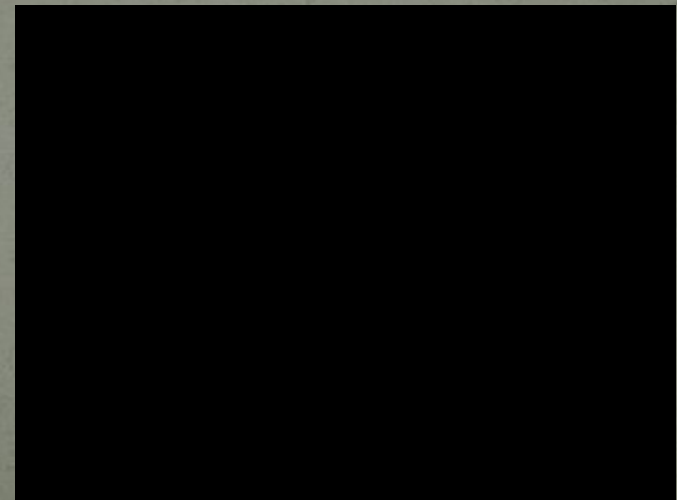
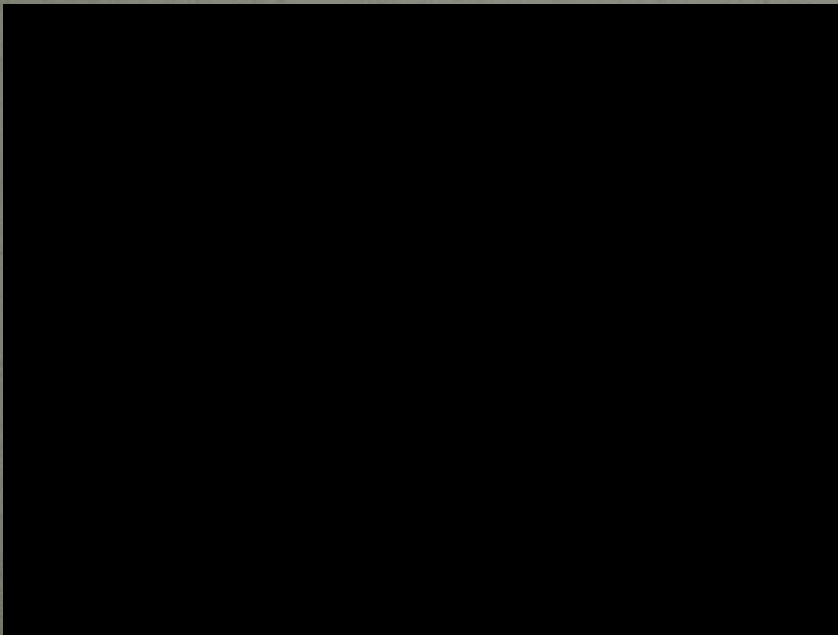


Курс: “Колебания и волны. Волновая оптика”

- “В науке необходимо воображение. Она не исчерпывается целиком ни математикой, ни логикой, в ней есть что-то от красоты и поэзии”

● М. Митчелл, 1860



Часть I. Колебания и волны

<http://vega.phys.msu.ru/>

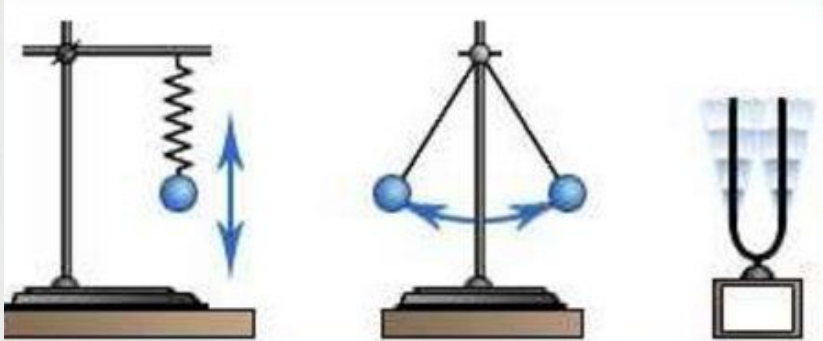
Лекция 1. Свободные колебания простых одномерных осцилляторов



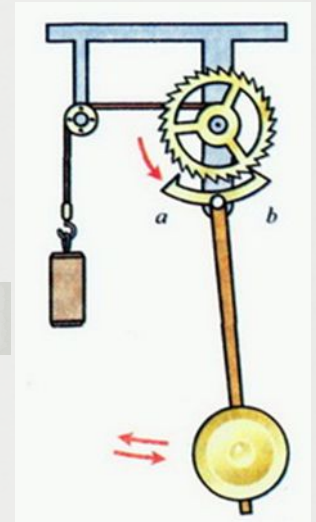
Глава I. Свободные колебания

§ 1. Свободные незатухающие колебания простых систем (гармонический осциллятор) “oscillator”

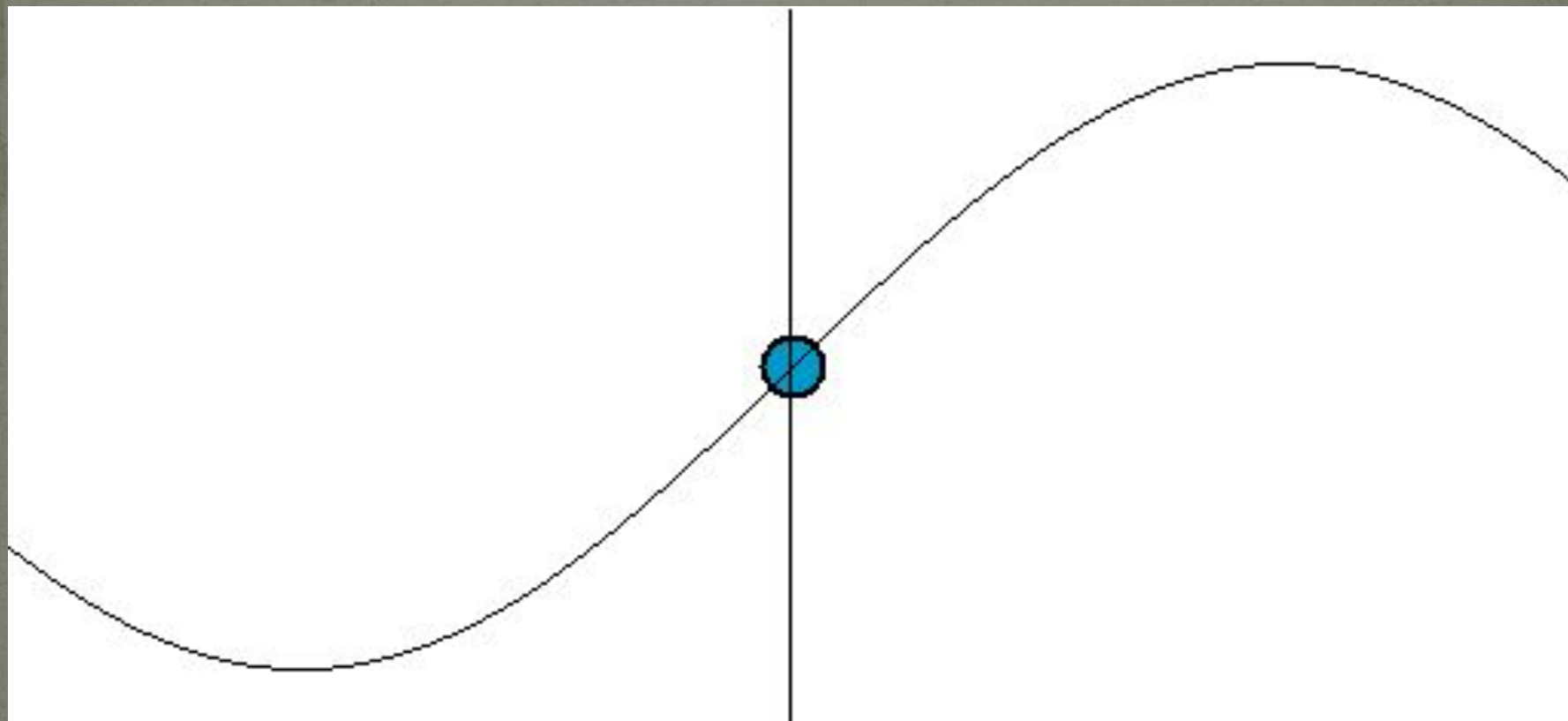
1.1. Понятие о колебательных процессах (Какие бывают колебания?)



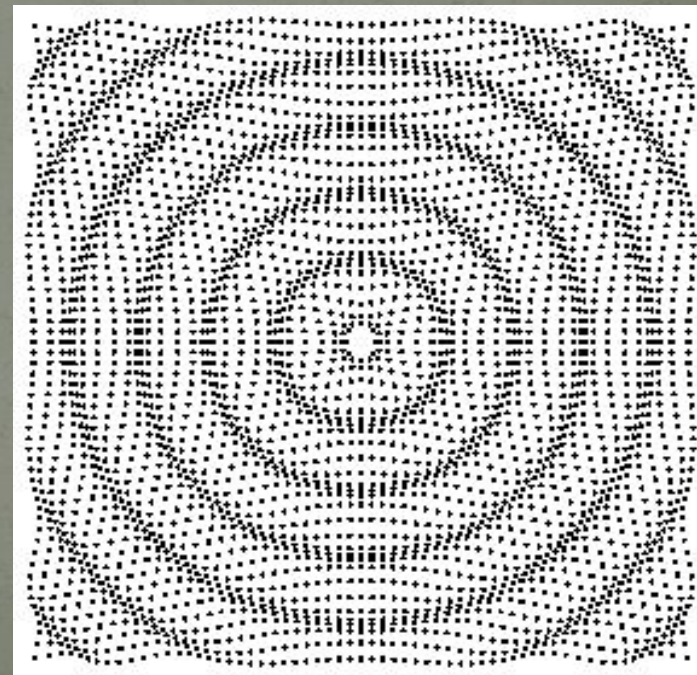
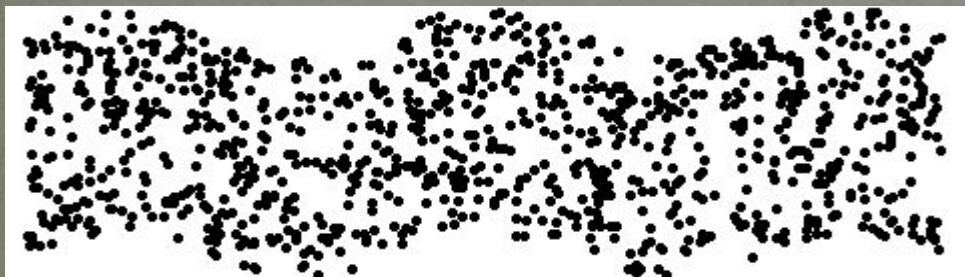
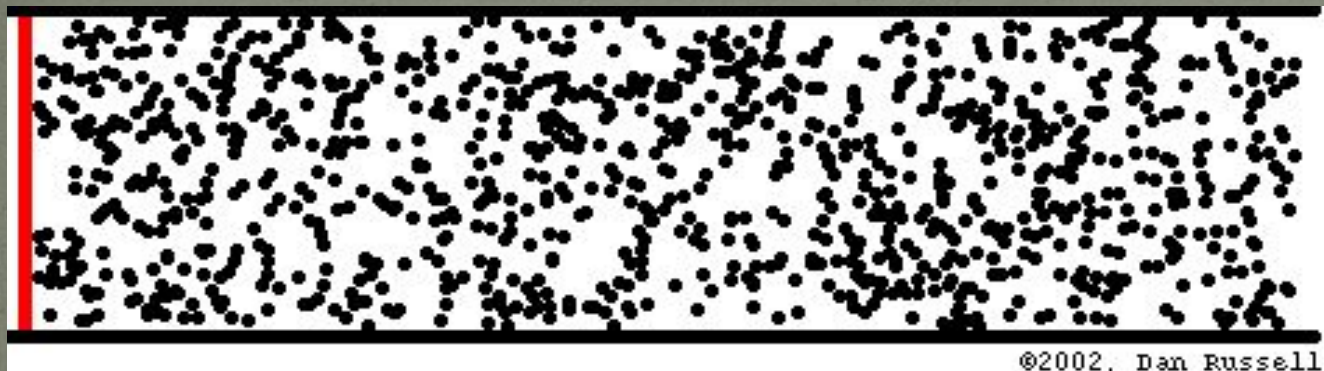
Маятник часов



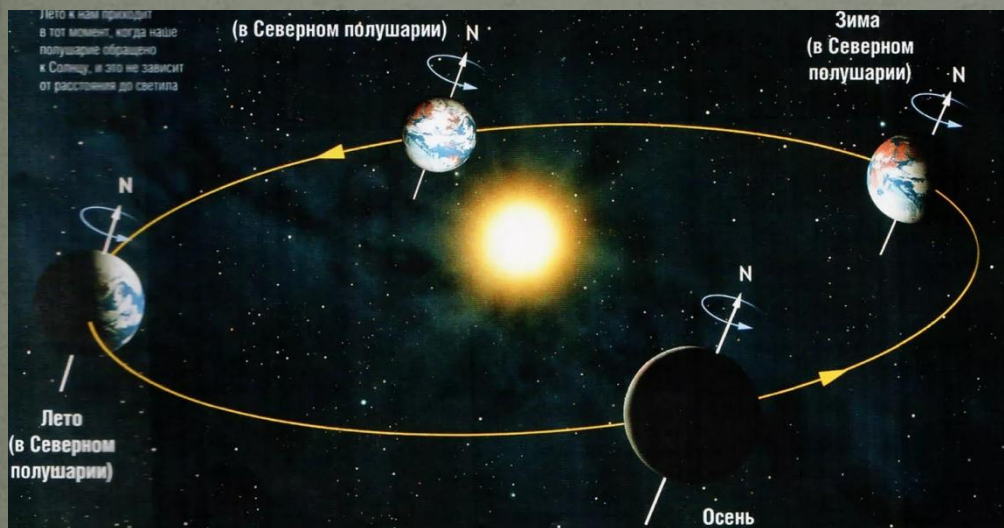
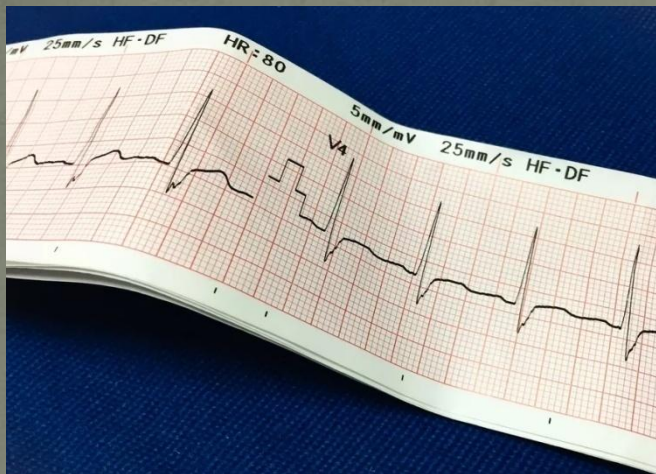
Колебания ???



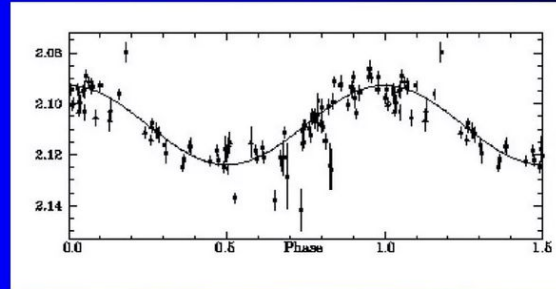
Колебания “бегут” – “Волны”



Колебания ???

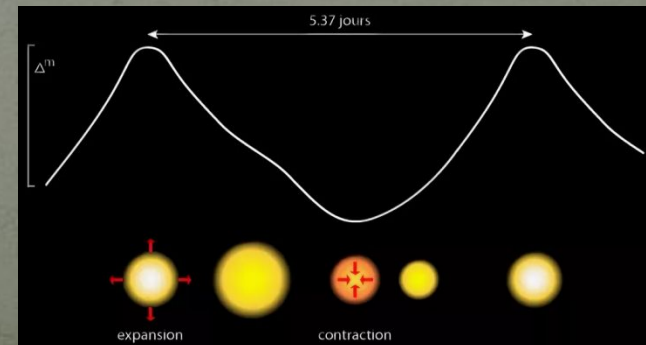
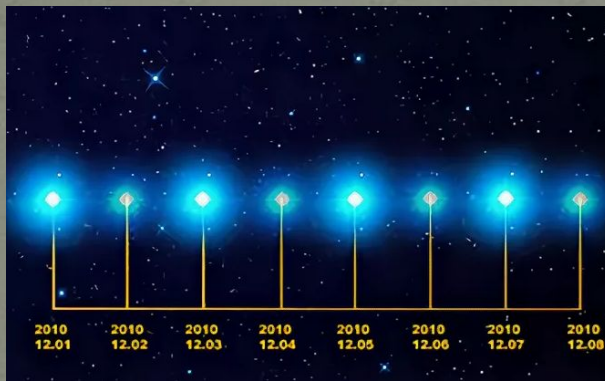


Цефеиды – пульсирующие звёзды



Ближайшая цефеида -- Полярная звезда (122 пк)

Кривая блеска Полярной звезды (HIPPARCOS)



Реакция Белоусова (1951 г.) – Жаботинского (теория)

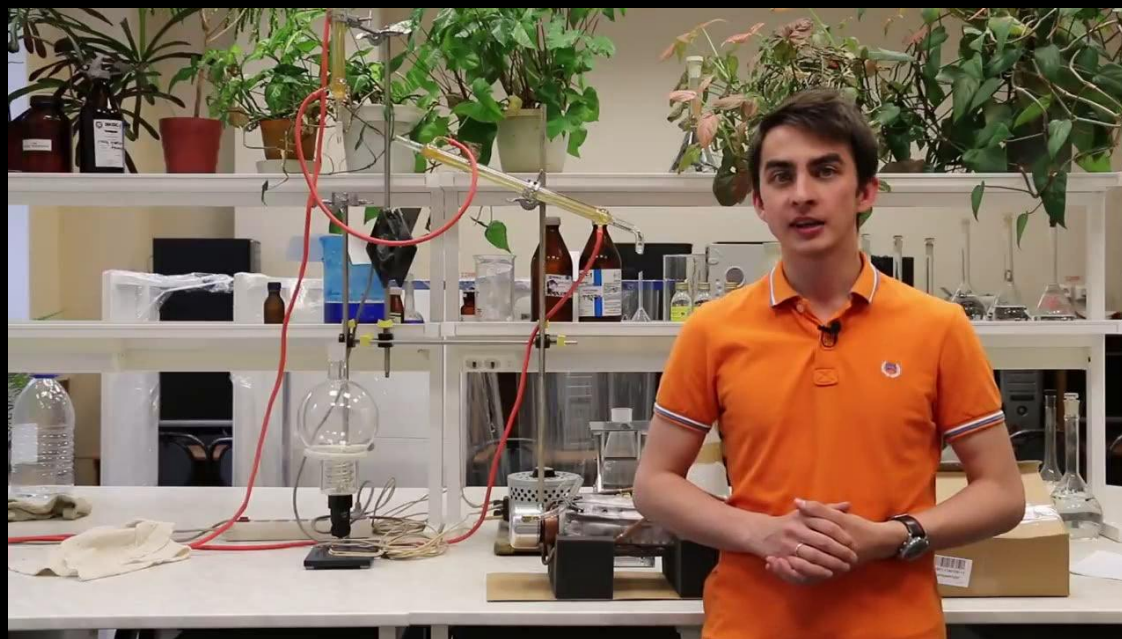
Борис Павлович Белоусов (фото 30-х годов)



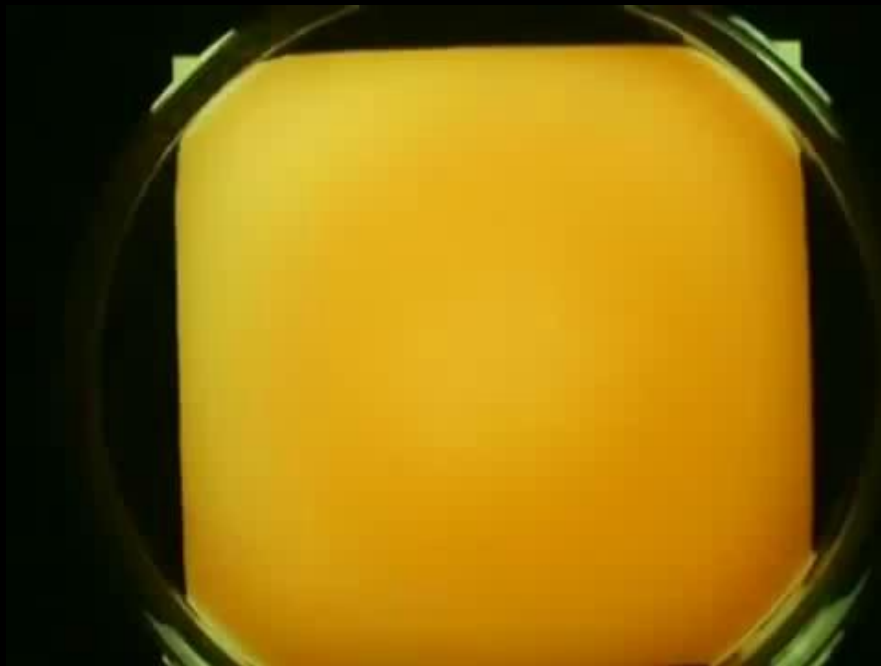
Симон Шноль - История открытия:

<https://www.youtube.com/watch?v=Op066lof2sE>

Реакция Белоусова – Жаботинского



Волны при протекании реакции Белоусова - Жаботинского



Ещё волны ...



- “Опр.” Колебаниями называются процессы, обладающие в той или иной мере свойством повторяемости во времени

Замечания: 1. Почему так
«расплывчато»?

2. Какие-такие «процессы»?

...

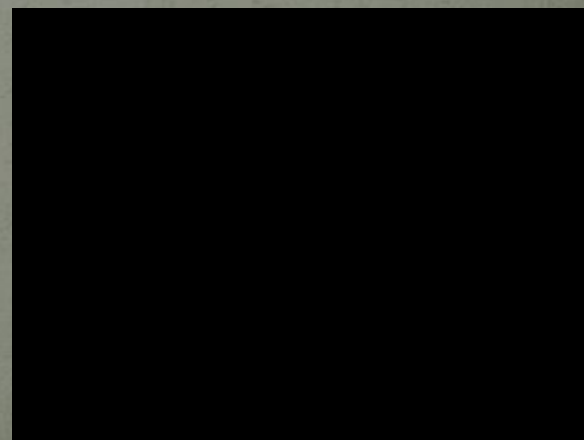
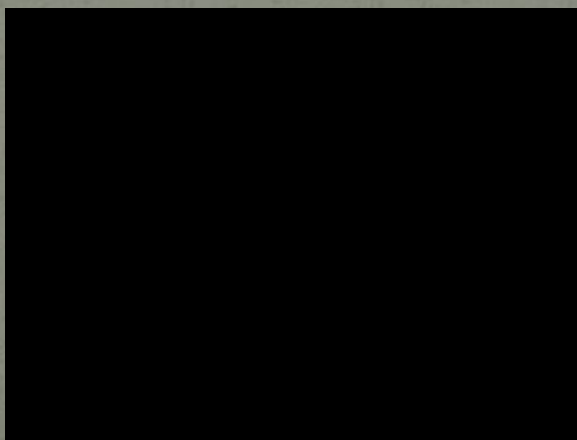
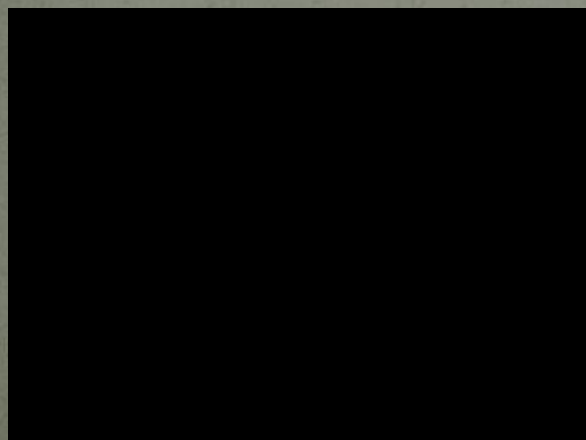
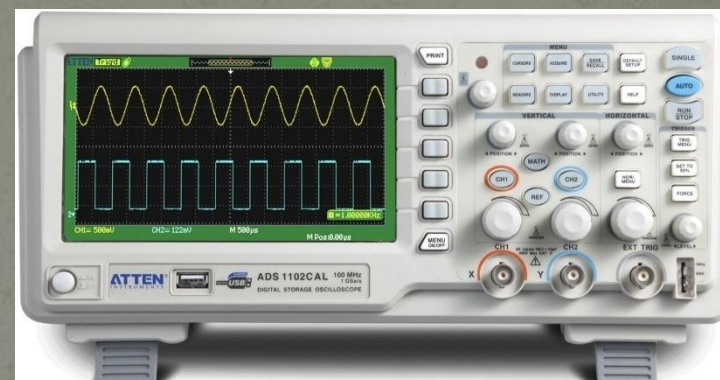
?!



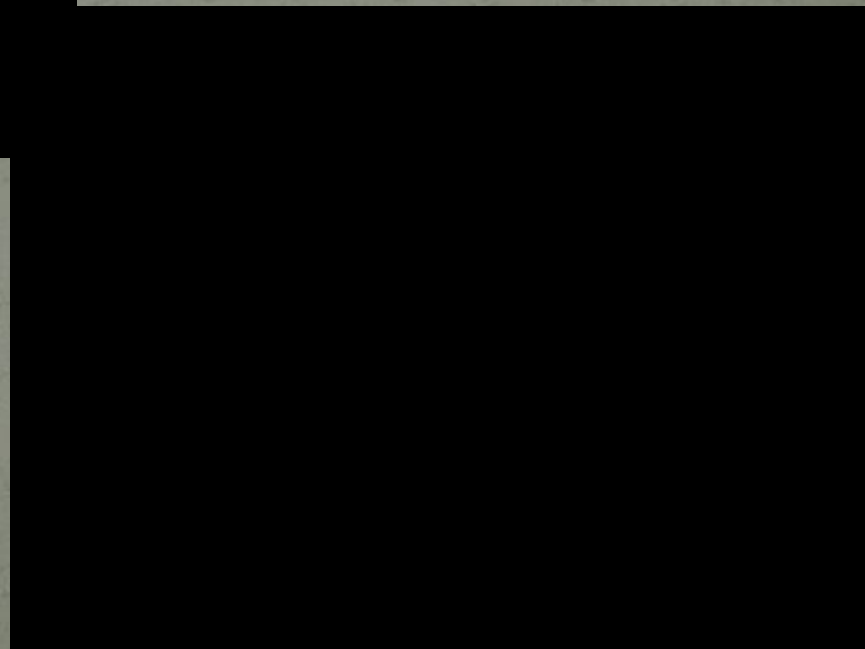
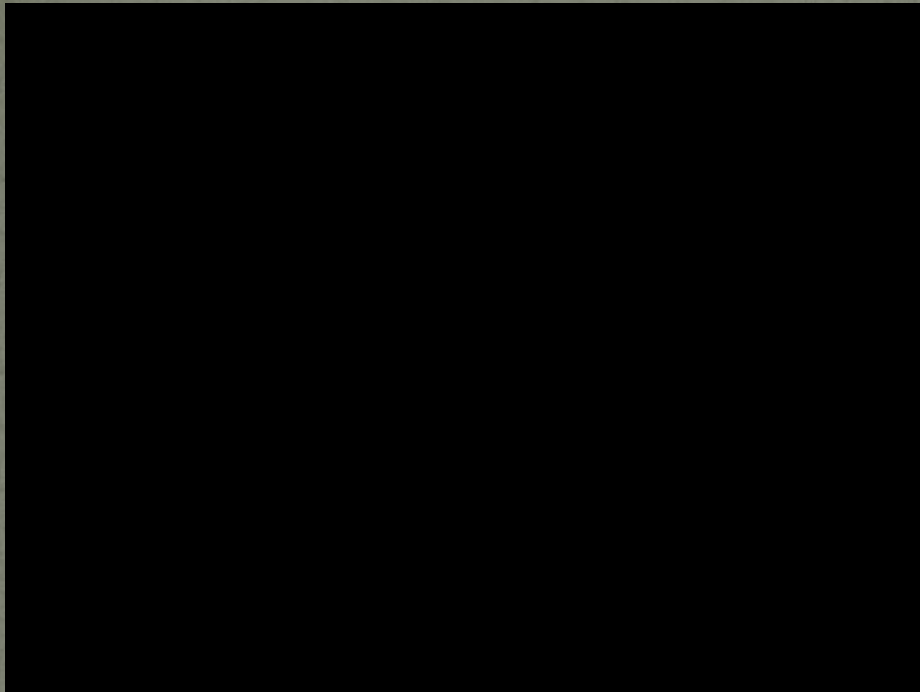
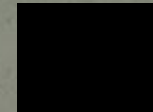
“Визуализация” колебаний



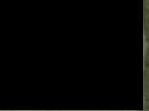
Осциллограф



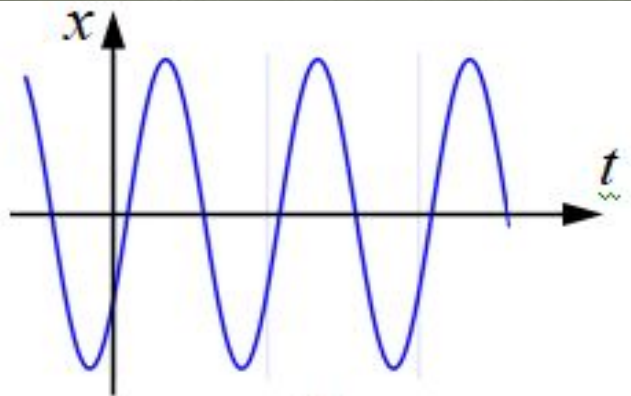
“Разные” колебания



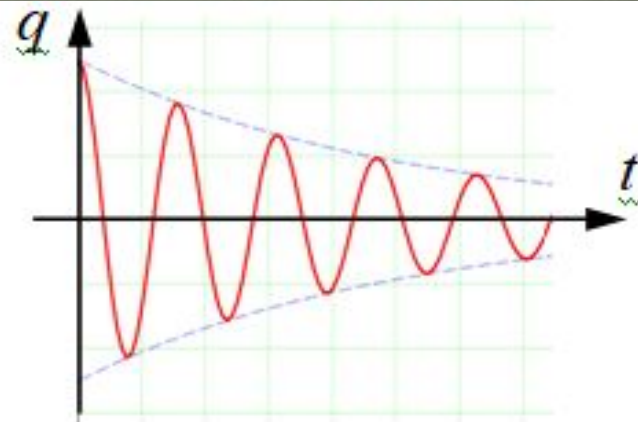
Апериодический режим - “Релаксация”



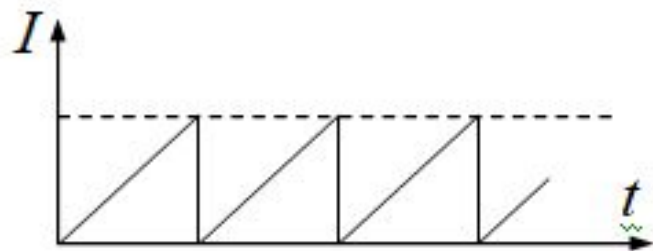
“Разные” колебания



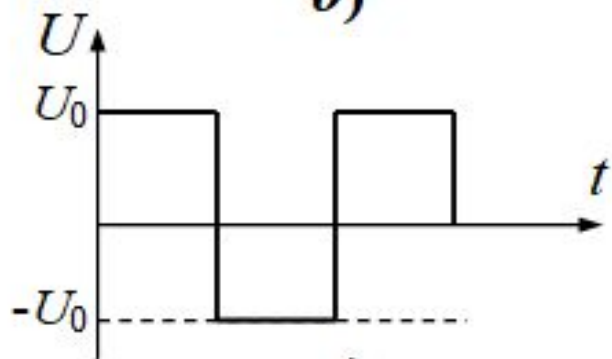
a)



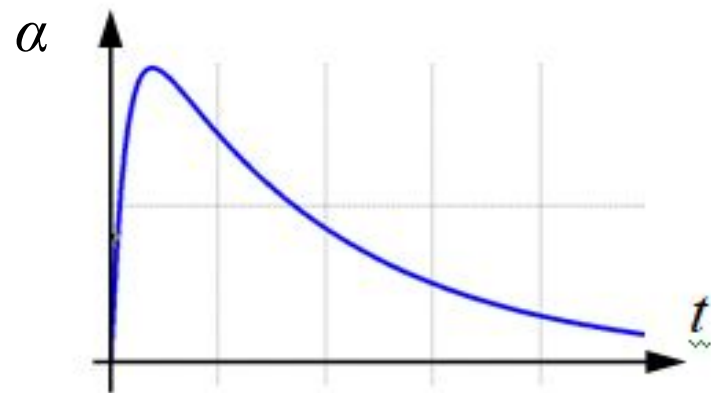
б)



в)



г)



д)

- “Опр.” Колебаниями называются процессы, обладающие в той или иной мере свойством повторяемости во времени

Замечания: 1. Почему так
«расплывчато»?

2. Какие-такие «процессы? Что там по оси ... ?

$x, \varphi, q, I, u, \dots$, а ещё $\overset{\vee}{E}, \overset{\vee}{B}, \dots$ **?!**

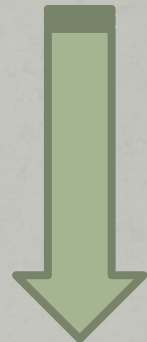
“Кси”: $\xi = \xi(t)$

⇒ “теория колебаний”

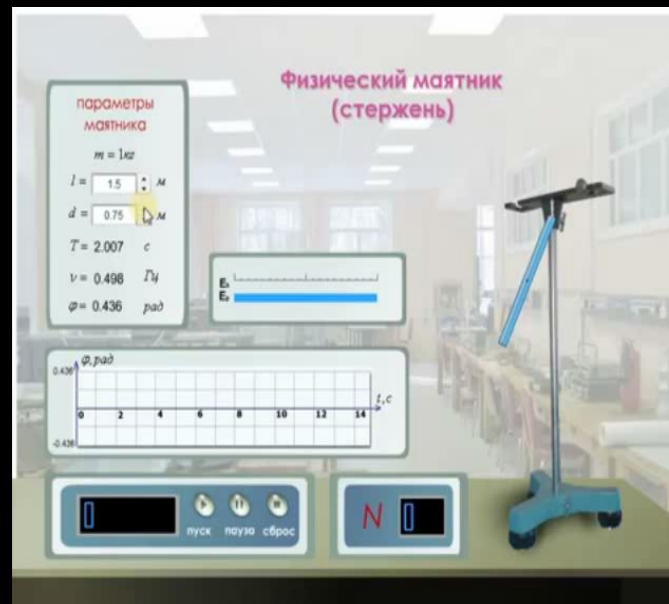
3. “Классификация”

(какие бывают колебания)

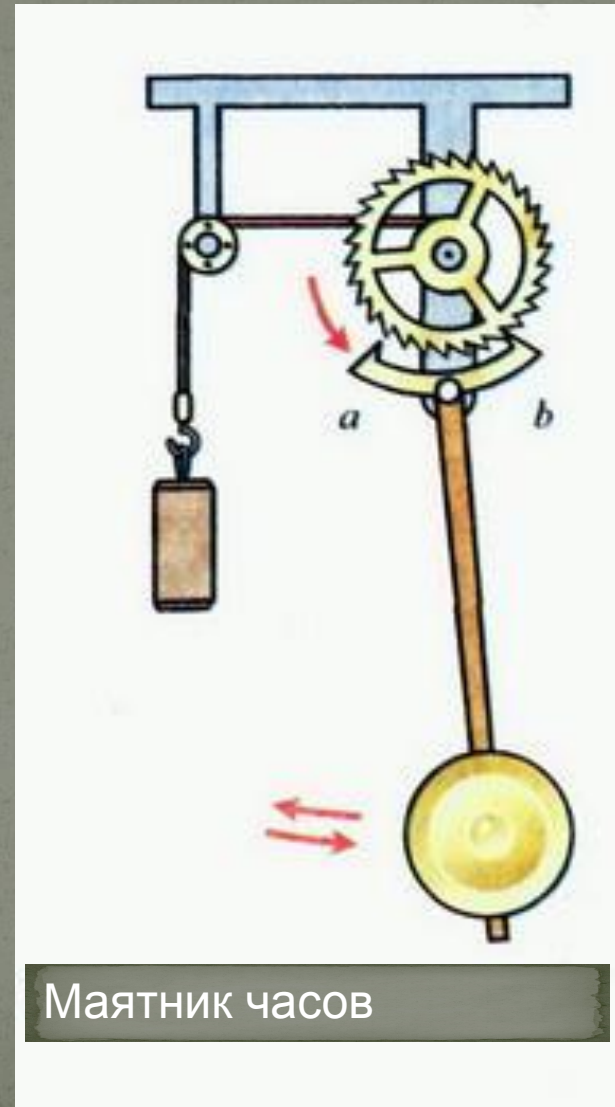
??



Физический маятник. Анимация



Анкерный механизм



механизм



4. «Одномерный осциллятор»

Свободные колебания

1.2. Модель гармонический осциллятор. «Кинематика» гармонических колебаний

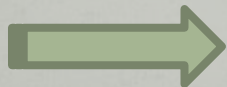
- **“Опр.”** Колебания называются гармоническими, если они происходят по закону синуса или косинуса:

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

cos ? $\rightarrow \tilde{\varphi}_0$

$$\ddot{\xi}(t) = -\omega^2 \cdot A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$\ddot{\xi}(t) = -\omega^2 \cdot \xi(t)$$



$$\omega^2 = -\frac{\ddot{\xi}}{\xi}$$

1.3. Динамика гармонических колебаний.

Примеры

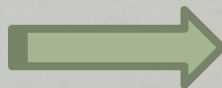
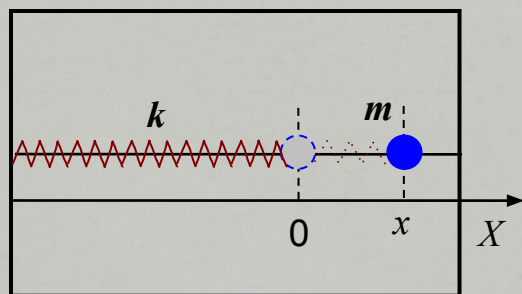
$$\ddot{\xi} + \omega_0^2 \cdot \xi = 0$$

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$$

$$\xi(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

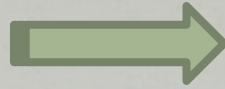
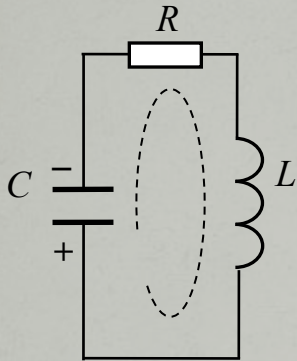
Примеры простейших механических и электрических гармонических осцилляторов

Пример 1.3.1. Пружинный маятник



$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

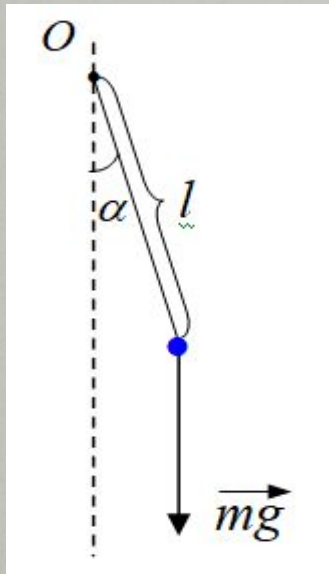
Пример 1.3.2. Колебательный контур



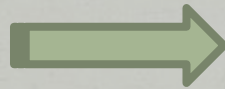
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Замечания:

Пример 1.3.3. «Вертикальный пружинный маятник»



Пример 1.3.4. Математический маятник



$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

1. Собственная частота ω_0

2. Амплитуда и начальная фаза A и ϕ_0

?!

1.4. Энергия гармонического осциллятора

$$\xi(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

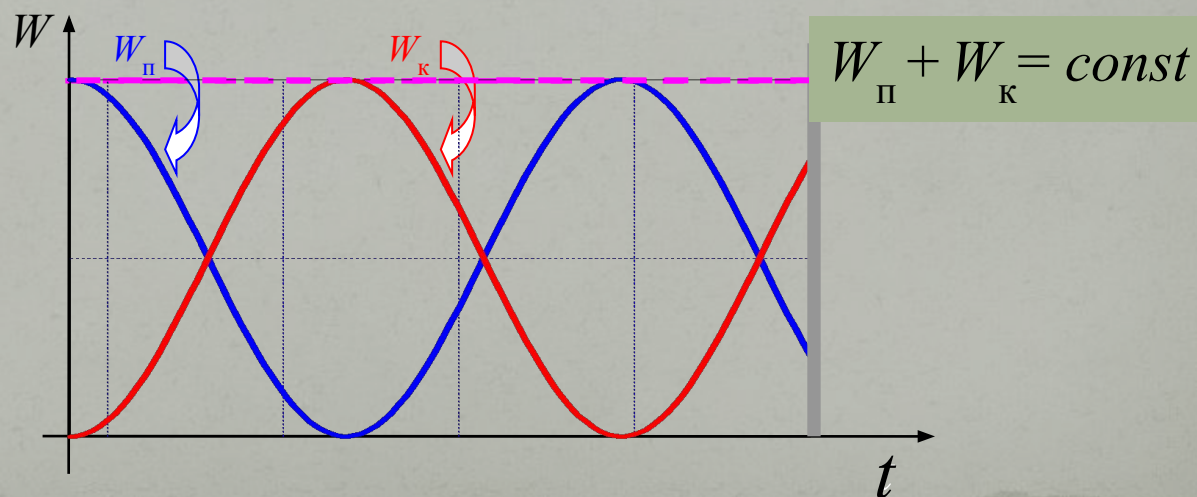
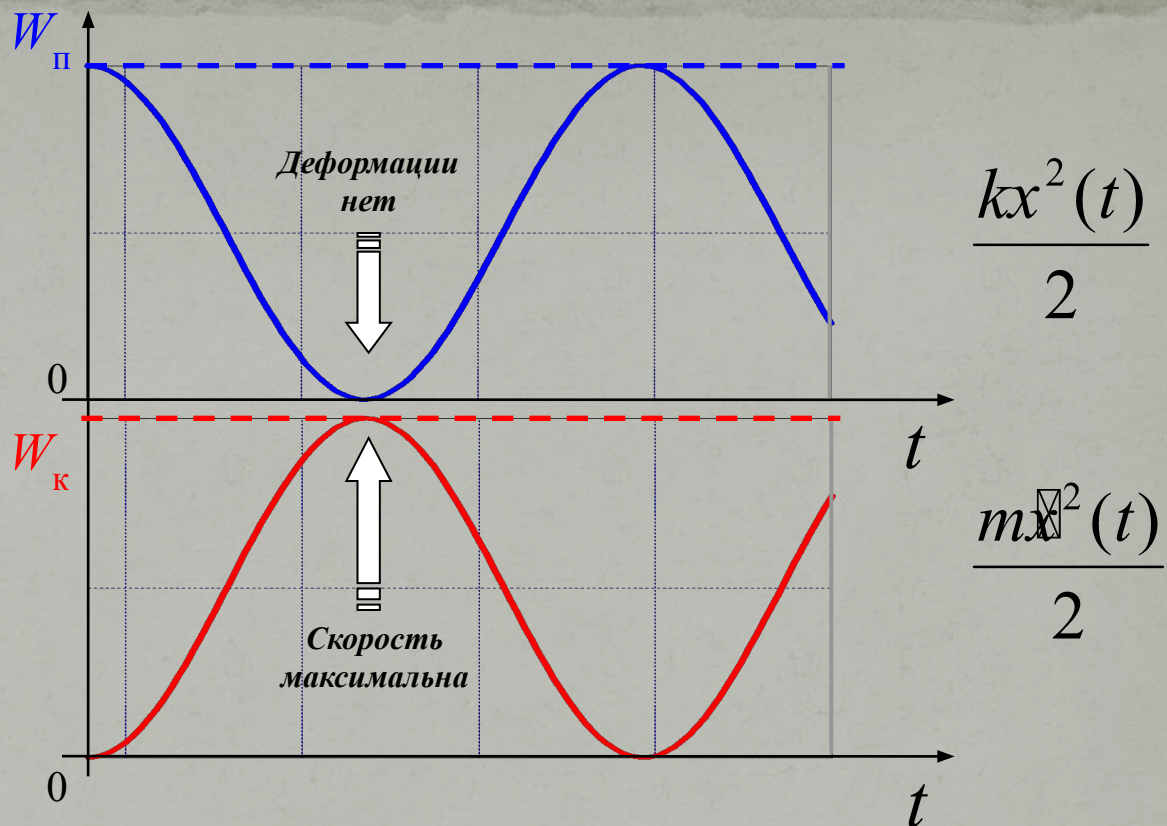
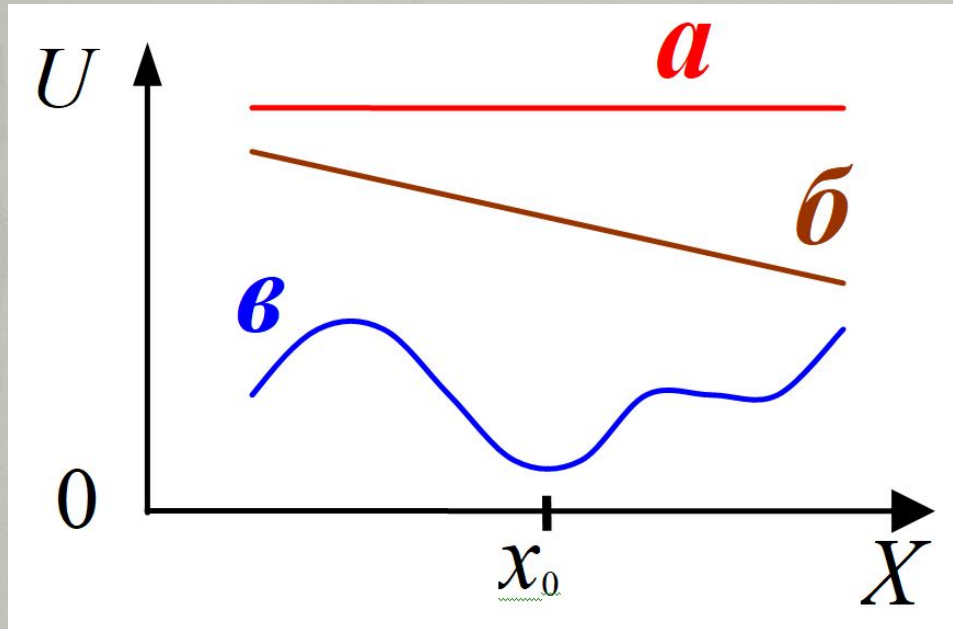


Таблица 1.1. **Полезные аналогии**

Механический осциллятор	Электрический осциллятор
Смещение, x (α)	Заряд, q
скорость, $\dot{x}$ ($\dot{\alpha}$)	Сила тока, I ($\dot{q}$)
Потенциальная энергия $U = \frac{kx^2}{2}$	Энергия электрического поля конденсатора $W_e = \frac{q^2}{2C}$
Кинетическая энергия $T = \frac{mv^2}{2}$	Энергия магнитного поля катушки $W_m = \frac{LI^2}{2}$
масса, m	индуктивность, L
жёсткость пружины, k	величина, обратная ёмкости конденсатора, $1/C$
Сила (момент силы)	ЭДС

1.5*. Особенности колебаний нелинейного осциллятора



Разложим в ряд



$$U(x) = U(x_0) + \left. \frac{dU}{dx} \right|_{x=x_0} \cdot (x - x_0) + \frac{1}{2} \left. \frac{d^2U}{dx^2} \right|_{x=x_0} \cdot (x - x_0)^2 + \dots$$

Нелинейный осциллятор:

$$\ddot{\xi} + f(\xi) = 0$$

$$f(\xi) = -k \cdot \xi + k_2 \cdot \xi^2 + k_3 \cdot \xi^3 + \dots$$



$$\xi(t) = A_1 \cdot \cos(\omega_0 t + \phi_0) + A_2 \cdot \cos(2\omega_0 t + \phi_{02}) + A_3 \cdot \cos(3\omega_0 t + \phi_{03}) + \dots$$

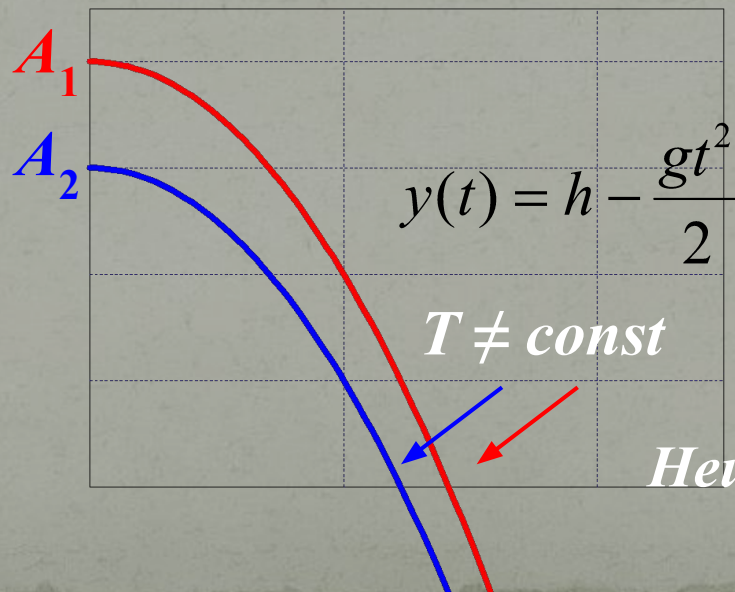
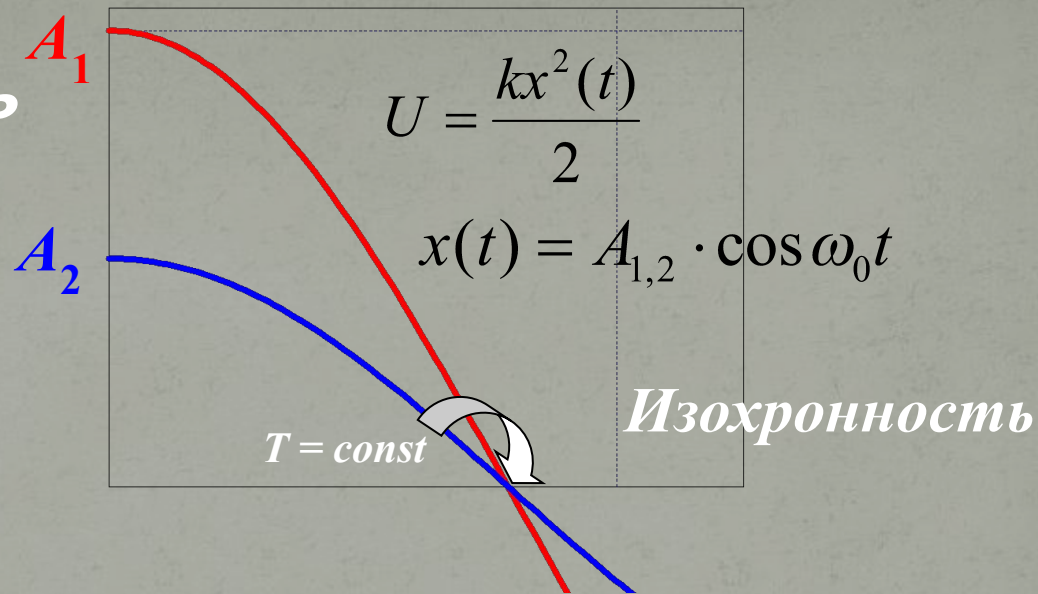
Ангармонизм

Неизохронность

! ??



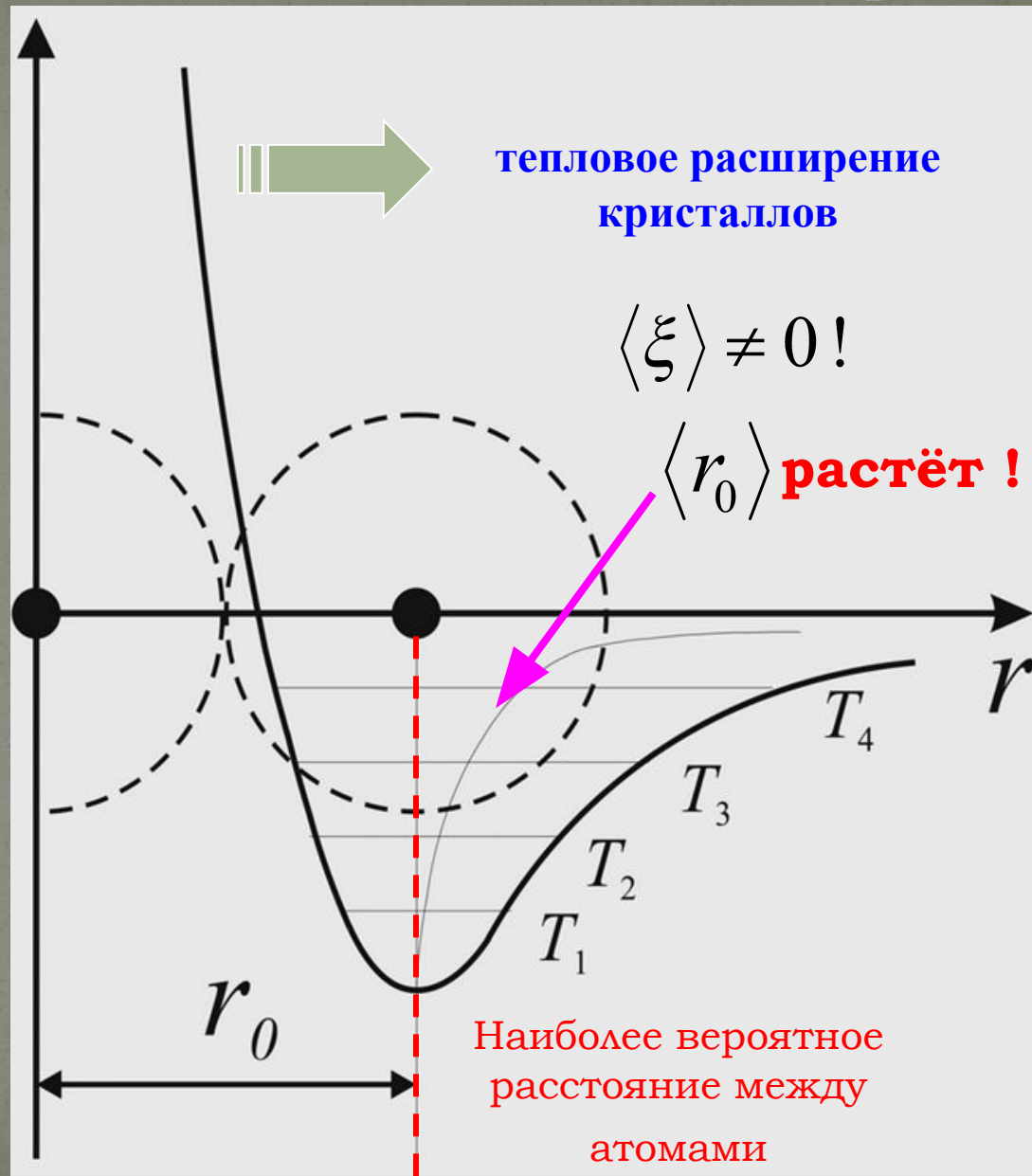
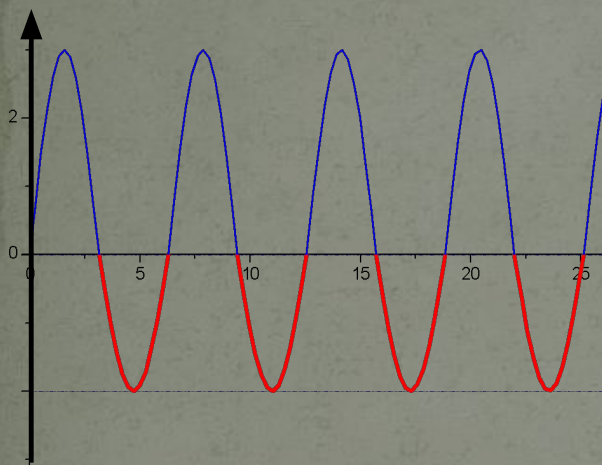
Изохронность / Неизохронность



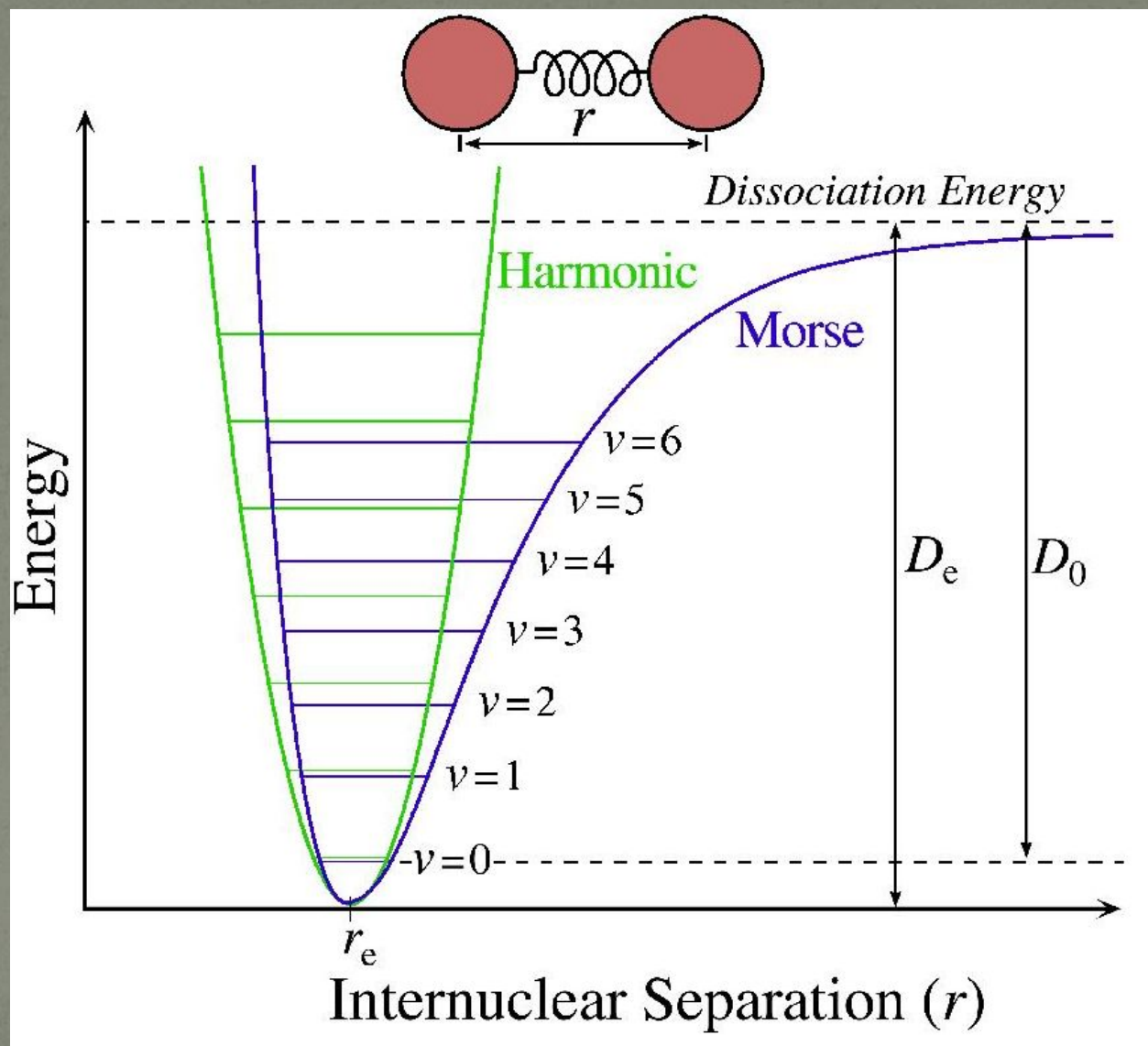
Амплитуды разные



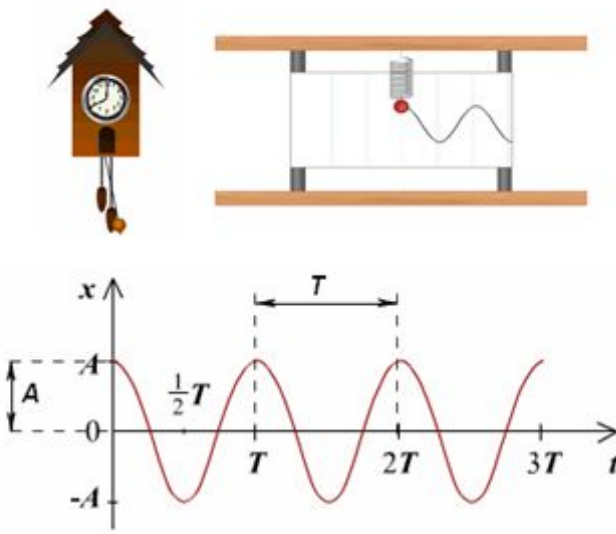
● Ангармонизм колебаний нелинейного осциллятора



Ангармонизм колебаний



Гармонический осциллятор

Гармонические колебания			
$x = A \cos(\omega t + \varphi_0) \quad x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$ $v = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0) \quad v = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0)$ $a = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0) \quad a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)$ $v_{\max} = A\omega$ $a_{\max} = A\omega^2$ $\omega = \frac{\varphi}{t} \quad T = \frac{1}{\nu} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$			
Маятники		Волны	
$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ $E = mgh + \frac{mv^2}{2}$ $E = mgh + \frac{k\Delta l^2}{2}$		$v = \frac{\lambda}{T}$ 