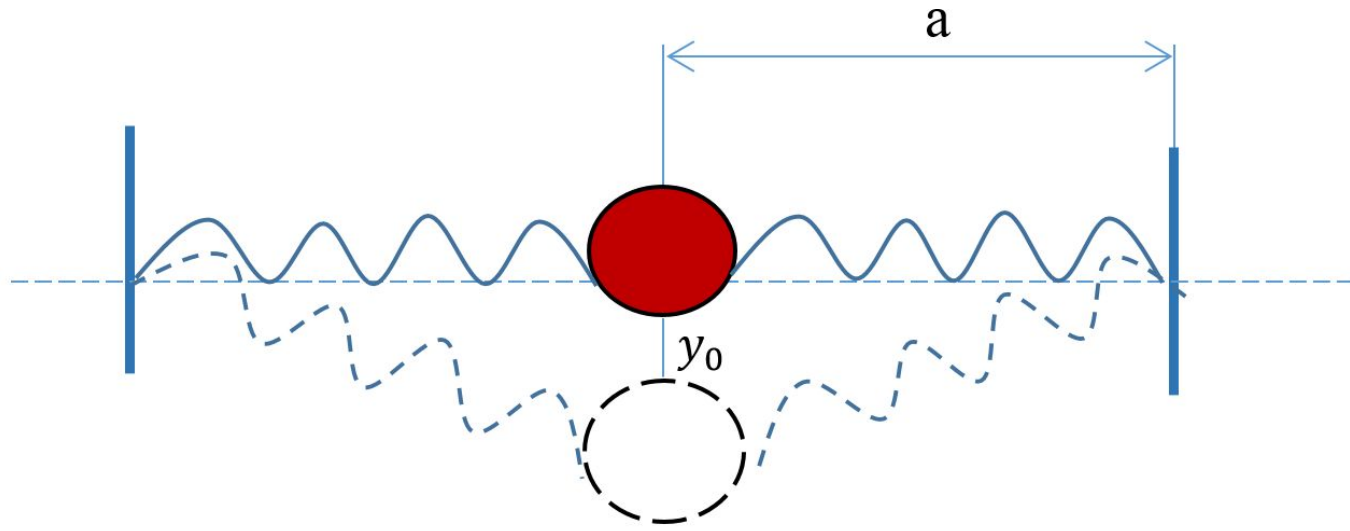


# Поперечный осциллятор



Сила действующая на  
нелинейный осциллятор

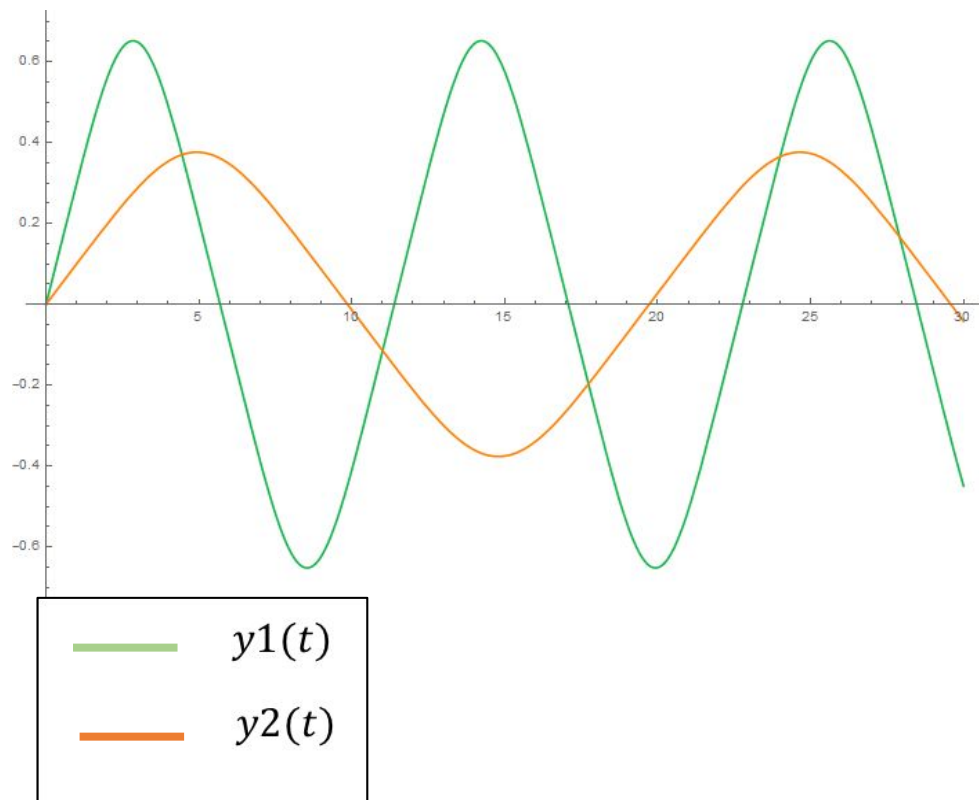
$$F_y = \frac{2ky^3}{a^2}$$

Сила действующая на  
линейный осциллятор

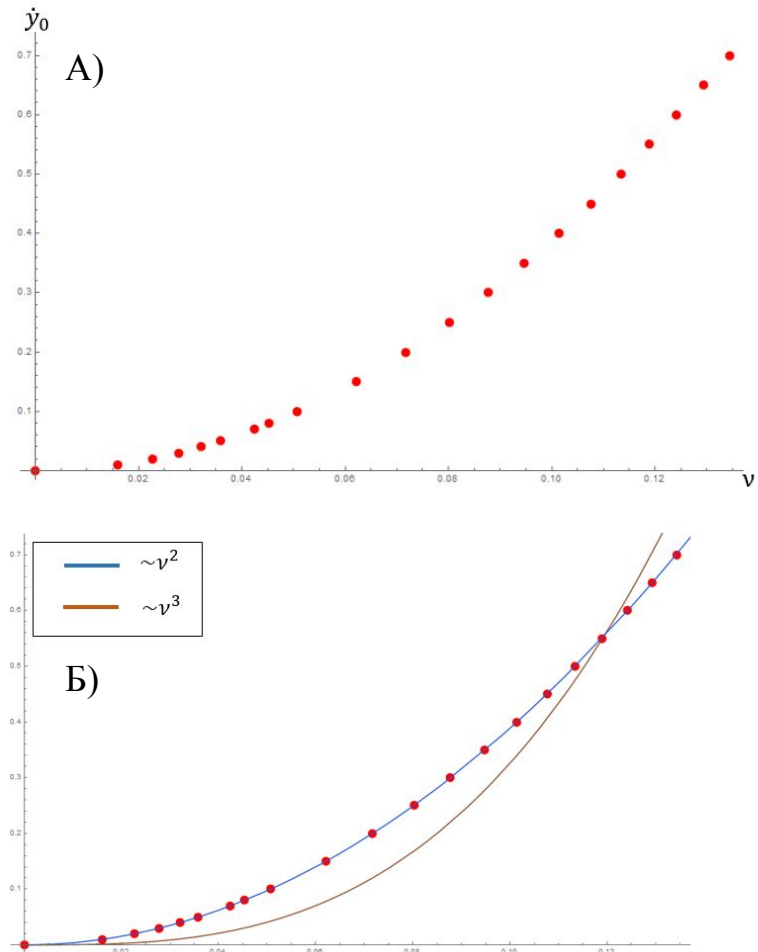
$$F_x = kx$$

$$\begin{cases} \ddot{x} + \omega^2 x = 0 \\ x(0) = x_0 \\ \dot{x}(0) = v_{0x} \end{cases} \quad (1.1) \quad \begin{cases} \ddot{y} + \frac{2k}{ma^2} y^3 = 0 \\ y(0) = y_0 \\ \dot{y}(0) = v_{0y} \end{cases} \quad (1.2)$$

# Нелинейная АЧХ поперечного осциллятора

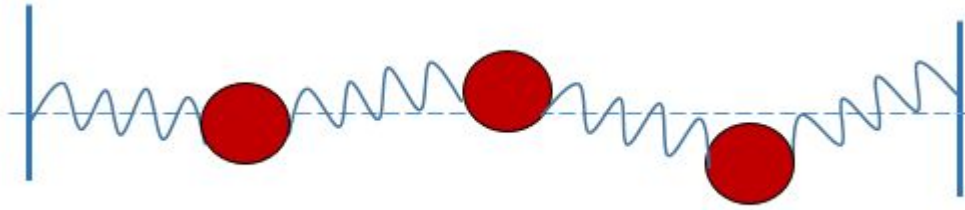


Решения системы уравнений (1.2), где  $\dot{y}_1(0) = 0.3, y_1(0) = 0; \dot{y}_2(0) = 0.1, y_2(0) = 0$ . Из рисунка видно, что изменение начальных условий влияет на частоту колебаний т.к. они являются нелинейными и частота зависит от амплитуды



А) Зависимость начальной скорости (смещения) от частоты  
Б) Аппроксимация теоретической кривой квадратичной и кубической зависимостью

# Динамика одноатомной цепочки атомов



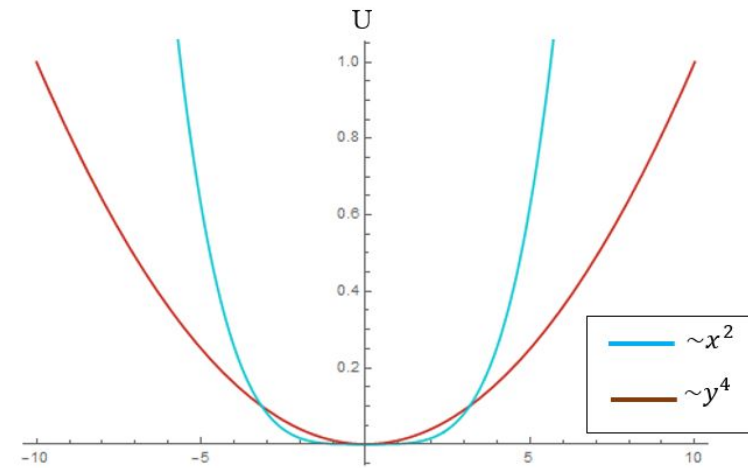
Возбуждение хаотичных тепловых колебаний в атомной цепочке

## Неустойчивость продольных колебаний

Движение сосредоточенных масс будет направлено предпочтительно перпендикулярно упругим элементам при наличии затухания в системе т.к. :

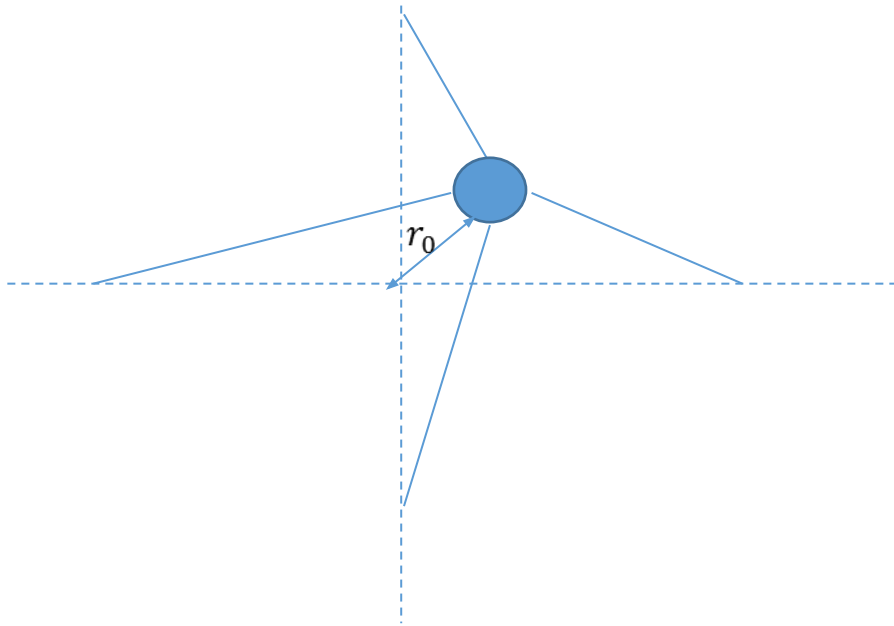
- сопротивление поперечному смещению атомов значительно меньше чем продольному
- передача импульса поперек отсутствует, что указывает на меньший по величине поперечный коэффициент затухания, в сравнении с продольным
- нецентральное столкновение атомов

Затухание  $\begin{cases} \alpha_x \dot{x} \\ \alpha_y \dot{y} \end{cases}$   
 $\alpha_y < \alpha_x$



Потенциальные ямы для классического и нелинейного осциллятора

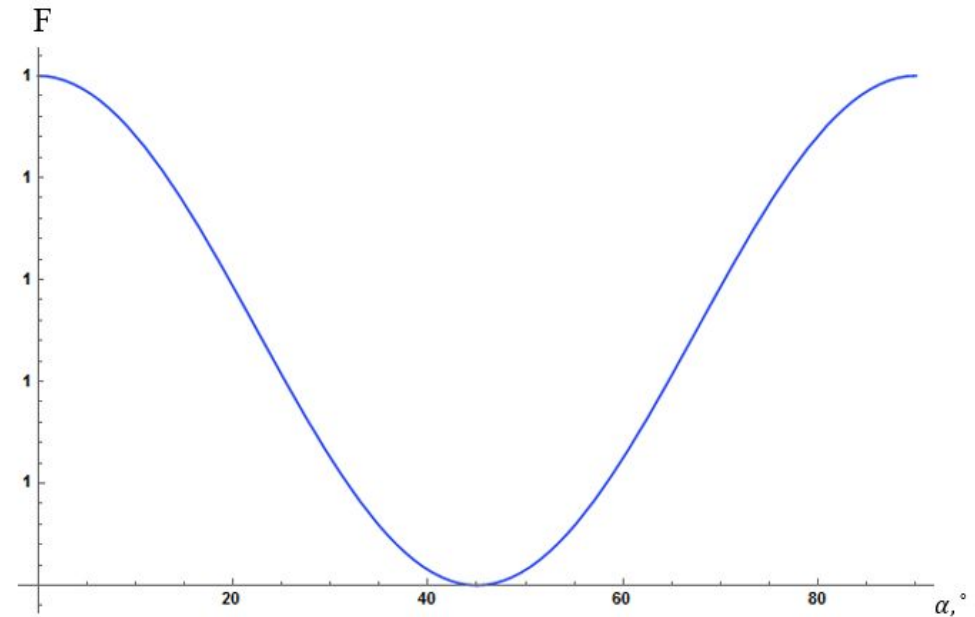
# Колебания сосредоточенной массы на четырех пружинах



$$F_x = 2kr_0 \cos\alpha + \frac{2k}{a^2} r_0^3 (\cos\alpha)^3$$

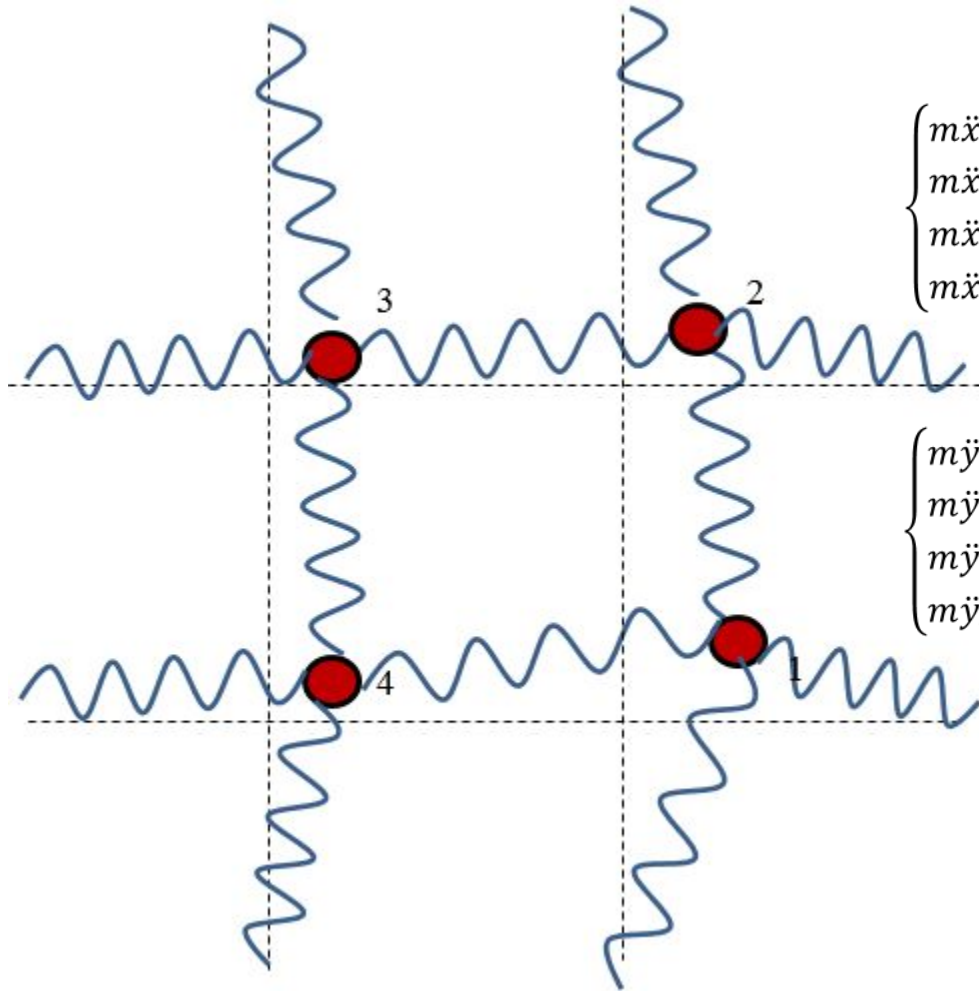
$$F_y = 2kr_0 \sin\alpha + \frac{2k}{a^2} r_0^3 (\sin\alpha)^3$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$



Потенциальный минимум при 45 градусах

# Колебания связанных атомов 2D



$$\begin{cases} m\ddot{x}_1 = -cx_1 - c(x_1 - x_2) - c(x_1 - x_4) - 4C_0x_1^3 - 2C_0(x_1 - x_2)^3 - 2C_0(x_1 - x_4)^3 - \alpha\dot{x}_1 \\ m\ddot{x}_2 = -cx_2 + c(x_1 - x_2) - c(x_2 - x_3) - 4C_0x_2^3 + 2C_0(x_1 - x_2)^3 - 2C_0(x_2 - x_3)^3 - \alpha\dot{x}_2 \\ m\ddot{x}_3 = -cx_3 + c(x_2 - x_3) + c(x_4 - x_3) - 4C_0x_3^3 + 2C_0(x_2 - x_3)^3 + 2C_0(x_4 - x_3)^3 - \alpha\dot{x}_3 \\ m\ddot{x}_4 = -cx_4 + c(x_1 - x_4) - c(x_4 - x_3) - 4C_0x_4^3 + 2C_0(x_1 - x_4)^3 - 2C_0(x_4 - x_3)^3 - \alpha\dot{x}_4 \end{cases}$$

$$\begin{cases} m\ddot{y}_1 = -cy_1 - c(y_1 - y_2) - c(y_1 - y_4) - 4C_0y_1^3 - 2C_0(y_1 - y_2)^3 - 2C_0(y_1 - y_4)^3 - \alpha\dot{y}_1 \\ m\ddot{y}_2 = -cy_2 + c(y_1 - y_2) - c(y_2 - y_3) - 4C_0y_2^3 + 2C_0(y_1 - y_2)^3 - 2C_0(y_2 - y_3)^3 - \alpha\dot{y}_2 \\ m\ddot{y}_3 = -cy_3 + c(y_2 - y_3) + c(y_4 - y_3) - 4C_0y_3^3 + 2C_0(y_2 - y_3)^3 + 2C_0(y_4 - y_3)^3 - \alpha\dot{y}_3 \\ m\ddot{y}_4 = -cy_4 + c(y_1 - y_4) - c(y_4 - y_3) - 4C_0y_4^3 + 2C_0(y_1 - y_4)^3 - 2C_0(y_4 - y_3)^3 - \alpha\dot{y}_4 \end{cases}$$

# Выводы

- Поперечный осциллятор движется нелинейно. Частота колебаний зависит от амплитуды
- Амплитудно-частотная характеристика поперечного осциллятора нелинейная
- В одноатомной цепочке атомов колебание происходит предпочтительно поперек сильной связи

# Дополнительные предположения:

- Атом движется в выделенном направлении
- В кристалле существуют зоны согласованных колебаний. При уменьшении температуры (энергии колебательного движения атомов) зоны увеличиваются в объеме и распространяются по всему кристаллу при  $T \rightarrow 0$ . Рассогласование колебаний происходит на границах зерен, дефектах, что способствует росту электрического сопротивления.