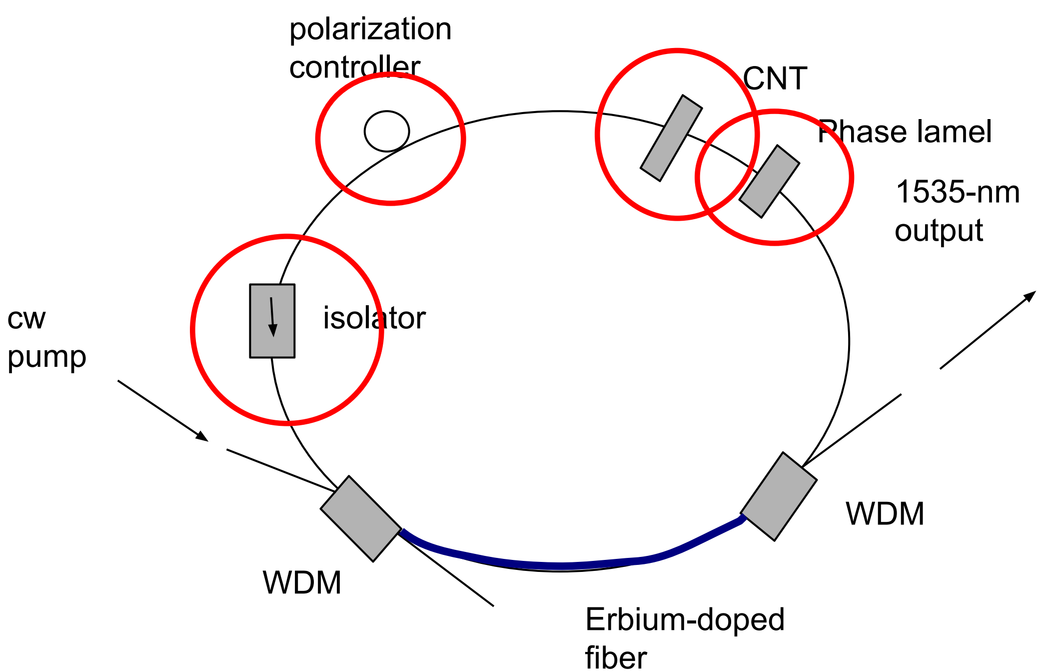
# Моделирование поляризационной неустойчивости в эрбиевых волоконных лазерах

*Институт вычислительных технологий СО РАН*
*Новосибирский государственный университет*
*Юшко О.В.*
*Научный руководитель: Федорук М.П.*

# Основные элементы экспериментальной установки




Основными элементами кольцевого резонатора являются:

**Изолятор** – контроль за направлением распрост-ранения волны,
**Контроллер поляризации** – контроль за эффектом двулучепреломления,
**Фазовая пластина** - для пассивной синхронизации мод (суммарная мощность максимальна),
**CNT** – пластина, с нанесенным слоем углеро-дных нанотрубок, создает эффект насыщающегося поглотителя.

# Математическая модель

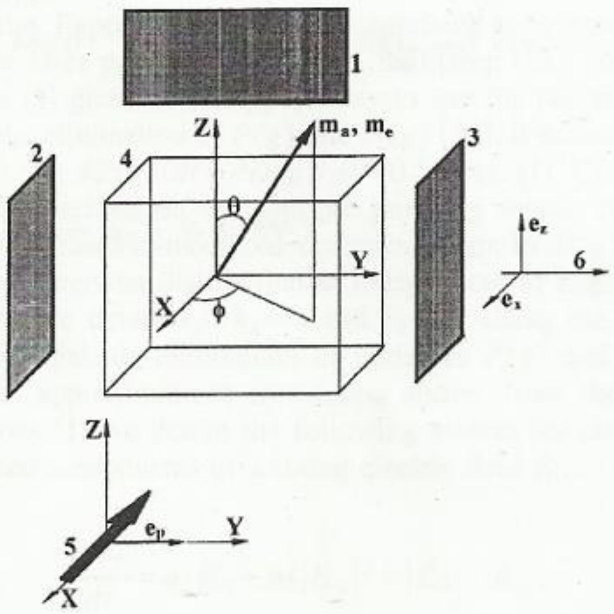



FIG. 1. Scheme of the ring cavity dye laser with linearly polarized pumping. 1, 2, and 3 show the cavity mirrors, 4 the dye cell, 5 the pumping radiation, and 6 the output emission.

В основе математической модели лежат уравнения Максвелла, нормированные на время обхода волны резонатора.


*

1.Eammanuel Desurvire «Erbium Doped Fiber Amplifiers»

2.S.V. Sergeev «Spontaneous light-polarization symmetry breaking for an anisotropic ring-cavity die laser» », Physical Rewiew a, vol.59, 1999.

3.H. Zeghlache, A. Boulnois «Polarization instability in lasers. I. Model and steady states of noedymium-doped fiber lasers», Physical Rewiew A, vol.52, 1995;

# Математическая модель. Допущения.

Переход от модели Nd – лазера или лазера на красителях к модели легированного Er лазера возможен благодаря:

1. Аналогичной 4 – х уровневой системы возбужденных состояний атома Er;

2. Записи уравнений поля, учитывающей только общие эффекты (такие эффекты как, например, броуновское движение молекул в красителе, вводятся в систему позже в виде дополнительных членов);

3. Записи уравнений для эволюции поля, позволяющей не учитывать специфичность резонатора на красителях (пространственное распределение компонент поля).

# Математическая модель. Уравнения поляризационной динамики*.

**Т** – моделирование контроллера поляризации

$$\frac{d\mathbf{E}}{dt} = \left(\mathbf{D} + \ln(\mathbf{T}) - \alpha_4 \mathbf{I}\right)\left(\mathbf{E} + \delta \mathbf{u}\right)$$

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix}, \quad \mathbf{D} = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{yx} & D_{yy} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T} = \begin{bmatrix} A+iB & C+iD \\ -C+iD & A-iB \end{bmatrix}, \quad \mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \ldots \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u} = \begin{bmatrix} 1 \\ \ldots \end{bmatrix}$$

Распределение дипольных моментов

$$\frac{dn(\theta)}{dt} = \varepsilon\left(\left(\mathbf{m}_a \mathbf{e}_p\right)^2 \left(1 - n(\theta)\right) I_p - n(\theta) - \left(\beta n(\theta) - 1\right) R(\theta)\right),$$

$$D_{xx} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \left(\cos(\theta)\right)^2 \left[\alpha_1\left(\beta n(\theta) - 1\right) - \frac{\alpha_2}{1 + \alpha_3 R(\theta)}\right] d\theta,$$

$$D_{yy} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \left(\sin(\theta)\right)^2 \left[\alpha_1\left(\beta n(\theta) - 1\right) - \frac{\alpha_2}{1 + \alpha_3 R(\theta)}\right] d\theta,$$

$$D_{yx} = D_{xy} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \cos(\theta)\sin(\theta) \left[\alpha_1\left(\beta n(\theta) - 1\right) - \frac{\alpha_2}{1 + \alpha_3 R(\theta)}\right] d\theta,$$

Влияние поляризационных эффектов

$$R(\theta) = \cos^2(\theta) E_x E_x^* + \sin^2(\theta) E_y E_y^* + \cos(\theta)\sin(\theta)\left(E_x E_y^* + E_y E_x^*\right),$$

$$A = -\cos(\psi_1)\cos(\psi_2), \quad B = -\sin(\psi_3)\sin(\psi_1),$$

$$C = -\cos(\psi_1)\sin(\psi_2), \quad D = -\sin(\psi_1)\cos(\psi_3).$$

*получена Сергеем Сергеевым

# Эффекты поляризационной динамики

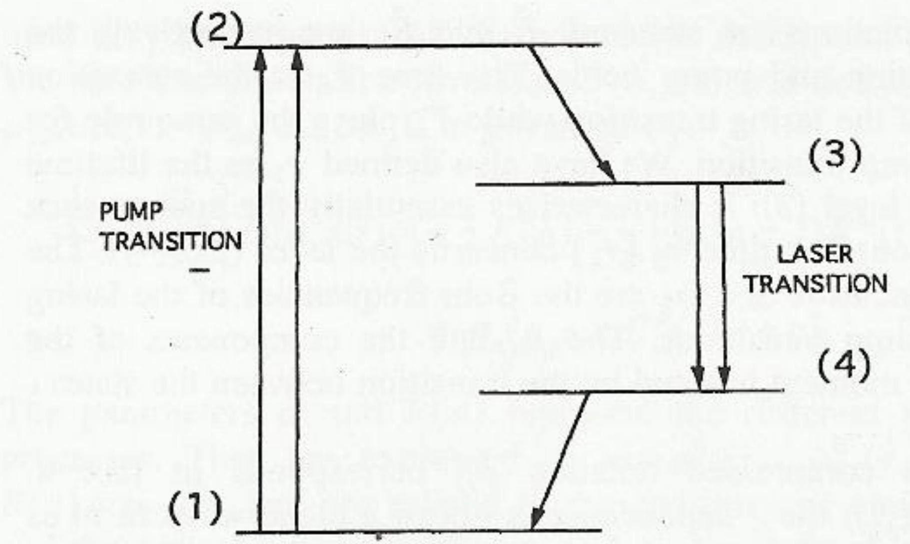



FIG. 2. The diagram which represents the four-level $Nd^{3+}$ dopant atoms. The transitions from levels (2) and (4) are radiative.

-  Спонтанное нарушение поляризации
-  Поляризационный выжиг дыр

# Используемые параметры:

$\alpha_1 = 800/\ln(10)$ - нормированное усиление для Er
$\alpha_2 = 0.136$ - поглощение сигнала в нанотрубках
$\alpha_3 = 0.001$ - $P_{sat}/P_{Er}$
$\boxed{\alpha_4} = 50/\ln(10)$ - нормированные потери в резонаторе

$\beta = 5/3$ - $(\sigma_{em} - \sigma_{abs})/\sigma_{abs}$
$(m_a e_p)^2 = 0.5$ - циркулярно поляризованная накачка
$I_p = 50$ - мощность накачки

$\boxed{\varepsilon} = 10^{-4}$ - отношение времени обхода резонатора к времени жизни в первом возбужденном состоянии для Er

$\delta = 10^{-4}$ - коэффициент спонтанной эмиссии

$\psi_1 = \pi/2,\ \psi_3 = \pi/4,\ \psi_2 = 0$ - углы фазовых пластин

# Параметры Стокса. Сфера Пункаре.

**Параметры Стокса:**

$$E_{x,y} = E_{0x,y}\cos(-\omega t - Kz + \varphi_{x,y}) = \mathrm{Re}\{E_{0x,y}\exp[i(-\omega t - Kz + \varphi_{x,y})]\}$$

$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2} + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} - 2\frac{E_x E_y}{E_{0x}E_{0y}}\cos\varphi = \sin^2\varphi$$

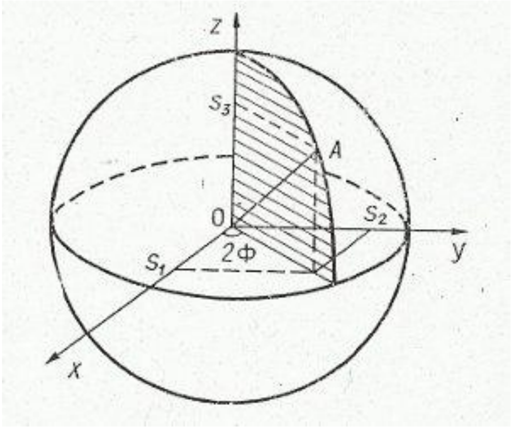
$$s_0 = E_{0x}^2 + E_{0y}^2,$$

$$s_1 = E_{0x}^2 - E_{0y}^2,$$

$$s_2 = 2E_{0x}E_{0y}\cos\varphi$$

$$s_3 = 2E_{0x}E_{0y}\sin\varphi$$

$$s_0^2 = s_1^2 + s_2^2 + s_3^2$$




**Сфера Пуанкаре:**

$$s_1 = s_0\cos 2\xi'\cos 2\Phi,$$

$$s_2 = s_0\cos 2\xi'\sin 2\Phi,$$

$$s_3 = s_0\sin 2\xi'$$

А.П. Войтович «Лазеры с анизотропными резонаторами», Наука и техника, 1988

# Численная Схема.
# Метод Рунге-Кутты для жестких систем*.

Для нелинейной системы вида *y' = f(x, y)*:

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{6}k_1 + \frac{2}{3}k_4 + \frac{1}{6}k_3$$

$$k_1 = hf(y_n),$$

$$k_2 = hf(y_n + \frac{1}{3}k_1),$$

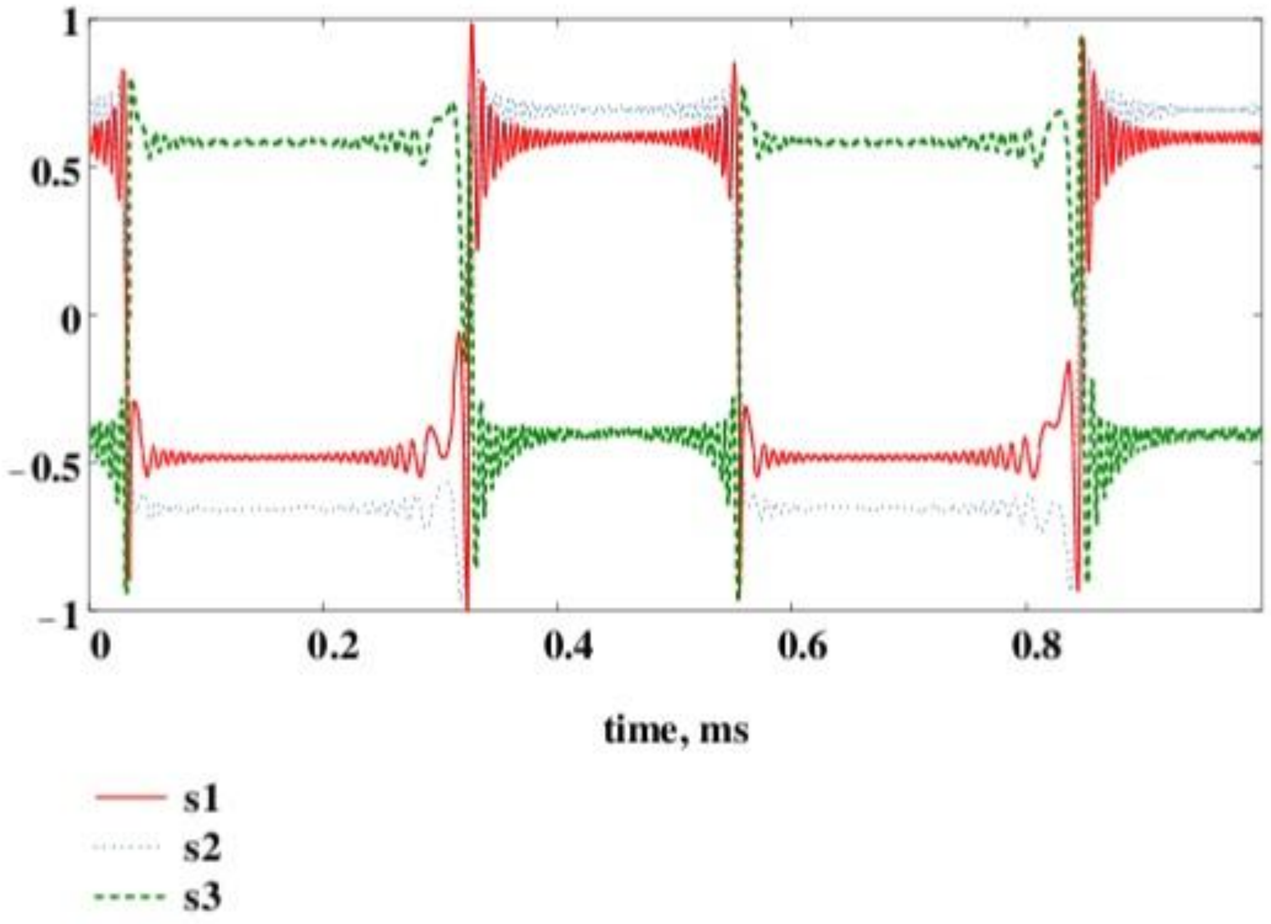
$$k_3 = hf(y_n + \frac{1}{6}k_1 + \frac{1}{6}k_2),$$

$$k_4 = hf(y_n + \frac{1}{8}k_1 + \frac{3}{8}k_3),$$

$$k_5 = hf(y_n + \frac{1}{5}k_1 - \frac{3}{2}k_3 + 2k_4).$$

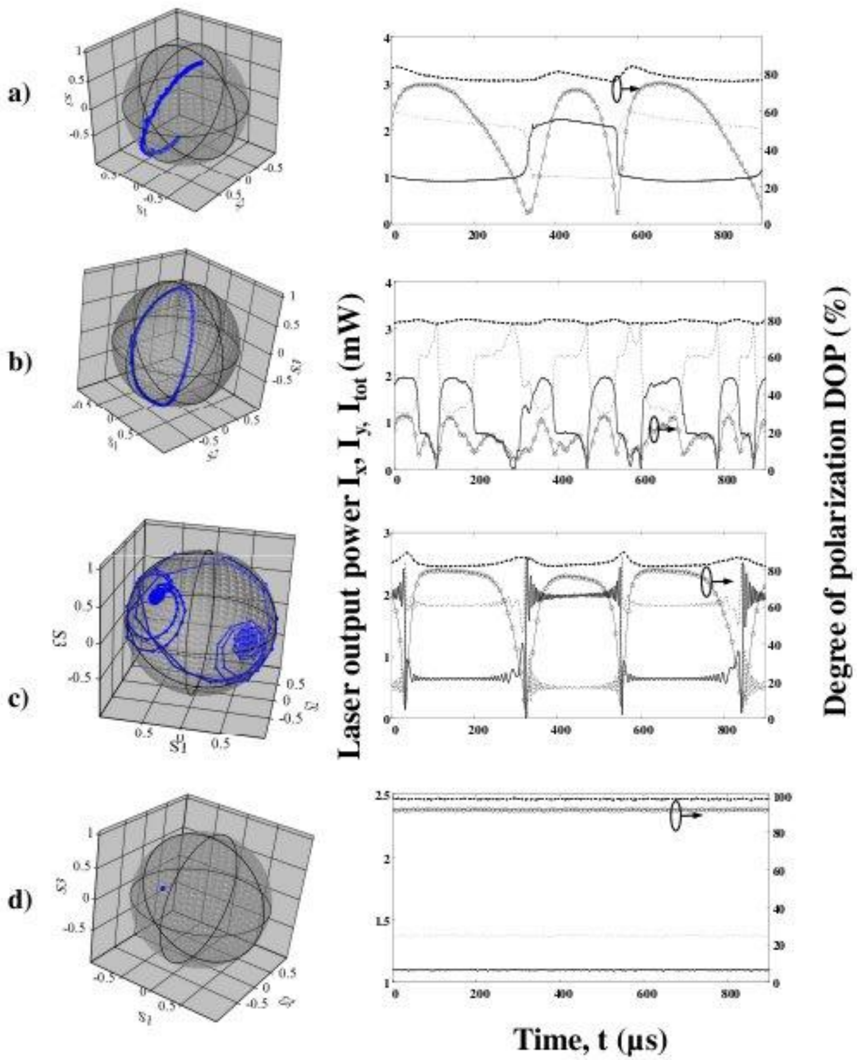
* Е.А. Новиков «Явные методы для жестких систем», «Наука», Сибирское предприятие РАН, 1997

# Результаты эксперимента*.



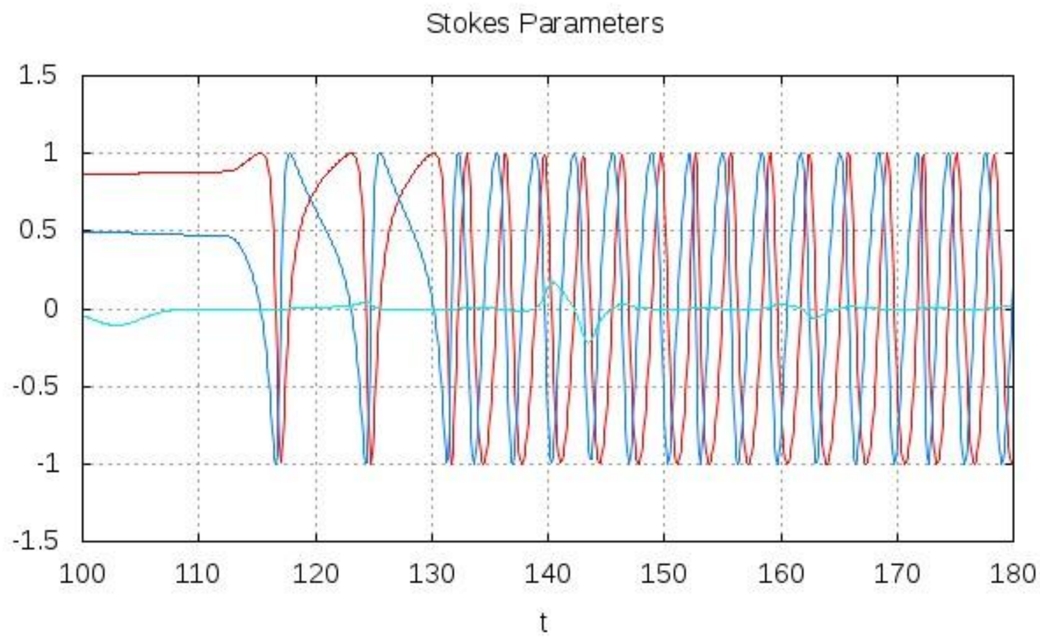

* Авторы: Сергей Турицын, Сергей Сергеев, 2011г

# Результаты эксперимента*.

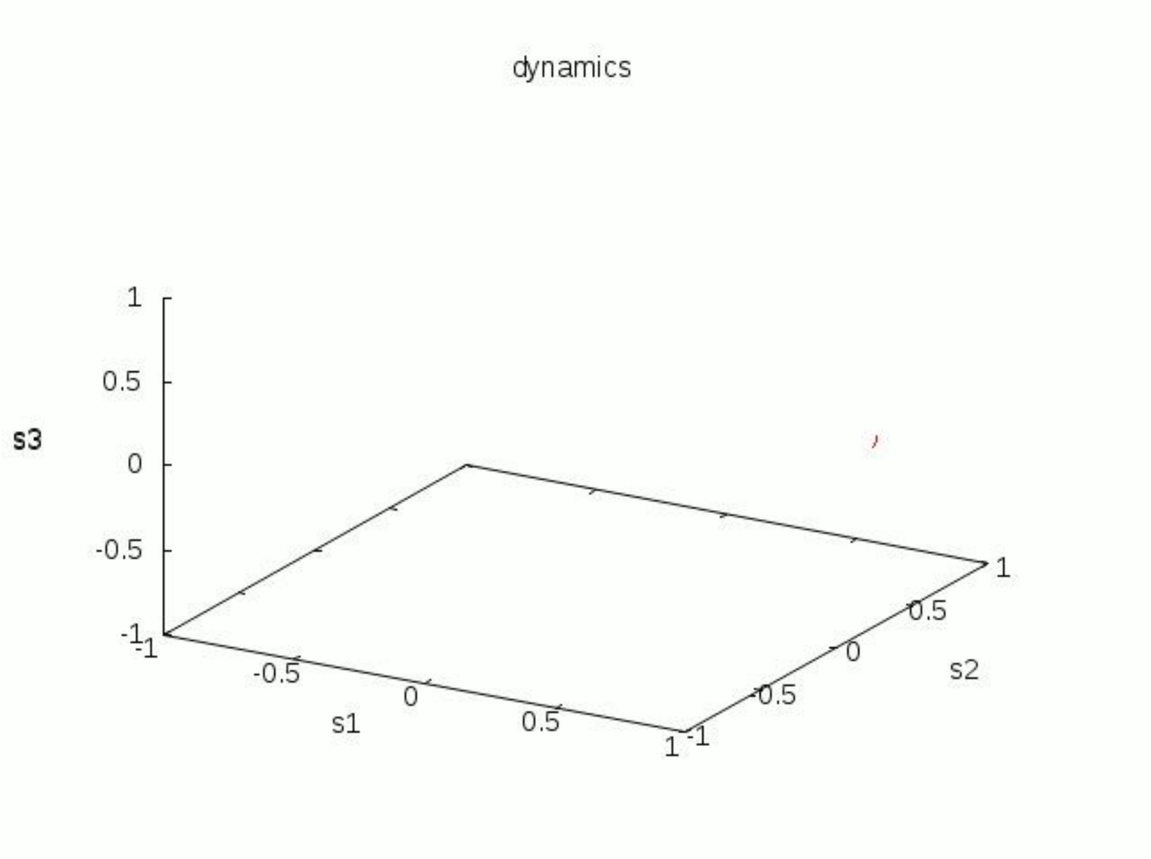



*Авторы: Сергей Турицын,
Сергей Сергеев, 2011г

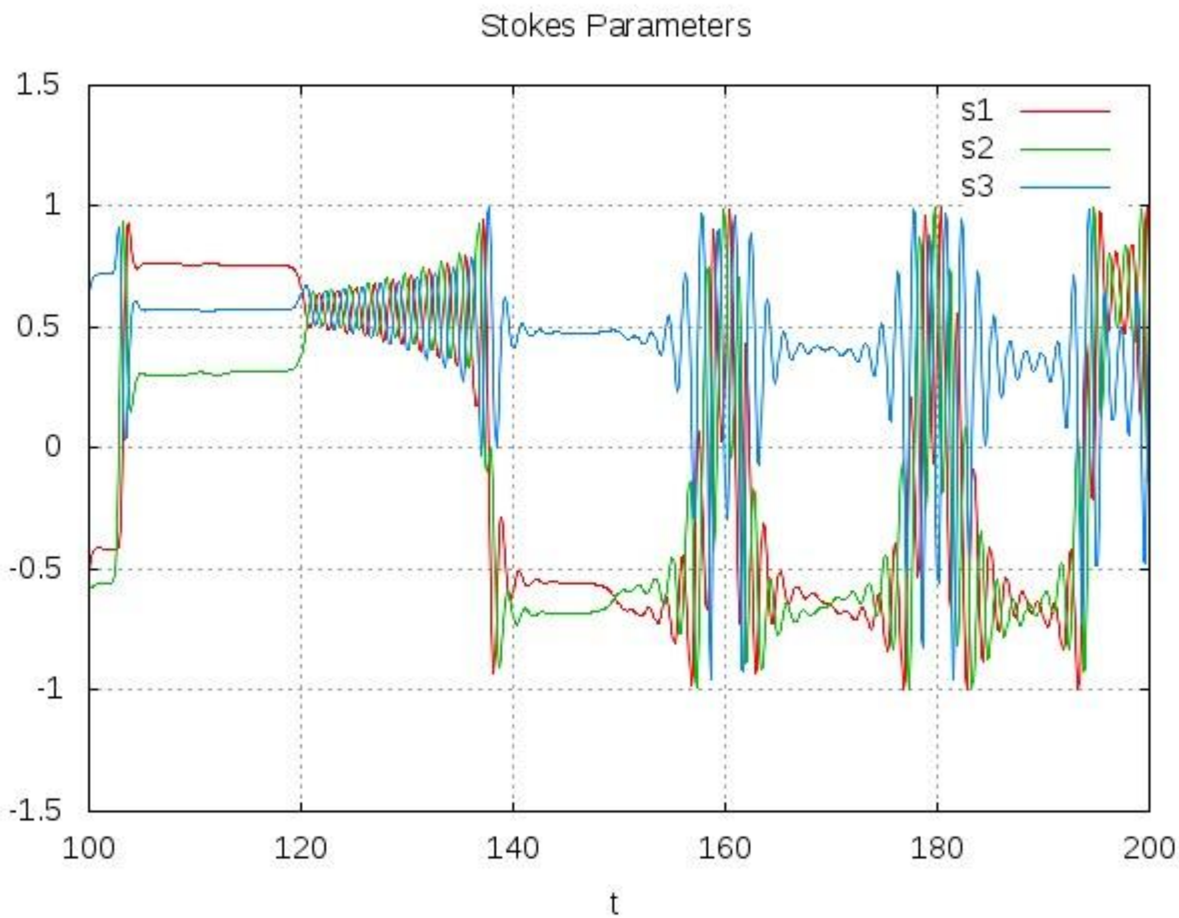
# Результаты численного моделирования. Тестовая задача на автоосцилляции.



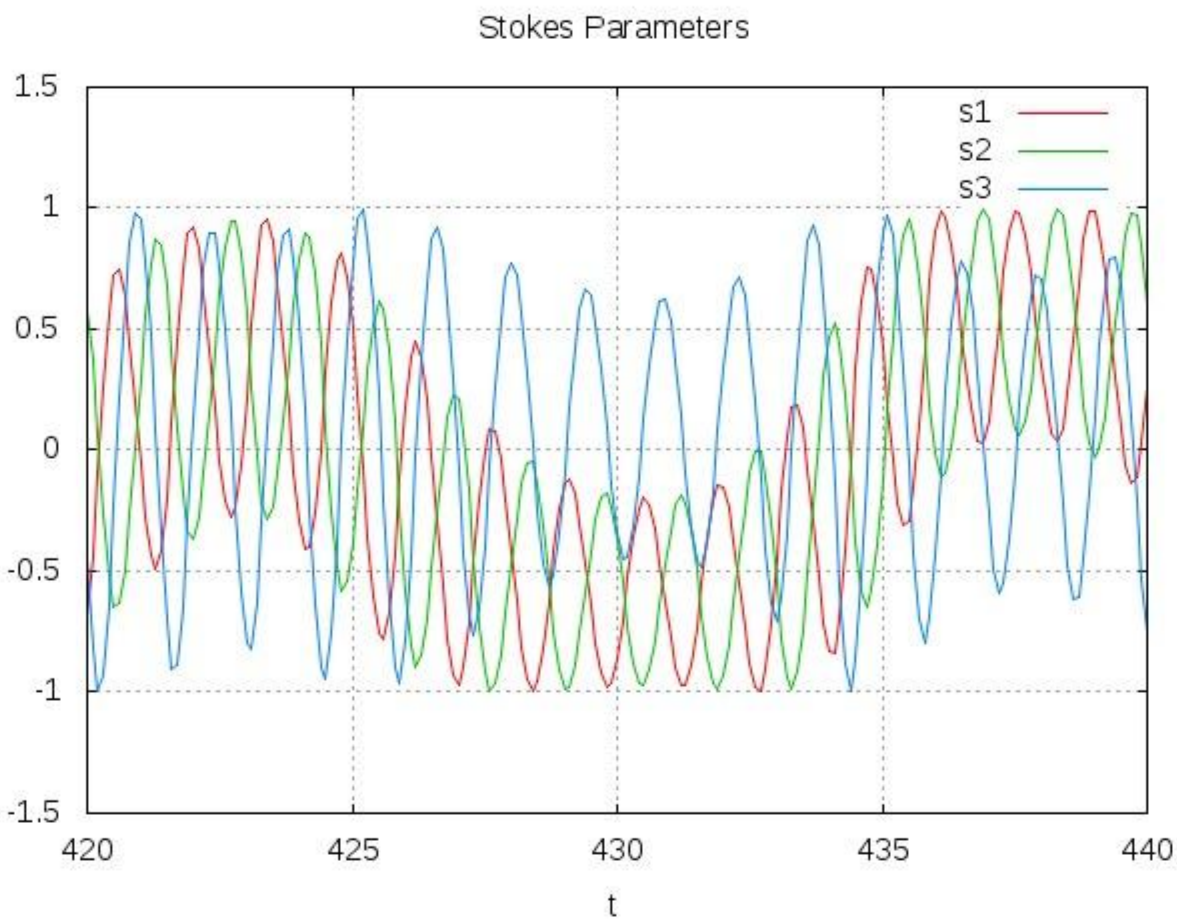
# Результаты численного моделирования. Тестовая задача на автоосцилляции.



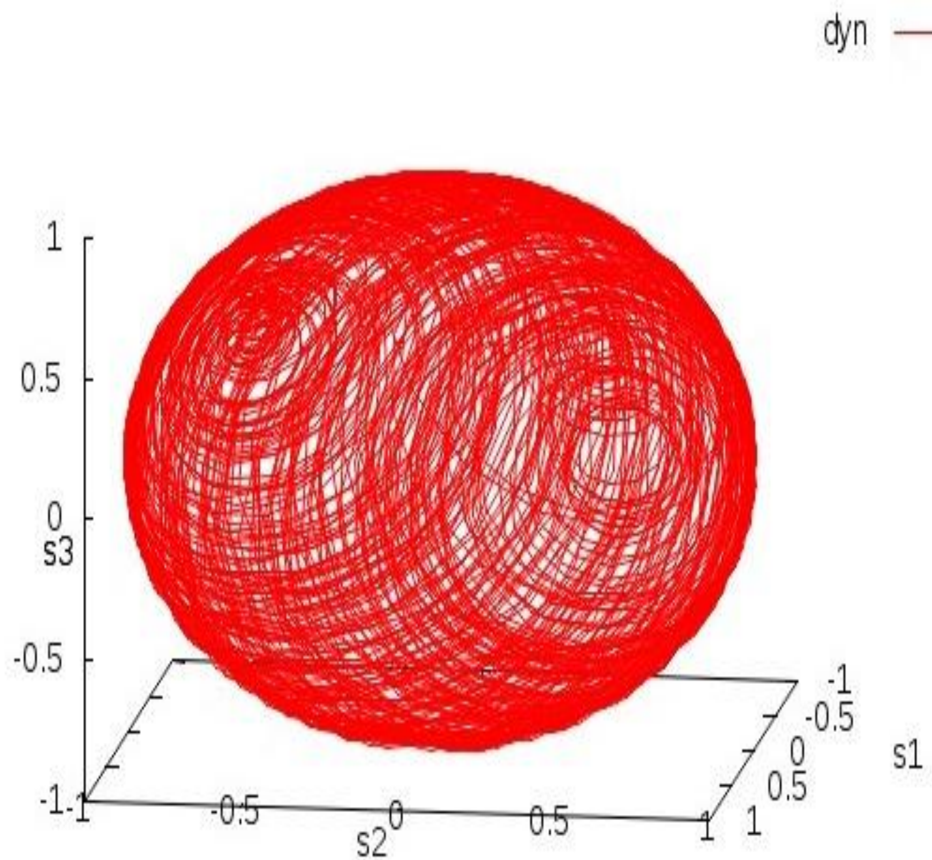
# Результаты численного моделирования.



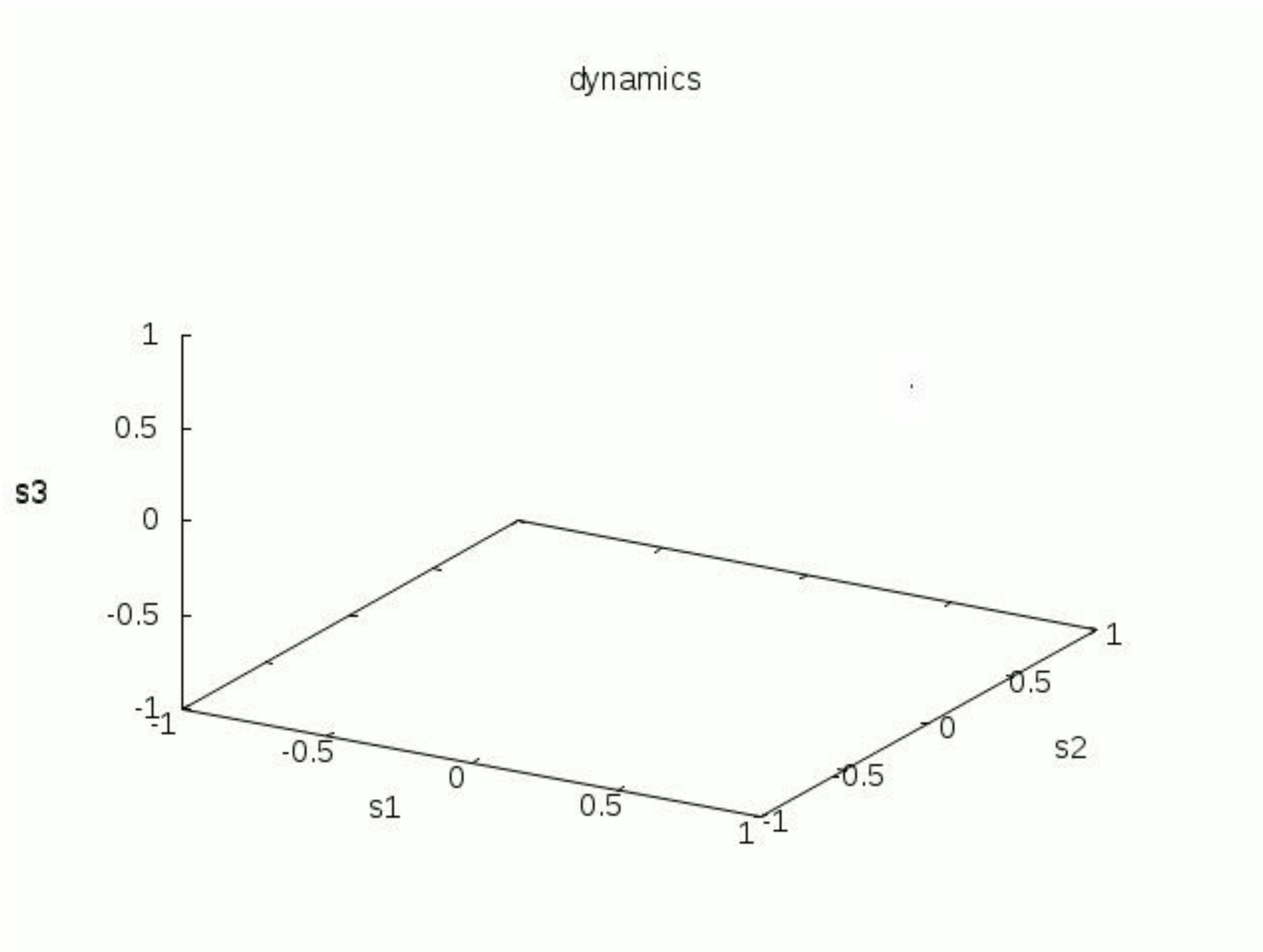
# Результаты численного моделирования.



# Результаты численного моделирования.



# Результаты численного моделирования.



Спасибо за внимание!