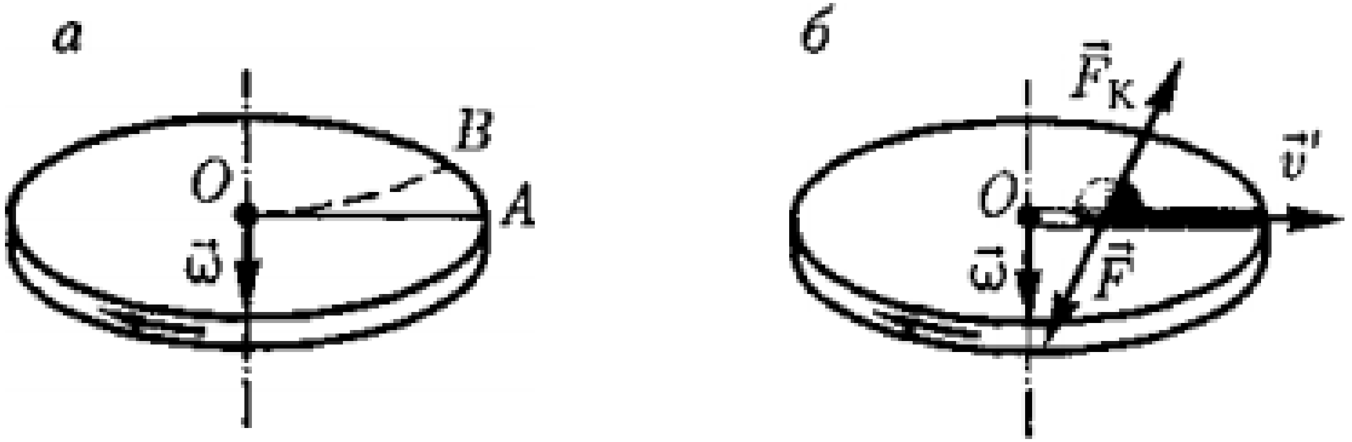
θ – широта.

Боярский К.К., Смирнов А.В., Прищепенок О.Б. Механика. Ч. 1 : Кинематика, динамика: Учебно-методическое пособие. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019.

Сила Кориолиса

Кориолисова сила инерции

появляется, когда тело движется во вращающейся системе отсчета

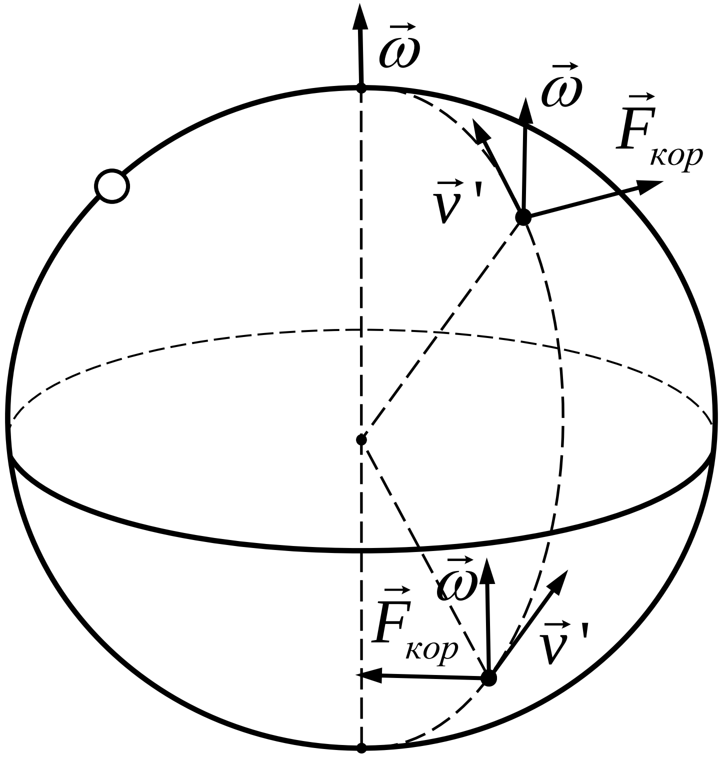


$$\vec{F}_{\text{кор}} = 2m[\vec{v}', \vec{\omega}]$$

$\vec{v}'$- скорость тела в неинерциальной системе отсчёта

Вектор $F_{\text{Кор}}$ перпендикулярен векторам скорости v' тела и угловой скорости вращения $\vec{\omega}$ системы отсчета в соответствии с правилом правого винта.
Если векторы v'и ω параллельны, то сила Кориолиса равна нулю.
Поскольку кориолисова сила всегда перпендикулярна направлению движения тела, она не производит над ним никакой работы, она лишь отклоняет направление движения тела, но не меняет величины его скорости.

Кориолисова сила инерции



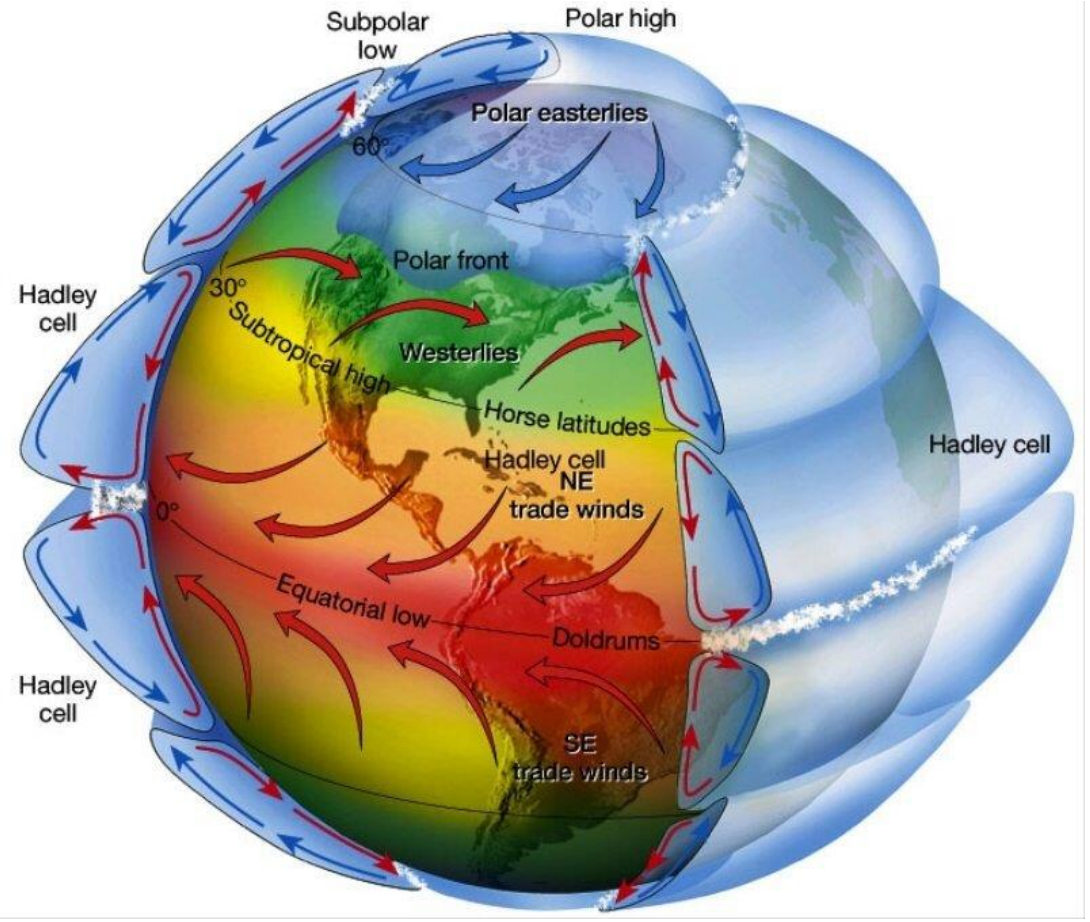
$$\vec{F}_{\text{кор}} = 2m[\vec{v}', \vec{\omega}]$$

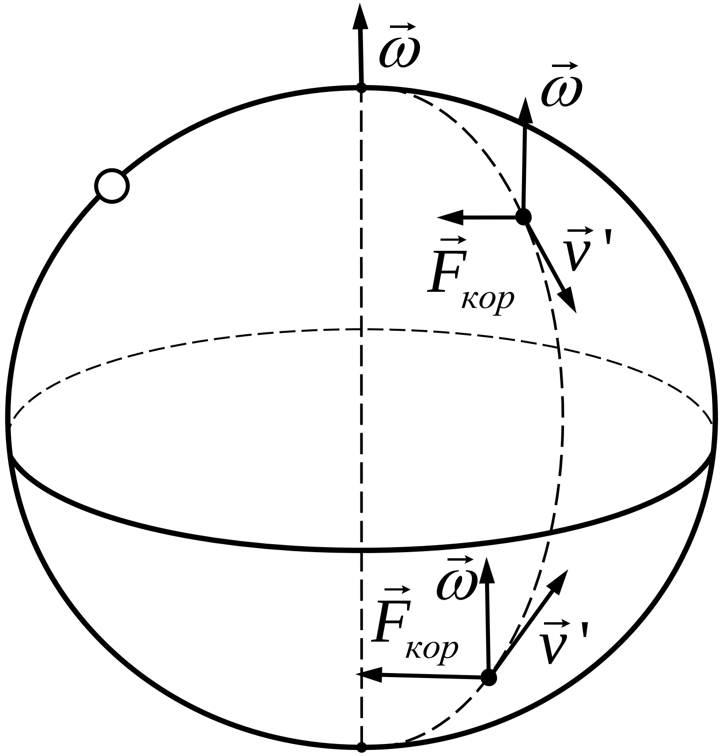
$\vec{v}\,'$- скорость тела в неинерциальной системе отсчёта.

Кориолисова сила инерции

Кориолисова сила – гироскопическая, вводится искусственно для того, чтобы законы Ньютона в неИСО выглядели так же, как в ИСО

$$\vec{F}_{\text{кор}} = 2m[\vec{v}', \vec{\omega}]$$





Второй закон Ньютона во вращающейся неИСО с поступательно двигающейся осью вращения

$$m\vec{a}' = \sum_i \vec{F}_i - m\vec{a}_0 + 2m[\vec{v}', \vec{\omega}] + m\omega^2\vec{R}$$

$\vec{F}_{\text{ин пост}} = -m\overrightarrow{a_0}$ -поступательная сила инерции

$\vec{F}_{\text{Кор}} = 2m[\vec{v}', \vec{\omega}]$ - Кориолисова сила инерции

$\vec{F}_{\text{ин цб}} = m\omega^2\vec{R}$ - центробежная сила инерции

Особенности сил инерции:

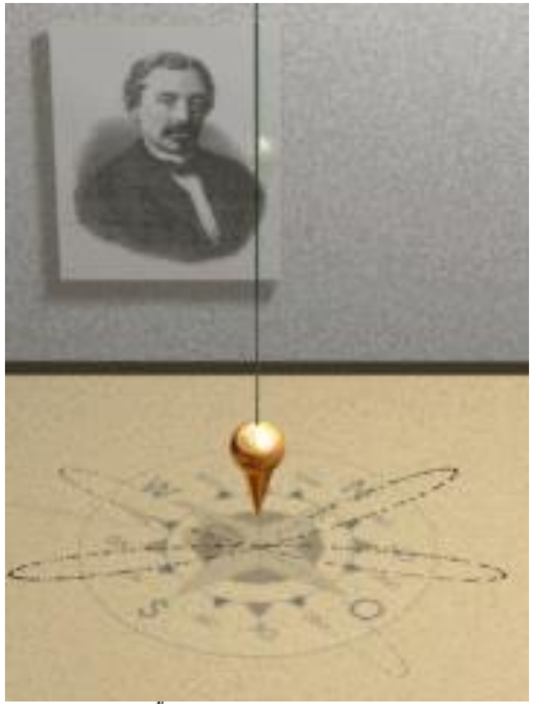
- возникают в НеИСО;
- не связаны с взаимодействием тел;
- пропорциональны инертной массе тела (массе, входящей во второй закон Ньютона).

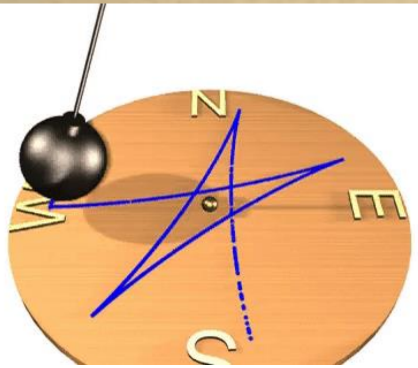
Трофимова Т.И. Курс физики

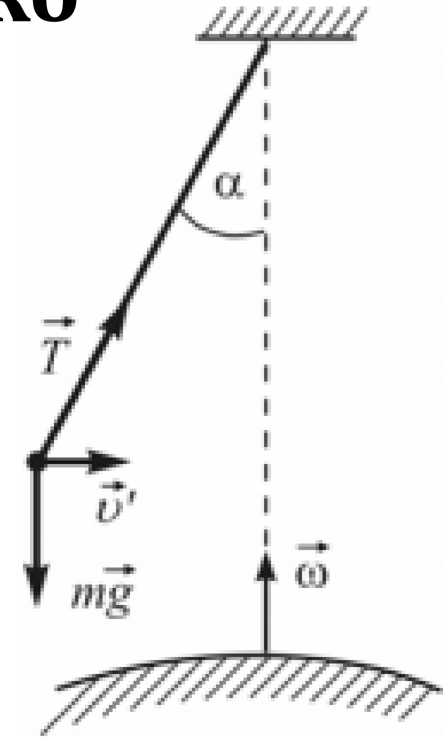
Боярский К.К., Смирнов А.В., Прищепенок О.Б. Механика. Ч. 1 : Кинематика, динамика: Учебно-методическое пособие. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019.

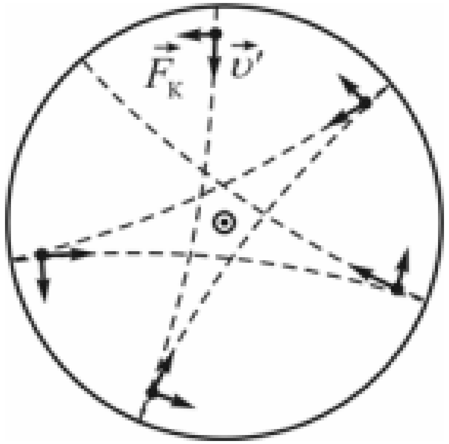
Маятник Фуко в
Петербургском Планетарии
https://youtu.be/XklcMhXxUk8

Сила Кориолиса. Маятник Фуко



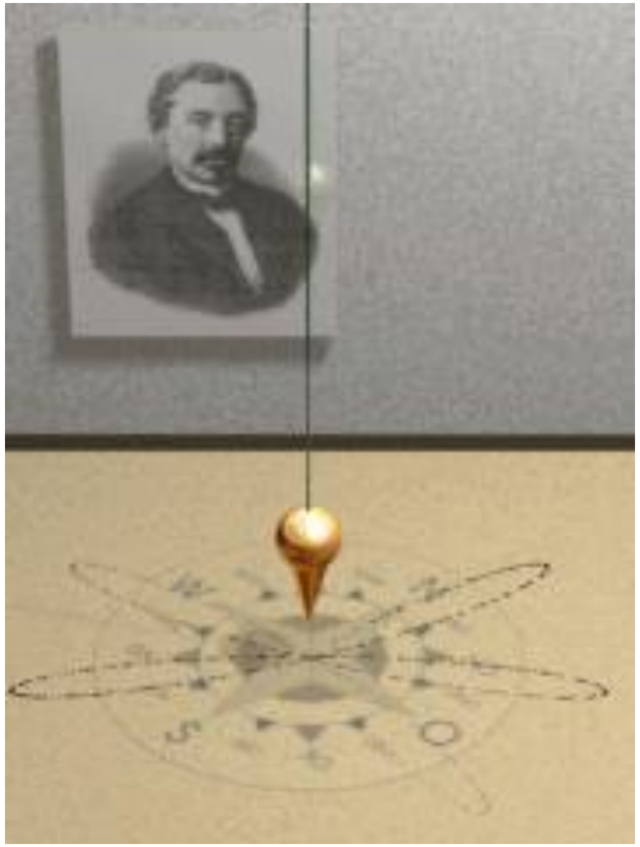






В.А. Яковенко Лекция №18 Сила Кориолиса. Проявление сил инерции на Земле. Маятник Фуко. Невесомость и перегрузки.

Сила Кориолиса. Маятник Фуко



Второй закон Ньютона:

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{T} \quad + \vec{F}_T + \vec{F}_{\text{Кор}} + \vec{F}_{\text{ц.б.}}$$

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = mg(\theta)\frac{\vec{r}}{L} + 2m[\vec{v}\vec{\omega}] + m\vec{\omega}^2\vec{R}$$

$\vec{\omega}$ - угловая скорость суточного вращения Земли

$\omega = \frac{2\pi}{T_З} \approx 7{,}2921158553 \cdot 10^{-5}$рад/с.

$T_З$=86164,090530833 с ≈ 23 часа 56 минут 4 секунды – период суточного вращения Земли.

R=6371 км – радиус Земли.

θ – широта (60^o для СПб, можно взять другую), *перевод в радианы: φ /180*π.*

L – длина подвеса (нити) маятника

https://www.mathworks.com/help/simulink/slref/modeling-a-foucault-pendulum.html

Механические колебания и волны

Гармонические колебания и их характеристики

Колебаниями называются движения или процессы, которые характеризуются определенной повторяемостью во времени.

Различают колебания механические, электромагнитные и др.

Колебания называются **свободными** (или собственными), если они совершаются за счет первоначально сообщенной энергии при последующем отсутствии внешних воздействий на колебательную систему (систему, совершающую колебания).

Колебания называются **периодическими**, если значения физических величин, изменяющихся в процессе колебаний, повторяются через равные промежутки времени.

Гармонические колебания

Гармонические колебания — колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса (косинуса):

$$x(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$$

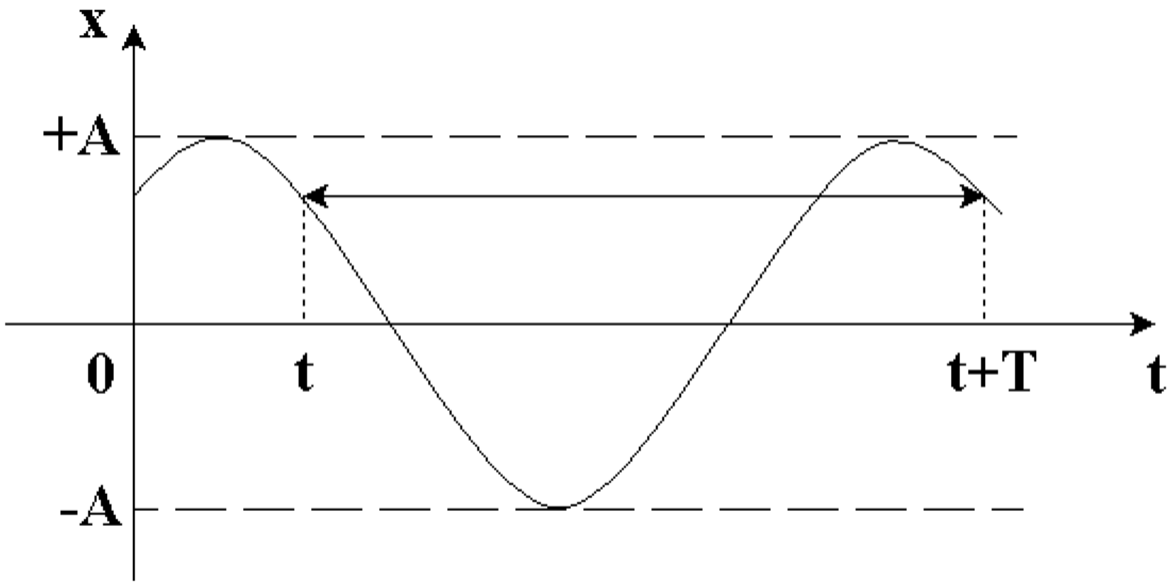
A — максимальное значение колеблющейся величины

— амплитуда колебания;

ω— круговая (циклическая) частота;

$(\omega t + \varphi)$— фаза колебания;

φ — начальная фаза;



Гармонические колебания и их характеристики

Период колебаний *T*

— промежуток времени, за который колебания повторяются и фаза колебания получает приращение 2π:

$$\omega(t+T)+\varphi = (\omega t+\varphi)+2\pi$$

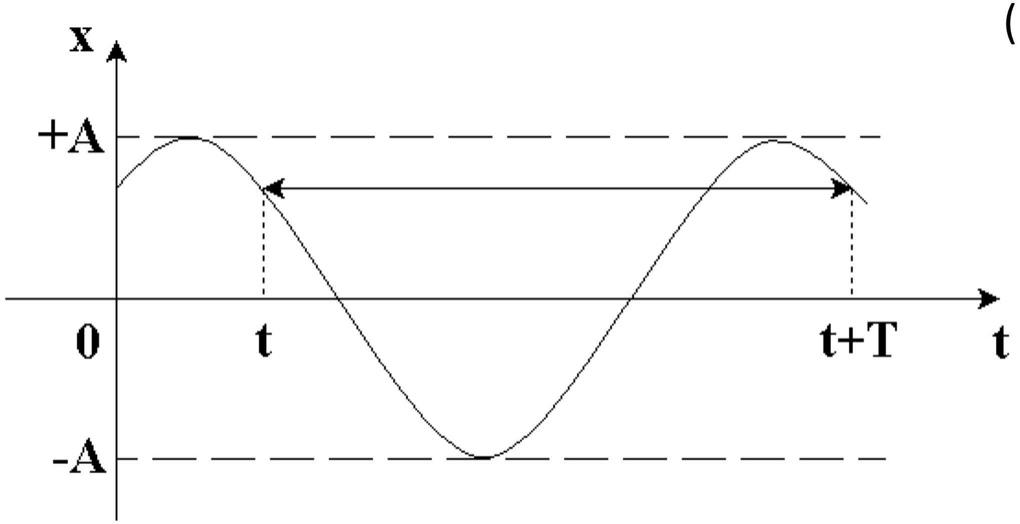
$$T=\frac{2\pi}{\omega}$$

Частота колебаний [Гц=1/с]

— число полных колебаний, совершаемых в единицу времени:

$$\nu=\frac{1}{T}=\frac{\omega}{2\pi}$$

$$\omega=2\pi\nu$$ — круговая (циклическая) частота;



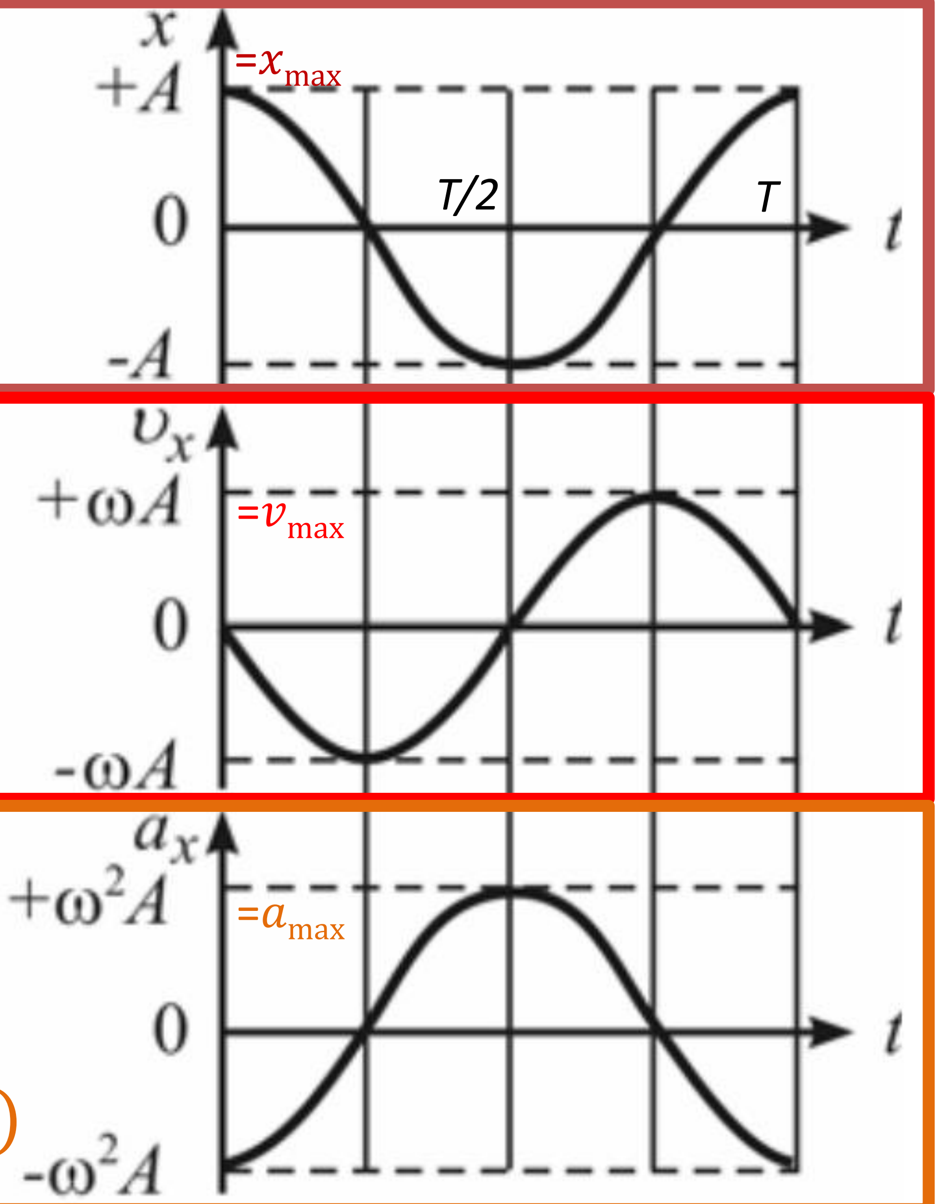
Трофимова Т.И. Курс физики http://ens.tpu.ru http://ens.tpu.ru https://online.mephi.ru

Гармонические колебания и их характеристики

$$x(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$$

$$v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -A\omega\sin(\omega + \varphi)$$
$$= A\omega_0\cos\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$a = \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi)$$
$$= -\omega^2 x$$
$$= A\omega^2\cos(\omega t + \varphi + \pi)$$



http://phys.bspu.by/static/um/phys/meh/1mehanika/pos/glava09/9_2.pdf

Трофимова Т.И. Курс физики http://ens.tpu.ru http://ens.tpu.ru

Гармонический осциллятор. Уравнение гармонических колебаний

Гармоническим осциллятором называется система, способная совершать гармонические колебания.

$$a = -\omega^2 x$$

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

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

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

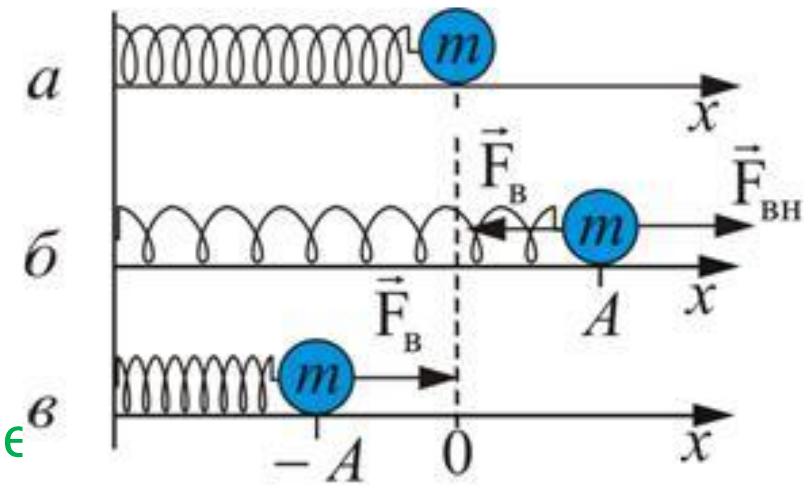
$$m\vec{a} = \vec{F}$$

$$ma = -kx$$

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x$$

Пружинный маятник



$F_в = -k\,x$

$F_{вн} = +\,k\,x$

http://phys.bspu.by/static/um/phys/meh/1mehanika/pos/glava09/9_1.pdf

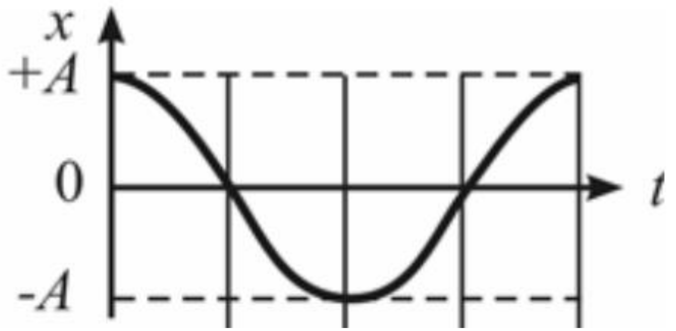
Дифференциальное уравнение гармонических колебаний:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + x\omega^2 = 0$$

Решение:

$$x(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$$

*или $x(t) = A\sin(\omega t + \varphi + \pi/2)$



http://phys.bspu.by/static/um/phys/meh/1mehanika/pos/glava09/9_2.pdf

Трофимова Т.И. Курс физики http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN http://ens.tpu.ru https://online.mephi.ru

Энергия колебательного движения

$$x = A\cos(\omega t + \varphi) \qquad v = \frac{dx}{dt} = -A\omega\sin(\omega + \varphi)$$

$$\frac{k}{m} = \omega^2$$

Кинетическая энергия:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2}m\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2\sin^2(\omega t + \varphi) = \frac{1}{2}kA^2\sin^2(\omega t + \varphi)$$

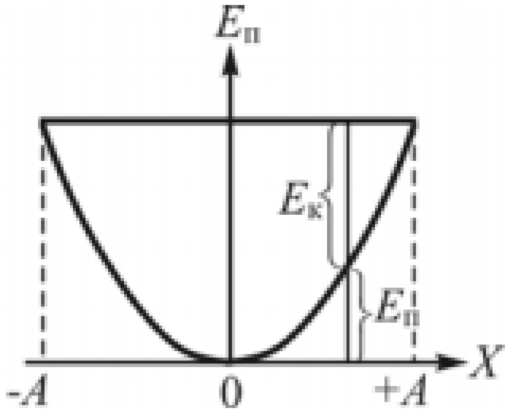
$$E_{k\,max} = \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 = \frac{1}{2}kA^2$$

$$F_x = -\frac{\partial U}{\partial x}$$

Потенциальная энергия:

$$E_\text{п} = U = -\int_0^x F dx = \int_0^x kx dx = \frac{kx^2}{2} = \frac{1}{2}kA^2\cos^2(\omega t + \varphi)$$

$$= \frac{1}{2}m\omega^2 A^2\cos^2(\omega t + \varphi)$$



$$E_{\text{п}\,\max} = mgh = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$$

Энергия колебательного движения

Кинетическая энергия:

$$x = A\cos(\omega t + \varphi)$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2}mA^2\omega^2\sin^2(\omega t + \varphi) =$$

$$\sin^2\alpha = \frac{1-\cos 2\alpha}{2}$$

$$= \frac{1}{4}m\omega^2A^2[1-\cos(2(\omega t + \varphi))]$$

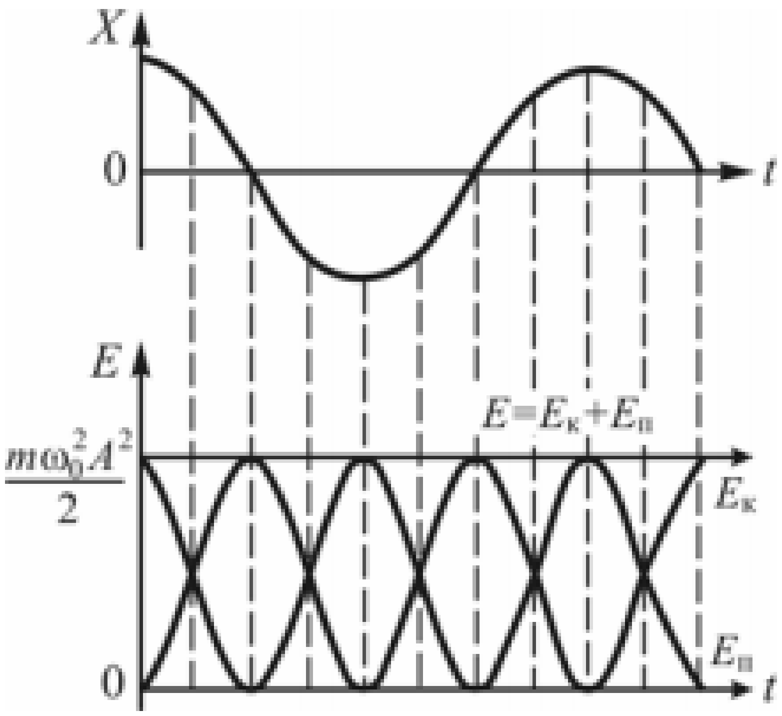
Потенциальная энергия:

$$E_{п} = U = -\int_0^x F dx =$$

$$= \frac{1}{2}m\omega^2A^2\cos^2(\omega t + \varphi) =$$

$$\cos^2\alpha = \frac{1+\cos 2\alpha}{2}$$

$$= \frac{1}{4}m\omega^2A^2[1+\cos(2(\omega t + \varphi))]$$



Кинетическая и потенциальная энергии колеблются около среднего значения $\frac{1}{4}m\omega^2A^2$ с частотой, вдвое большей частоты колебания системы, изменяясь от нуля до $\frac{1}{2}m\omega^2A^2$ на протяжении каждого полупериода колебания системы.

Полная энергия:

$$E = Ek + E_{п} = \frac{1}{2}m\omega^2A^2 = \frac{1}{2}kA^2$$

Трофимова Т.И. Курс физики http://ens.tpu.ru

http://phys.bspu.by/static/um/phys/meh/1mehanika/pos/glava09/9_4.pdf

Гармоническим осциллятором называется система, способная совершать гармонические колебания.

Пружинный маятник

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

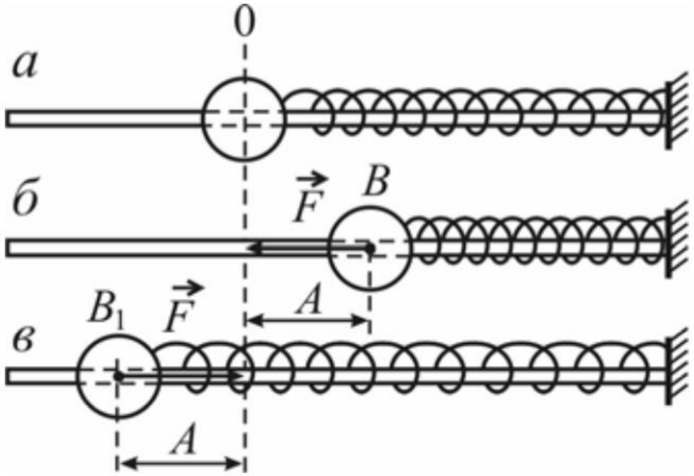
$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx(t)$$

$$E_П = \frac{kx^2}{2}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x(t)$$ – уравнение движения пружинного маятника

$$\frac{k}{m} = \omega^2 \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + x\omega^2 = 0$$



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

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$ **– период колебаний**

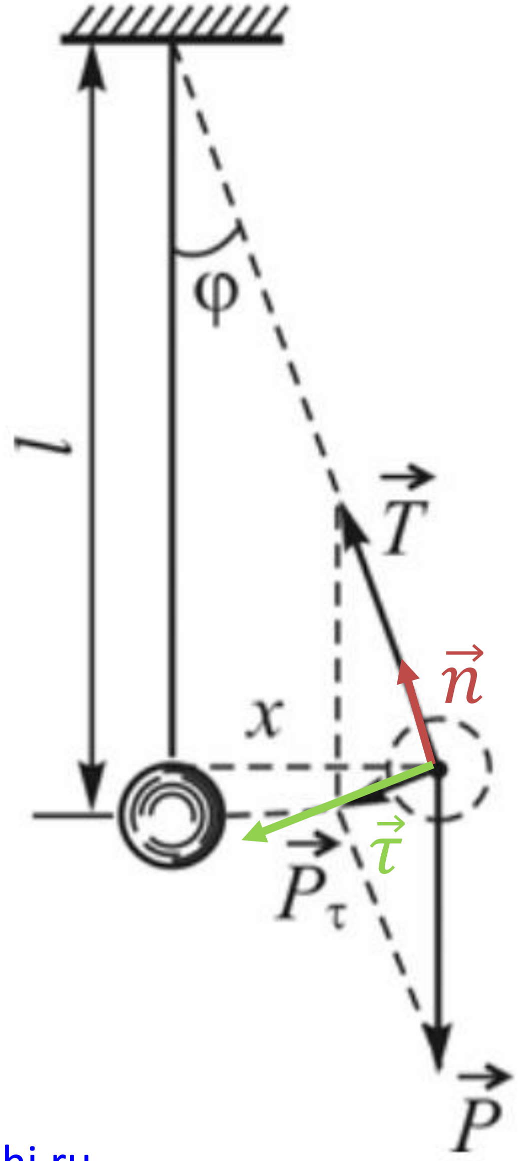
Трофимова Т.И. Курс физики

http://phys.bspu.by/static/um/phys/meh/1mehanika/pos/glava09/9_1.pdf

Гармоническим осциллятором называется система, способная совершать гармонические колебания.

Математический маятник

идеализированная система, состоящая из невесомой и нерастяжимой нити, на которой подвешена масса, сосредоточенная в одной точке.



$$m\vec{a} = \vec{P} + \vec{T}$$

$$\begin{cases} ma_n = m\dfrac{v^2}{\ell} = T - mg\cos\varphi \\ ma_\tau = m\dfrac{dv}{dt} = mg\sin\varphi \end{cases}$$

$$v = -\ell\frac{d\varphi}{dt}$$

$$m\ell\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -mg\sin\varphi$$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\frac{g}{l}\sin\varphi$$

При малых φ (=3—5°): sin(φ) ≈ φ

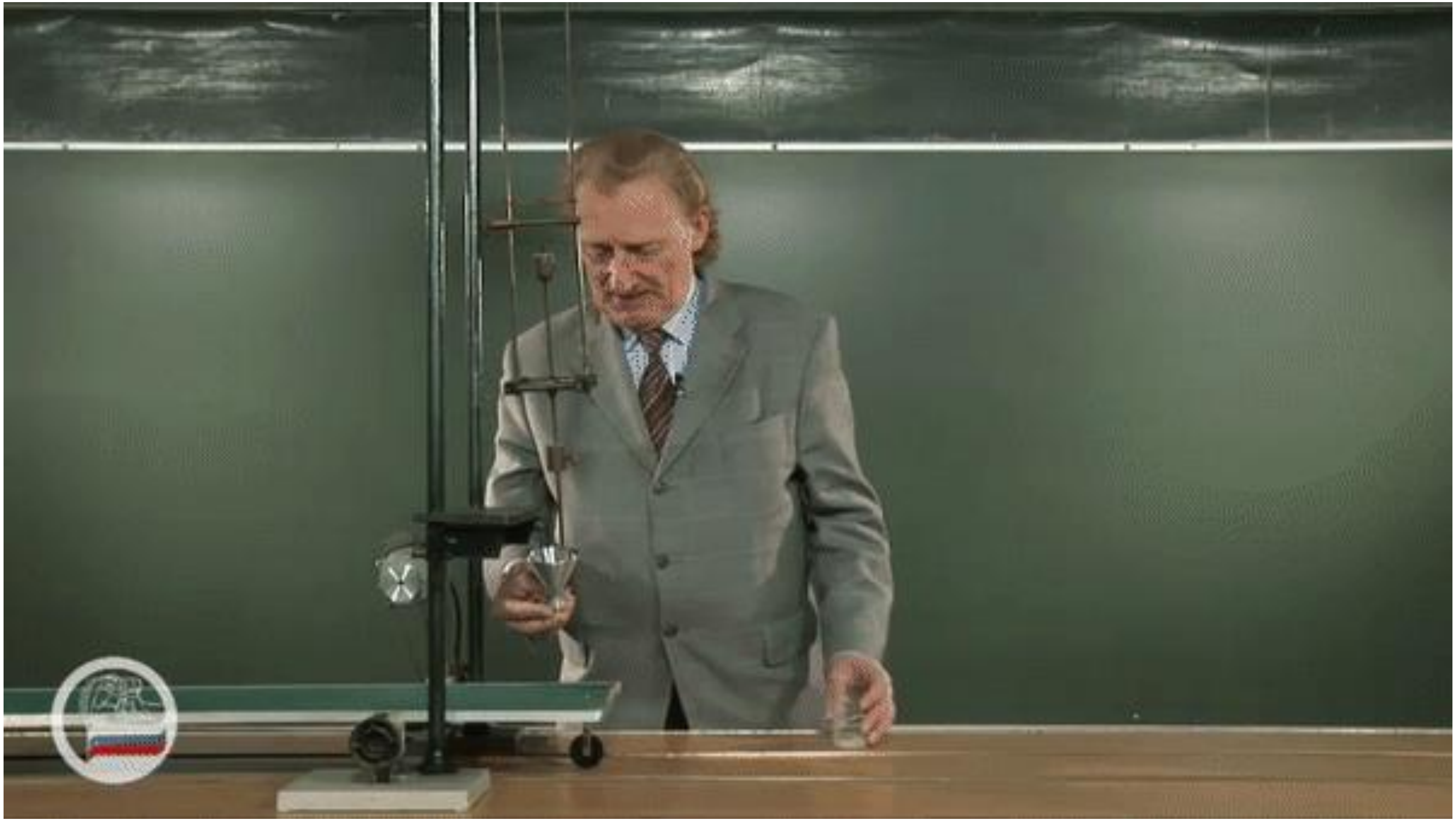
$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega^2\varphi = 0$$

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

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$ – период колебаний

Математический маятник: запись колебаний песком



https://online.mephi.ru

Физический маятник

– твердое тело, совершающее колебания под действием силы тяжести вокруг горизонтальной оси подвеса, проходящей через точку, не совпадающую с центром масс.

$$\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}] = [\vec{r} \times m\vec{g}] = m[\vec{r} \times \vec{g}] = mgl\sin\varphi\,(-\vec{e}_z) \Rightarrow M_z = -mgl\sin\varphi$$

$M_z = -mgl\sin(\varphi)$ – момент силы тяжести

Основной закон динамики для вращательного движения: $I\varepsilon = M$

I — момент инерции тела относительно горизонтальной оси, которая проходит через точку O перпендикулярно плоскости чертежа.

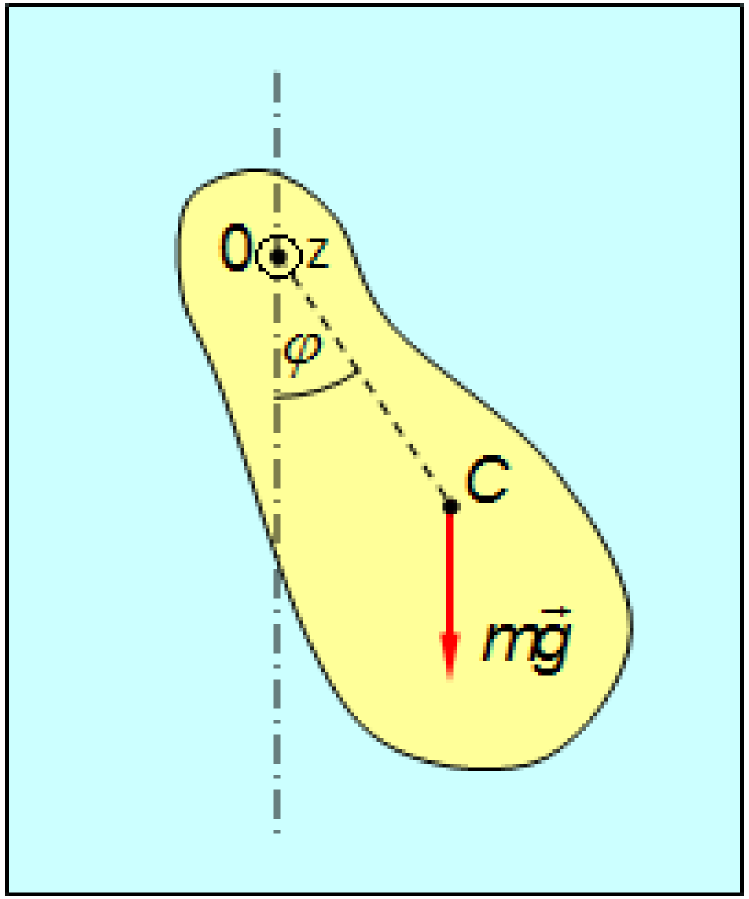
$$I\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -mgl\sin\varphi$$

При малых φ : sin(φ) ≈ φ

$$\omega = \sqrt{\frac{mgl}{I}}$$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_0^2\varphi = 0$$

– уравнение колебаний физического маятника



Трофимова Т.И. Курс физики https://online.mephi.ru

Физический маятник

Уравнение колебаний физического маятника:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_0^2\varphi = 0$$

$\omega = \sqrt{\dfrac{mgl}{I}}$ – частота

$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{I}{mgl}}$ – период колебаний физического маятника

I — момент инерции тела относительно горизонтальной оси, которая проходит через точку О перпендикулярно плоскости чертежа.

$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$ – период колебаний математического маятника

$I = ml^2$ – момент инерции математического маятника

Приведенная длина физического маятника – длина при которой математический маятник будет иметь такой же период колебаний, как и данный физический маятник:

$$L = \frac{I}{ml}$$

Период колебаний физического маятника через момент инерции относительно оси, проходящей через центр масс (используя теорему Штейнера):

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_0 + ml^2}{mgl}}$$

Трофимова Т.И. Курс физики http://phys.bspu.by/static/um/phys/meh/1mehanika/pos/glava09/9_3.pdf https://youtu.be/qg33vx_vDIM

Затухающие колебания

https://online.mephi.ru

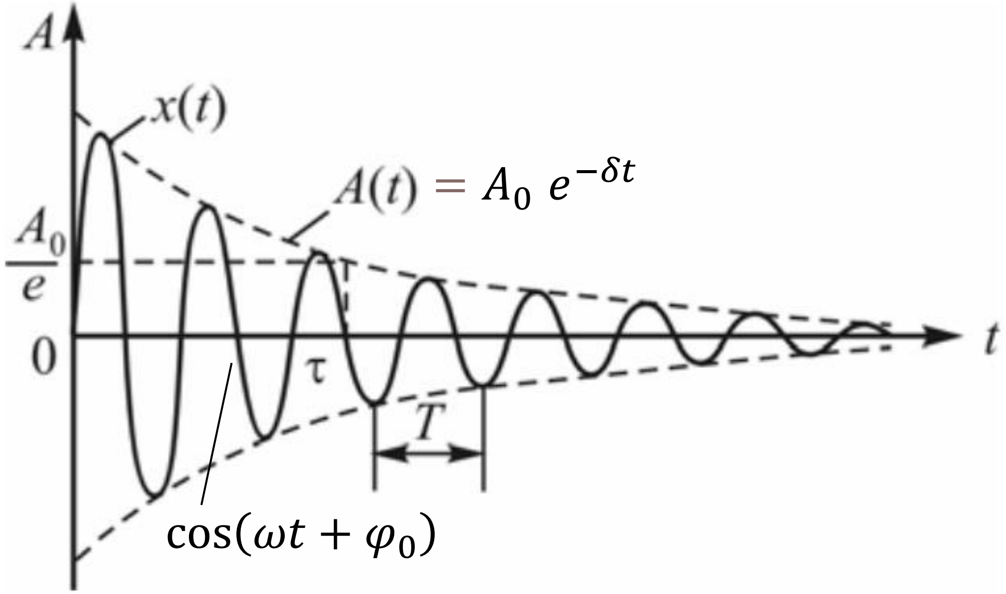
Затухающие колебания

$$m\overrightarrow{a_x} = \overrightarrow{F_{упр}} + \overrightarrow{F_{сопр}}$$

$$ma_x = -k_{упр}x - k_{сопр}v_x$$

$v_x = \dot{x}$ и $a_x = \ddot{x}$

$$m\ddot{x} + k_{сопр}\dot{x} + k_{упр}x = 0$$



$k_{упр}/m = \omega_0^2$ – собственная частота (без затухания)

$k_{сопр}/m = 2\delta$, (δ – показатель затухания)

$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$ – уравнение затухающих колебаний

$x = A_0 e^{-\delta t}\cos(\omega t + \varphi_0)$ – решение

$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ –частота затухающих колебаний

http://phys.bspu.by/static/um/phys/meh/1mehanika/pos/glava09/9_7.pdf http://ens.tpu.ru https://online.mephi.ru

$v_x = \dot{x}$ и $a_x = \ddot{x}$

Затухающие колебания

$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$ – уравнение затухающих колебаний

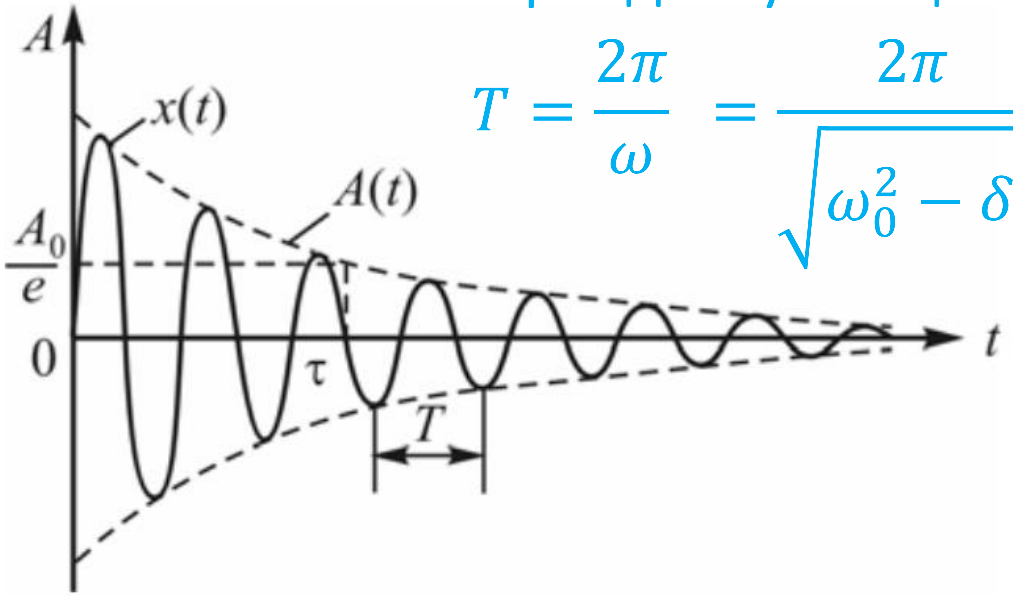
$x = A_0 e^{-\delta t}\cos(\omega t + \varphi_0)$ – решение

$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ –частота затухающих колебаний

$A = A_0 e^{-\delta t}$ - амплитуда колебаний уменьшается с течением времени по экспоненциальному закону

Период затухающих колебаний:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k_{упр}}{m} - \frac{k_{сопр}}{4m^2}^2}} > T_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k_{упр}}{m}}}$$



http://phys.bspu.by/static/um/phys/meh/1mehanika/pos/glava09/9_7.pdf http://ens.tpu.ru https://online.mephi.ru

$v_x = \dot{x}$ и $a_x = \ddot{x}$

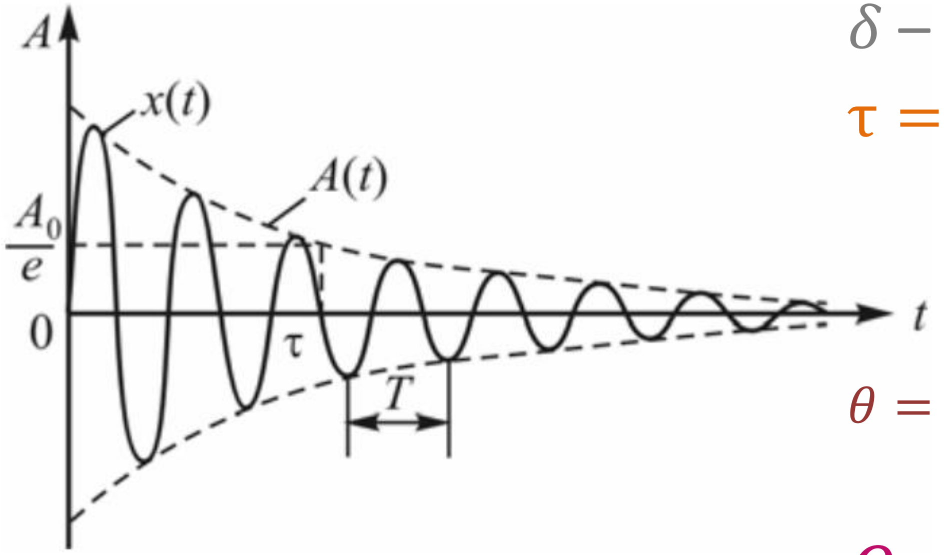
Затухающие колебания

$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$ – уравнение затухающих колебаний

$x = A_0 e^{-\delta t}\cos(\omega t + \varphi_0)$ – решение

$A = A_0 e^{-\delta t}$ - амплитуда колебаний уменьшается с течением времени по экспоненциальному закону.

$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$



δ – показатель затухания

$\tau = 1/\delta$ - время релаксации

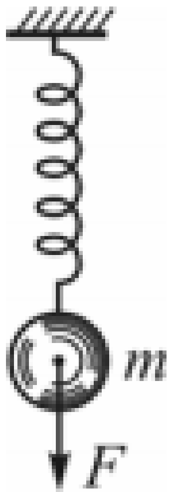
$$\frac{A_n}{A_{n+1}} = \frac{A_0 e^{-\delta t}}{A_0 e^{-(\delta t + T)}} = e^{\delta T}$$ - декремент затухания

$$\theta = \ln\frac{A_n}{A_{n+1}} = \frac{T}{\tau} = \delta T$$ – логарифмический декремент затухания

$$Q = \frac{\pi}{\theta}$$ - добротность

$$E = \frac{kx^2}{2} + \frac{m\dot{x}^2}{2}$$ Энергия колеблющейся системы $$E = E_0 e^{-2\beta t}$$

http://phys.bspu.by/static/um/phys/meh/1mehanika/pos/glava09/9_7.pdf http://ens.tpu.ru https://online.mephi.ru



Вынужденные колебания

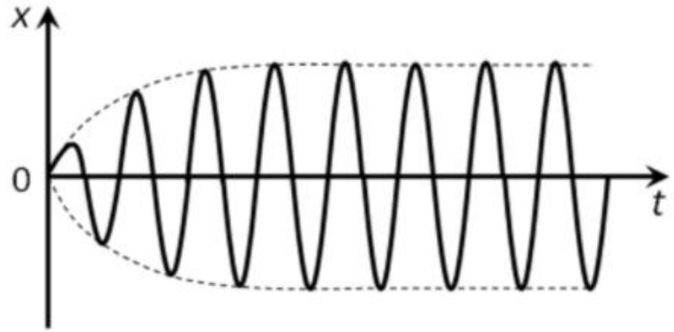
Уравнение движения груза:

Вынуждающая сила с частотой Ω

$$m\ddot{x} = -k_{\text{упр}}x - k_{\text{сопр}}\dot{x} + F_0\cos(\Omega t)$$

$v_x = \dot{x}$ и $a_x = \ddot{x}$

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m}\cos(\Omega t)$$



$k_{\text{упр}}/m = \omega_0^2$ – собственная частота

$k_{\text{сопр}}/m = 2\delta$, ($\delta$ – показатель затухания)

$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ –частота затухающих колебаний

Решение:

$$x = A\ \cos(\Omega t + \varphi_0)$$

$A = \dfrac{F_0}{m\sqrt{\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right)^2 + 4\delta^2\Omega^2}}$ - амплитуда вынужденных колебаний

$\varphi_0 = -\text{arctg}\dfrac{2\delta\Omega}{\omega_0^2 - \Omega^2}$ – фаза вынужденных колебаний

http://phys.bspu.by/static/um/phys/meh/1mehanika/pos/glava09/9_8.pdf http://ens.tpu.ru https://online.mephi.ru

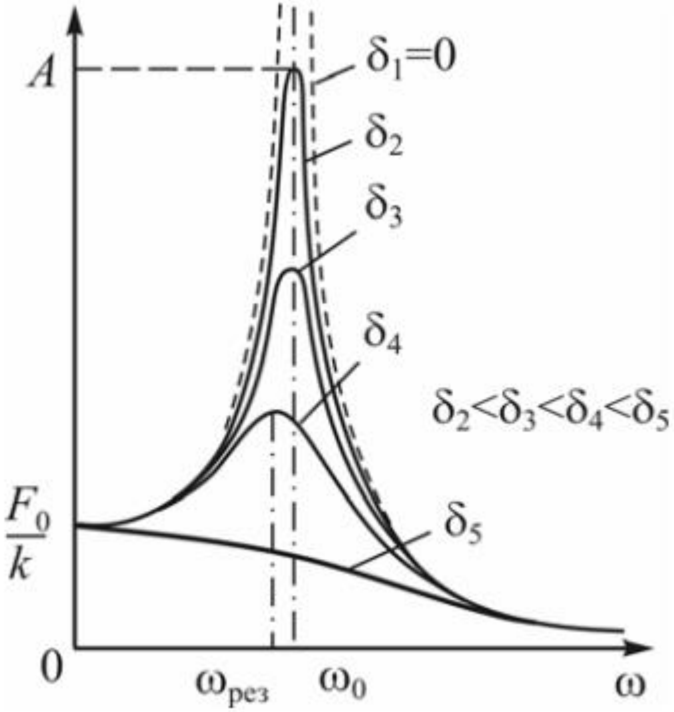
Резонанс

это явление резкого увеличения амплитуды вынужденных колебаний при определенной частоте внешнего воздействия, называемой ***резонансной частотой*** *системы.*

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m}\cos(\Omega t)$$

$$A = \frac{F_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\delta^2\Omega^2}}$$ - амплитуда вынужденных колебаний

$k_{\text{упр}}/m = \omega_0^2$ – собственная частота
$k_{\text{сопр}}/m = 2\delta$, ($\delta$ – показатель затухания)



При резонансной частоте

$$\Omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}$$

амплитуда колебаний смещения от положения равновесия достигает максимального значения

$$A_{\text{рез}} = \frac{F_0}{2m\delta\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}$$

Амплитуда колебаний стремится к бесконечности, если коэффициент сопротивления стремится к нулю.

Резонанс (GetAClass): https://youtu.be/nQaJloZD-xY

http://phys.bspu.by/static/um/phys/meh/1mehanika/pos/glava09/9_9.pdf http://ens.tpu.ru https://online.mephi.ru