Новосибирский Государственный Архитектурно-Строительный Университет (Сибстрин)

ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ. ДИНАМИКА

ЛЕКЦИЯ 2. ПРЯМОЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТОЧКИ

Кафедра теоретической механики

План лекции

Времена меняются, и мы меняемся вместе с ними.

Гораций

- **Введение. Колебания в природе и технике**

- **Свободные колебания (без учета и с учетом сопротивления среды)**
- **Вынужденные колебания (без учета и с учетом сопротивления среды)**
- **Рекомендации к решению задач на колебательное движение**
- **Примеры решения задач**

- **Заключение**

На предыдущей лекции

Динамика материальной точки

Цель лекции

На примере *прямолинейных колебаний точки* познакомиться с *колебательным движением* в механике

Колебания в природе и технике

Физические явления:

- *механические колебания (вибрация, волны на воде)*
- *электромагнитные волны (оптические, радио, инфракрасные…)*
- *акустические волны (звук)*

Природные явления:

- *суточное вращение Земли*
- *землетрясение и цунами*
- *приливы и отливы*

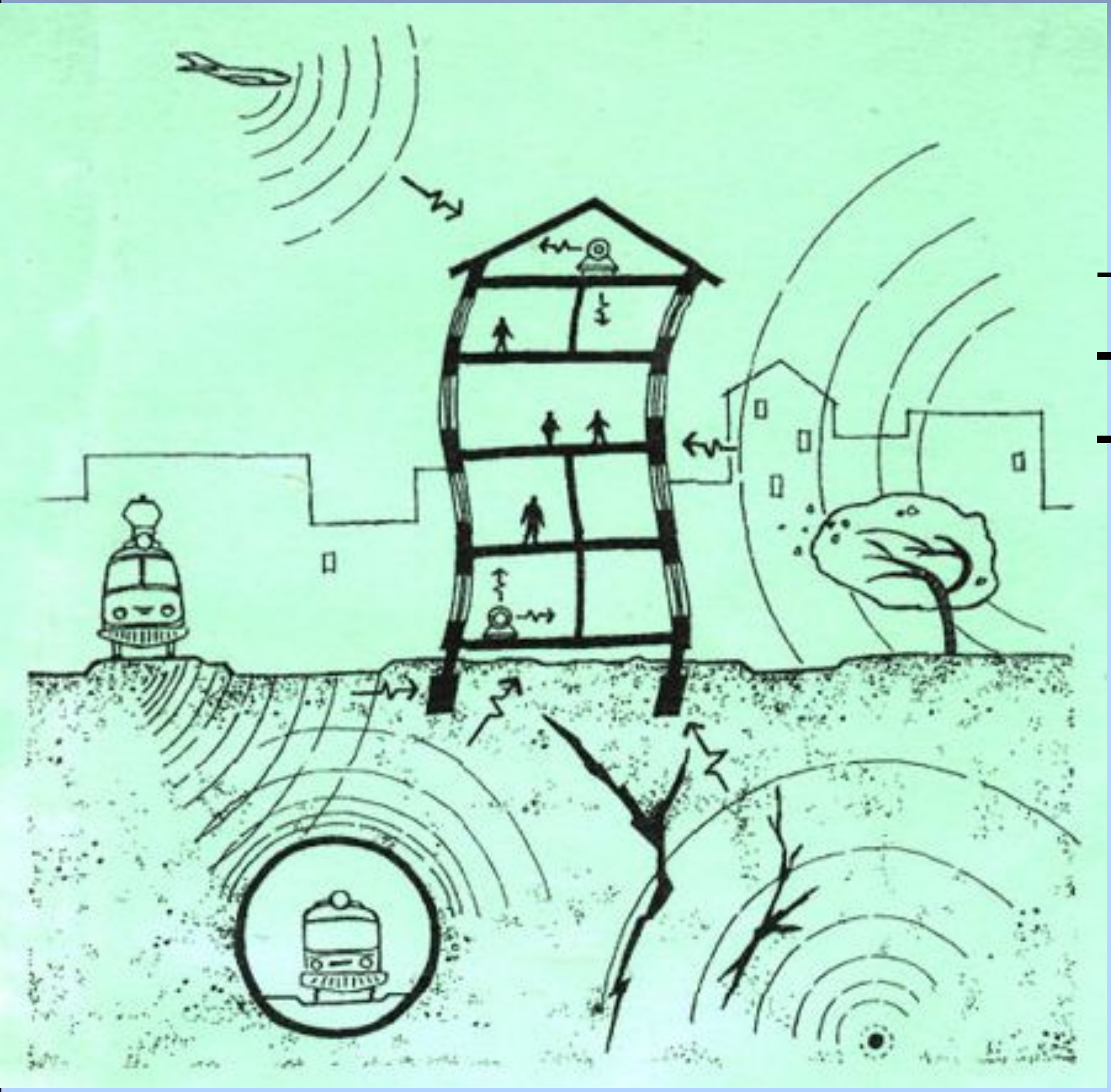
Биологические системы:

- *сердечно-сосудистая система*
- *ухо + голосовые связки*
- *эволюция биологического мира*

Общество:

- *промышленно-технологические циклы*
- *экономические циклы*

Колебания в строительстве



Основные факторы

- природные явления
- промышленность
- транспорт

Виды колебаний

- механические
- акустические
- электромагнитные
- тепловые

Вред от колебаний:

- разрушение конструкций: мосты, перекрытия зданий, трубопроводы, крылья самолетов, лопатки турбомашин и т.д.

Примеры: трагедия такомского моста, меч статуи Родины-Матери, шахтные вентиляторы.

-нарушение условий эксплуатации: вибрации станков при обработке металлов, потеря точности приборов.

-вредное влияние на организм человека: работа с вибраторами, шумы на производстве, морская болезнь при шторме, игра музыкантов на определенных частотах, …

Колебания на службе человека:

Создание вибрационных машин (диапазон их мощностей - от долей ватта у зубопропезного бора, до тысячи киловатт у вибратора ледокола).

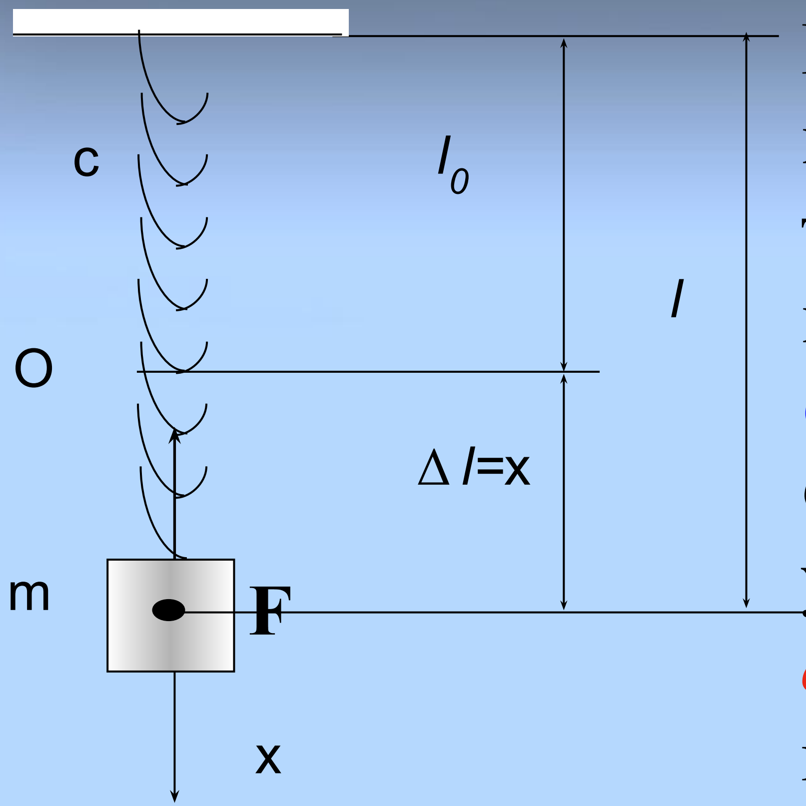
- **вибропогружение и вибровыдергивание свай**
- **измельчение, дробление, уплотнение материалов**
- **вибротранспортировка сыпучих материалов**
- **виброобработка металлов с целью упрочнения их поверхностей**
- **вибротерапия в медицине для восстановления нормального давления**
- **вибромассаж**
- **физиолечение (токи Бернара, …)**

Свободные колебания точки

Начнем изучение *механических колебаний* с наиболее простой задачи. Будем рассматривать прямолинейное движение точки, а именно, *свободное колебание точки* без учета сил сопротивления.

Колебания называются ***свободными***, если они совершаются за счет первоначально запасенной энергии. В последующие моменты времени ***отсутствует внешнее воздействие*** на колебательную систему.

Свободные колебания точки



Рассматриваем прямолинейное движение точки массой *m* под действием восстанавливающей силы *F*.

Силу тяжести не учитываем.

Ось x – направим в сторону удлинения пружины

о - начало отсчета в конце недеформируемой пружины

F **– сила упругости пружины**

c **- коэффициент жесткости пружины,**

l_O **- длина недеформированной пружины,**

l **- длина деформированной пружины,**

$\Delta l = l - l_O = x$ **- деформация пружины**

ДУ свободных колебаний

Силу упругости пружины F еще называют восстанавливающей силой

- всегда направлена в сторону восстановления пружины

- ее модуль равен: $F = -c\Delta l$

Составим ДУ движения точки в проекции на ось x

$$m\ddot{x} = F \quad \Rightarrow \quad m\ddot{x} = -c\Delta l = -cx$$

$$m\ddot{x} + cx = 0 \quad \Rightarrow \quad \ddot{x} + k^2 x = 0 \qquad (3)$$

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

k – частота колебаний точки, [рад/с]

Решение уравнения свободных колебаний

Решение уравнения **(3) в форме**

$$x = C_1 \sin kt + C_2 \cos kt \qquad (5)$$

C_1, C_2 **- постоянные интегрирования**

Можно получить ***другую форму решения:***

$$x = A \sin(kt + \alpha) \qquad (7)$$

Связь между константами $C_1 = A\cos\alpha \quad C_2 = A\sin\alpha$

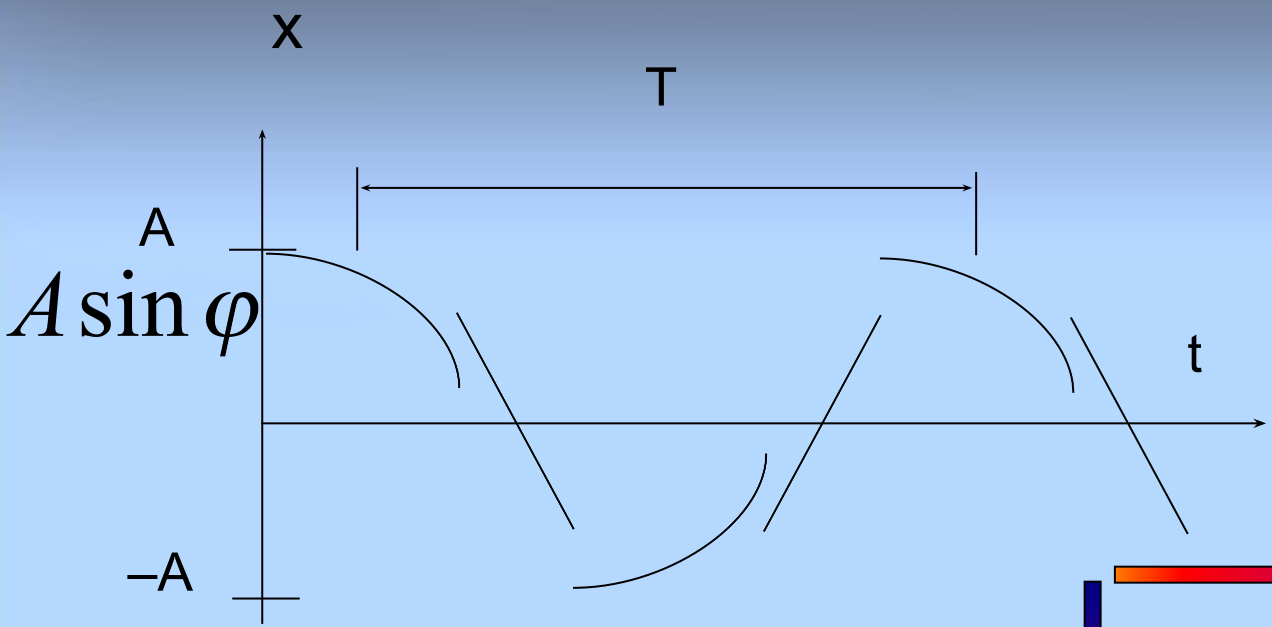
A, α **- постоянные интегрирования**

A **- начальная фаза [радиан]**

α **- амплитуда колебаний точки [м]**

Колебания, совершаемые точкой по формуле (7) называются гармоническими колебаниями.

График свободных колебаний



$$\ddot{x} + k^2 x = 0$$

$$k = \sqrt{\frac{c}{m}}$$

A – амплитуда колебаний, [м]

$\varphi(t) = kt + \alpha$ - фаза колебаний

$\varphi(0) = \alpha$ - начальная фаза

k – круговая частота колебаний

Общее решение

$$x = A\sin(kt + \alpha)$$

$$T = 2\pi / k$$

- период колебаний, [с]

Постоянные интегрирования A, α

Подставим ***начальные условия***

$$t = 0 : x(0) = x_0, \mathrm{v}(0) = \dot{x}(0) = \mathrm{v}_0$$

в общее ***решение*** $$x = A\sin(kt + \alpha)$$

Получим

$$x_0 = A\sin\alpha, \quad \mathrm{v}_0 = \dot{x}(0) = Ak\cos\alpha$$

Найдем ***постоянные интегрирования*** A, α

$$tg\alpha = \sin\alpha / \cos\alpha = (x_0/A)/(\mathrm{v}_0/Ak) = kx_0/\mathrm{v}_0$$

$$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$$

$$(x_0/A)^2 + (\mathrm{v}_0/Ak)^2 = 1, \quad A = \sqrt{x_0^2 + \mathrm{v}_0^2/k^2}$$

Свойства свободных колебаний

1. **Амплитуда** и **начальная фаза колебаний зависят** от **начальных условий задачи**

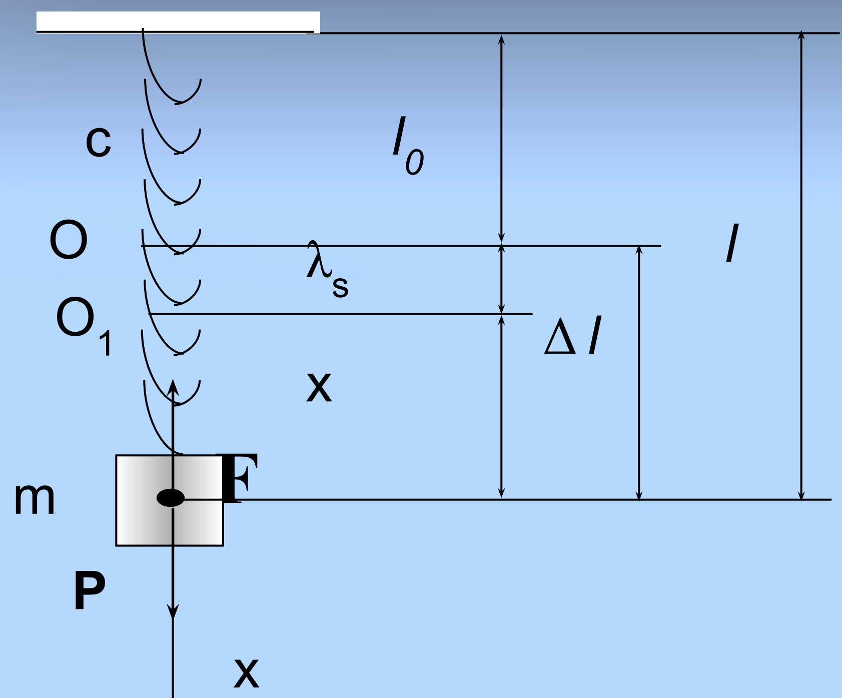
$$A = \sqrt{x_0^2 + v_0^2 / k^2}, \quad tg\alpha = kx_0/v_0 \qquad (8)$$

2. ***Частота*** **и** ***период колебаний не зависят*** **от** ***начальных условий*** **задачи и полностью определяются** ***параметрами*** **самой колебательной** ***системы***

$$k = \sqrt{c / m} \qquad T = 2\pi / k \qquad (9)$$

Если в задаче требуется определить ***амплитуду*** **и** ***период*** **колебаний, то можно воспользоваться (8-9),** ***не решая*** **ДУ.**

Свободные колебания при наличии постоянной силы P



Рассматриваем прямолинейное движение точки массой ***m*** под действием восстанавливающей силы ***F***.

Силу тяжести учитываем.

O_1 - начало отсчета ***x, в положении равновесия груза***

$P = mg$ - сила тяжести

$\lambda_s = \Delta l_s = l_s - l_o$ – статическая деформация пружины

Условие равновесия

$$mg - c\lambda_s = 0 \Longrightarrow \lambda_s = mg / c$$

Восстанавливающая сила

$$F_x = -c(x + \lambda_s)$$

$$m\ddot{x} = -c(x + \lambda_s) + mg$$

Уравнение свободных колебаний (P=const)

$$m\ddot{x} = -c(x + \lambda_s) + mg \qquad (10)$$

С учетом условия равновесия $mg = c\lambda_s$

$$m\ddot{x} = -cx$$

Получим ***ДУ свободных колебаний при наличии постоянной силы,*** аналогичное (3)

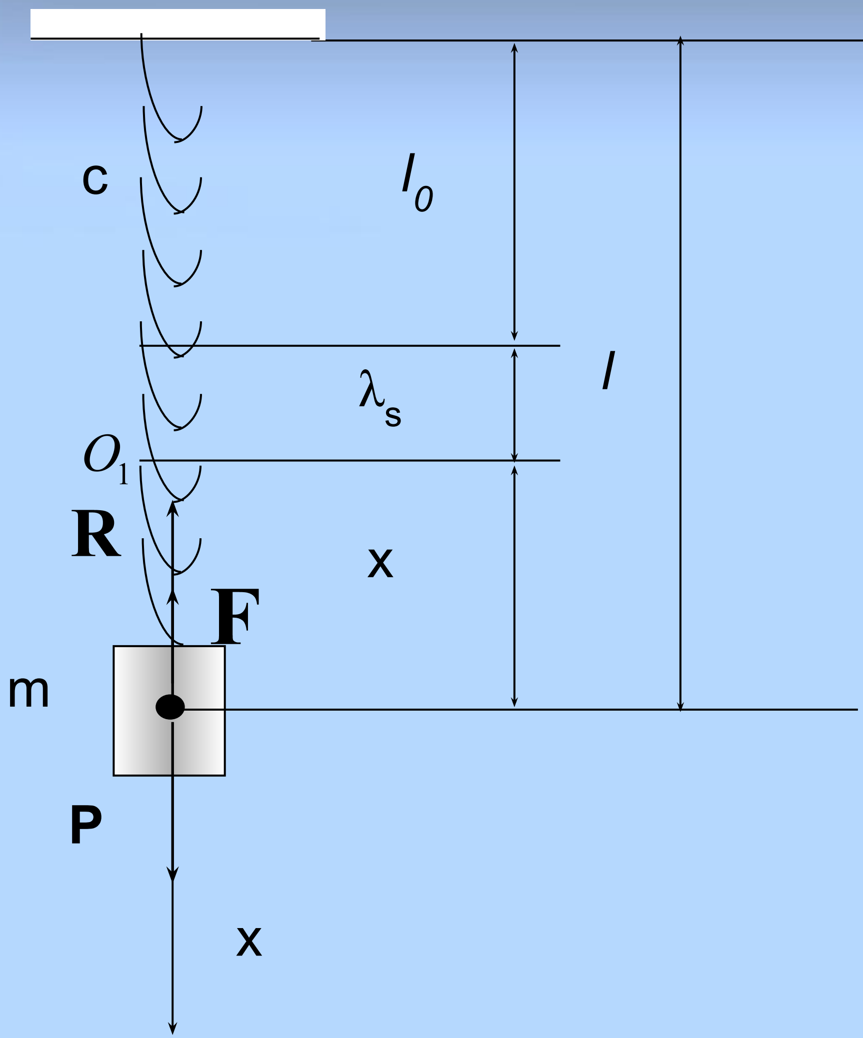
$$\ddot{x} + k^2 x = 0 \qquad (11)$$

Общее решение $x = C_1 \sin kt + C_2 \cos kt$

$$x = A\sin(kt + \alpha)$$

Постоянная сила, не изменяя характер колебаний, смещает центр колебаний в сторону ее действия на величину статической деформации λ_s

Свободные затухающие колебания



Силы: F, P, R

Сила сопротивления

$$\mathbf{R} = -\mu \mathbf{v}$$

Второй закон Ньютона

$$m\ddot{x} = -cx - \mu\dot{x}$$

ДУ свободных затухающих колебаний

$$\ddot{x} + 2b\dot{x} + k^2 x = 0$$

$$b = \mu / 2m \qquad k^2 = c / m$$

O_1 - начало отсчета в положении равновесия груза

ДУ свободных затухающих колебаний

$$\ddot{x} + 2b\dot{x} + k^2 x = 0 \qquad (12)$$

$$b = \mu / 2m \quad k^2 = c / m$$

1. Случай малого сопротивления среды $\quad b < k$

Общее решение уравнения

$$x = e^{-bt}(C_1 \sin k_1 t + C_2 \cos k_1 t)$$

$$x = Ae^{-bt} \sin(k_1 t + \alpha) \qquad (13)$$

Выражение для скорости

$$\mathrm{v} = \dot{x} = Ae^{-bt}(-b \sin(k_1 t + \alpha) + k_1 \cos(k_1 t + \alpha))$$

Постоянные интегрирования

Используем начальные условия

$$x(0) = x_0 \qquad \mathrm{v}(0) = \mathrm{v}_0$$

$$x_0 = A\sin\alpha$$

$$\mathrm{v}_0 = A(-b\sin\alpha + k_1\cos\alpha)$$

Найдем ***постоянные интегрирования***

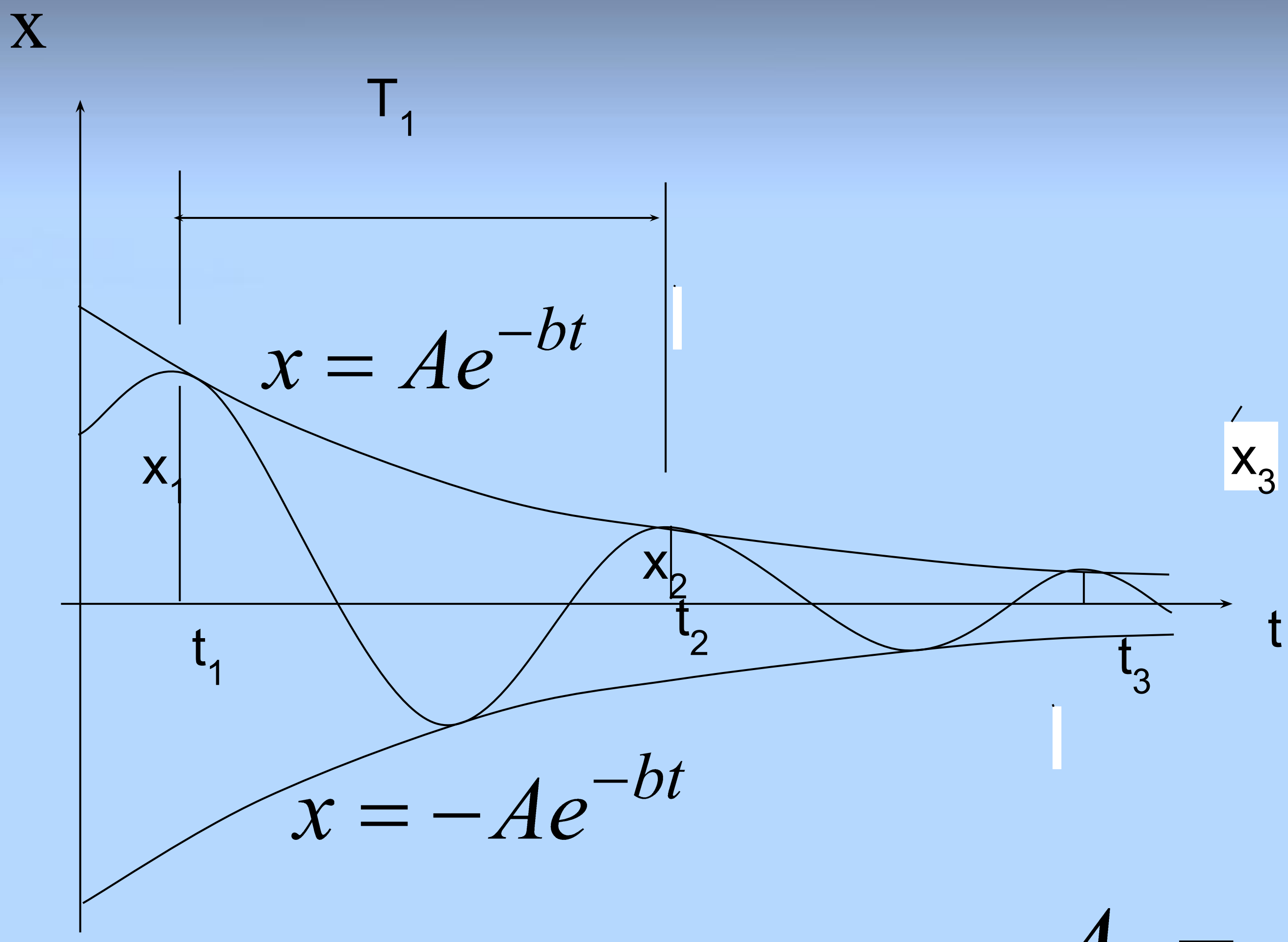
$$A = \sqrt{x_0^2 + (\mathrm{v}_0 + bx_0)^2 / k_1^2}$$

$$tg\alpha = x_0 k_1 / (\mathrm{v}_0 + bx_0)$$

$$k_1 = \sqrt{k^2 - b^2}$$ ***частота колебаний***

$$T_1 = 2\pi / k_1 = 2\pi / \sqrt{k^2 - b^2}$$ ***период колебаний***

График свободных затухающих колебаний



$$x = Ae^{-bt}$$

$$x = -Ae^{-bt}$$

$$A_1 = Ae^{-bt}$$

- экспоненциальный закон убывания ***амплитуды колебаний*** по времени

Декремент затухания

Выясним, как меняется амплитуда колебаний за один период

$$x_n = Ae^{-bt_n}\sin(k_1 t_n + \alpha)$$

$$x_{n+1} = Ae^{-bt_{n+1}}\sin(k_1 t_{n+1} + \alpha)$$

с учетом $t_{n+1} = t_n + T_1$

получим $x_{n+1} / x_n = e^{-bT_1}$ (14)

Размах колебаний убывает по геометрической прогрессии

$\lambda = e^{-bT_1}$ - ***декремент затухания***

bT_1 - ***логарифмический декремент затухания***

Декремент затухания показывает, во сколько раз уменьшается ***амплитуда колебаний*** за один период.

Свойства свободных затухающих колебаний

$$b < k$$

$$x = Ae^{-bt}\sin(k_1 t + \alpha)$$

Основное влияние ***сопротивления среды*** (в случае **b<k**) на ***свободные колебания*** сказывается в ***уменьшении амплитуды*** колебаний по времени, т.е. в их ***затухании***.

Свободные затухающие колебания $b > k$

$$\ddot{x} + 2b\dot{x} + k^2 x = 0$$

2. ***Случай большого сопротивления среды*** $b > k$

Общее решение уравнения

$$x = C_1 e^{q_1 t} + C_2 e^{q_2 t} \qquad (15)$$

$$q_1 = -b - \sqrt{b^2 - k^2}, q_2 = -b + \sqrt{b^2 - k^2}$$

$$q_1 < 0 \quad q_2 < 0$$

- ***апериодическое*** движение точки, не является типично колебательным, соответствует достаточно быстрому затуханию по времени

Свободные затухающие колебания

$$b = k$$

$$\ddot{x} + 2b\dot{x} + k^2 x = 0$$

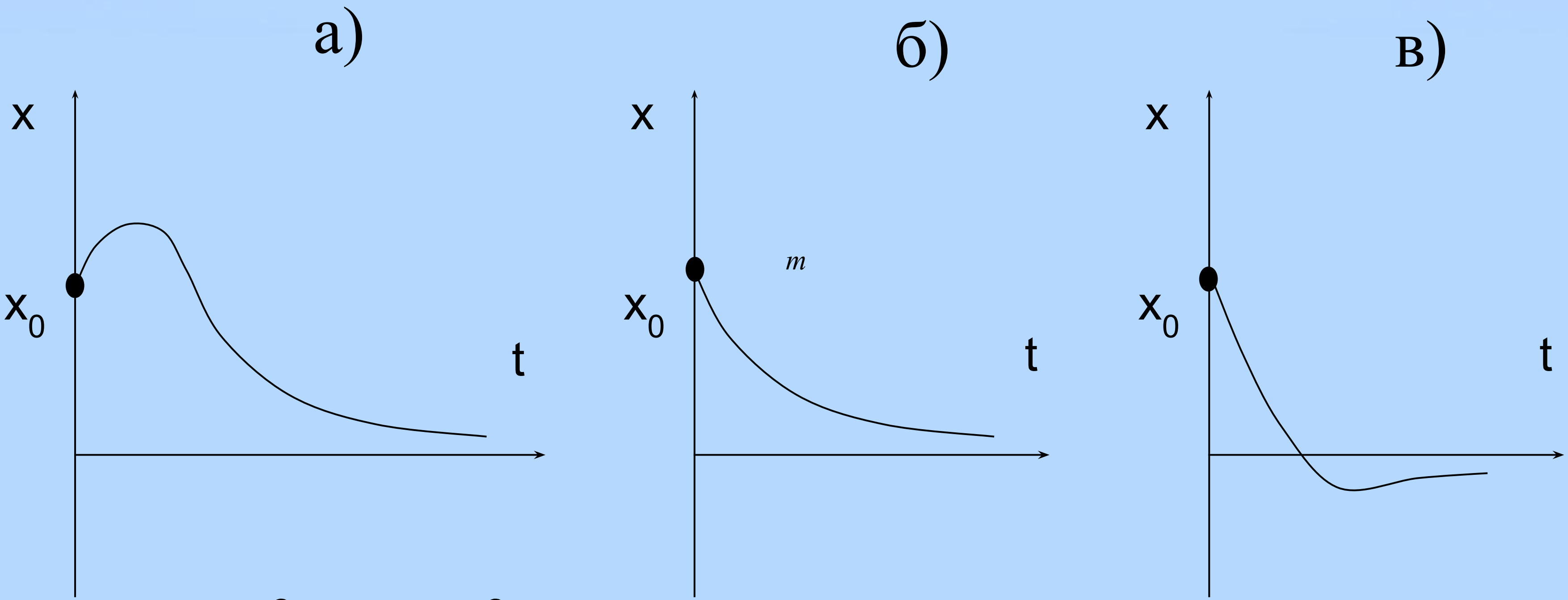
3. Случай $b = k$

Общее решение уравнения

$$x = e^{-bt}(C_1 + C_2 t) \qquad (16)$$

- движение точки ***апериодическое***, соответствует быстрому затуханию по времени

Графики свободных затухающих колебаний в случае большого сопротивления среды $b \geq k$



$x_0 > 0, \mathrm{v}_0 > 0$

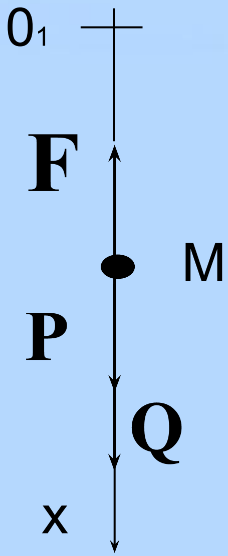
$x_0 > 0, \mathrm{v}_0 \leq 0$

$x_0 > 0, \mathrm{v}_0 << 0$

Вынужденные колебания

(без учета сопротивления среды)

O_1 -начало отсчета в положении равновесия груза



Силы: F, P, Q

$Q = Q_0 \sin pt$ - вынуждающая сила

Q_0 - амплитуда, p - частота

Уравнение движения

$$m\ddot{x} = -cx + Q_0 \sin pt$$

$$\ddot{x} + \frac{c}{m}x = \frac{Q_0}{m}\sin pt$$

ДУ вынужденных колебаний (без учета сопротивления)

$$\ddot{x} + k^2 x = p_0 \sin pt \qquad (17) \qquad p_0 = Q_0 / m$$

ДУ вынужденных колебаний
(без учета сопротивления среды)

$$\ddot{x} + k^2 x = p_0 \sin pt \qquad (17)$$

Уравнение неоднородное и его решение можно записать

$$x = x_1 + x_2$$

x_1 - общее решение однородного уравнения

$$x_1 = A \sin(kt + \alpha)$$

x_2 - частное решение полного уравнения

$$x_2 = B \sin pt$$

Подставляя это решение в (17), получим

$$-p^2 B \sin pt + k^2 B \sin pt = p_0 \sin pt$$

Решение ДУ вынужденных колебаний

$$-p^2 B \sin pt + k^2 B \sin pt = p_0 \sin pt$$

Это равенство должно выполнятся для любого ***t***

$$B(k^2 - p^2) = p_0 \qquad B = p_0 / (k^2 - p^2)$$

Для случая $\quad p \neq k$

$$x_2 = (p_0 / (k^2 - p^2)) \sin pt$$

Общее решение:

$$x = A \sin(kt + \alpha) + (p_0 / (k^2 - p^2)) \sin pt \quad (18)$$

Вынужденные колебания (резонанс)

Случай совпадения ***собственной частота*** колебаний с ***частотой возмущающей силы называется резонансом***.

$$k = p$$

Подставим частное решение полного уравнения

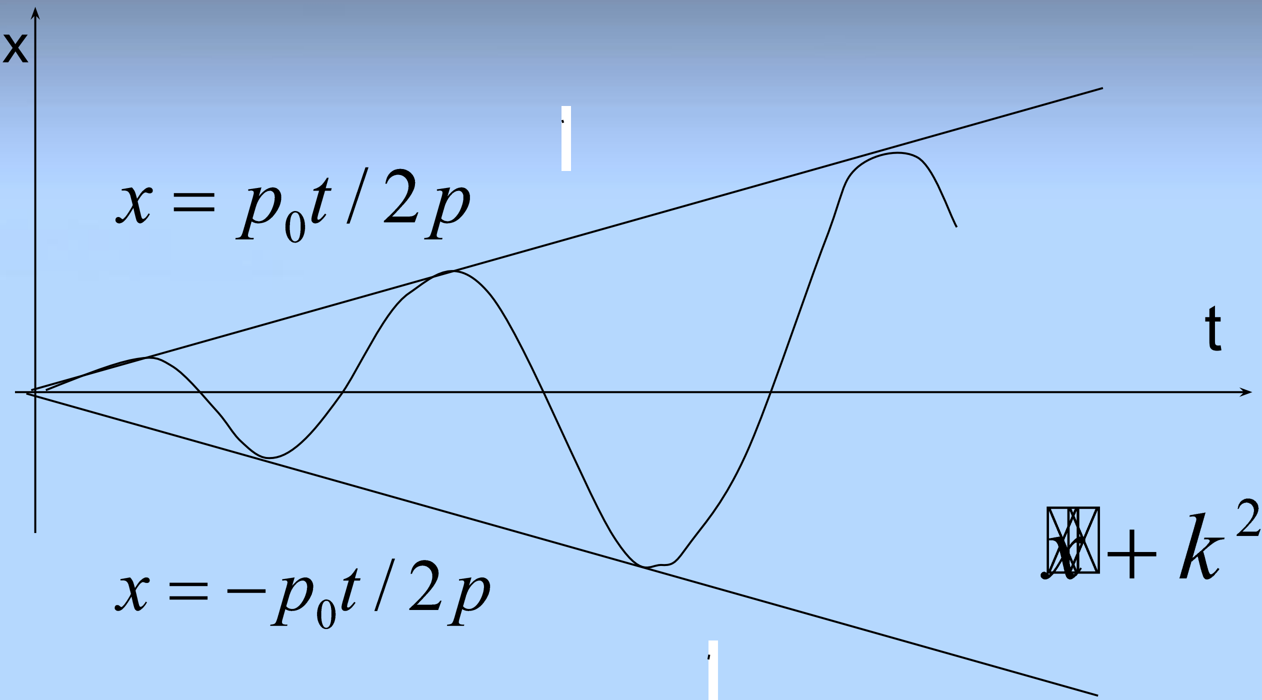
$x_2 = Ct\cos pt$ в уравнение $\ddot{x} + p^2 x = p_0 \sin pt$

Получим

$x_2 = -(p_0/2p)t\cos pt$ или $x_2 = (p_0/2p)t\sin(pt - \pi/2)$

- сдвиг по фазе между вынужденными колебаниями и возмущающей силой при резонансе равен $\pi/2$
т.е. максимальному значению вынуждающей силы соответствует положение равновесия и, наоборот, когда значение силы равно нулю, отклонение от положения статического равновесия максимальное

График вынужденных колебаний при резонансе



$$p = k$$

$$\ddot{x} + k^2 x = p_0 \sin pt$$

Общее решение

$$x = A \sin(kt + \alpha) - (p_0 / 2p) t \cos pt$$

При ***резонансе*** (без учета сопротивления среды) происходит ***линейный неограниченный рост амплитуды*** по времени.

Свойства вынужденных колебаний

(без учета сил сопротивления)

- **Вынужденные колебания происходят с постоянной амплитудой, которая не зависит от начальных условий.**

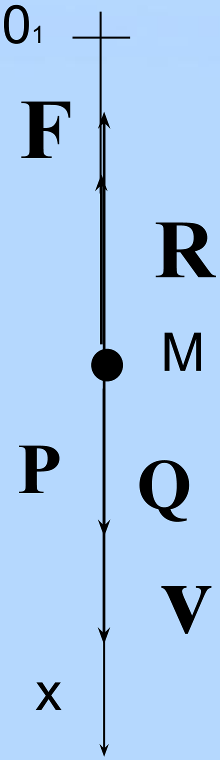
- **Частота вынужденных колебаний равна частоте возмущающей силы. То есть происходит “захват” частоты вынуждающей силой (приложенная сила “вынуждает” систему колебаться со своей частотой).**

- **Фазы вынужденных колебаний и возмущающей силы совпадают при $k>p$ и сдвинуты на 90° при $k<p$.**

Вынужденные колебания

при наличии сопротивления среды

O_1 - начало отсчета в положении равновесия груза



Силы: F, P, R, Q

$$\mathbf{R} = -\mu\mathbf{v} \qquad Q = Q_0 \sin pt \qquad F = -cx$$

Уравнение движения

$$m\ddot{x} = -cx - \mu\dot{x} + Q_0 \sin pt$$

$$\ddot{x} + \frac{\mu}{m}\dot{x} + \frac{c}{m}x = \frac{Q_0}{m}\sin pt$$

Введем обозначения

$$2b = \mu / m, \quad k^2 = c / m, \quad p_0 = Q_0 / m$$

ДУ вынужденных колебаний при наличии сопротивления

$$\ddot{x} + 2b\dot{x} + k^2 x = p_0 \sin pt \qquad (19)$$

$x = x_1 + x_2$ - общее решение полного уравнения

- общее решение однородного уравнения **$b<k$**

$$x_1 = Ae^{-bt}\sin(k_1 t + \alpha)$$

$x_2 = B\sin(pt - \beta)$ - частное решение полного уравнения

- постоянные

$\phi = pt - \beta$ - фаза колебаний

Найдем B, β , подставим частное решение в (19)

$$\dot{x} = Bp\cos(pt - \beta) \qquad \ddot{x} = -Bp^2\sin(pt - \beta)$$

Константы интегрирования

$$B(-p^2 + k^2)\sin\phi + 2bpB\cos\phi = p_0(\cos\beta\sin\phi + \sin\beta\cos\phi) \qquad (20)$$

Чтобы (20) выполнялось для любого ***t***, ***коэффициенты*** при $\sin\phi$ и $\cos\phi$ ***должны быть равны***, следовательно

$$B(k^2 - p^2) = p_0\cos\beta \qquad 2bp = p_0\sin\beta$$

Далее воспользуемся формулами из тригонометрии

$$\sin^2\beta + \cos^2\beta = 1 \qquad tg\beta = \sin\beta / \cos\beta$$

В результате получим

$$B = p_0 / \sqrt{(k^2 - p^2)^2 + 4b^2p^2}$$

$$tg\beta = 2bp/(k^2 - p^2)$$

Решение ДУ вынужденных колебаний при наличии сопротивлении среды

Общее решение

$$x = Ae^{-bt}\sin(k_1 t+\alpha)+B\sin(pt-\beta) \qquad (21)$$

Собственные колебания

Вынужденные колебания

Возмущающая сила **все время поддерживает колебательное движение точки, в результате чего она колеблется *с постоянной амплитудой B***

$$B = p_0 / \sqrt{(k^2 - p^2) + 4b^2 p^2}$$

Частота, период и амплитуда вынужденных колебаний

Сопротивление среды не изменяет ***частоту*** и ***период*** вынужденных колебаний. Точка колеблется с частотой ***p*** возмущающей силы.

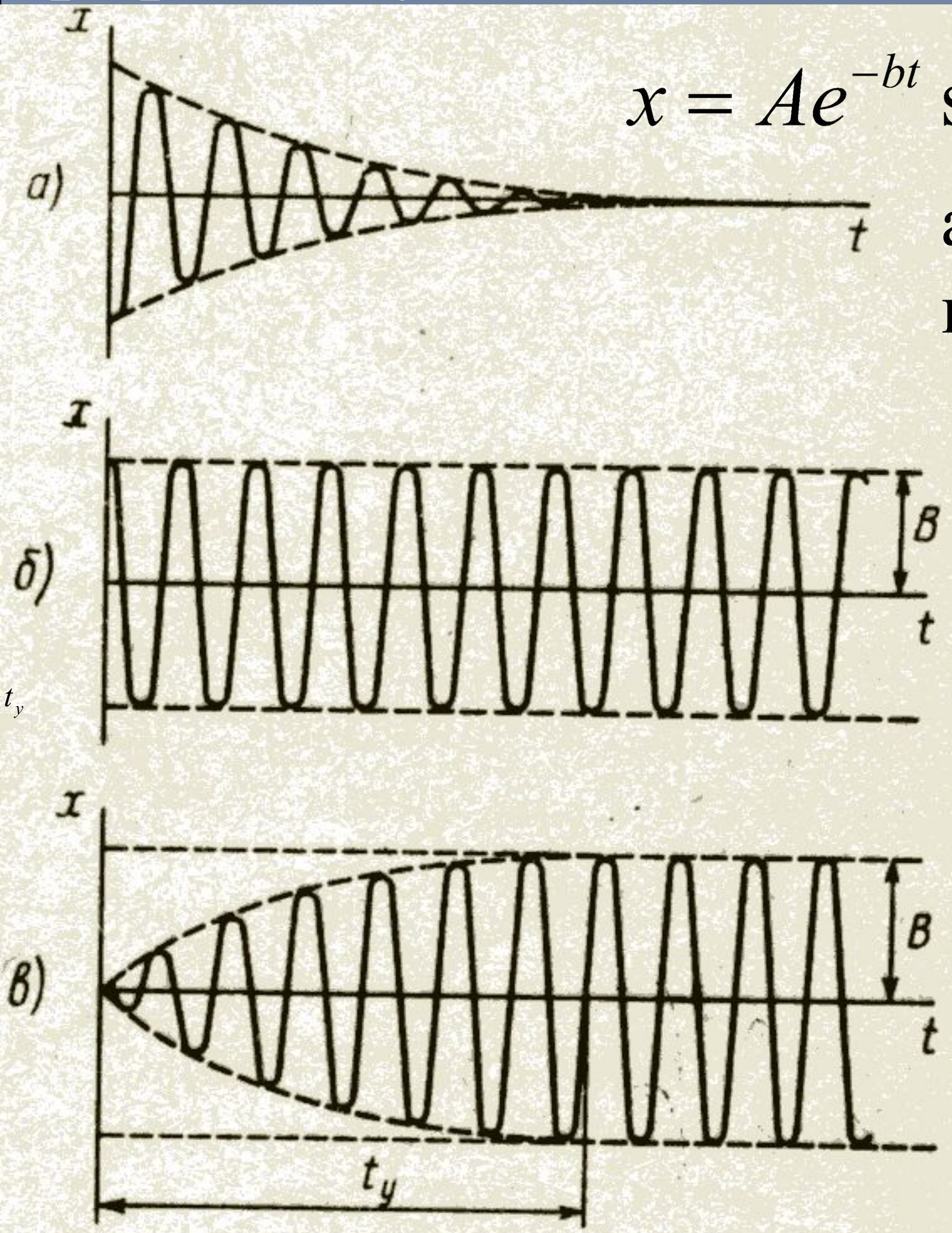
$$Q = Q_0 \sin pt \qquad T = 2\pi / k \qquad k^2 = c / m$$

В случае резонанса $p = k$ ***амплитуда***

$$B_{res} = p_0 / 2bp = p_0 m / \mu p$$

Увеличение сопротивления среды приводит при резонансе к уменьшению амплитуды колебаний (это свойство часто используется в технике)

График вынужденных колебаний



$$x = Ae^{-bt}\sin(k_1 t + \alpha) + B\sin(pt - \beta)$$

а) Собственные колебания при наличии сопротивления

б) Вынуждающая сила

B - амплитуда

в) Вынужденные колебания при наличии сопротивления

t_y - время установления

Коэффициент динамичности

$$B_{st} = \frac{p_0}{k^2} = \frac{Q_0}{c}$$ - ***статическое перемещение*** точки под действием постоянной силы Q_0

$$\eta = B / B_{st}$$

коэффициент динамичности показывает,
во сколько раз ***амплитуда*** вынужденных колебаний **B**
под действием ***возмущающей силы*** $Q = Q_0 \sin pt$
больше ***статического перемещения*** B_{st}
при действии ***постоянной силы*** Q_0

Подставим новые обозначения $z = p / k$ $h = b / k$

в выражение для ***амплитуды*** и начальной фазы

$$B = p_0 / \sqrt{(k^2 - p^2) + 4b^2 p^2} \qquad tg\beta = 2bp/(k^2 - p^2)$$

Коэффициент динамичности

Получим ***коэффициент динамичности***

$$\eta = 1/\sqrt{(1 - z^2) + 4h^2 z^2}$$

$z = p/k$ - соотношение частот

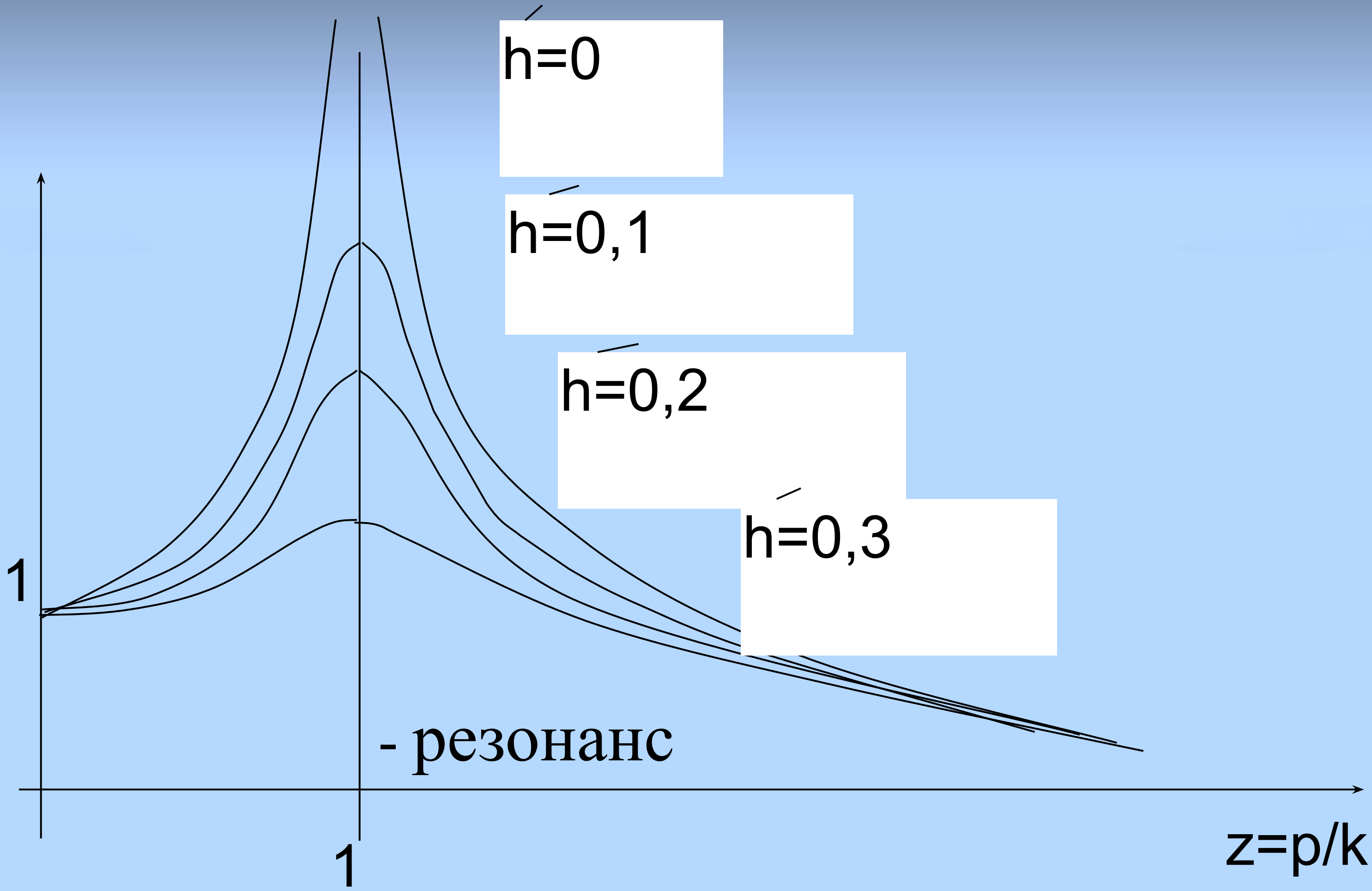
$h = b/k$ - характеризует сопротивление среды

Важные характеристики колебательной системы

Амплитудно - частотная характеристика (АЧХ)

Фазо - частотная характеристика (ФЧХ)

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)

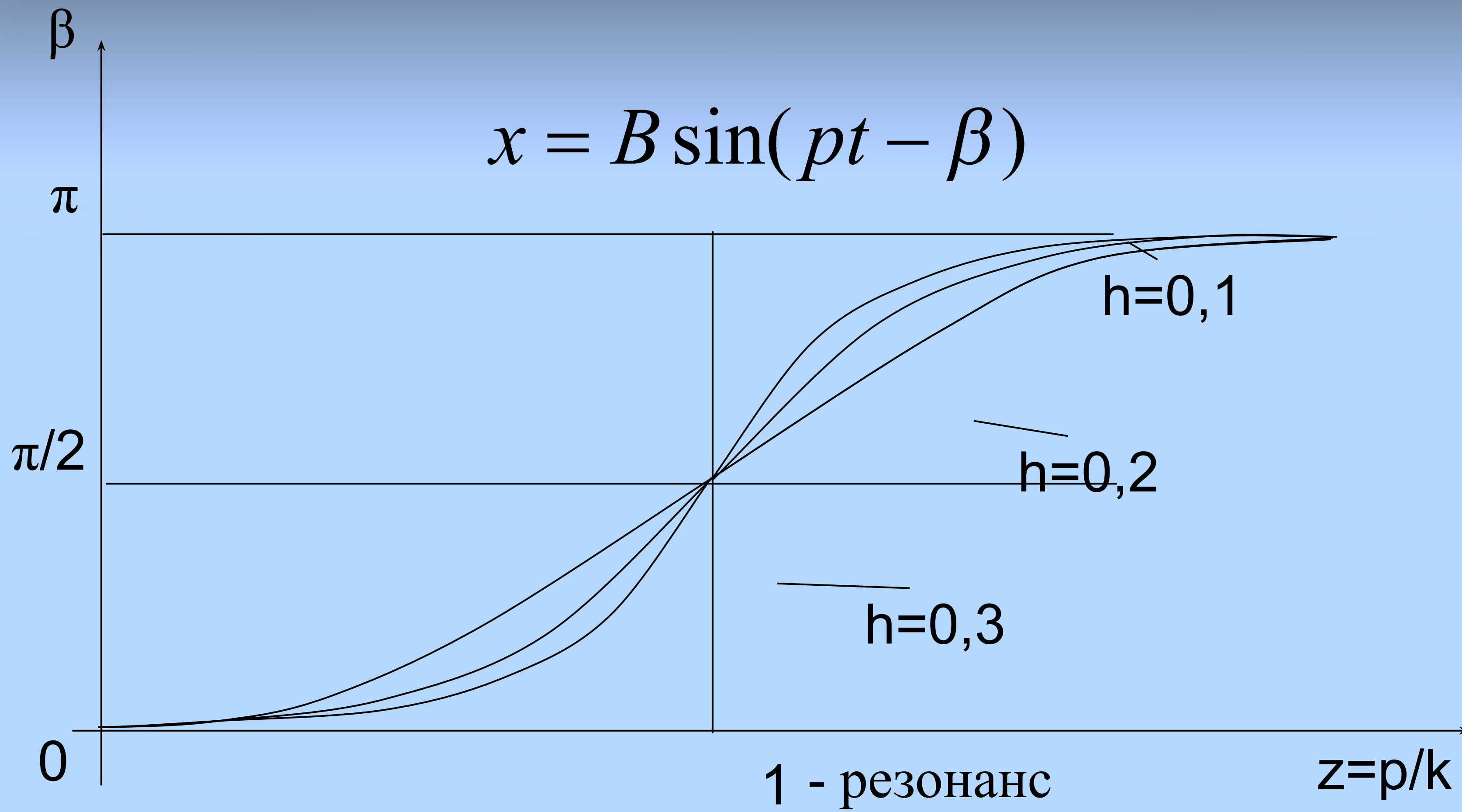


η - коэффициент динамичности

$z = p / k$ - соотношение частот

$h = b / k$ - характеризует сопротивление среды

Фазо-частотная характеристика (ФЧХ)



β - ***сдвиг фазы*** (между колебаниями и возмущающей силой)

Свойства вынужденных колебаний

1. ***Амплитуда*** **вынужденных колебаний** ***не зависит*** **от** ***начальных условий*** **задачи.**
2. ***Вынужденные колебания*** **при наличии сопротивления** ***не затухают*****.**
3. ***Частота*** **вынужденных колебаний** ***равна частоте возмущающей силы*****.**

---

4. **Даже при** ***малой возмущающей силе*** **можно получить** ***интенсивные*** **вынужденные** ***колебания*****, если сопротивление мало, а частота** p **близка к** k**.**
5. **Даже при** ***большой возмущающей силе*** **можно сделать вынужденные** ***колебания*** **сколь угодно** ***малыми*****, если частота** $p>>k$**.**

Сложная колебательная система

- имеет ***набор собственных частот***

$$k_1, k_2, \ldots, k_n$$

- имеет ***набор возмущающих сил с частотами***

$$p_1, p_2, \ldots, p_m$$

- содержит ***много резонансов***

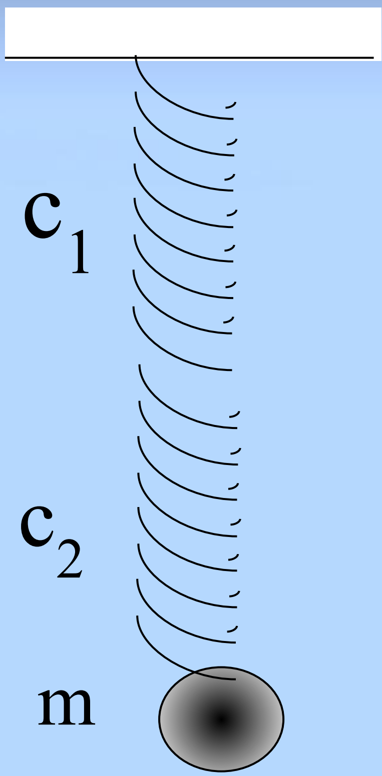
$$p_i = k_j \qquad i = 1, \ldots, m, \qquad j = 1, \ldots, n,$$

Применение ***резонансов*** на практике

***Резонанс “полезен”* – “настройка” колебательной системы на резонанс.**

***Резонанс “вреден”* – “отстройка” колебательной системы от резонанса.**

Задача 1. Замена нескольких пружин эквивалентной



а) Последовательное соединение пружин

Статическое удлинение пружин ***1*** и ***2***

$$\lambda_s = \lambda_{s1} + \lambda_{s2}$$

$$\lambda_s = mg / c_1 + mg / c_2$$

Статическое удлинение эквивалентной пружины

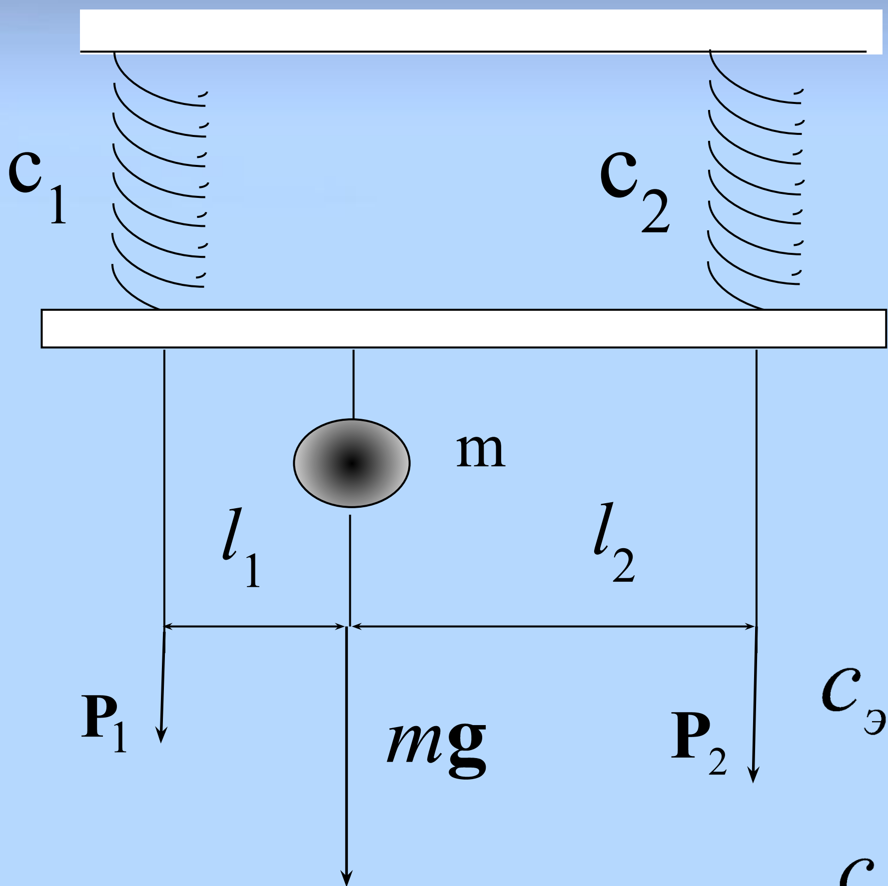
$$\lambda_s = mg / c_{экв}$$

В результате получим

$$1 / c_{экв} = 1 / c_1 + 1 / c_2 \Rightarrow \quad c_{экв} = c_1 c_2 / (c_1 + c_2)$$

Задача 1(продолжение).

б) Параллельное соединение пружин



Определяющие соотношения

$$P_1 + P_2 = mg, \qquad P_1 l = P_2 l_2$$

$$P_1 = \lambda_s c_1, \qquad P_2 = \lambda_s c_2$$

$$c_1 = P_1 / \lambda_s, \qquad c_2 = P_2 / \lambda_s$$

$$c_{экв} = mg / \lambda_s = (P_1 + P_2) / \lambda_s$$

$$c_{экв} = P_1 / \lambda_s + P_2 / \lambda_s = c_1 + c_2$$

В результате получим $\quad c_{экв} = c_1 + c_2$

Задача 2.

Груз массой 3кг совершает затухающие колебания с периодом T1=0,3с и декрементом затухания λ=0,5. Определить коэффициент жесткости пружины ***c*** и коэффициент ***μ*** вязкого сопротивления. Во сколько нужно уменьшить массу груза, чтобы движение груза стало апериодическим?

Решение

$$T_1 = 2\pi / \sqrt{k^2 - b^2}, \quad \lambda = e^{-bT_1}, \quad k = \sqrt{c/m}$$

Подставим числовые значения

$$0.3 = 2\pi / \sqrt{k^2 - b^2},\ 0.5 = e^{-bT_1},\ k = \sqrt{c/3}$$

Решаем эти уравнения относительно ***b, k, c***

$$b = 2{,}31 \quad k = 21{,}1 \quad c = 0{,}136$$

Задача 2 (продолжение)

Следовательно

$$c = 0{,}136(H/м) \quad \mu = 2mb = 13{,}86(H \cdot c/м)$$

Пусть m_1 новая масса, тогда $a = m/m_1$

$$b_1 = \mu/2m_1 = \mu a/2m, \ k_1 = \sqrt{c/m_1} = k\sqrt{a}$$

Наименьшая масса при которой движение будет апериодическим, находится из условия

$$b_1 = k_1$$

Откуда находим

$$a = m/m_1 = (k2m/\mu)^2 \approx 83$$

Уточнение рекомендаций к решению задач для случая колебательного движения точки

1. **Выбрать систему координат.**

Ось х направлять в сторону удлинения пружины, начало – в положении равновесия груза

2. **Изобразить все силы.**

Силы: упругости пружины, сила тяжести, сила сопротивления среды, вынуждающая сила

3. **Написать второй закон Ньютона, получить ДУ.**

Получить ДУ в “стандартном” виде, правильно выразив Δl **через х.**

4. **Написать НУ.** $x(0) = x_0;\ \dot{x}(0) = \mathrm{v}_0$

Не ошибиться при нахождении x_o

5. **Решить ДУ с использованием НУ.**

Взять готовое решение “стандартного” ДУ

Заключение

Свободные незатухающие колебания:

1. Амплитуда и начальная фаза колебаний зависят от начальных условий задачи

2. Частота и период колебаний не зависят от начальных условий задачи и полностью определяются параметрами самой колебательной системы

3. Постоянная сила, не изменяя характер колебаний, смещает центр колебаний в сторону ее действия на величину статической деформации

Свободные затухающие колебания:

Основное влияние сопротивления среды на свободные колебания сказывается в уменьшении амплитуды колебаний по времени, т.е. в их затухании.

Заключение (продолжение)

Вынужденные колебания:

1. ***Амплитуда* вынужденных колебаний *не зависит* от *начальных условий* задачи.**
2. ***Вынужденные колебания* при наличии сопротивления *не затухают*.**
3. ***Частота* вынужденных колебаний *равна частоте возмущающей силы*.**

Вопросы для самоконтроля

1. Как направлена и чему равна сила упругости пружины?
2. Какой вид имеют ДУ свободных колебаний точки?
3. Чем определяется амплитуда и начальная фаза свободных колебаний точки?
4. От каких параметров зависят частота и период свободных колебаний точки?
5. Записать ДУ свободных затухающих колебаний точки? Привести вид его общего решения.
6. Привести график свободных и затухающих колебаний, а также апериодического движения точки.
7. Как определяют декремент затухающих колебаний и что он характеризует?
8. Каковы период и частота вынужденных колебаний?
9. Записать ДУ вынужденных колебаний.

Тема следующей лекции

Движение точки в неинерциальной системе отсчета