



# Подстановки, оптимизация и решение дифференциальных уравнений (задача Коши)

---

Некоторые аспекты интегрирования, нахождения целевой функции и решения диф. уравнений в MathCad Maple, Mathematica

# Подстановки

---

$$f(x) := \frac{1}{\cos(x) \cdot (1 + \cos(x))} \quad \tan(x) = t \text{ solve, } x \rightarrow \text{atan}(t)$$

$$f(x) \text{ substitute, } x = \text{atan}(t) \rightarrow \frac{t^2 + 1}{\sqrt{t^2 + 1} + 1} \quad x(t) := \text{atan}(t) \quad \frac{d}{dt} x(t) \rightarrow \frac{1}{t^2 + 1}$$

$$\frac{t^2 + 1}{\sqrt{t^2 + 1} + 1} \cdot \frac{1}{t^2 + 1} \text{ simplify} \rightarrow \frac{\sqrt{t^2 + 1} - 1}{t^2} \quad f1(t) := \frac{\sqrt{t^2 + 1} - 1}{t^2}$$

# Вычисление интегралов с переменным верхним пределом

---

$$t(x) := \tan(x) \quad t\left(\frac{\pi}{4}\right) = 1 \quad t(0) = 0$$

$$\int_0^1 \frac{1}{\sqrt{1+t^2+1}} dt \rightarrow \int_0^1 \frac{1}{\sqrt{t^2+1+1}} dt = 0.467$$

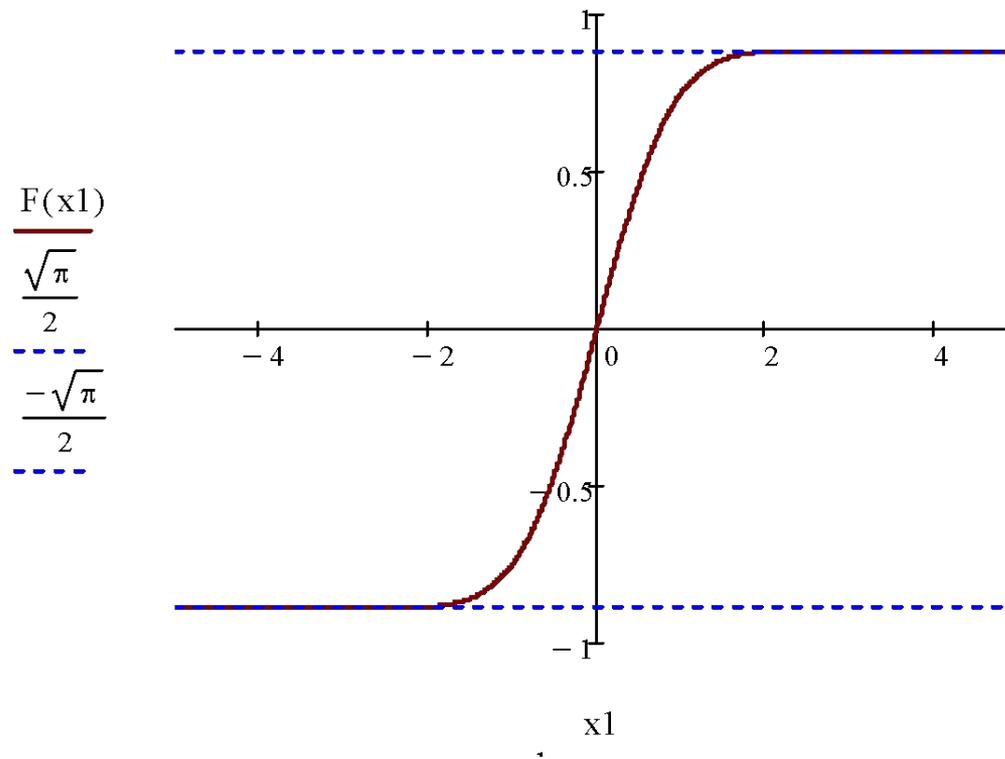
$$\int_0^{x_1} \exp(-t^2) dt \rightarrow \frac{\sqrt{\pi} \cdot \text{erf}(x_1)}{2}$$

$$\underline{\underline{F}}(x_1) := \int_0^{x_1} \exp(-t^2) dt \quad F(0) = 0 \quad F(1) = 0.747 \quad F(3) = 0.886$$

$$\frac{d}{dx_1} F(x_1) \rightarrow e^{-x_1^2} \quad \frac{d^2}{dx_1^2} F(x_1) \rightarrow -2 \cdot x_1 \cdot e^{-x_1^2}$$

$$\lim_{x_1 \rightarrow \infty} {}^+ F(x_1) \rightarrow \frac{\sqrt{\pi}}{2} \quad \lim_{x_1 \rightarrow -\infty} F(x_1) \rightarrow -\frac{\sqrt{\pi}}{2}$$

# График функции вероятности



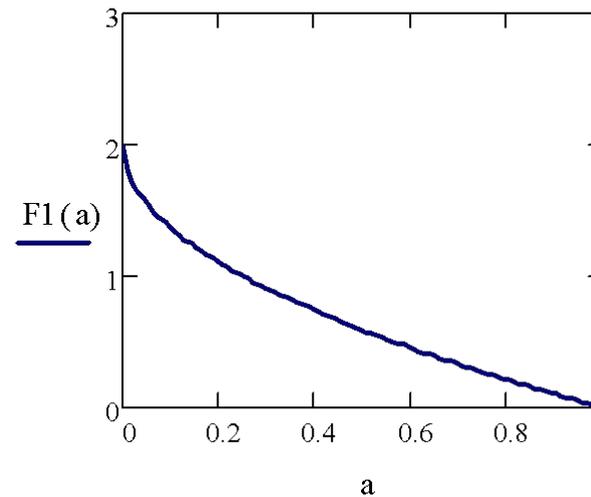
# Пример интеграла с переменным пределом

$$f_1(x_2) := \frac{1}{\sqrt{x_2}}$$

$$F_1(a) := \int_a^1 f_1(x_2) dx_2$$

$$\lim_{a \rightarrow 0} F_1(a) \rightarrow 2$$

$$\int_0^1 f_1(x_2) dx_2 \rightarrow 2$$



# Построение графиков и нахождение параметров уравнений заданных в параметрическом виде

---

$$\lambda := 0.8$$

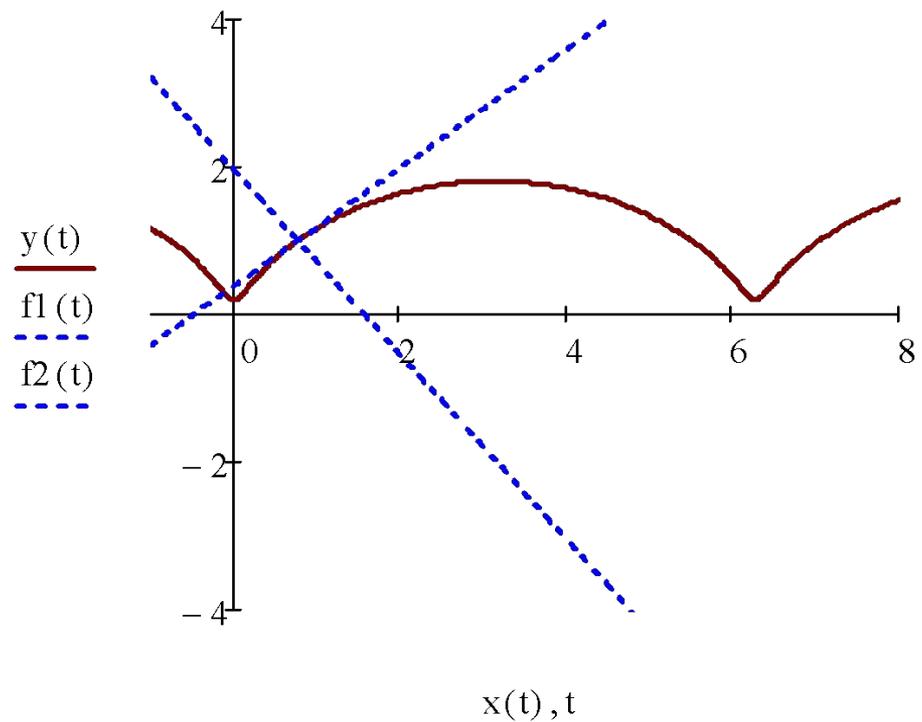
$$x(t) := t - \lambda \cdot \sin(t) \quad y(t) := 1 - \lambda \cdot \cos(t)$$

$$\phi(t) := \frac{d}{dt}x(t) \quad \psi(t) := \frac{d}{dt}y(t) \quad k(t) := \frac{\psi(t)}{\phi(t)}$$

$$x0 := x\left(\frac{\pi}{2}\right) \quad y0 := y\left(\frac{\pi}{2}\right) \quad f1(t) := k\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot (t - x0) + y0$$
$$f2(t) := \frac{1}{k\left(\frac{\pi}{2}\right)} \cdot (t - x0) + y0$$

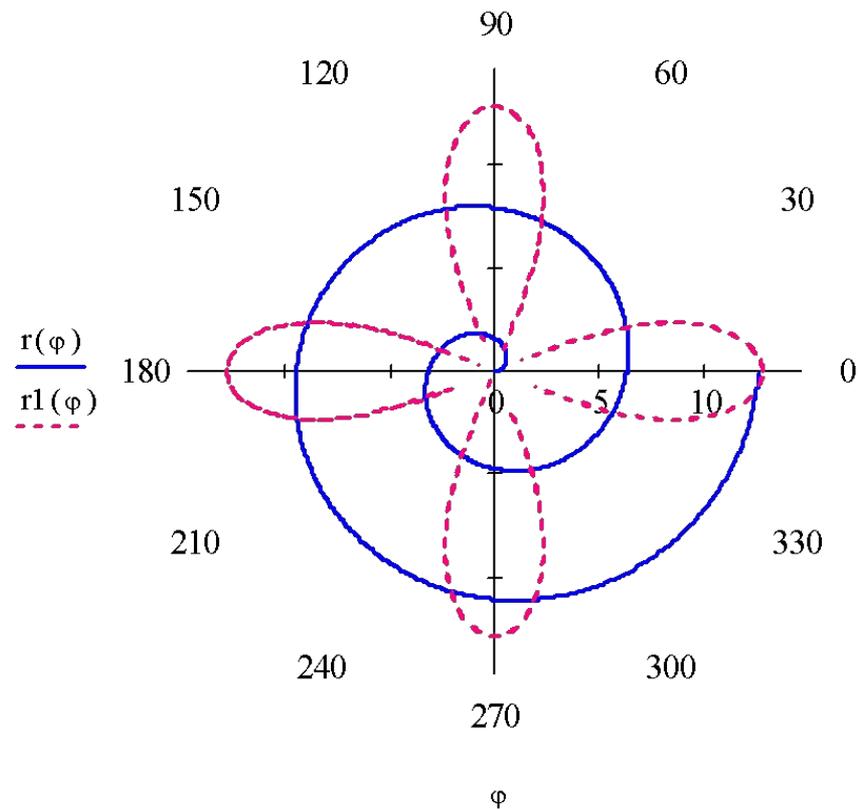
# Графическое представление функций заданных в параметрическом виде

---



# Графическое представление уравнений, заданных в полярных координатах

$$a := 1 \quad r(\varphi) := a \cdot \varphi \quad \varphi := 0, 0.01 .. 4 \cdot \pi \quad r1(\varphi) := 9 \cdot \sqrt{2 \cdot \cos(4\varphi)}$$



# Оптимизация функций. Классическое решение

---

$$f(x, y) := 2 \cdot (x - 3.07)^2 + (y - 10.03)^2 - 0.2(x - 5.07)^3$$

$$x := 1$$

$$y := 1$$

Given

$$0 < x < 15$$

$$0 < y < 20$$

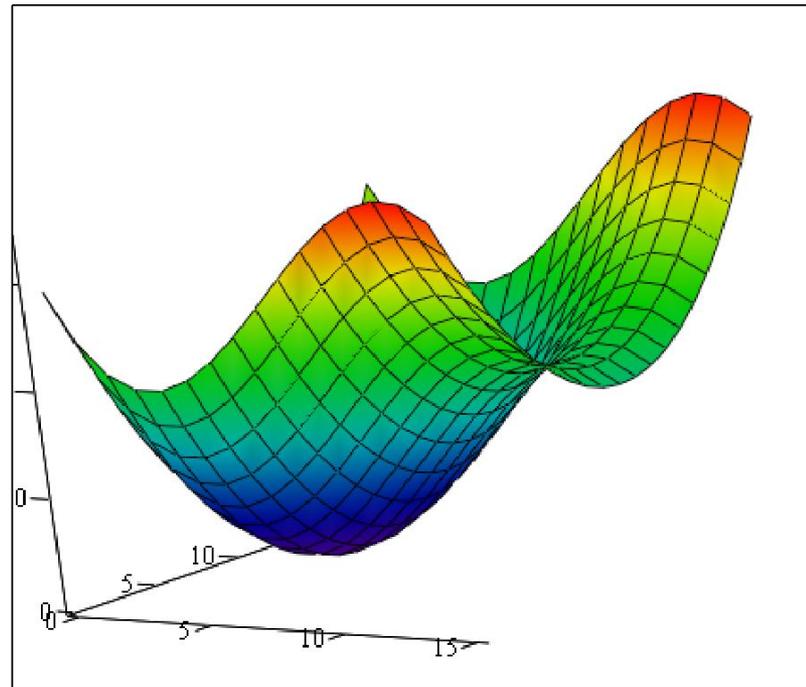
$$\text{Minimize}(f, x, y) = \begin{pmatrix} 3.459 \\ 10.03 \end{pmatrix}$$

# График поверхности оптимизации

---

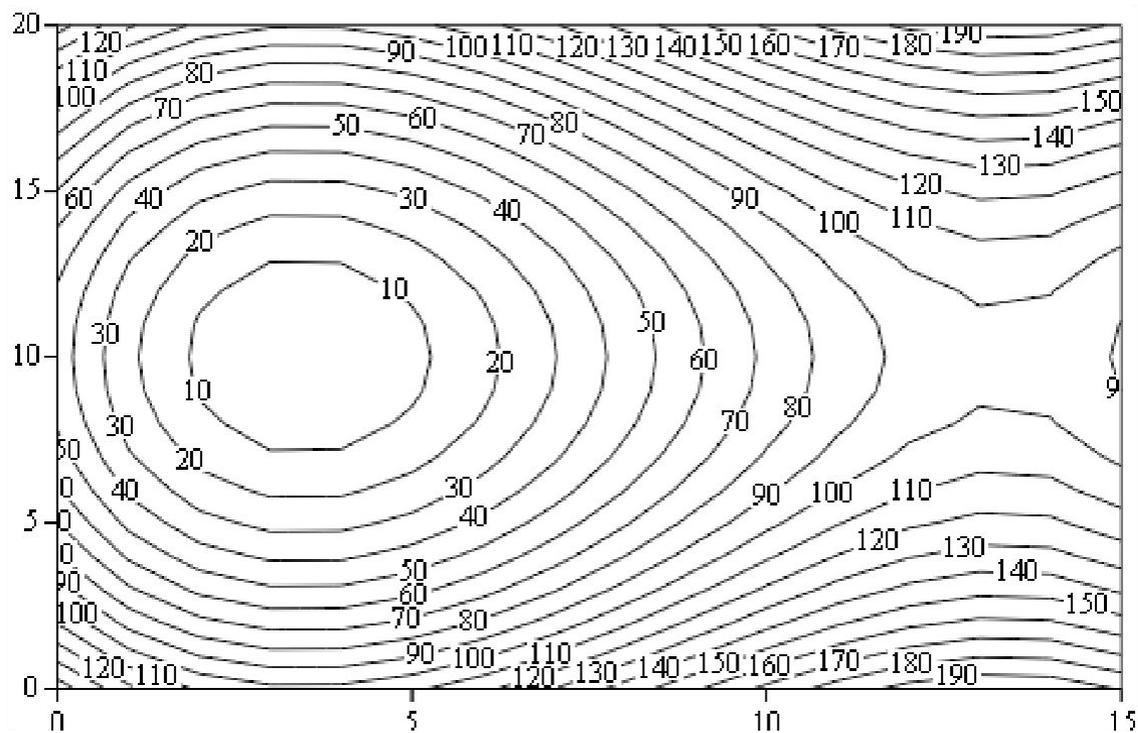
$$x := 0..15 \quad y := 0..20$$

$$D_{x,y} := f(x,y)$$



D

# Контурный график заданной функции ОПТИМИЗАЦИИ

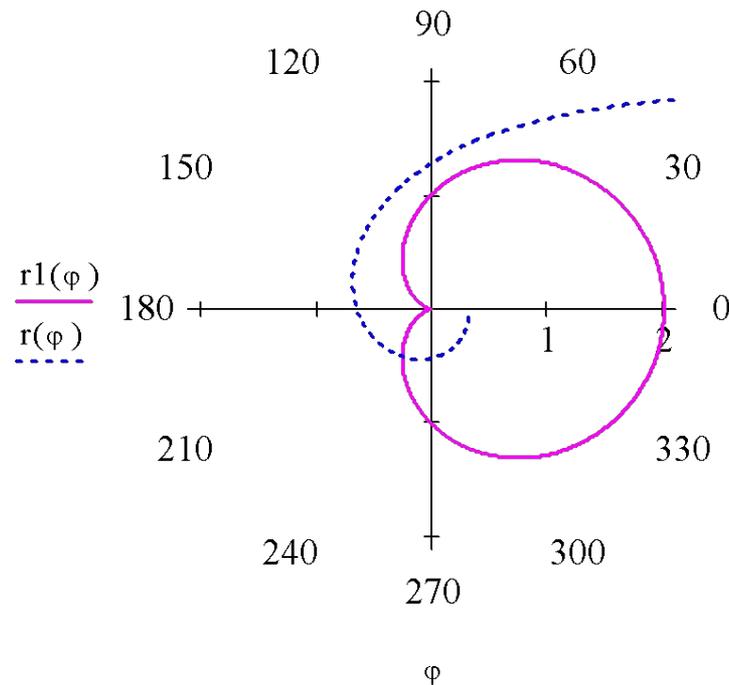


D

# Построение графиков функций в полярных координатах

$$a := 2.0$$

$$r(\varphi) := \frac{a}{\varphi} \quad r1(\varphi) := a \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)^2 \quad r2(\varphi) := a^\varphi$$



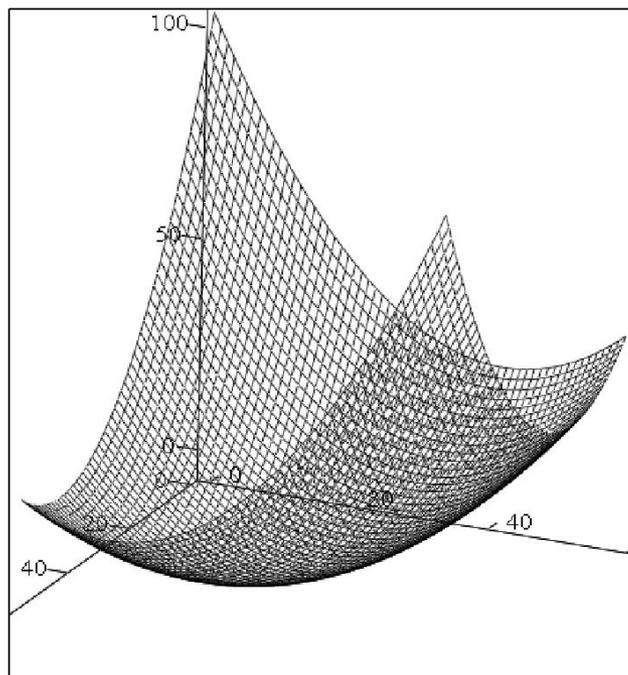
# Второй (матричный) способ построения графика поверхности

$i := 0..60$        $j := 0..60$

$x(i) := -5.0 + \frac{i}{5}$        $y(j) := -5.0 + \frac{j}{5}$

$f2(x,y) := x^2 + x \cdot y + y^2 - 4 \cdot x - 2 \cdot y$

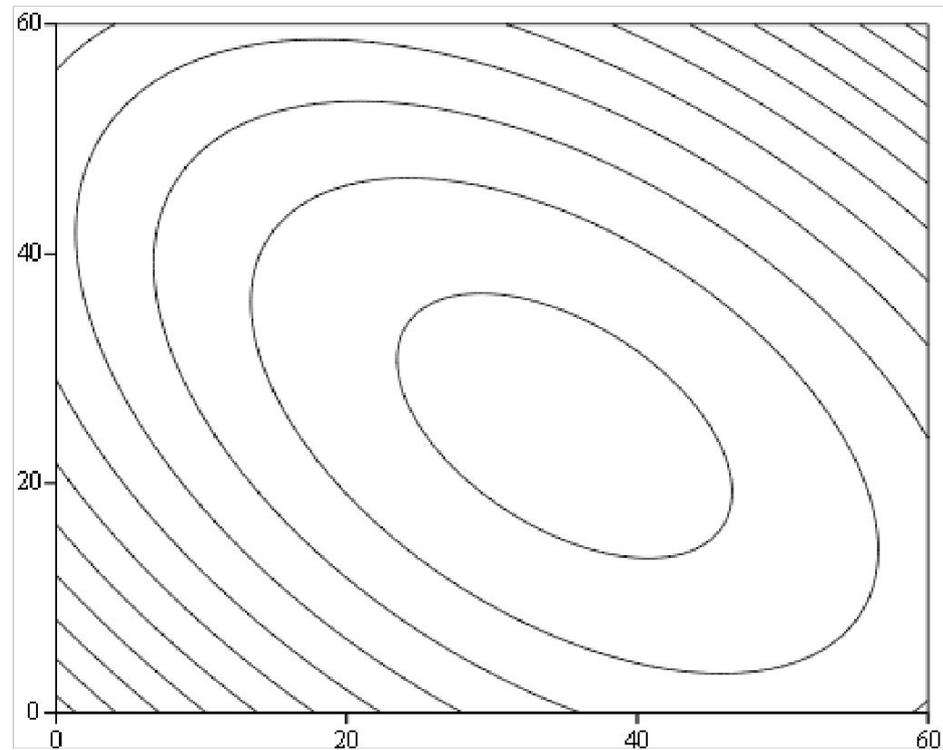
$D1_{i,j} := f2(x(i), y(j))$



D1

# Контурный график поверхности

---

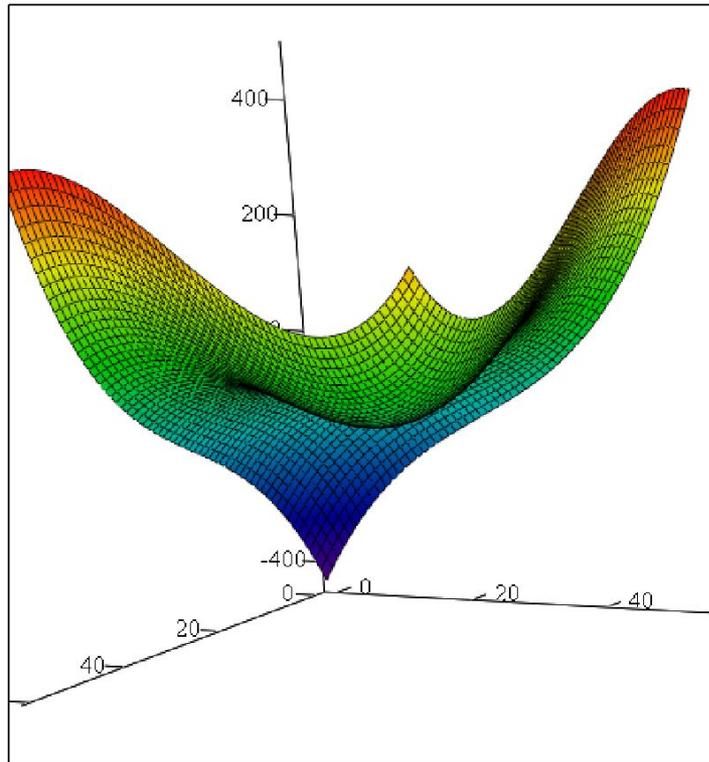


D1

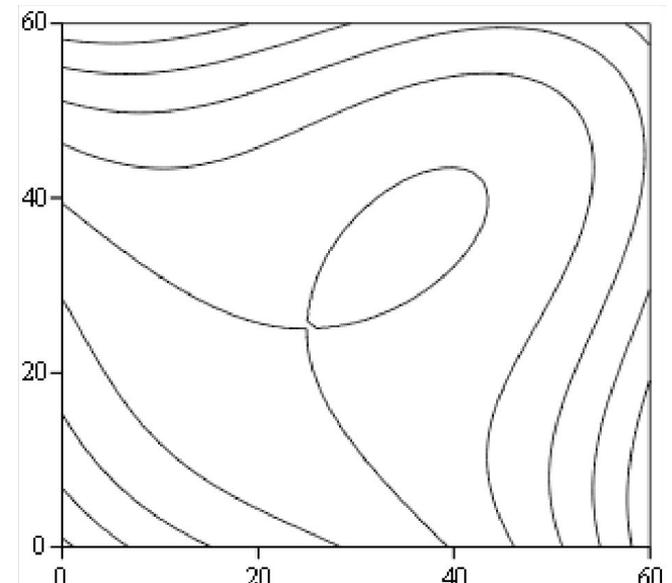
# Нахождение целевой функции

$$x(i) := -5 + \frac{i}{5.0} \quad y(j) := -5 + \frac{j}{5.0}$$

$$f(x,y) := x^3 + y^3 - 7 \cdot x \cdot y \quad D2_{i,j} := f(x(i), y(j))$$



D2



D2

~ ~

# Нахождение локального минимума

---

$$\underline{f3}(x, y) := x^3 + y^3 - 7 \cdot x \cdot y$$

$$\underline{x} := 1.2 \quad \underline{y} := 1.2$$

Given

$$(0 < x < 2.5)$$

$$0 < y < 2.5$$

$$\text{Minimize}(f3, x, y) = \begin{pmatrix} 2.333 \\ 2.333 \end{pmatrix}$$

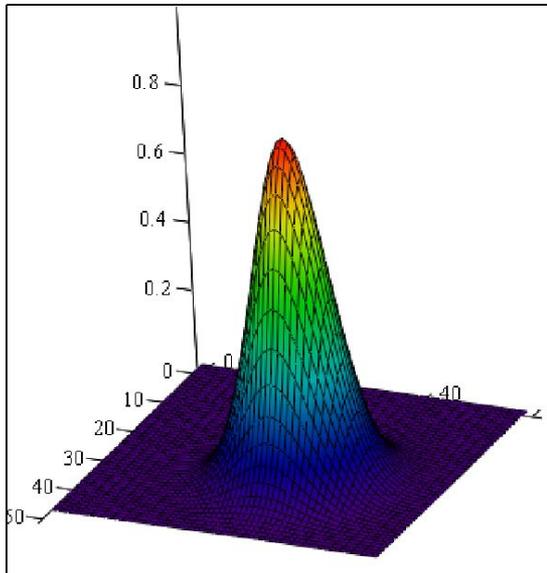
# Максимум двумерного гауссиана

$i := 0..50$     $j := 0..60$

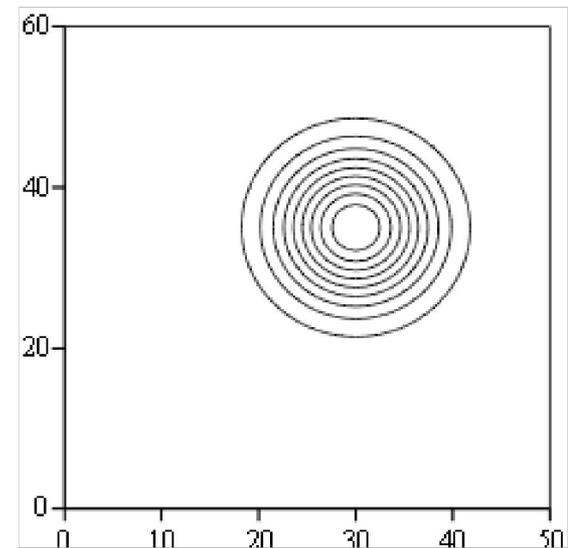
$$\underline{x}(i) := -2 + \frac{i}{10} \quad \underline{y}(j) := -2 + \frac{j}{10}$$

$$f4(x,y) := \exp\left[-\left[\frac{(x-1)^2}{0.6} - \frac{(y-1.5)^2}{0.8}\right]\right]$$

$$D3_{i,j} := f4(x(i), y(j))$$



D3



D3

# Нахождение корней функций одной переменной

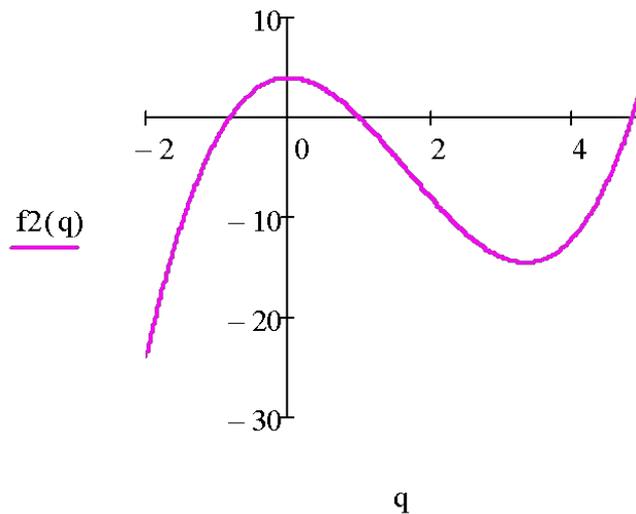
$$f_2(x) := x^3 - 5 \cdot x^2 + 4$$

$$\text{root}(f_2(x), x, -2, 6) \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \cdot \sqrt{2} + 2 \\ 2 - 2 \cdot \sqrt{2} \end{pmatrix}$$

Given

$$x^3 - 5 \cdot x^2 + 4 = 0$$

$$\text{Find}(x) \rightarrow (1 \quad 2 \cdot \sqrt{2} + 2 \quad 2 - 2 \cdot \sqrt{2})$$



# Решение задачи безусловной оптимизации

---

- Решение задачи безусловной оптимизации для заданной целевой функции двух переменных  $f(x)$  на множестве  $X$ .

$$f(x_1, x_2) := x_1^3 + 8 \cdot x_2^3 - 6 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1$$

$$df_1(x_1, x_2) := \frac{d}{dx_1} f(x_1, x_2)$$

$$df_1(x_1, x_2) \rightarrow 3 \cdot x_1^2 - 6 \cdot x_2$$

$$df_2(x_1, x_2) := \frac{d}{dx_2} f(x_1, x_2)$$

$$df_2(x_1, x_2) \rightarrow 24 \cdot x_2^2 - 6 \cdot x_1$$

# Нахождение стационарных точек

---

Given

$$df1(x1, x2) = 0$$

$$df2(x1, x2) = 0$$

$$X := \text{Find}(x1, x2) \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3} \cdot i}{2} & -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3} \cdot i}{2} \\ 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{4} + \frac{\sqrt{3} \cdot i}{4} & -\frac{1}{4} - \frac{\sqrt{3} \cdot i}{4} \end{pmatrix}$$

$x1 := X^{(0)}$      $x2 := X^{(1)}$

$$x1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad x2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

# Построение матрицы Гессе

---

$$\text{ddf11}(x_1, x_2) := \frac{d}{dx_1} df_1(x_1, x_2)$$

$$\text{ddf11}(x_1, x_2) \rightarrow 6 \cdot x_1$$

$$\text{ddf21}(x_1, x_2) := \frac{d}{dx_2} df_1(x_1, x_2)$$

$$\text{ddf21}(x_1, x_2) \rightarrow -6$$

$$\text{ddf12}(x_1, x_2) := \frac{d}{dx_1} df_2(x_1, x_2)$$

$$\text{ddf12}(x_1, x_2) \rightarrow -6$$

$$\text{ddf22}(x_1, x_2) := \frac{d}{dx_2} df_2(x_1, x_2)$$

$$\text{ddf22}(x_1, x_2) \rightarrow 48 \cdot x_2$$

# Построение матрицы Гессе (продолжение). Проверка 1 стационарной точки на экстремум

---

$$X_0 := X_1 \quad X_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad x_1 := X_{0_0} \quad x_2 := X_{0_1}$$

$$H_{0,0} := \text{ddf11}(x_1, x_2) \quad H_{0,1} := \text{ddf12}(x_1, x_2) \quad H_{1,0} := \text{ddf21}(x_1, x_2)$$

$$H_{1,1} := \text{ddf22}(x_1, x_2)$$

$$H = \begin{pmatrix} 1.568 \times 10^{-15} & -6 \\ -6 & 6.063 \times 10^{-14} \end{pmatrix} \quad |H| = -36$$

# Проверка матрицей Гессе второй стационарной точки на экстремум

---

$$X_0 := X_2 \quad X_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.5 \end{pmatrix} \quad x_1 := X_{00} \quad x_2 := X_{01}$$

$$H_{0,0} := ddf_{11}(x_1, x_2) \quad H_{0,1} := ddf_{12}(x_1, x_2) \quad H_{1,0} := ddf_{21}(x_1, x_2)$$

$$H_{1,1} := ddf_{22}(x_1, x_2)$$

$$H = \begin{pmatrix} 6 & -6 \\ -6 & 24 \end{pmatrix} \quad |H| = 108$$

# Подтверждение правильности нахождения точки минимума

---

Given

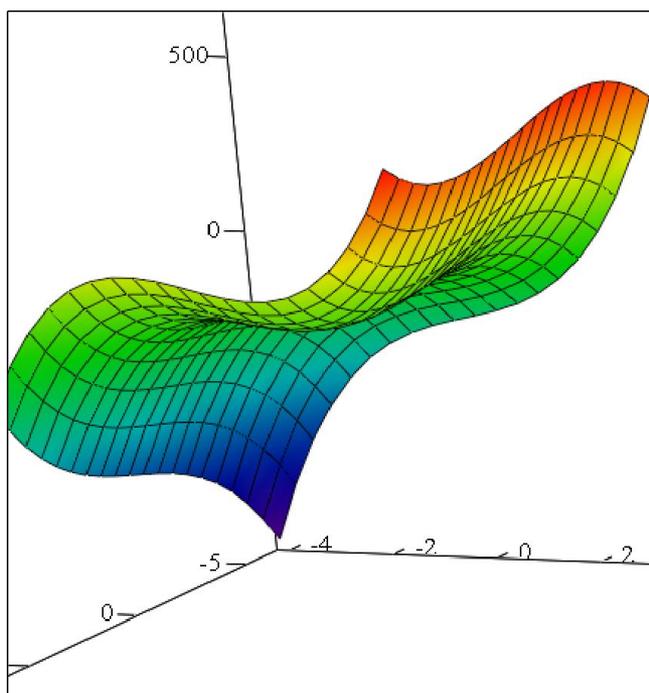
$$0 < x_1 < 2$$

$$0 < x_2 < 2$$

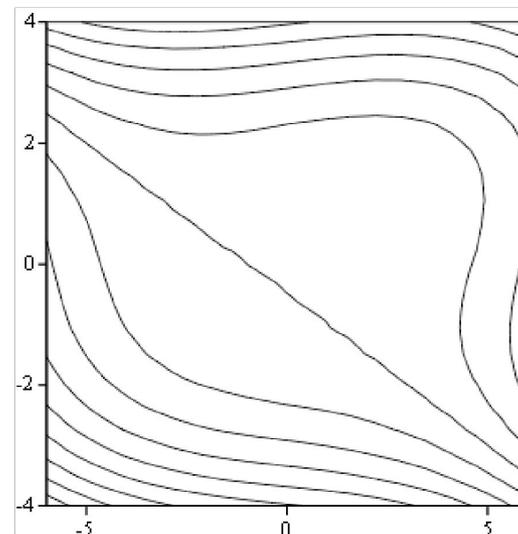
$$\text{Minimize}(f, x_1, x_2) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

# Построение графика функции и её контурного графика

`D := CreateMesh(f, -6, 6, -4, 4)`



D



D

# Решение дифференциальных уравнений 1 и 2 –го порядка

---

- Диф уравнение имеет вид:  $y' = (1+x*y)/x^2$ ,  $y(1) = 0$ ,  $1 < x <= 2$

ORIGIN := 1

$y_1 := 0$

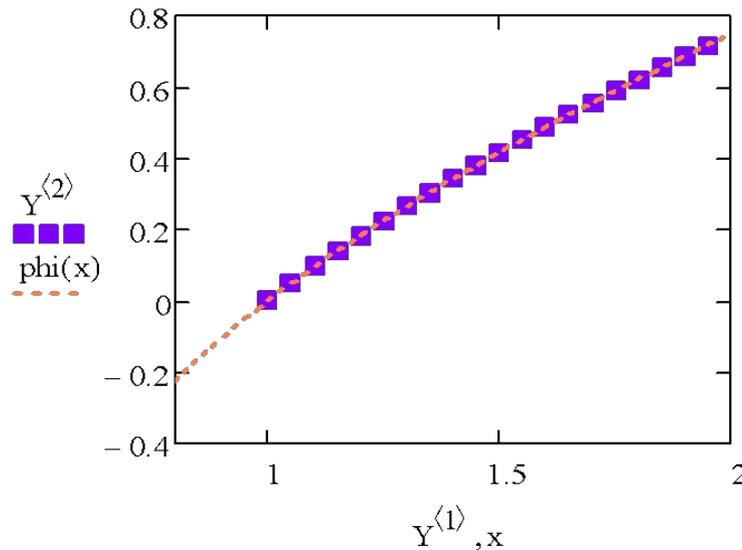
- Решение задачи методом Рунге-Кутта предполагает использование функции `rkfixed` ( $y$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $N$ ,  $D$ ).  $a$ ,  $b$  – границы отрезка,  $N$  - число узлов на сетке.

$$D(x,y) := \frac{1 + x \cdot y_1}{x^2} \quad \text{phi}(x) := \frac{1}{2} \cdot \left( x - \frac{1}{x} \right)$$

$Y := \text{rkfixed}(y, 1, 2, 20, D)$

# Решение уравнения 1 порядка

$Y := \text{rkfixed}(y, 1, 2, 20, D)$



Y =

	1	2
1	1	0
2	1.05	0.049
3	1.1	0.095
4	1.15	0.14
5	1.2	0.183
6	1.25	0.225
7	1.3	0.265
8	1.35	0.305
9	1.4	0.343
10	1.45	0.38
11	1.5	0.417
12	1.55	0.452
13	1.6	0.488
14	1.65	...

# Решение однородного уравнения 2 порядка

- Уравнение второго порядка имеет вид:  $xy'' - (x+1)y' - 2(x-1)y = 0$ .

$$y_1 := y \quad y_2 := \frac{d}{dx}y$$

$$\frac{d}{dx}y_1 = y_2 \quad \frac{d}{dx}y_2 = \frac{x+1}{x} \cdot y_2 + 2 \cdot \frac{(x-1)}{x} \cdot y_1$$

- Строим вектор-столбец начальных условий и вектор-функцию правых частей:

$$\underline{\text{ORIGIN}} := 1$$

$$\underline{N} := 10$$

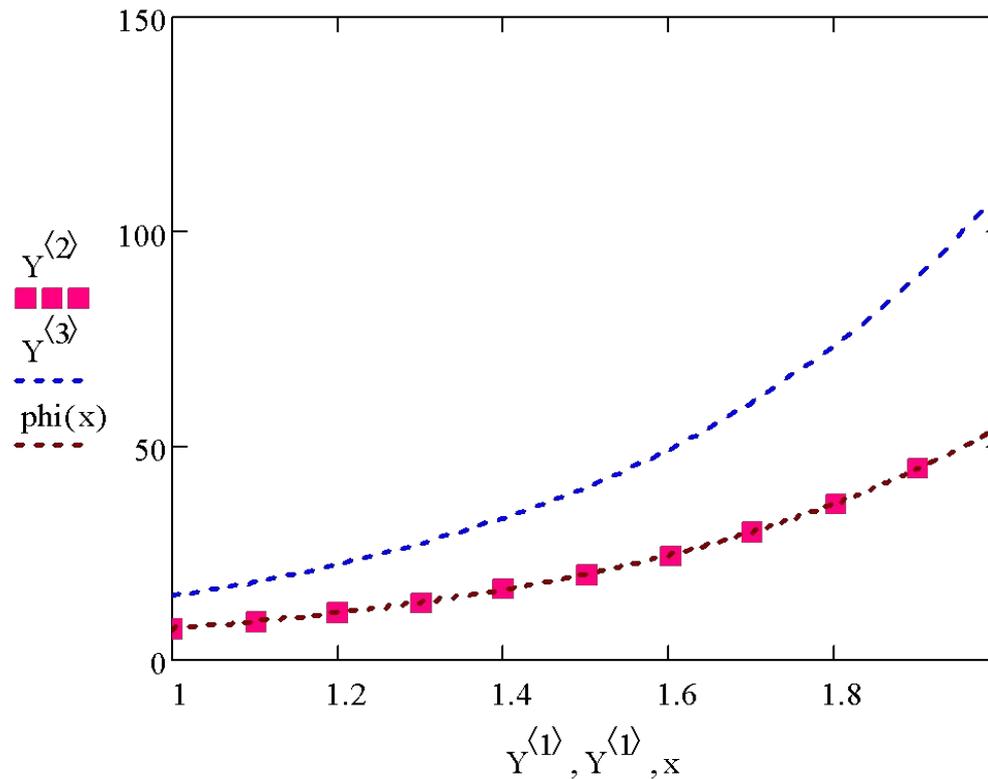
$$y := \begin{pmatrix} e^2 \\ 2 \cdot e^2 \end{pmatrix}$$

$$f(x, y) := \begin{pmatrix} y_2 \\ \frac{x+1}{x} \cdot y_2 + 2 \cdot \frac{x-1}{x} \cdot y_1 \end{pmatrix}$$

# Решение дифуравнения 2 порядка методом Рунге-Кутта

$\underline{Y} := \text{rkfixed}(y, 1, 2, N, f)$

$\underline{\text{phi}}(x) := e^{2 \cdot x}$



# Классическое решение диф. Уравнений с использованием функции Odesolve(x, xend)

---

Given

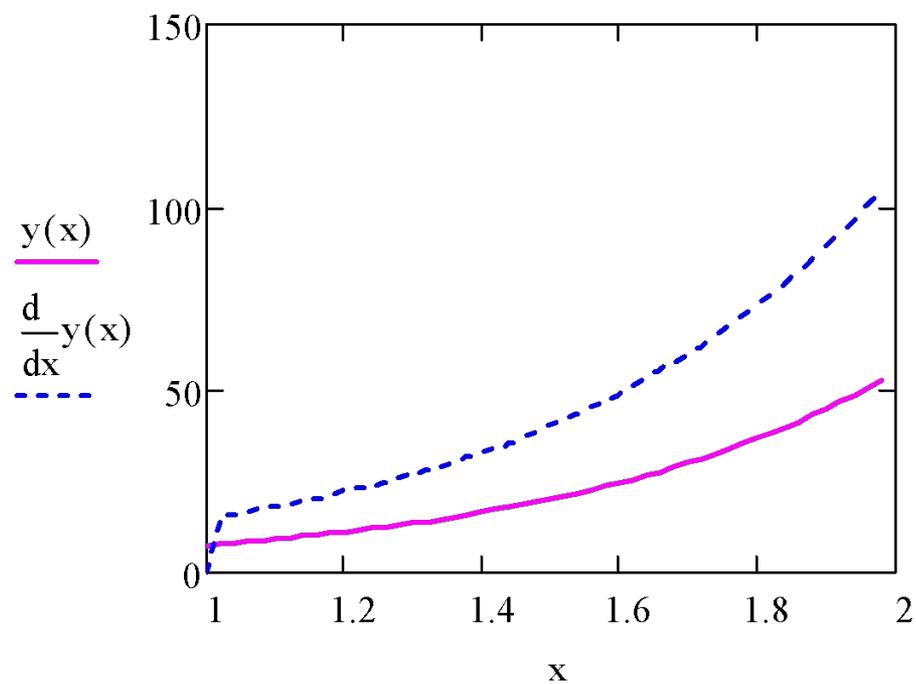
$$x \cdot \frac{d^2}{dx^2} y(x) - (x + 1) \cdot \left( \frac{d}{dx} y(x) \right) - 2 \cdot (x - 1) \cdot y(x) = 0$$

$$y(1) = e^2 \quad y'(1) = 2 \cdot e^2$$

$$y := \text{Odesolve}(x, 2) \quad x := 1, 1.02 .. 2$$

# График восстановленной функции и её производной

---



# Решение системы двух дифуравнений первого порядка с начальными условиями.

---

- 5. Исследовать поведение системы, моделирующей двухмодовый режим взаимодействия амплитуд полей лазера. Построить фазовую траекторию и режим временной эволюции каждой моды.

$$\begin{cases} x_1' = (a - bx_2)x_1 + \alpha x_1^2 \\ x_2' = (-c + dx_1)x_2 + \alpha x_2^2 \end{cases}$$

- Находим решение следующим образом, как показано на рабочей странице MathCad:

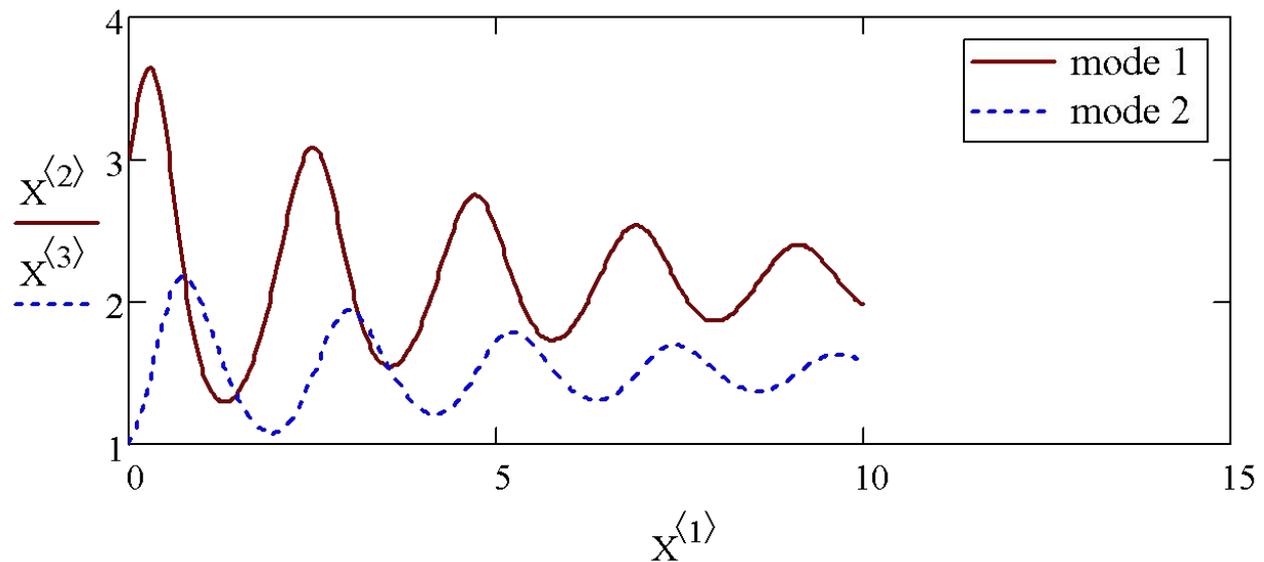
ORIGIN := 1

a := 4   b := 2.5   c := 2   d := 1   alfa := 0.1

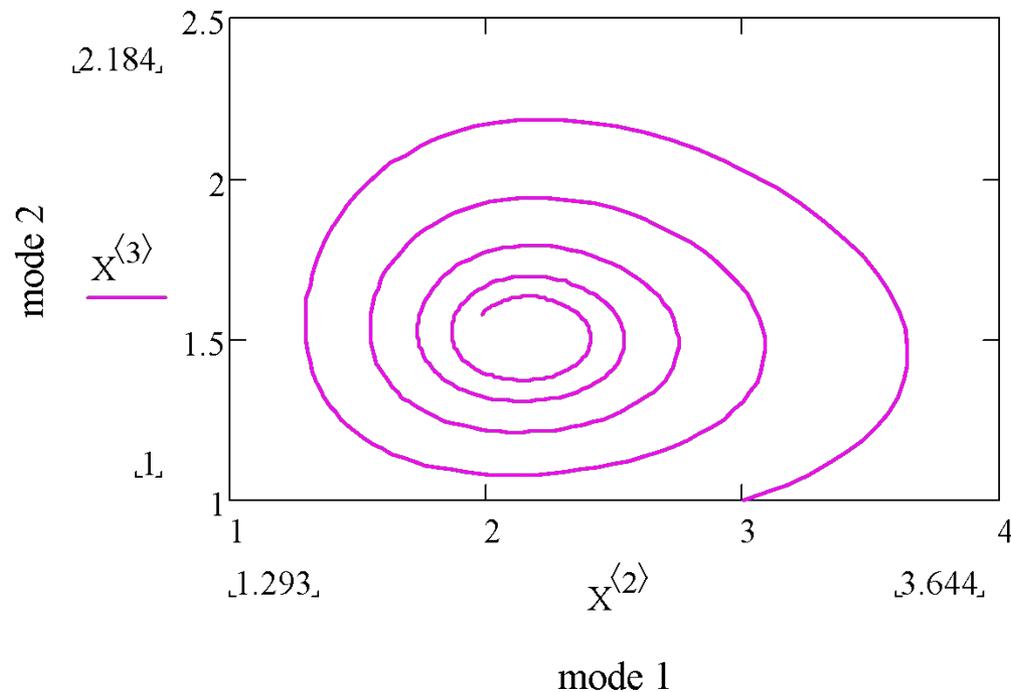
$$\underline{F}(t, x) := \begin{bmatrix} (a - b \cdot x_2) \cdot x_1 - \text{alfa} \cdot (x_1)^2 \\ (-c + d \cdot x_1) \cdot x_2 - \text{alfa} \cdot (x_2)^2 \end{bmatrix}$$

# Порядок решения и графики временной эволюции амплитуд

$$x := \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \end{pmatrix} \quad X := \text{rkfixed}(x, 0, 10, 400, F)$$



# Фазовый портрет системы



Наблюдается устойчивый фокус, соответствующий стабилизации мод и переход их в положение с другой энергией в результате взаимодействия.

# Числовой формат вывода

---

Значение амплитуд в зависимости от времени задается в виде матрицы, состоящей из трех столбцов Y1- время, Y2 – амплитуда моды 1, Y3 – амплитуда моды 2.

X =

	1	2	3
1	0	3	1
2	0.025	3.089	1.024
3	0.05	3.174	1.051
4	0.075	3.256	1.08
5	0.1	3.333	1.113
6	0.125	3.403	1.148
7	0.15	3.467	1.187
8	0.175	3.522	1.228
9	0.2	3.568	1.272
10	0.225	3.604	1.32
11	0.25	3.629	1.369
12	0.275	3.643	1.422
13	0.3	3.644	1.476
14	0.325	3.633	...

# Решение дифуравнений в пакете Mathematica v. 7.

---

○

`DSolve[{x*y''[x]-(x+1)*y'[x]-2*(x)*y[x]=  
=0,y[1]==e^2,y'[1]==2*e^2},y[x],x]`

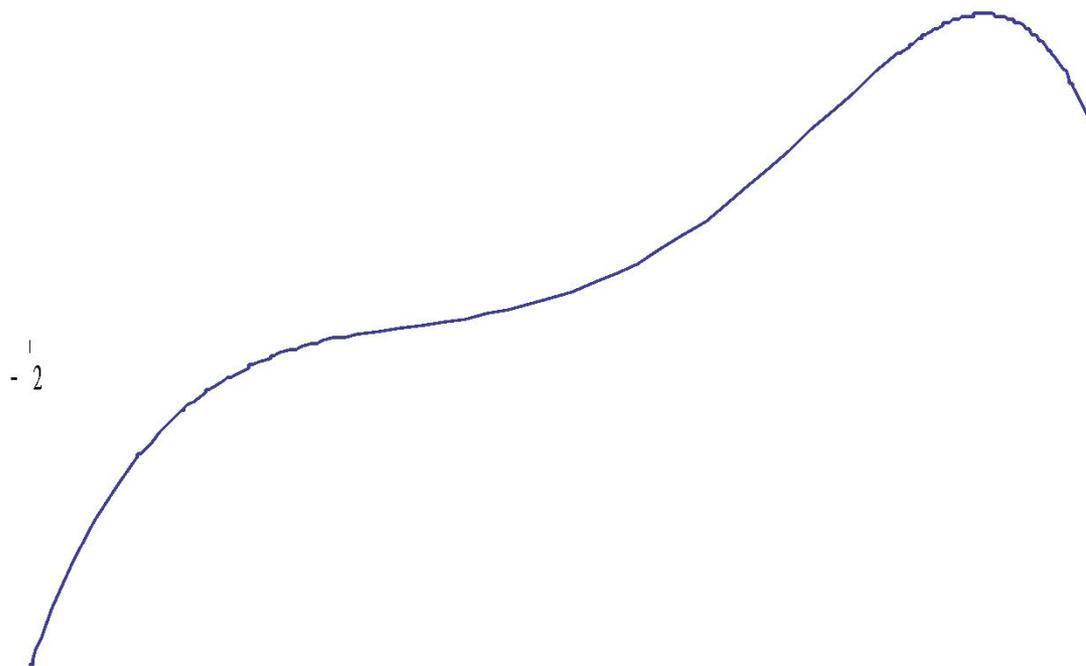
`DSolve[y''[x]+2*y'[x]+y[x]==4*a^x*(Sin[x]+Cos[x]),y[x],x,  
y[0]==1,y'[0]==1,y[x],x]`

`y1 = (1/25) a^-x (-29 - 30 x + 4 a^2 x Cos[x] - 28 a^2 x Sin[x]);`

`Plot[y1, {x, -2, 3}]`

# График полученной функции

---



# Решение системы дифференциальных уравнений первого порядка в пакете Mathematica v.7

```
a = 5
b = 4
c = 2
d = 1
alfa = 0.17
dd = NDSolve[{x1'[t] == a - b*x2[t]*x1[t] + alfa*x1[t]^2,
             x2'[t] == -c + d*x1[t]*x2[t] + alfa*x2[t]^2, x1[0] == 3, x2[0] == 1},
            {x1, x2}, {t}, 20]
```

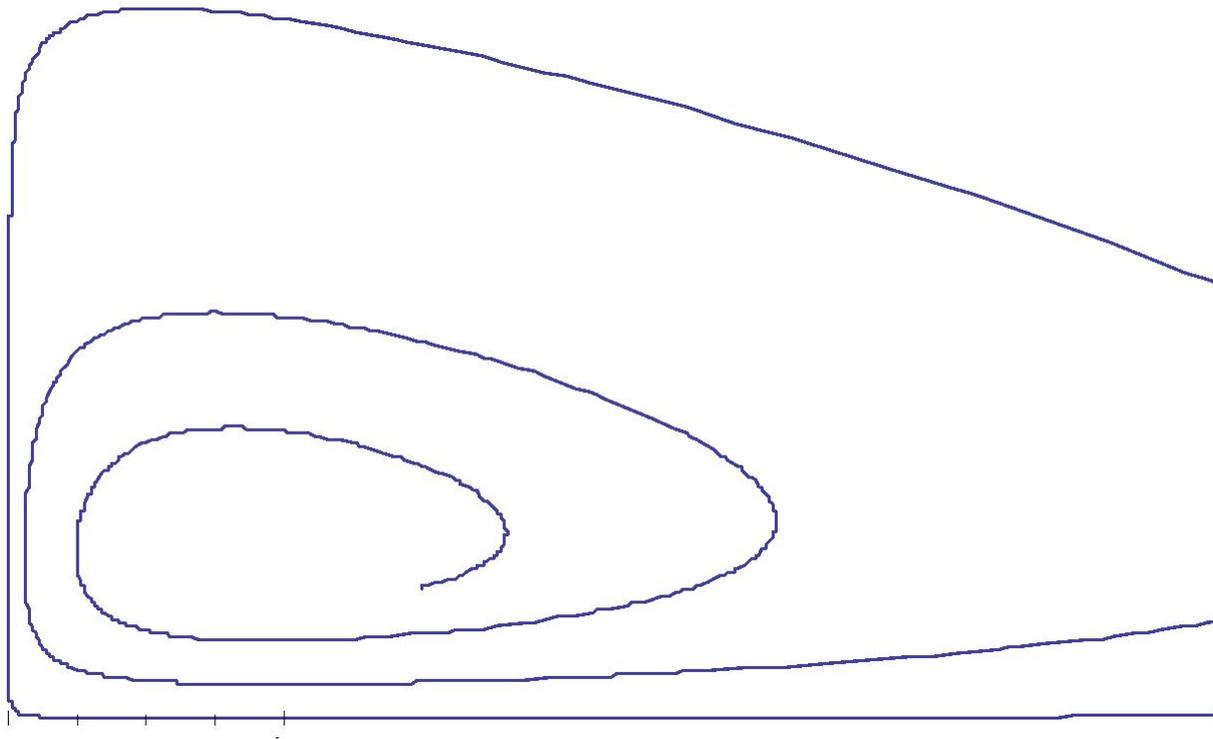
NDSolve::ndsz: At t == 9.578891340154772`, step size is effectively zero; singularity or stiff system suspected. †

```
{x1 & InterpolatingFunction[0., 9.57889], <>}
{x2 & InterpolatingFunction[0., 9.57889], <>}
```

# Построение фазового портрета с помощью параметрического графика

---

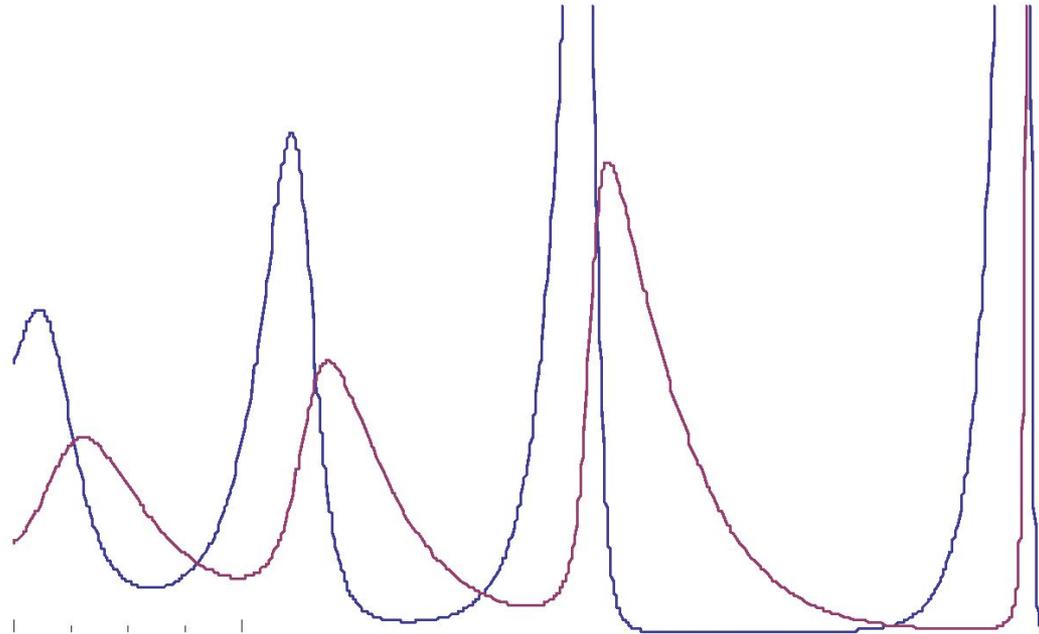
```
ParametricPlot[Evaluate[{x1[t], x2[t]} /. dd, t, 0, 9]]
```



# Временная эволюция мод с начальными параметрами $a$ , $b$ , $c$ , $\alpha$

---

```
Plot[Evaluate[{x1[t], x2[t]}], {t, 0, 9}, PlotStyle -> Automatic]
```



# Задание новых параметров задачи

---

`alfa = 0.05`

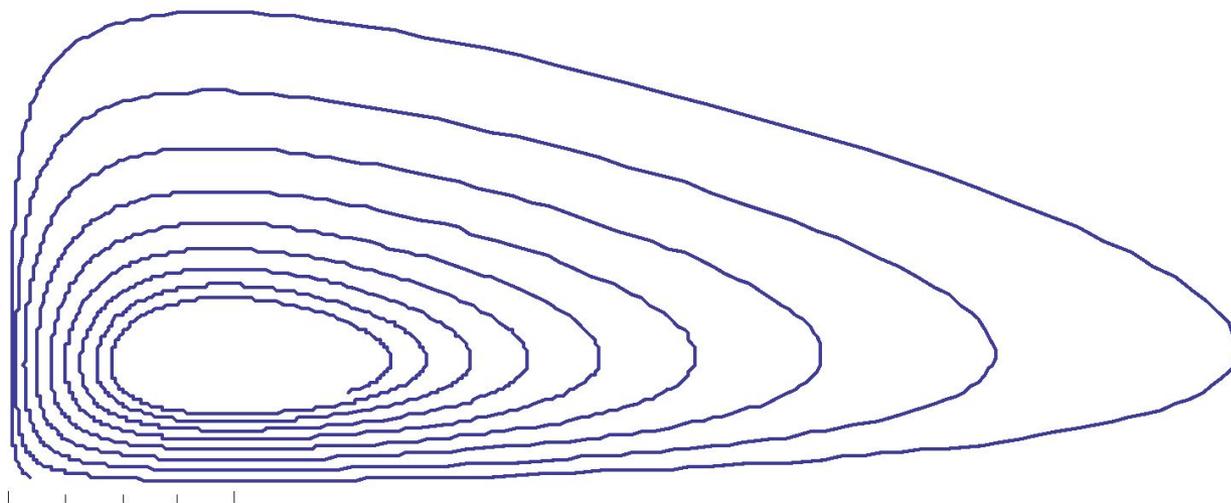
```
ddl = NDSolve[{x1'[t] == a - b*x2[t]*x1[t] + alfa*x1[t]^2,
               x2'[t] == c + d*x1[t]*x2[t] + alfa*x2[t]^2, x1[0] == 3, x2[0] == 1},
              {x1, x2}, {t}, 20]
```

```
{x1} @ InterpolatingFunction[0., 20., <>],
{x2} @ InterpolatingFunction[0., 20., <>]
```

# Фазовый портрет системы при слабом взаимодействии мод

---

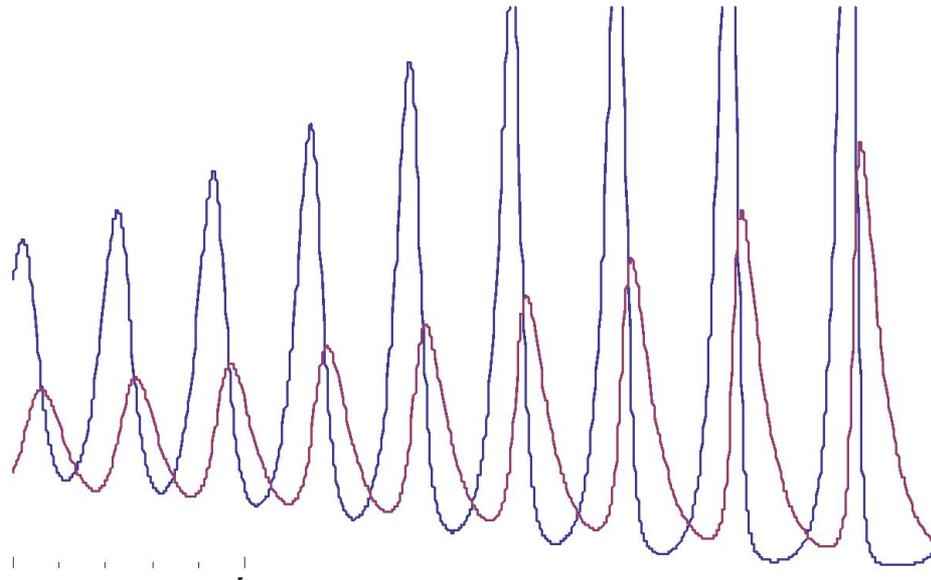
```
ParametricPlot[Evaluate[{x1[t], x2[t]} /. dd1], {t, 0, 20}]
```



# Временная эволюция амплитуд

Наблюдается более медленное развитие неустойчивости,  
вызванное взаимодействием мод

```
Plot[Evaluate[{x1[t], x2[t]}], {t, 0, 20}]
```



# Динамика взаимодействия мод в устойчивом режиме

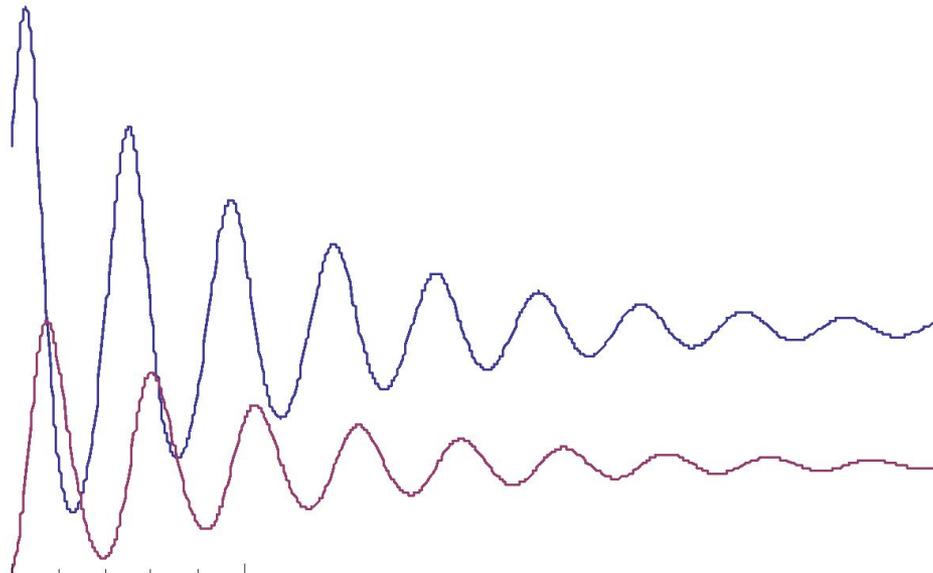
Задание новых параметров системы

$$a = 4$$

$$b = 2.5$$

$$\text{alfa} = -0.1$$

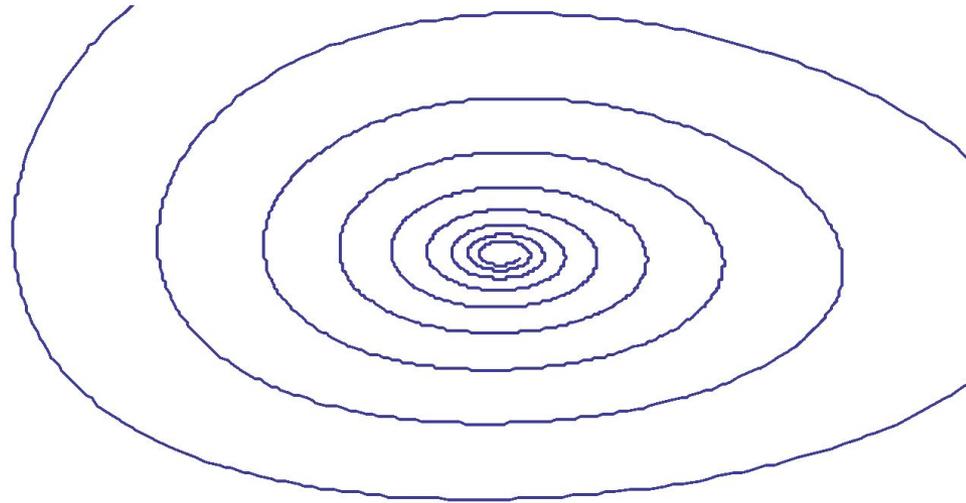
```
Plot[Evaluate[{x1[t], x2[t]}], {t, 0, 20}]
```



# Фазовый портрет системы в устойчивом режиме

---

```
ParametricPlot[Evaluate[{x1[t], x2[t]} /. dd3], {t, 0, 20}]
```



Наблюдается устойчивый фокус

# Дифференциальные уравнения, обеспечивающие устойчивое развитие системы

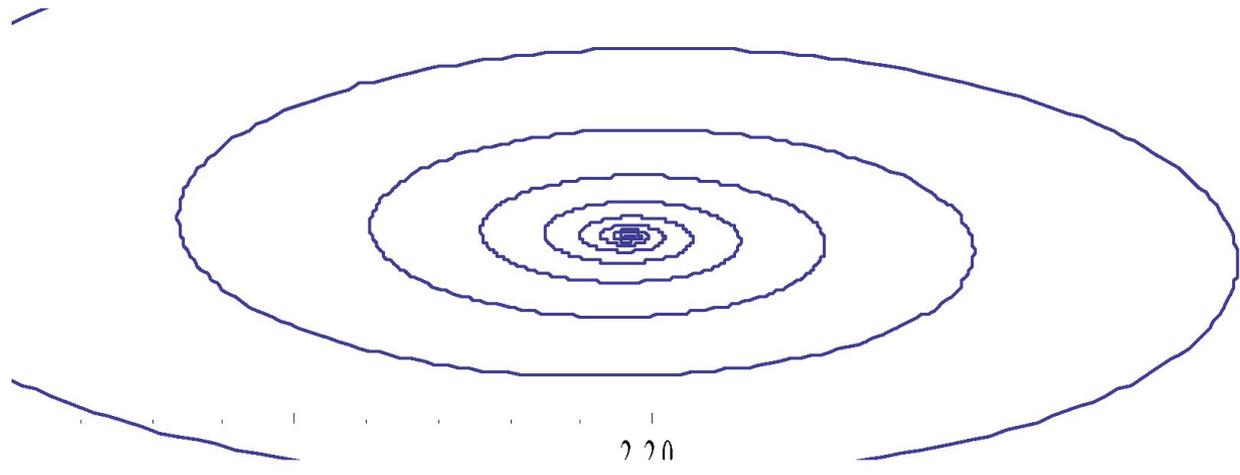
```
a = 5  
b = 4  
c = 2  
d = 1  
alfa = 0.17
```

```
ss = NDSolve[{x1'[t] == a - b * x2[t] * x1[t] - alfa * x1[t]^2,  
x2'[t] == -c + d * x1[t] * x2[t] - alfa * x2[t]^2, x1[0] == 3, x2[0] == 1,  
x1, x2, t, 0, 30}
```

```
x1 @ InterpolatingFunction[0., 30.], <>,  
x2 @ InterpolatingFunction[0., 30.], <>
```

# Фазовый портрет системы в режиме устойчивого взаимодействия мод

```
ParametricPlot[Evaluate[{x1[t], x2[t]} /. ss], {t, 0, 30}]
```

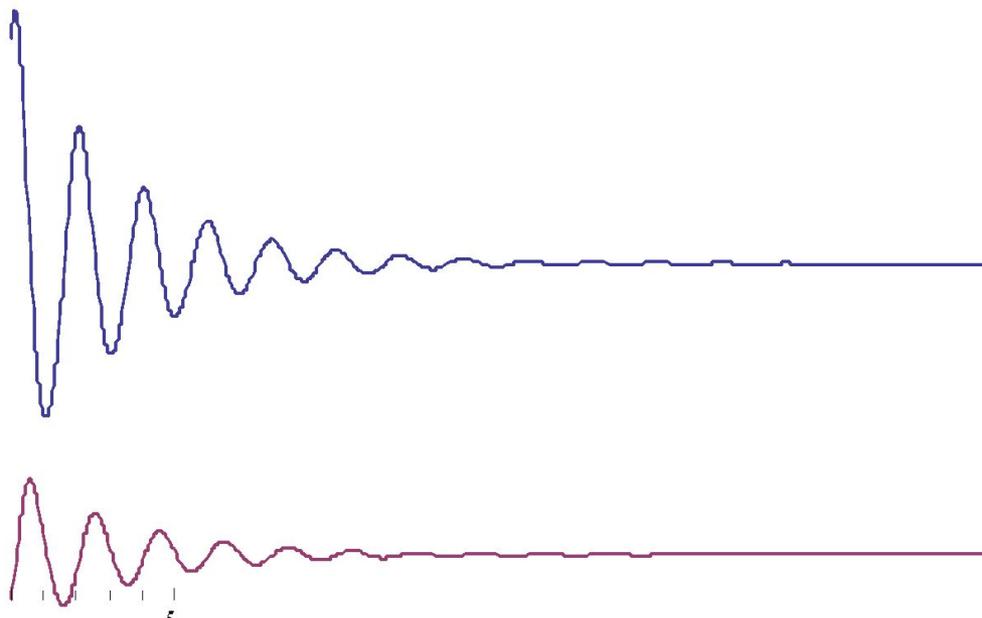


- Наблюдается быстрая эволюция системы к устойчивому состоянию с устойчивым фокусом.

# Взаимодействие приводит к переходу системы в устойчивое состояние с изменением энергии мод

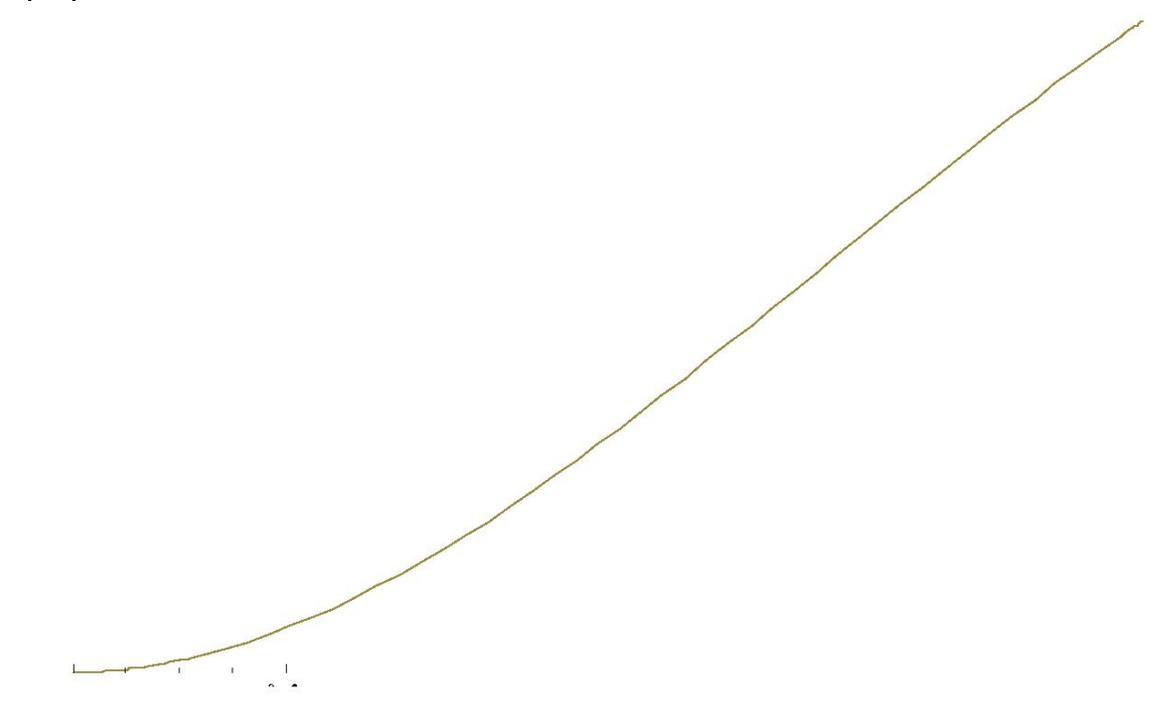
---

```
Plot[Evaluate[{x1[t], x2[t]}], {t, 0, 30}]
```



# Решение дифференциального уравнения первого порядка методом Рунге – Кутты -4

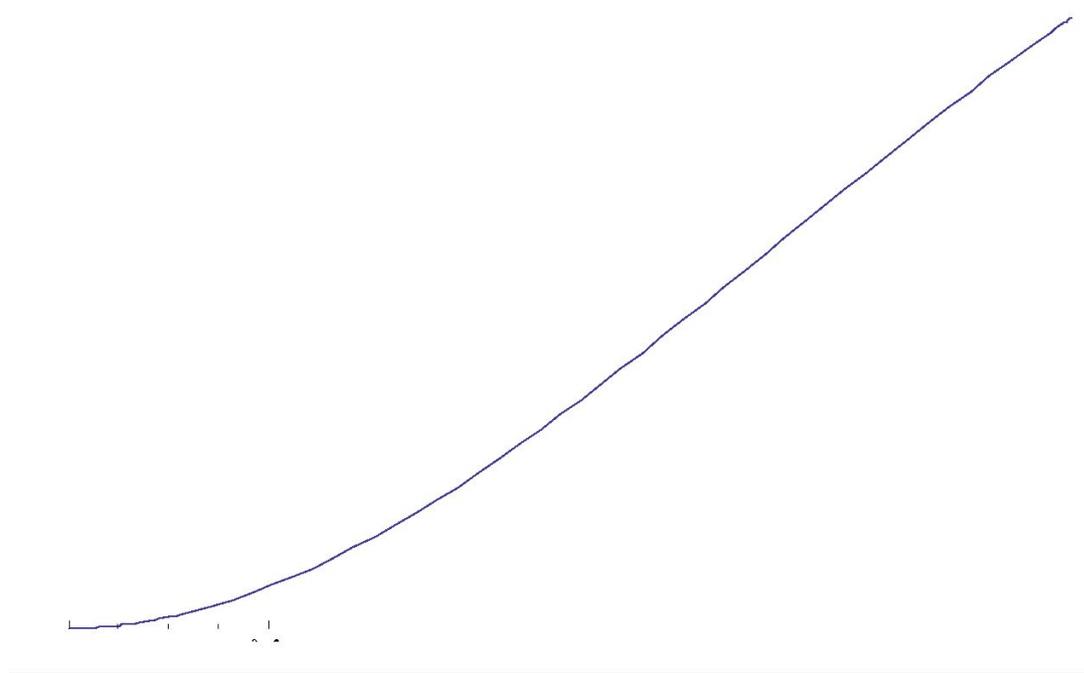
```
sol21 = NDSolve[{y'[x] + y[x] Cos[x] == 1/2 Sin[2 x], y[0] == 0}, y[x], {x, 0, 1},  
Method -> {"ExplicitRungeKutta", "DifferenceOrder" -> 4}, StartingStepSize -> 0.05]  
z1 = Plot[y[x] /. sol21, {x, 0, 1}]
```



# График точного решения

---

$$z = \text{Plot}[\text{Sin}[Wx] + \tilde{a}^{-\text{Sin}[Wx]} - 1, \{x, 0, 1\}]$$



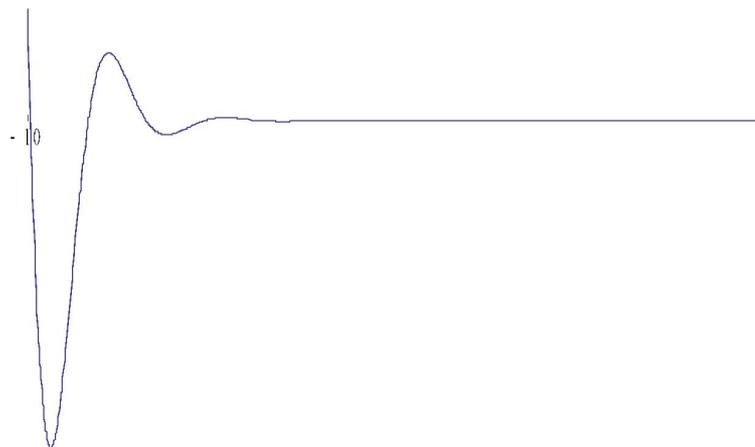
# Решение неоднородного дифуравнения второго порядка

## Задача 4

```

f4[x_] := -2 Sin[x];
a1 = 2; a2 = 5; a = - p/2;
sol4 = DSolve[y''[x] + a1 y'[x] + a2 y[x] == f4[x], y[x], x] // FullSimplify
(* y[x] == 1/5 (Cos[x] - 2 Sin[x]) - 1/10 a^-p/2 x (56 Cos[2 x] + 37 Sin[2 x]) *)
Plot[y[x] /. sol4, {x, -10, 10}, PlotRange -> All]

```



# Аппроксимация эмпирических данных в пакете Maple 12

```
> X := [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9];
```

```
X := [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]
```

```
> Y := [.25, .111, 0.71e-1, 0.53e-1, 0.42e-1, 0.39e-1, 0.33e-1, 0.31e-1, 0.29e-1];
```

```
> with(CurveFitting):[BSpline, BSplineCurve, Interactive, InteractiveChangeSlider,
LeastSquares, PolynomialInterpolation, RationalInterpolation, Spline, ThieleInterpolation]> af1
:= proc (v) options operator, arrow; LeastSquares(X, Y, v, curve = a*v^2+b*v+c) end proc;
/ _____ 2 \ af1 := v -> CurveFitting:-LeastSquares(X, Y, v, curve = a v + b v + c)/
LeastSquares(X, Y, v, curve = a*v^2+b*v+c); _____ 2
0.2849047619 - 0.0805147186147184140 v + 0.00602813852813851009 v > af2 := proc (v)
options operator, arrow; LeastSquares(X, Y, v, curve = a*v^3+b*v^2+c*v+d) end proc;
/ _____ 3 2 \af2 := v -> CurveFitting:-LeastSquares(X, Y, v, curve = a v + b v + c
v + d)/ LeastSquares(X, Y, v, curve = a*v^3+b*v^2+c*v+d);
3 0.3912380952 - 0.182336940836941020 v - 0.001611111111111111372 v
2 + 0.0301948051948052361 v > af3 := proc (v) options operator, arrow; LeastSquares(X,
Y, v, curve = a*v^4+b*v^3+c*v^2+d*v+e) end proc; /
af3 := v -> CurveFitting:-LeastSquares(X, Y, v, _____ 4 3 2 \
curve = a v + b v + c v + d v + e/
```

# Приближение данных различными аналитическими функциями

---

```
□ af4 := proc (v) options operator, arrow; LeastSquares(X, Y, v, curve =  
a/v+b) end proc; / a \ af4  
:= v -> CurveFitting:-LeastSquares(X, Y, v, curve = - + b|  
\ v /> LeastSquares(X, Y, v, curve = a/v+b);
```

```
□
```

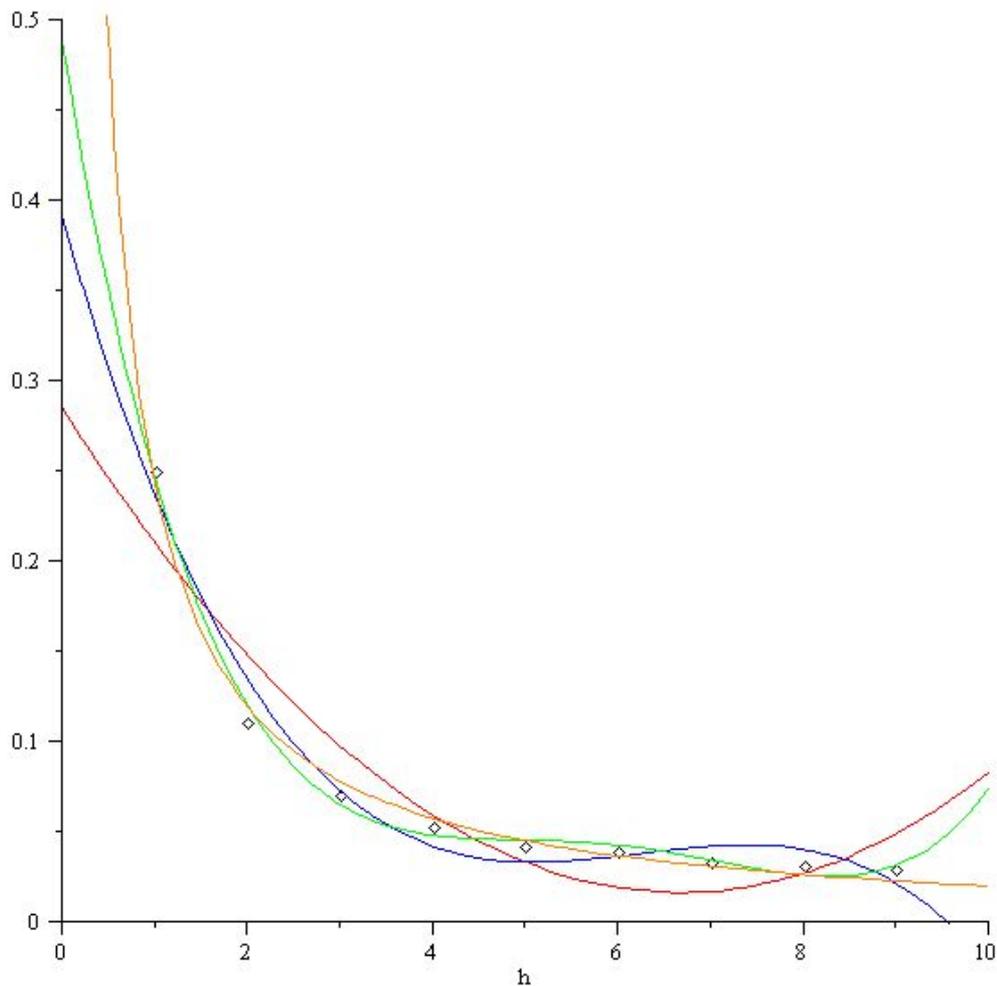
$$-0.005046237196 + \frac{0.249001074430480280}{v}$$

```
□ plotdata := pointplot(data);  
□ > paf1 := plot(af1(h), h = 0 .. 10, color = red);  
□ > paf2 := plot(af2(h), h = 0 .. 10, color = blue);  
□ > paf3 := plot(af3(h), h = 0 .. 10, color = green);  
□ > paf4 := plot(af4(h), h = 0 .. 10, af4 = 0 .. .5, color = coral);>  
with(plots);
```

# Графическое представление аппроксимации

```
display(plotdata, paf1, paf2, paf3, paf4, axes  
= normal)
```

---



# Решение дифуравнения первого порядка методом РК4 в пакете Maple 12

---

$$ode := diff(y(x), x) = x + 3 \cdot \frac{y(x)}{x};$$

$$ode := \frac{d}{dx} y(x) = x + \frac{3 y(x)}{x}$$

$$ic := y(1) = 0 :$$

```
del := dsolve({ode, ic}, numeric, method
= classical[rk4], output = array([1, 1.2,
1.4, 1.6, 1.8, 2.0]))
```

```
del := 

|     | $[x \ y(x)]$         |
|-----|----------------------|
| 1.  | 0.                   |
| 1.2 | 0.287999999819480212 |
| 1.4 | 0.783999999579908624 |
| 1.6 | 1.53599999927070474  |
| 1.8 | 2.59199999888095878  |
| 2.0 | 3.99999999839977916  |


```

# Шаг 0.05

```
de3 := dsolve( {ode, ic}, numeric, method
= classical[rk4], output = array( [1., 1.05,
1.1, 1.15, 1.2, 1.25, 1.3, 1.35, 1.4, 1.45, 1.5,
1.55, 1.6, 1.65, 1.7, 1.75, 1.8, 1.85, 1.9, 1.95,
2.0] ));
```

```
> pf := plot(phi(x), x = 1 .. 2, color = blue);
```

```
> a1 := odeplot(de1, 1 .. 2, style = point,
symbolsize = 20);
```

```
> a2 := odeplot(de2, 1 .. 2, style = point,
symbolsize = 20);
```

```
> a3 := odeplot(de3, 1 .. 2, style = point,
symbolsize = 20);
```

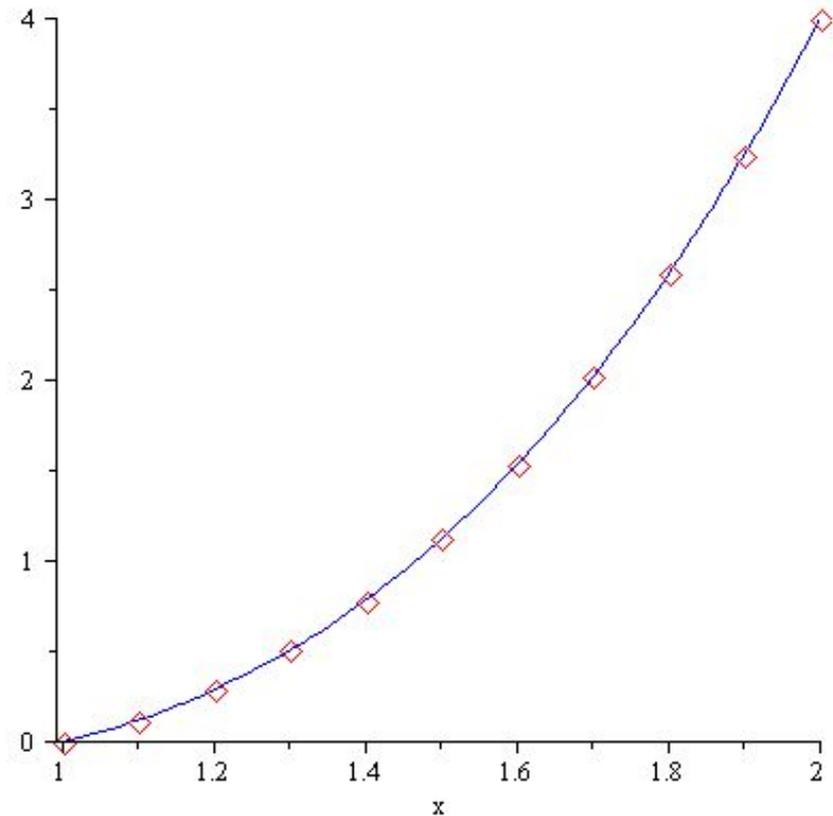
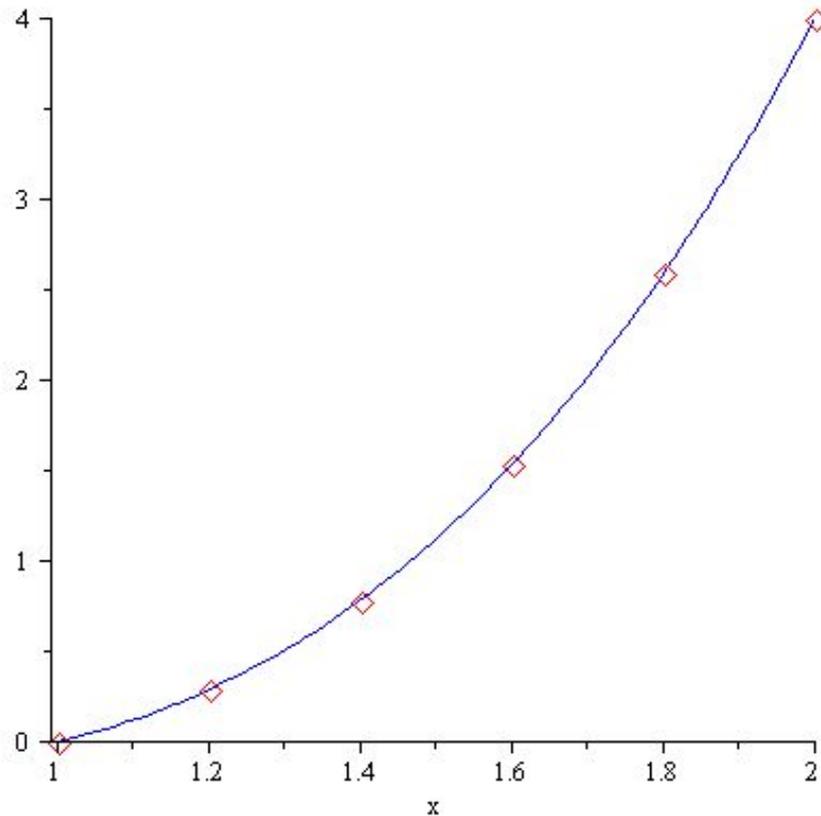
```
> display(pf, a1);
```

```
de3 :=
```

[ x y(x) ]	
1.	0.
1.05	0.0551249999598675475
1.1	0.120999999916498055
1.15	0.198374999869752128
1.2	0.287999999819480212
1.25	0.390624999765524283
1.3	0.506999999707721582
1.35	0.637874999645906106
1.4	0.783999999579908624
1.45	0.946124999509560638
1.5	1.12499999943469154
1.55	1.32137499935512981
1.6	1.53599999927070474
1.65	1.76962499918124494
1.7	2.02299999908658101
1.75	2.29687499898654224
1.8	2.59199999888095878
1.85	2.90912499876965969
1.9	3.24899999865247492
1.95	3.61237499852923793
2.0	3.99999999839977916

# Нахождение функции с шагом 0.2 и 0.4

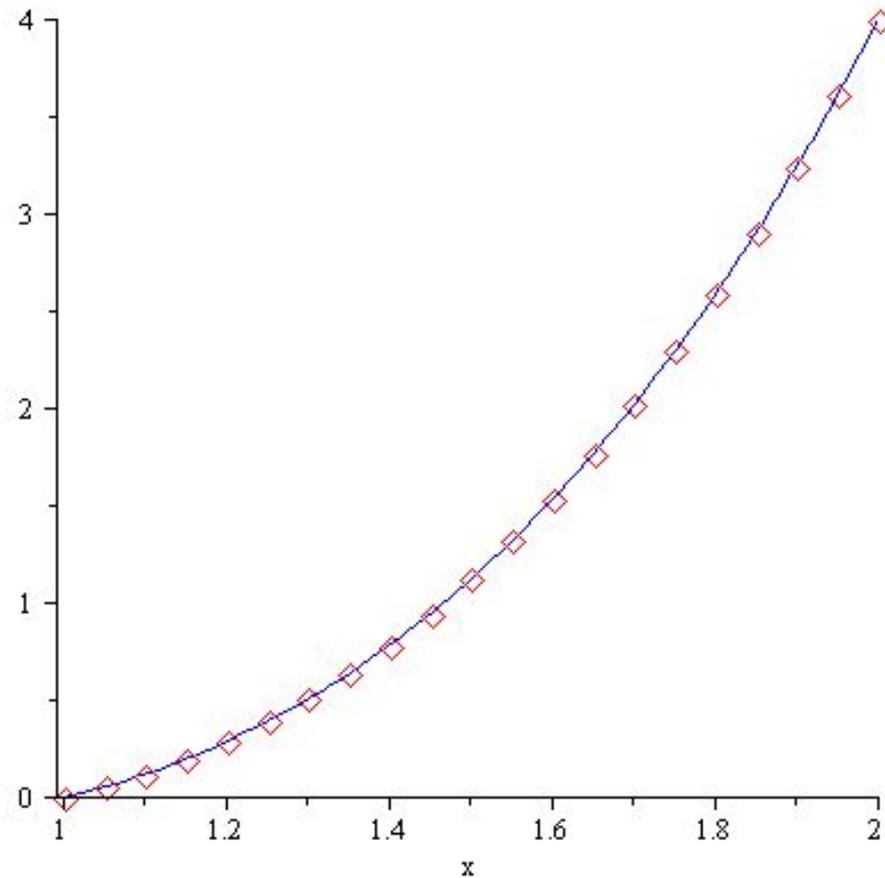
```
display(pf, a2);
```



# Численное решение ДУ методом РК с шагом 0.02

---

```
display(pf, a3);
```



# Решение ДУ второго порядка методом РК4 сведением к системе двух уравнений первого порядка

---

> ode := x^2\*(diff(y(x), 'x')(x, 2))-6\*y(x);

> ic := y(1) = 1, (D(y))(1) = 3;

$$\begin{aligned} \underline{\geq} c := & \left[ \left[ YP_1 = p_2, YP_2 = \frac{6p_1}{x^2} \right], \left[ p_1 = y(x), p_2 \right. \right. \\ & \left. \left. = \frac{d}{dx} y(x) \right], 1, [1, 3] \right] \end{aligned}$$

□ p1 := proc (x) options operator, arrow; y(x) end proc; p2 := proc (x) options operator, arrow; (D(y))(x) end proc;

□ > sys := diff(p1(x), x) = p2(x), diff(p2(x), x) = 6\*p1(x)/x^2;

□ > icp := p1(1) = 1, p2(1) = 3;

□ > x1[0] := a; for i from 0 to n1-1 do x1[i+1] := x1[i]+h1 end do;

*des1 := dsolve( {sys, icp}, numeric, method  
= classical[rk4], output = array( [1, 1.2,  
1.4, 1.6, 1.8, 2. ] ) );#*

# Решение неоднородного ДУ второго порядка методом РК4

---

```
eulersols(ode, y(x));
```

$$\left[ x^3, \frac{1}{x^2} \right]$$

```
□ f := proc (x) options operator, arrow; exp(-3*x)*cos(x) end proc;
```

```
□ > a1 := 2; a2 := 0; a := (1/2)*Pi;
```

```
□ > ode := diff(y(x), `$(x, 2)) + a1*(diff(y(x), x)) + a2*y(x);
```

```
□ > ic := y(a) = 0, (D(y))(a) = 0;
```

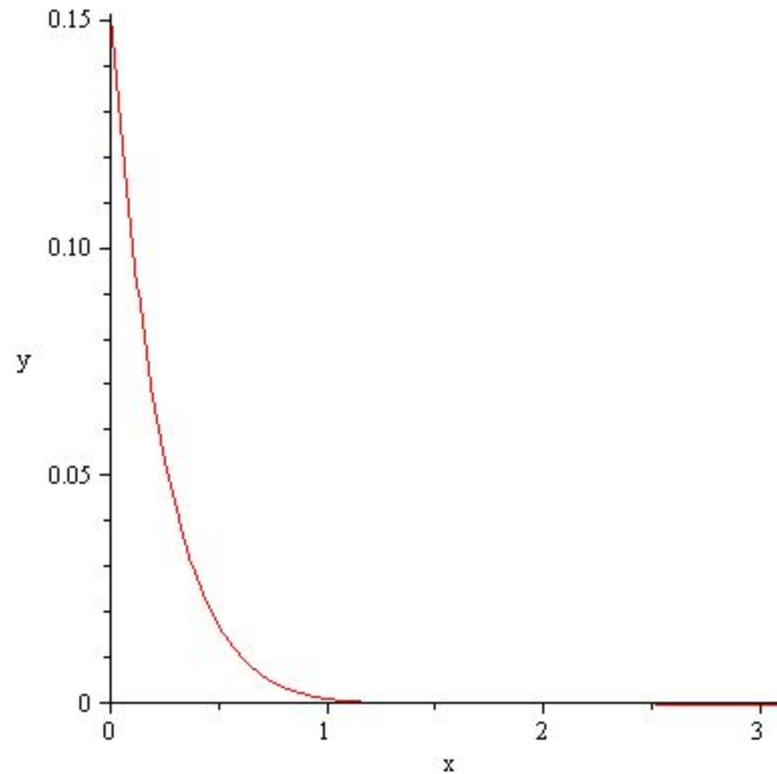
```
de := dsolve(ode, y(x));
```

$$de := y(x) = \_C1 + \_C2 e^{(-2x)}$$

# Решение ДУ, графическое представление

---

```
> den := dsolve({ic, ode = f(x)}, y(x), numeric);  
> odeplot(den, 0 .. Pi);
```



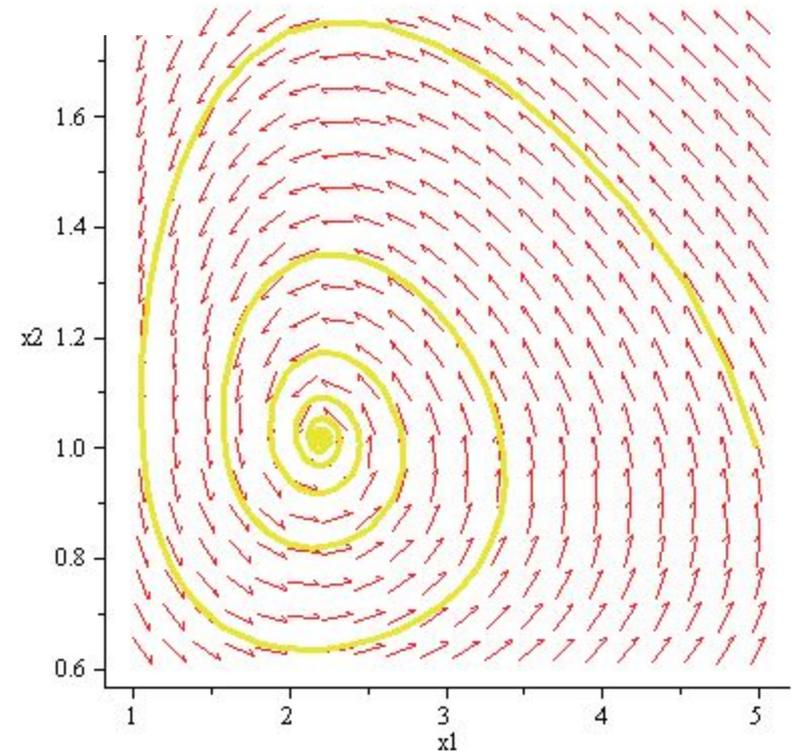
# Решение системы ДУ первого порядка. Режимы эволюции мод

---

```
□ restart;> ode1 := diff(x1(t), t) = (a-b*x2(t))*x1(t)-alpha*x1(t)^2;  
□ > ode2 := diff(x2(t), t) = (-c+d*x1(t))*x2(t)-alpha*x2(t)^2;  
□ > a := 4; b := 3.5; c := 2; d := 1; alpha := .2;  
□ > ic := x1(0) = 3, x2(0) = 1;  
□ > de := dsolve({ic, ode1, ode2}, {x1(t), x2(t)}, numeric);> with(plots);
```

# Фазовый портрет системы

```
with(DEtools) :  
phaseportrait([ode1, ode2], [x1(t), x2(t)], t  
= 0 ..20, [[x1(0) = 5, x2(0) = 1]], stepsize  
= 0.05)
```



# Решение уравнения второго порядка в пакете Maple v.12

---

```
> Eq := x*((D@@2)(y))(x)-(x+1)*(D(y))(x)-(2*(x-1))*y(x) = 0;  
      x*((D@@2)(y))(x)-(x+1)*(D(y))(x)-(2*(x-1))*y(x) = 0  
> Orcon := y(1) = exp(2), (D(y))(1) = 2*exp(2);  
      y(1) = exp(2), D(y)(1) = 2 exp(2)  
> dsolve({Eq, Orcon}, y(x));  
      y(x) = exp(2 x)
```