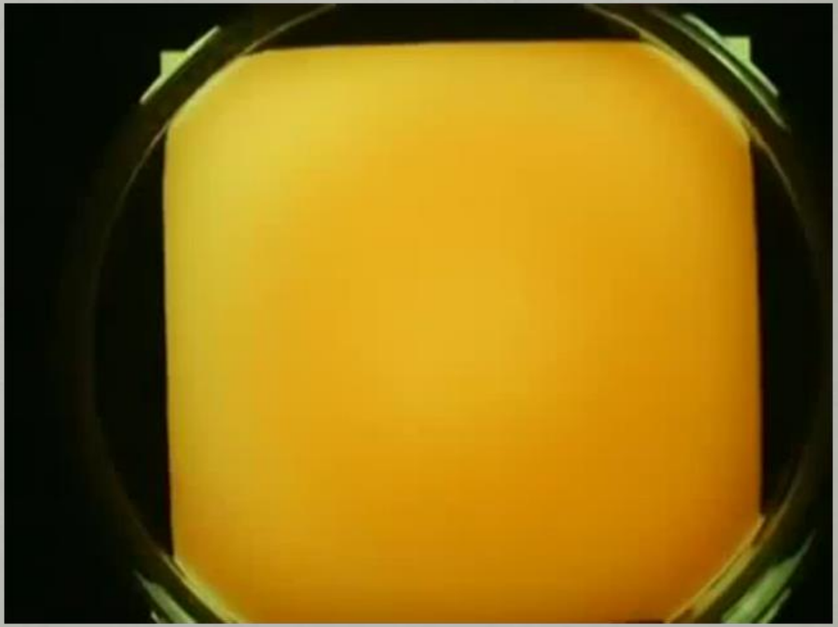
Часть вторая: # “Колебания и волны. Волновая оптика”

- *“В науке необходимо воображение. Она не исчерпывается целиком ни математикой, ни логикой, в ней есть что-то от красоты и поэзии”*
- **М. Митчелл, 1860**



Раздел I. *Колебания и волны*

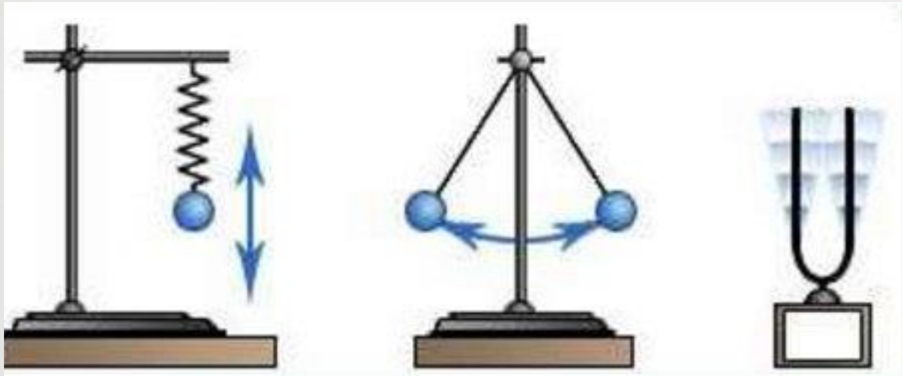
http://vega.phys.msu.ru/

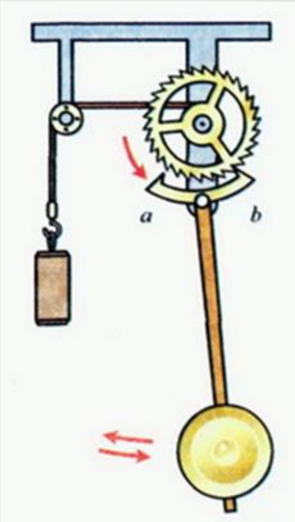
Лекция 1. Свободные колебания простых одномерных осцилляторов

Глава I. Свободные колебания

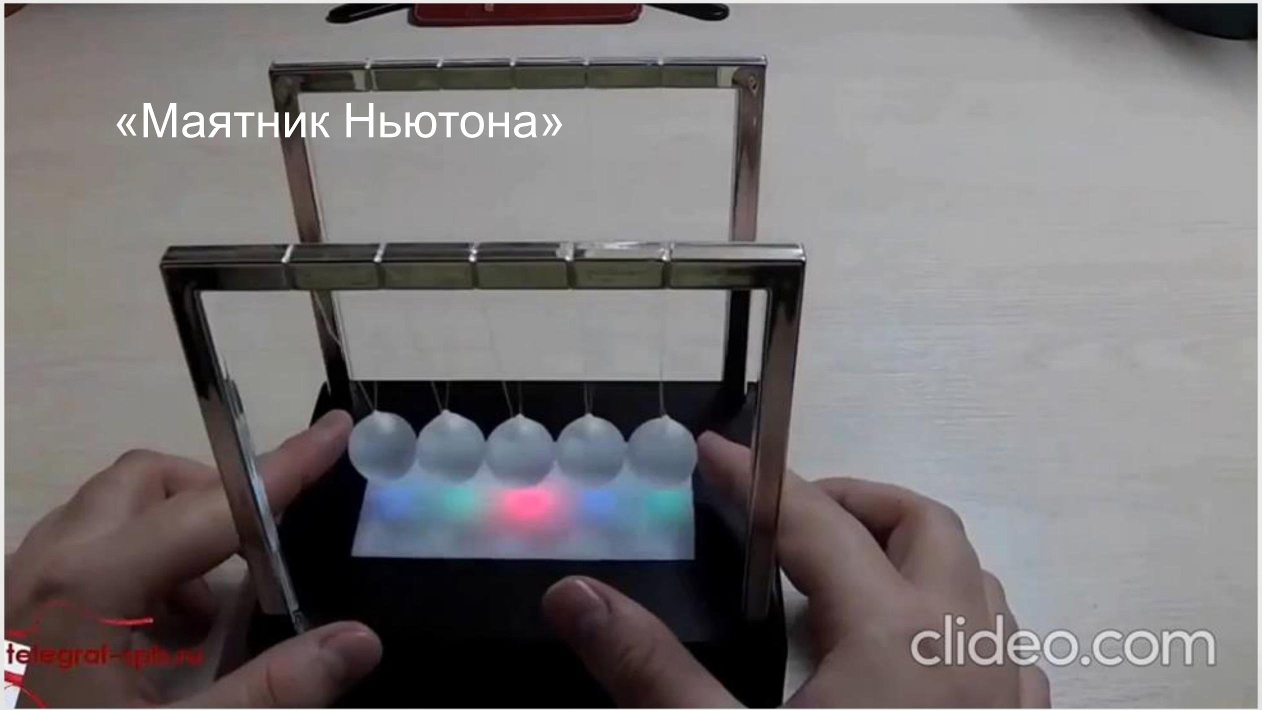
§ 1. Свободные незатухающие колебания простых систем (гармонический осциллятор) “oscillator”

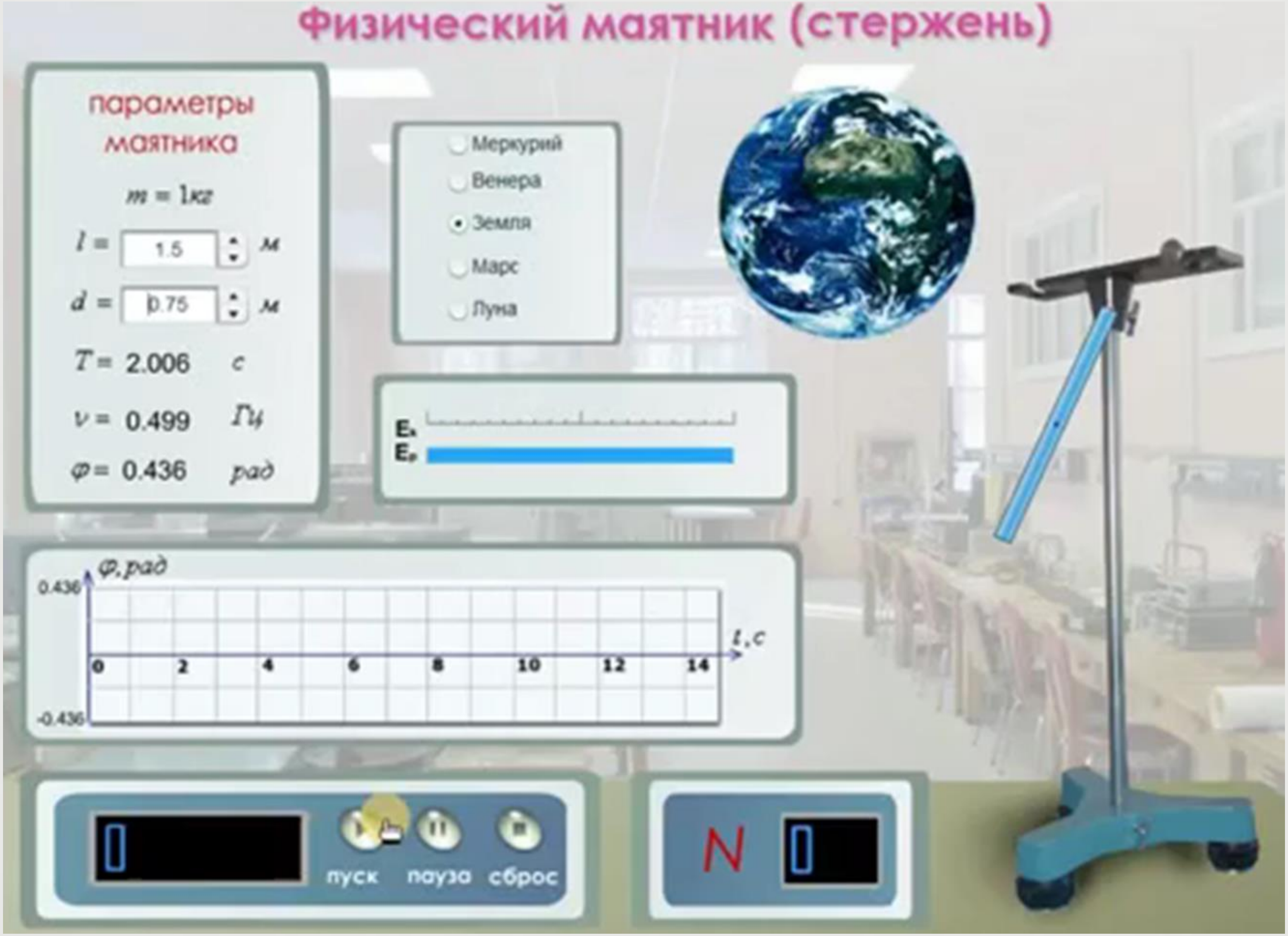
1.1. Понятие о колебательных процессах (Какие бывают колебания?)



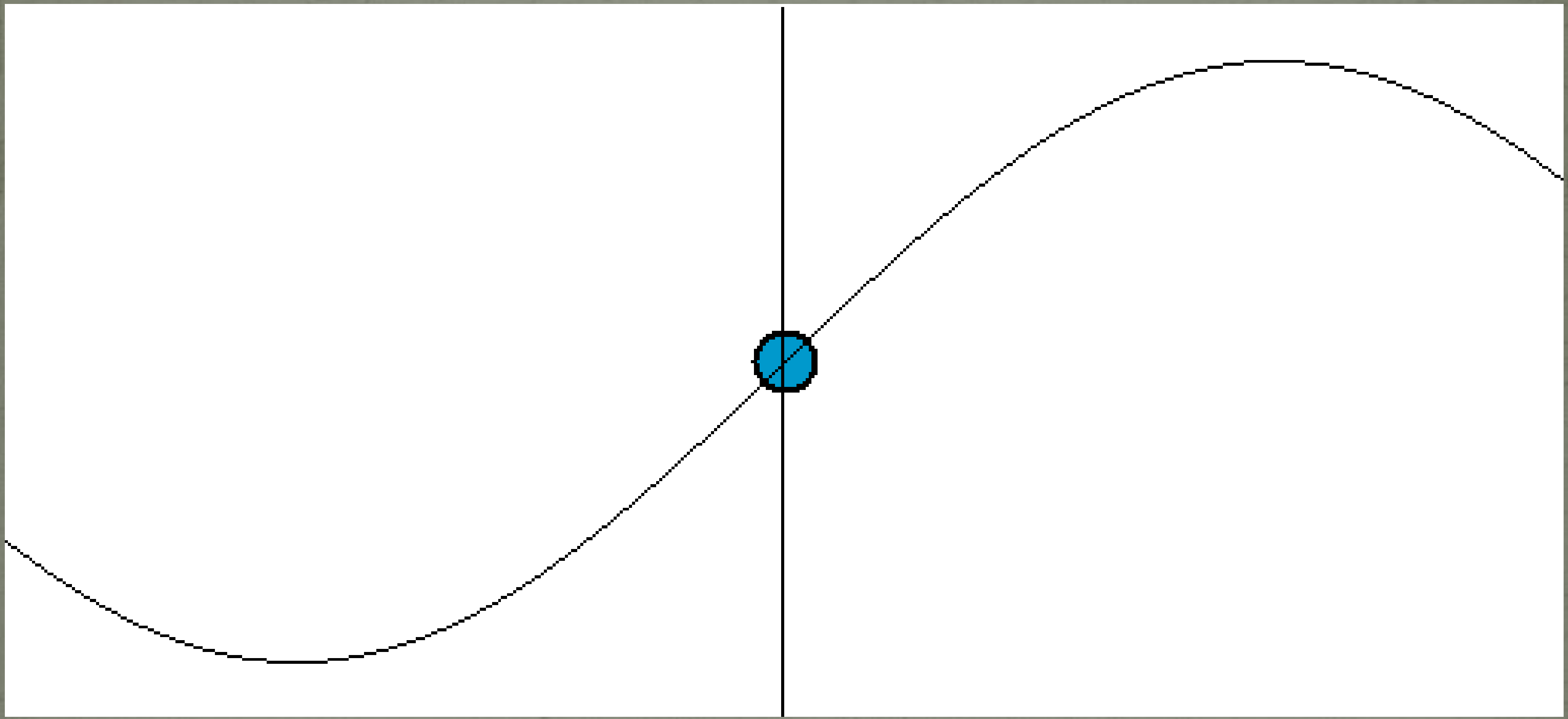


Маятник часов

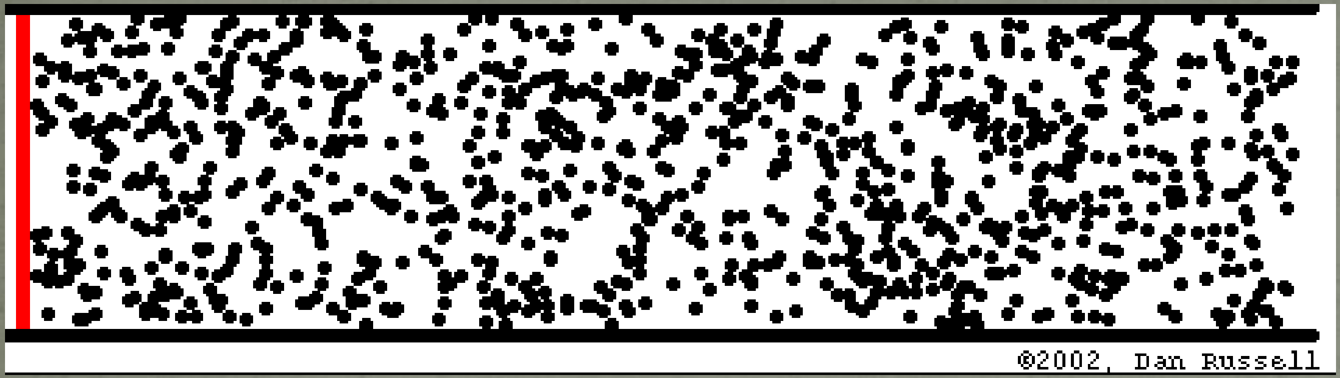


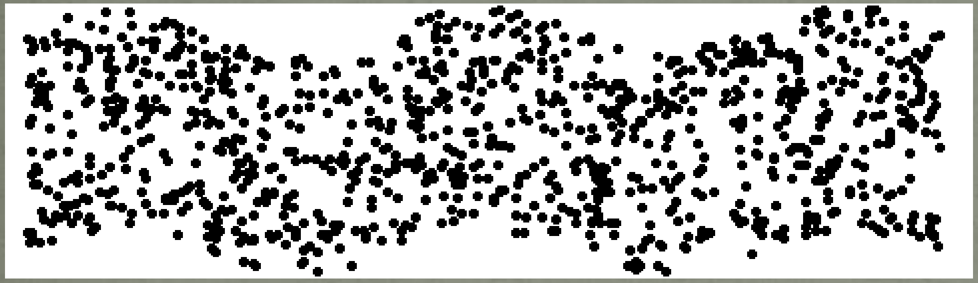

Физический маятник (стержень)
параметры маятника
m = 1кг
l = 1.5 м
d = 0.75 м
T = 2.006 с
ν = 0.499 Гц
φ = 0.436 рад
Меркурий
Венера
Земля
Марс
Луна
Eₖ
Eₚ
φ, рад
0.436
-0.436
t, c
0
2
4
6
8
10
12
14
пуск
пауза
сброс
N
0

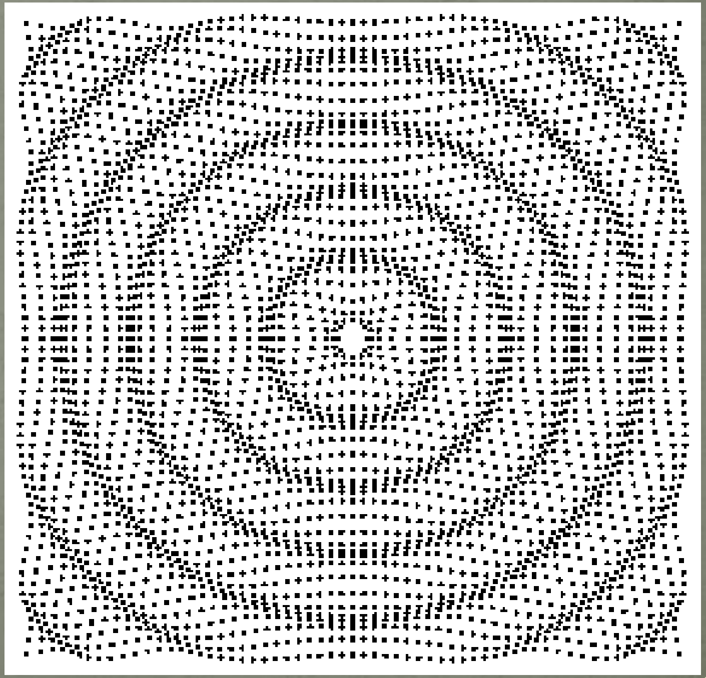
Колебания ???



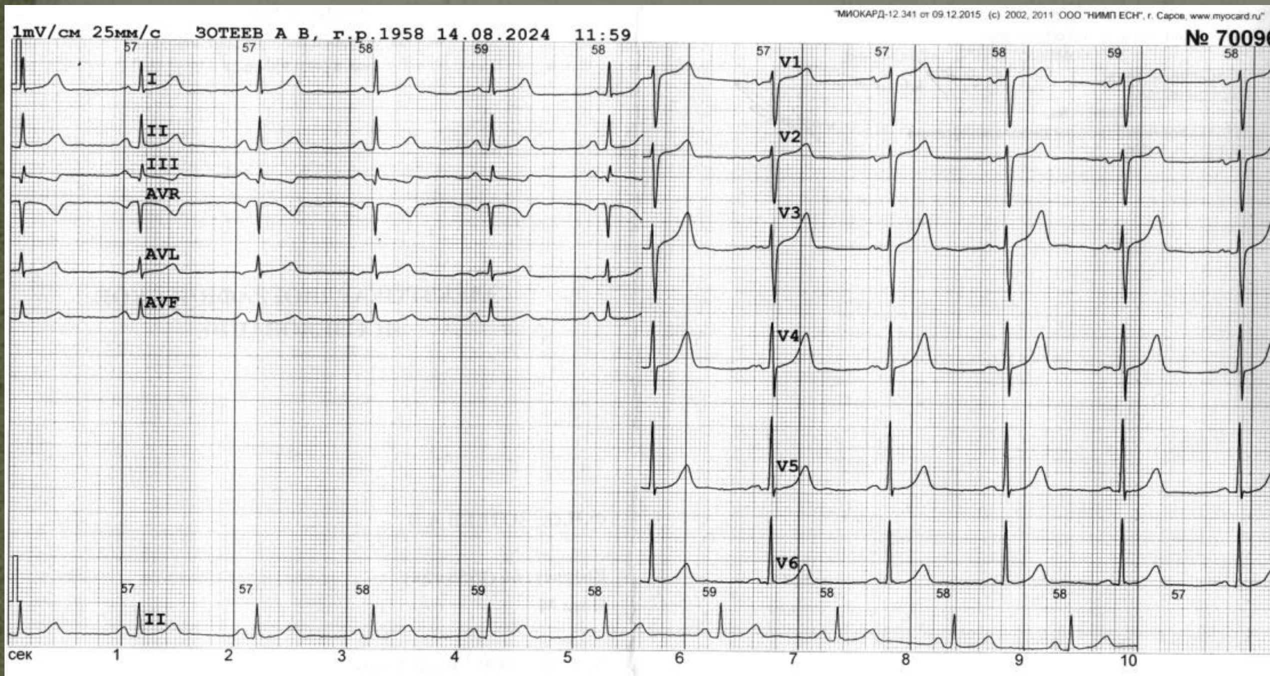
Колебания “бегут” – “Волны”







Колебания ???

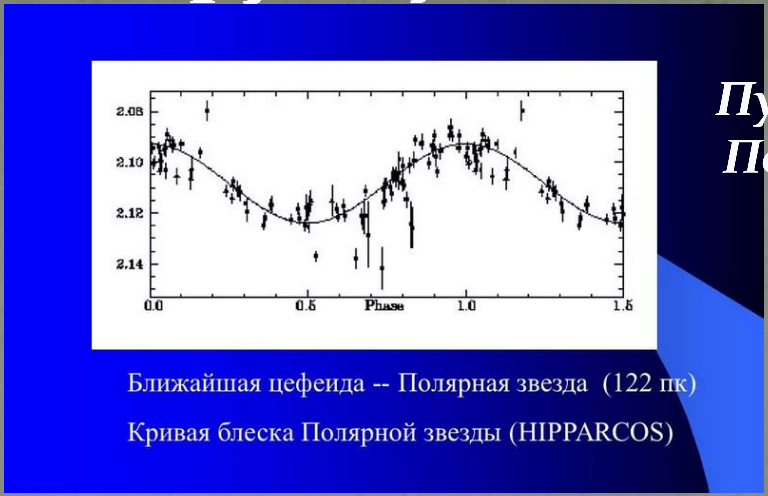


1mV/см 25мм/с ЗОТЕЕВ А В, г.р.1958 14.08.2024 11:59
"МИОКАРД-12.341 от 09.12.2015 (c) 2002, 2011 ООО "НИМП ЕСН", г. Саров, www.myocard.ru"
№ 70096
I
II
III
AVR
AVL
AVF
V1
V2
V3
V4
V5
V6
II
сек
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

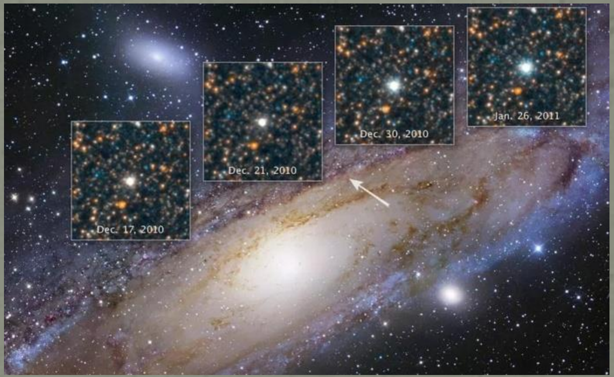
в тот момент, когда наше полушарие обращено к Солнцу, и это не зависит от расстояния до светила
(в Северном полушарии)
Зима
(в Северном полушарии)
N
N
N
N
Лето
(в Северном полушарии)
Осень

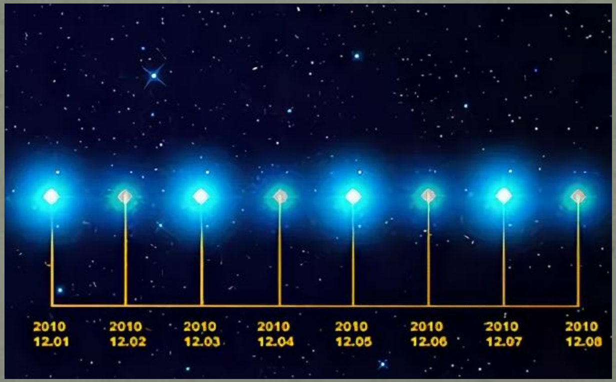
Суточное вращение Земли
СМЕНА ДНЯ И НОЧИ
НОЧЬ
ДЕНЬ

Цефеиды – пульсирующие звёзды

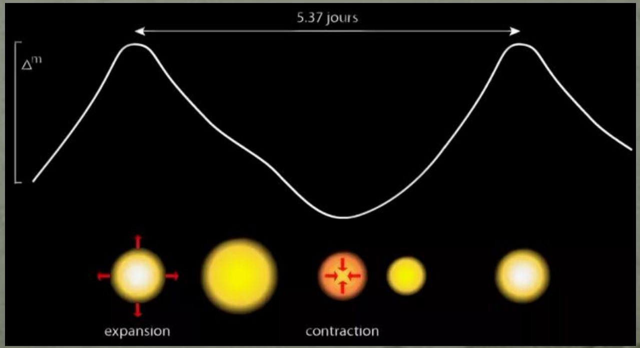


Пульсации блеска Полярной звезды





Дельта Цефея

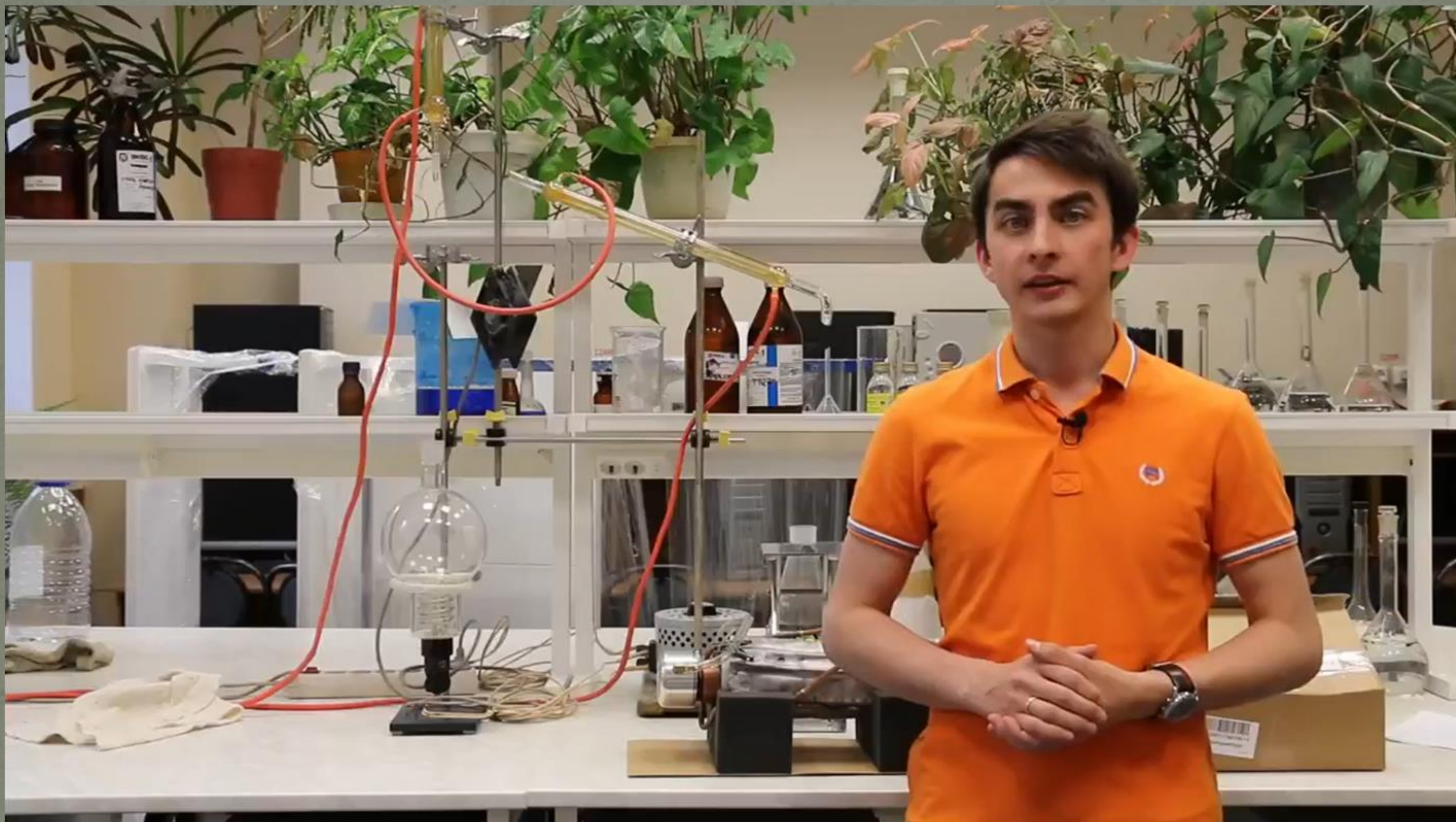


Реакция Белоусова (1951 г.) – Жаботинского (теория)

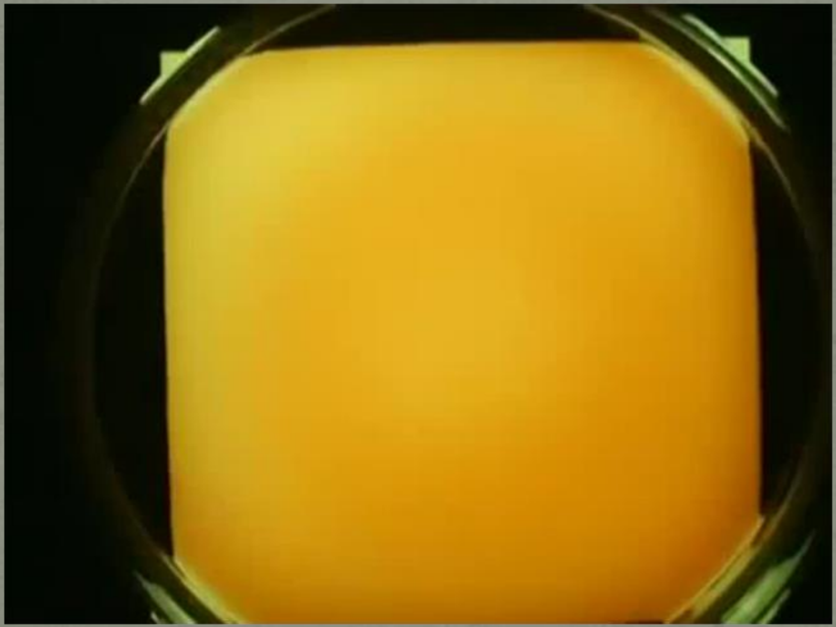
Борис Павлович Белоусов (фото 30-х годов)

*) Симон Шноль - История открытия:
https://www.youtube.com/watch?v=Op066Iof2sE

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»?*

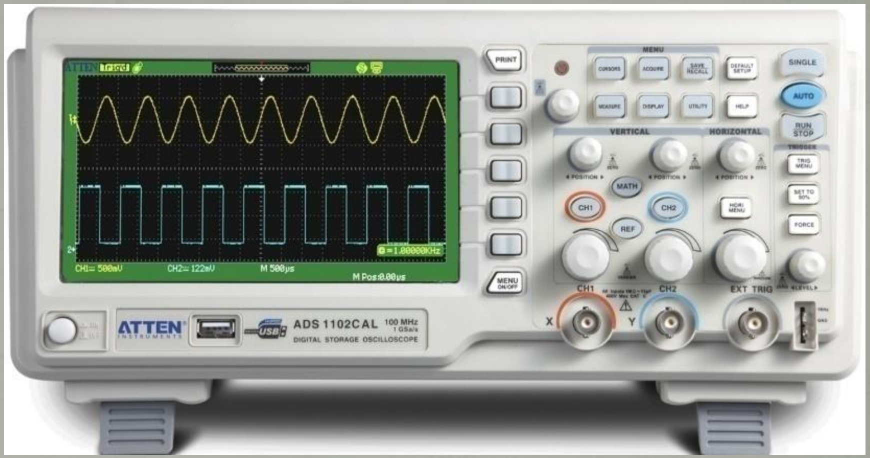
…

?!

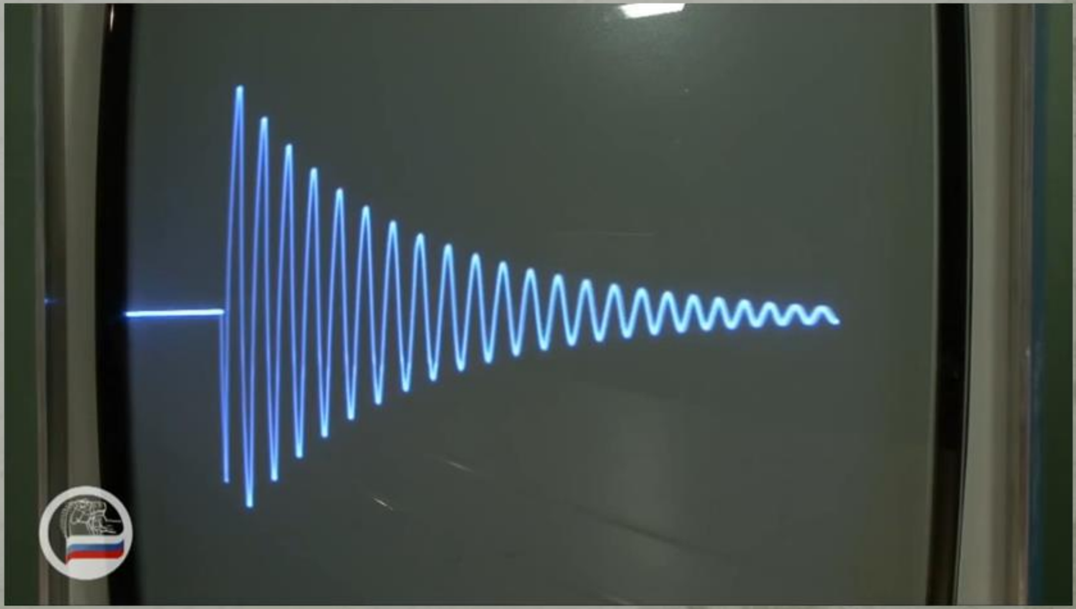
“Визуализация” колебаний

Гармонические

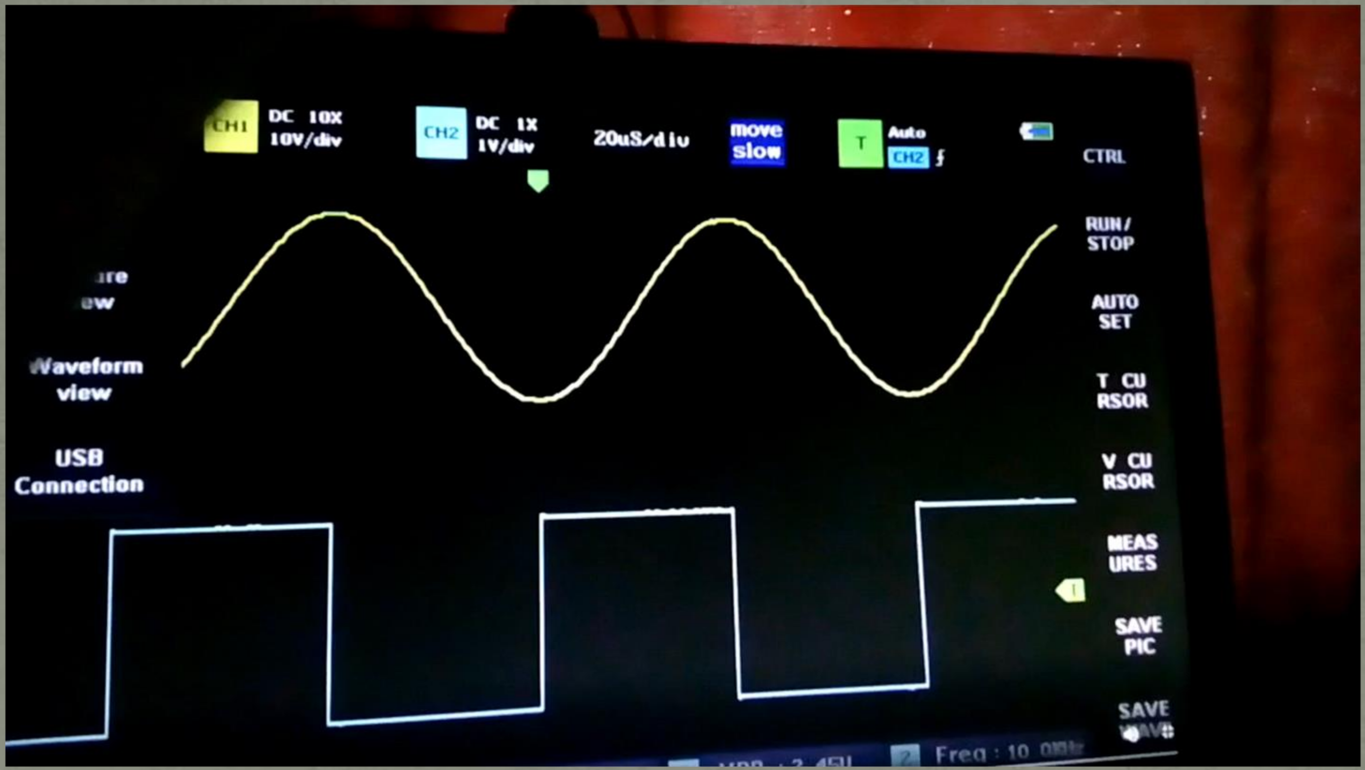
Осциллограф



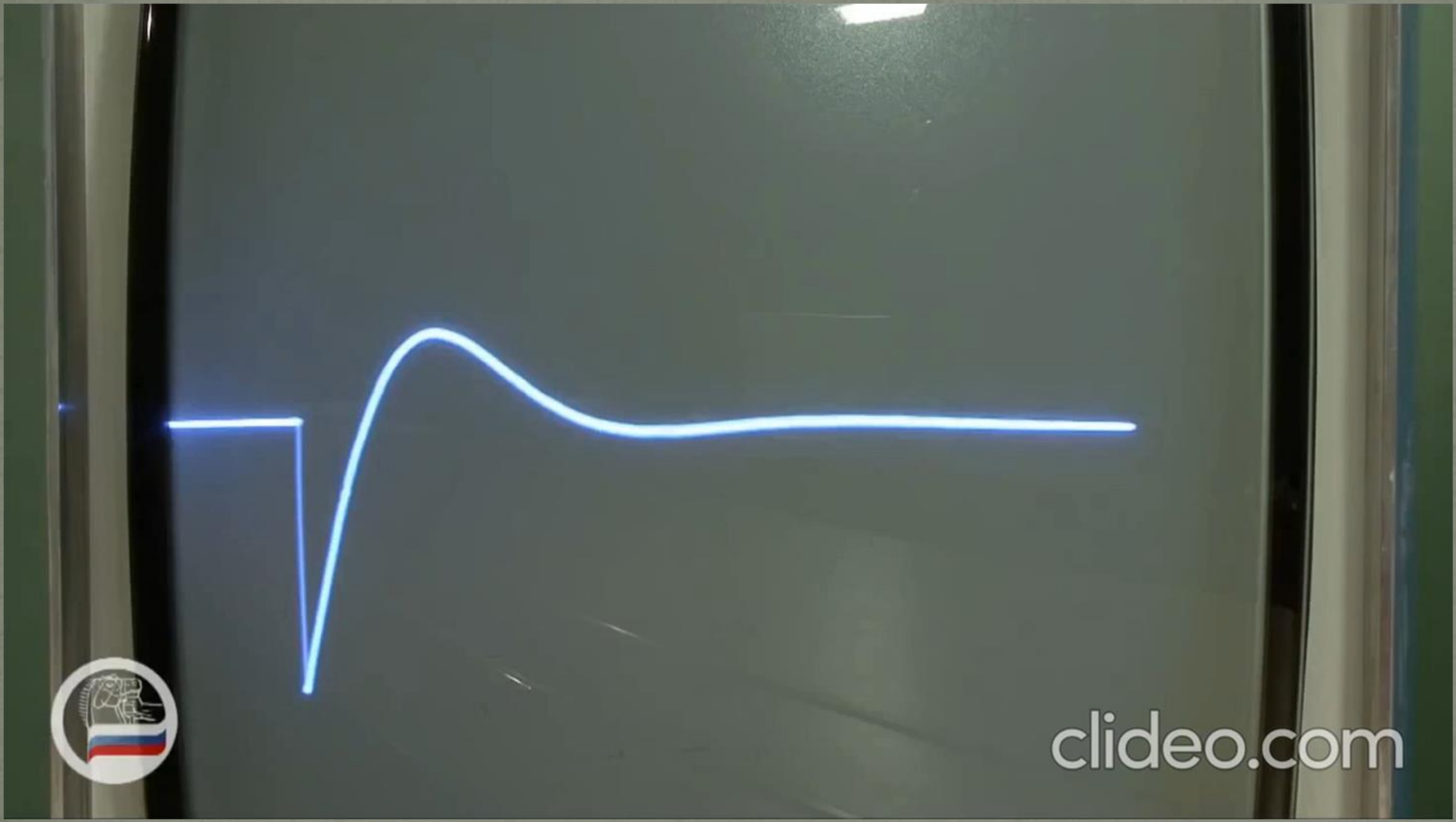
«Затухающие»



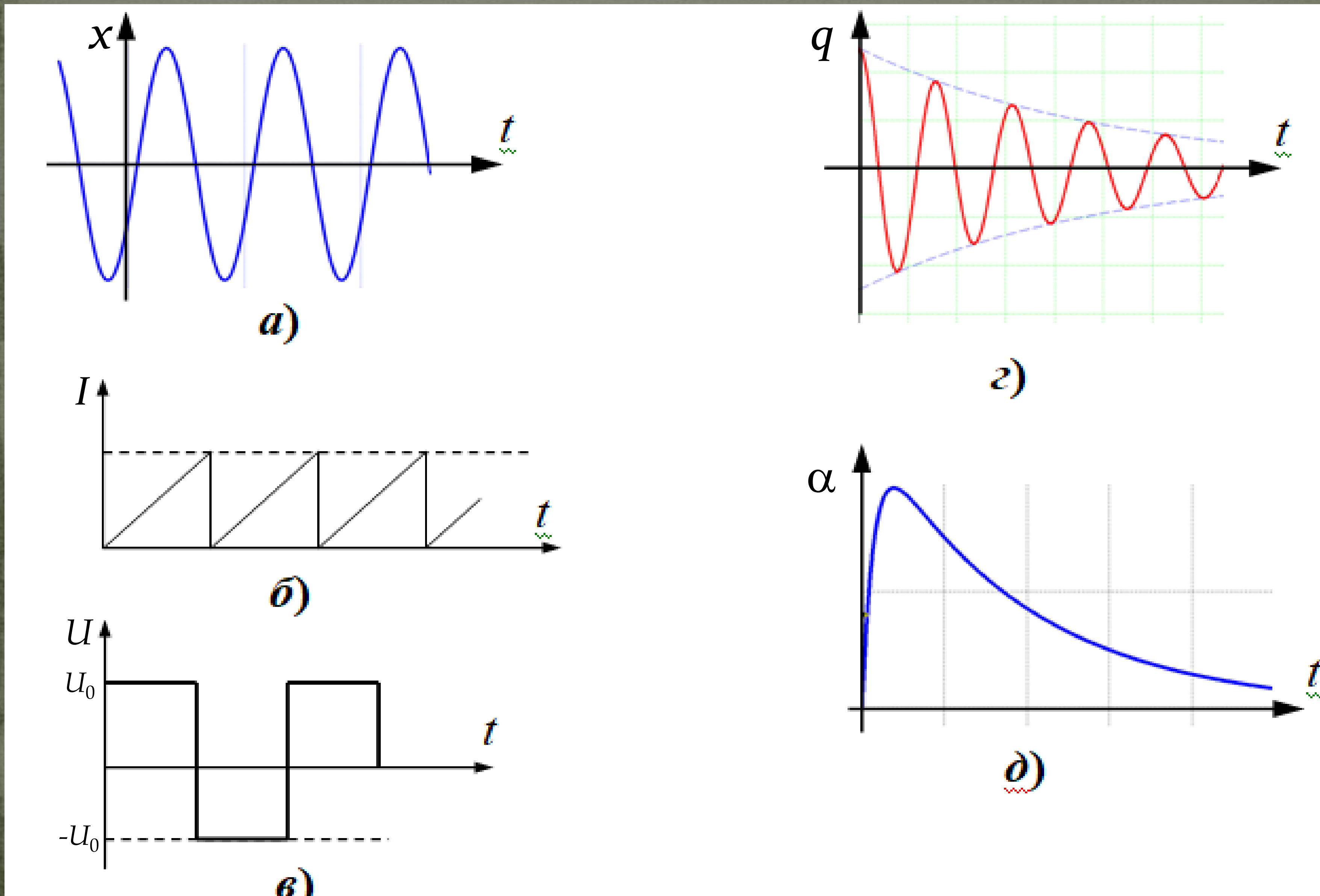
“Разные” колебания



Апериодический режим - “Релаксация”



“Разные” колебания



“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 … ?

$$\underbrace{x,\ \dot{x}\ ,\ q,\ I,\ u,\ \ldots,\ \text{а ещё}\ \vec{E},\ \vec{B}\ ,\ \ldots}$$?!

“Кси”: $\xi = \xi(t)$ (“универсальный заменитель”)

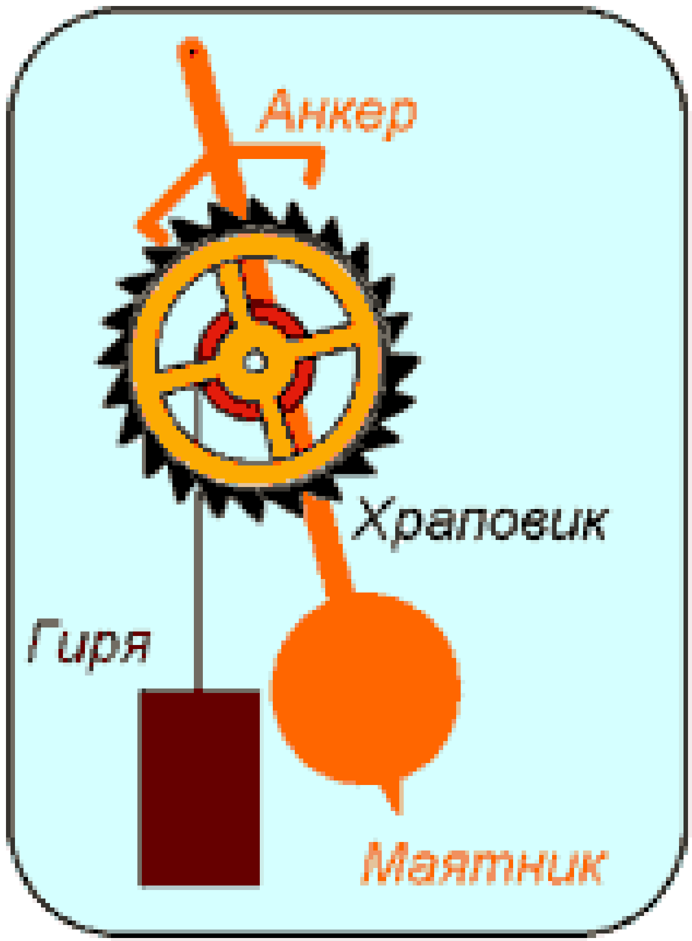
$\Rightarrow$ “теория колебаний”

3. “Классификация”

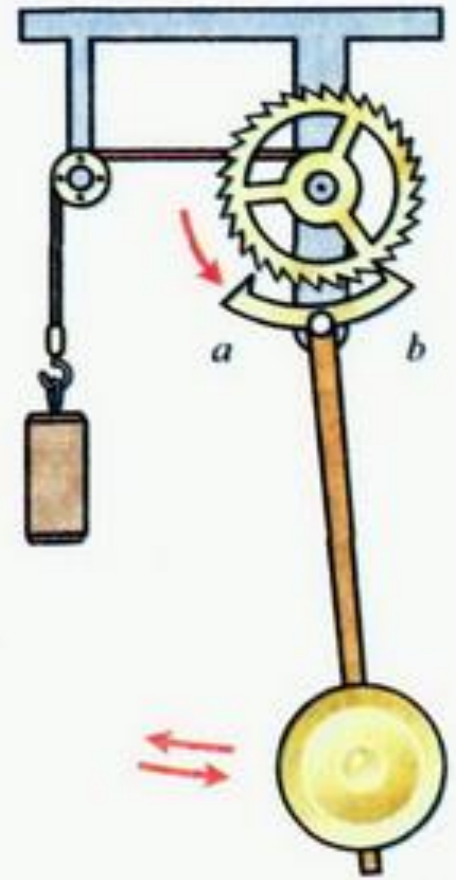
(какие бывают колебания)

??

Анкерный механизм



Часы-ходики



Маятник часов

Анкерный механизм

1.2. Модель гармонический осциллятор. “Кинематика” гармонических колебаний

(***Опр.***) ***Колебания называются гармоническими, если они происходят по закону синуса или косинуса:***

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

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

$$\ddot{\xi}(t) = -\omega_0^2 \cdot A\sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$\ddot{\xi}(t) = -\omega_0^2 \cdot \xi(t)$$

или:

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

$$\omega_0^2 = -\frac{\ddot{\xi}}{\xi}$$

!!

$\ddot{\xi}(t)$ пропорционально $\xi(t)$

Какая «динамика» способна это обеспечить?:

1.3. Динамика гармонических колебаний
Примеры

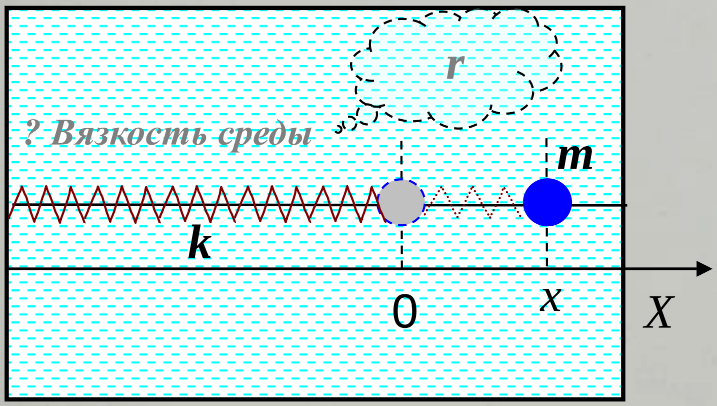
$$F_x \sim x$$

«Квазиупругая / возвращающая сила»

$$(F_x = -kx)$$

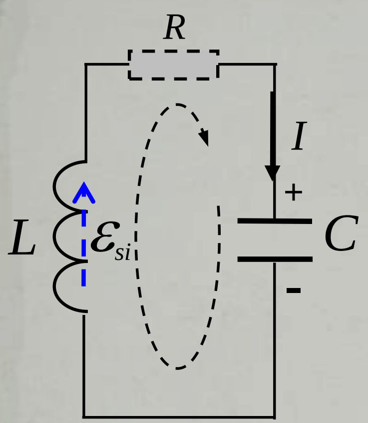
Примеры простейших механических и электрических гармонических осцилляторов

Пример 1.3.1. Пружинный маятник



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

Пример 1.3.2. Колебательный контур



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

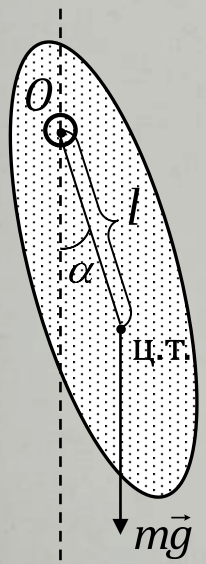
$$\ddot{\xi} + \omega_0^2 \cdot \xi = 0$$

Уравнение гармонического осциллятора

Замечания:

Пример 1.3.3. «Вертикальный пружинный маятник»

Пример 1.3.4. Физический / Математический маятник



$$\omega_0 = \sqrt{\frac{mgl}{I_z}}$$

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

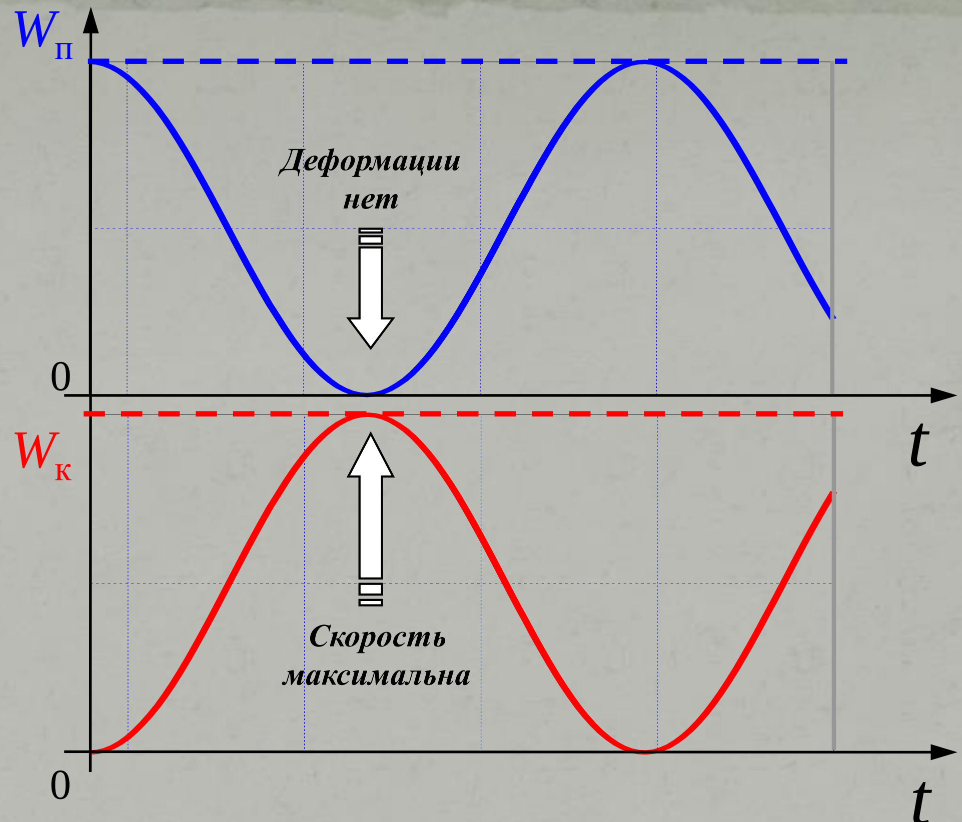
1. Собственная частота ω_0

2. Амплитуда и начальная фаза A и φ_o

?!

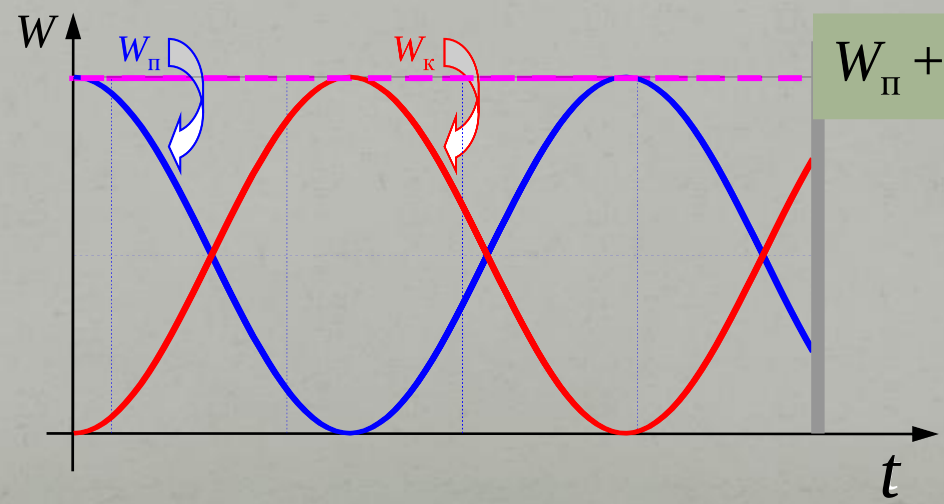
1.4. Энергия гармонического осциллятора

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



$$\frac{kx^2(t)}{2}$$

$$\frac{m\dot{x}^2(t)}{2}$$



$W_п + W_к = const$

подсказка:

*) **подсказка:**

Энергия гармонического осциллятора

(на примере пружинного маятника)

$$W_{\text{п}} = W_{\text{к}}(t) + W_{\text{п}}(t) \qquad W_{\kappa}(t) = \frac{k\dot{x}^2(t)}{2} \qquad W_{\text{п}}(t) = \frac{kx^2(t)}{2}$$

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

$$W = \frac{kx^2}{2} + \frac{m\dot{x}^2}{2} = \frac{kA^2}{2}\cos^2(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{mA^2\omega_0^2}{2}\sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$W_n(t) = \frac{kA^2}{4}[1 + \cos(2\omega_0 t + 2\varphi_0)]$$

$$W_{\kappa}(t) = \frac{kA^2}{4}[1 - \cos(2\omega_0 t + 2\varphi_0)]$$

Потерь нет – гармонические

$W_{\text{п}} + W_{\text{к}} = const$

!!

Таблица 1.1. **Полезные аналогии**

Механический осциллятор	**Электрический осциллятор**
Смещение, x (или α)	Заряд, q
скорость, $\dot{x}$ (или $\dot{\alpha}$)	*Сила тока, I* (или $\dot{q}$)
Потенциальная энергия $W_п = \frac{kx^2}{2}$	Энергия электрического поля конденсатора $W_э = \frac{q^2}{2C}$
Кинетическая энергия $W_к = \frac{m\dot{x}^2}{2}$	Энергия магнитного поля катушки $W_м = \frac{LI^2}{2}$
масса, m	индуктивность, L
жёсткость пружины, k	величина, обратная электроёмкости конденсатора, $1/C$
Сила (момент силы)	*ЭДС*