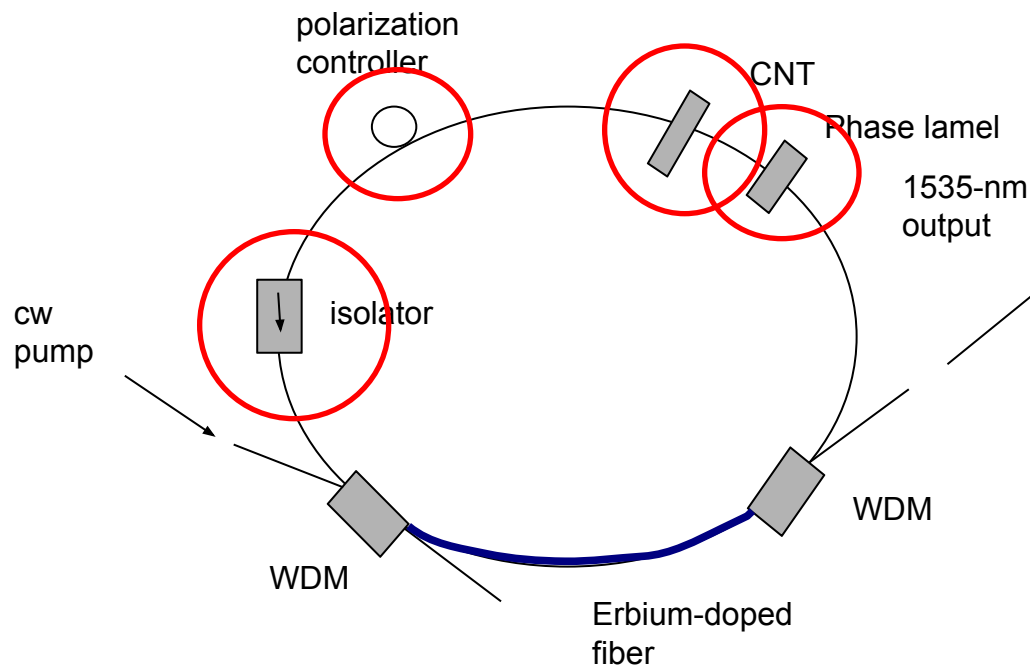


Моделирование поляризионной неустойчивости в эрбиевых волоконных лазерах

*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 распространения волны,
Контроллер поляризации – контроль за эффектом двулучепреломления,
Фазовая пластина - для пассивной синхронизации мод (суммарная мощность максимальна),
CNT – пластина, с нанесенным слоем углерод-ных нанотрубок, создает эффект насыщающегося поглотителя.

Математическая модель

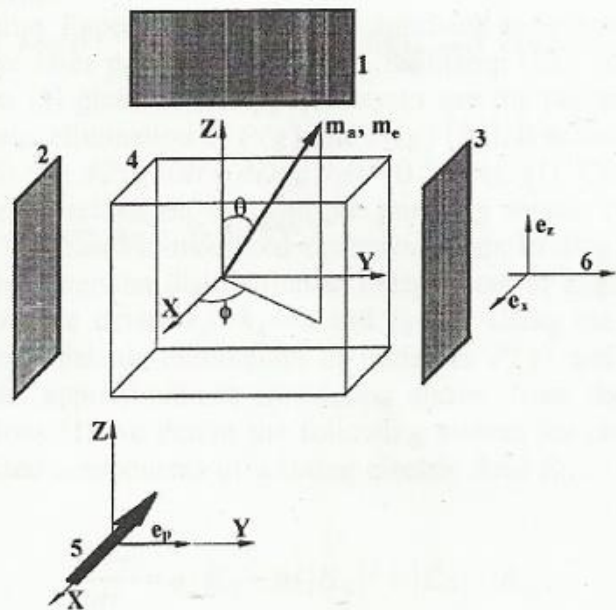


FIG. 1. Scheme of the ring cavity dye laser with linearly polarized pumping. 1, 2, and 3 show the cavity mirrors, 4 the dye cell, 5 the pumping radiation, and 6 the output emission.

*

1. Emmanuel Desurvire «Erbium Doped Fiber Amplifiers»
2. S.V. Sergeev «Spontaneous light-polarization symmetry breaking for an anisotropic ring-cavity die laser»», Physical Review A, vol.59, 1999.
3. H. Zeglache, A. Boulnois «Polarization instability in lasers. I. Model and steady states of neodymium-doped fiber lasers», Physical Review A, vol.52, 1995;

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

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 поляризионной динамики*.

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

T – моделирование
контроллера
поляризации

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

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

Распределение
дипольных моментов

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

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

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

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

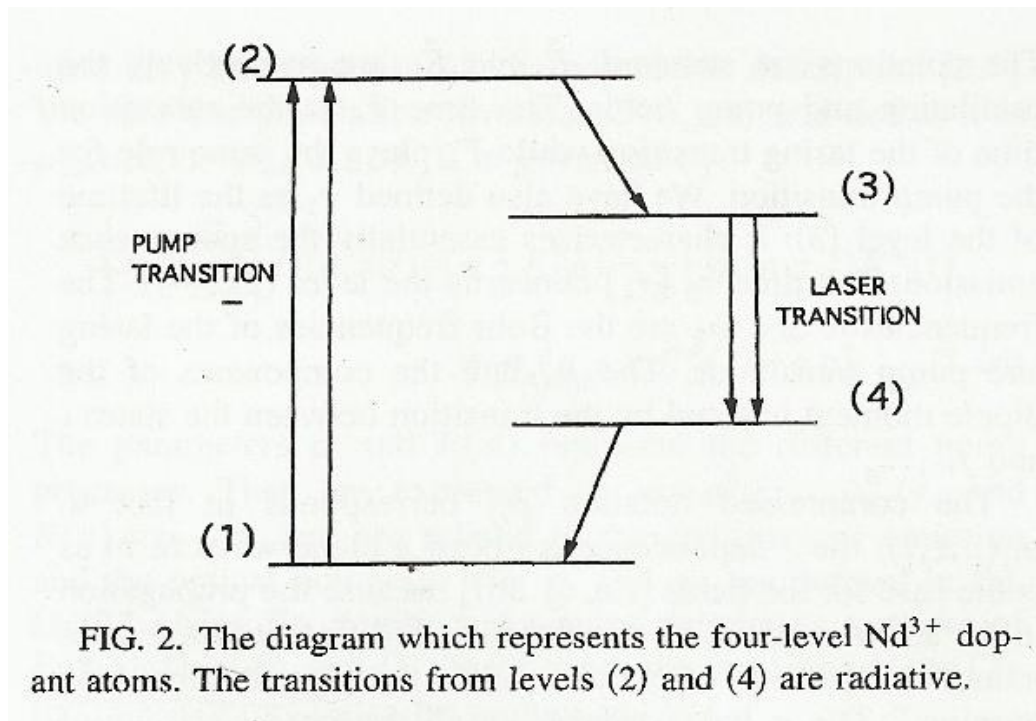
$$A = -\cos(\psi_1) \cos(\psi_2), \quad B = -\sin(\psi_3) \sin(\psi_1),$$

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

Влияние
поляризационных
эффектов

*получена Сергеем Сергеевым

Эффекты поляризационной динамики



- Спонтанное нарушение поляризации
- Поляризационный выжиг дыр

Используемые параметры:

$$\alpha_1 = 800/\ln(10)$$

$$\alpha_2 = 0.136$$

$$\alpha_3 = 0.001$$

$$\alpha_4 = 50/\ln(10)$$

$$\beta = 5/3$$

$$(m_a e_p)^2 = 0.5$$

$$I_p = 50$$

$$\varepsilon = 10^{-4}$$

резонатора

возбужденном

$$\delta = 10^{-4}$$

$$\psi_1 = \pi/2, \psi_3 = \pi/4, \psi_2 = 0$$

- нормированное усиление для E_r
- поглощение сигнала в нанотрубках
- P_{sat}/P_{Er}
- нормированные потери в резонаторе

- $(\sigma_{em} - \sigma_{abs})/\sigma_{abs}$
- циркулярно поляризованная накачка
- мощность накачки

- отношение времени обхода

к времени жизни в первом

состоянии для E_r

- коэффициент спонтанной эмиссии

- углы фазовых пластин

Параметры Стокса. Сфера Пуанкаре.

Параметры Стокса:

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

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

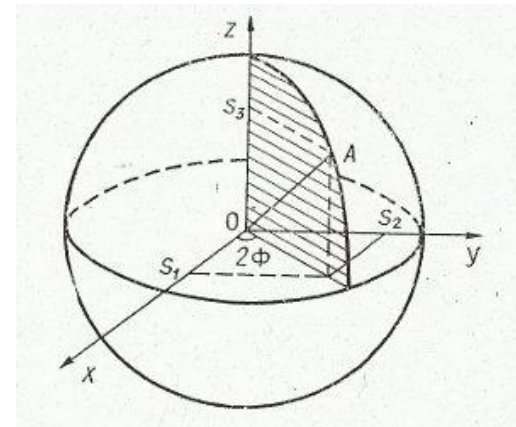
$$s_0 = E_{0x}^2 + E_{0y}^2,$$

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

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

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

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



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 $y' = f(x, y)$:

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

$$k_1 = hf(y_n),$$

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

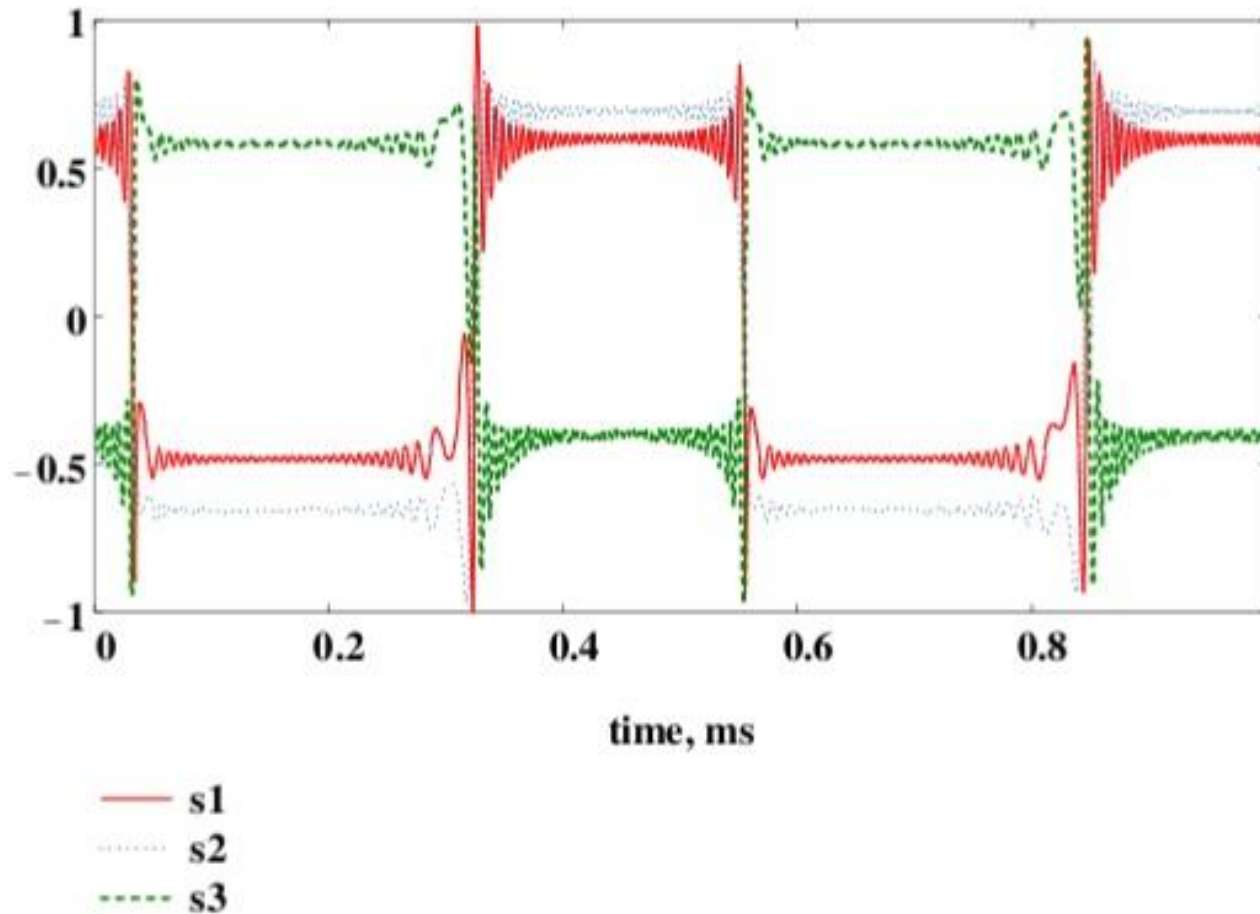
$$k_3 = hf\left(y_n + \frac{1}{6}k_1 + \frac{1}{6}k_2\right),$$

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

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

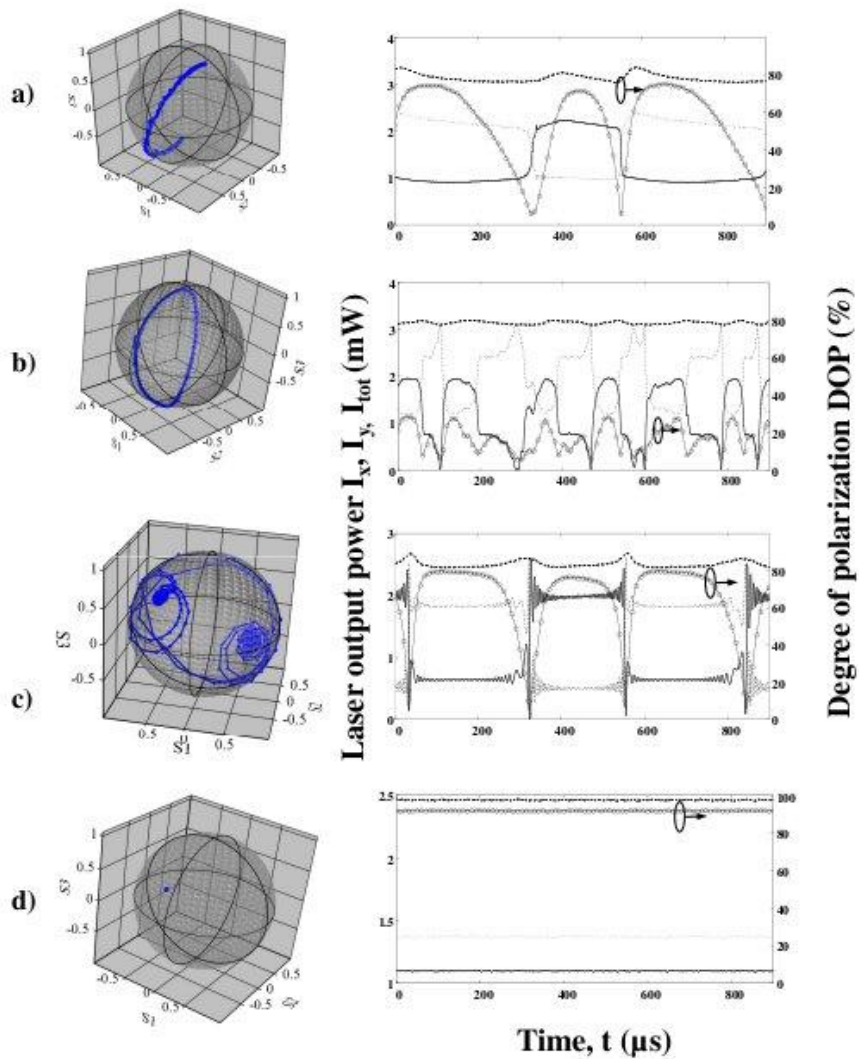
* Е.А. Новиков «Явные методы для жестких систем», «Наука», Сибирское предприятие РАН, 1997

Результаты эксперимента*.



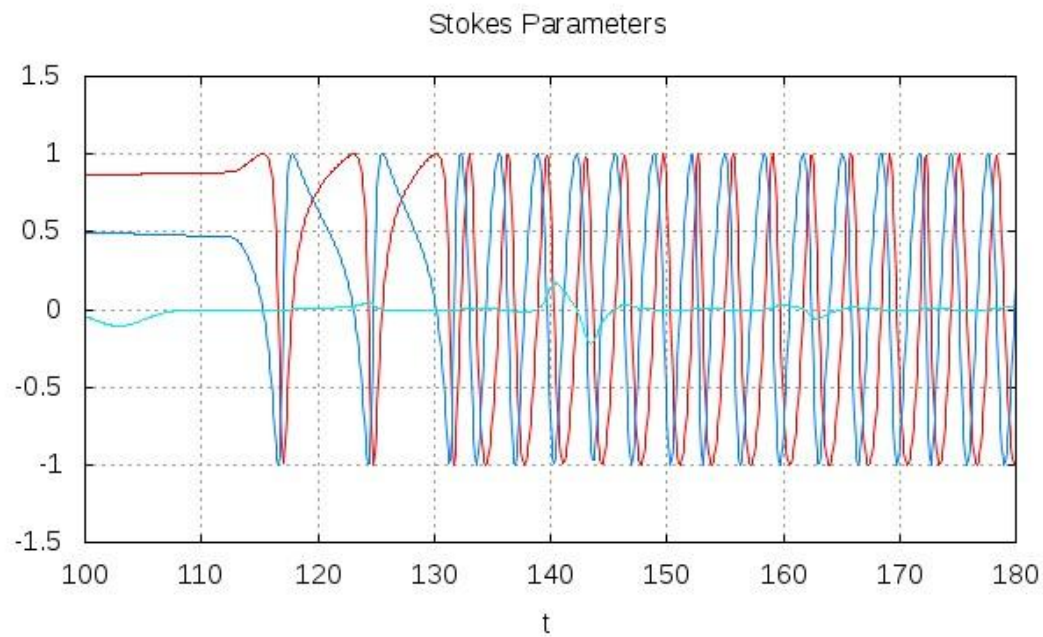
* Авторы: Сергей Турицын, Сергей Сергеев,
2011г

Результаты эксперимента*.

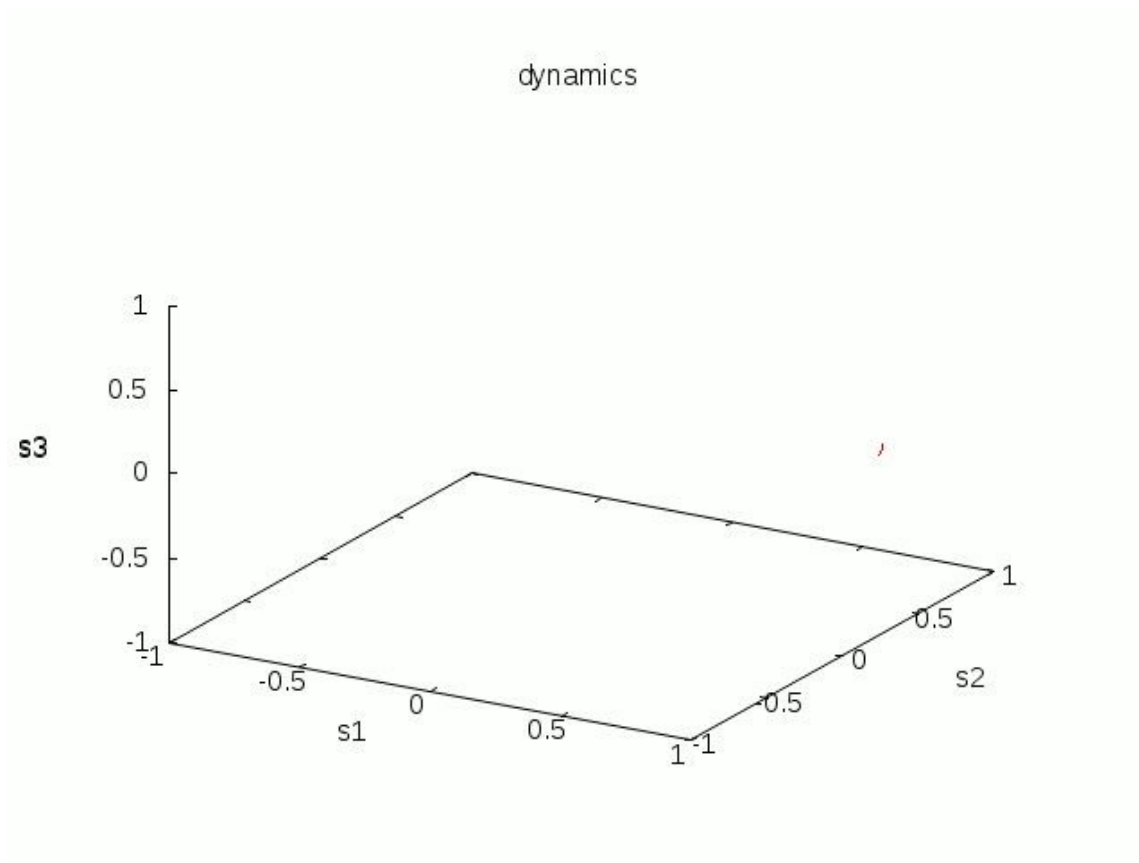


* Авторы: Сергей Турицын,
Сергей Сергеев, 2011г

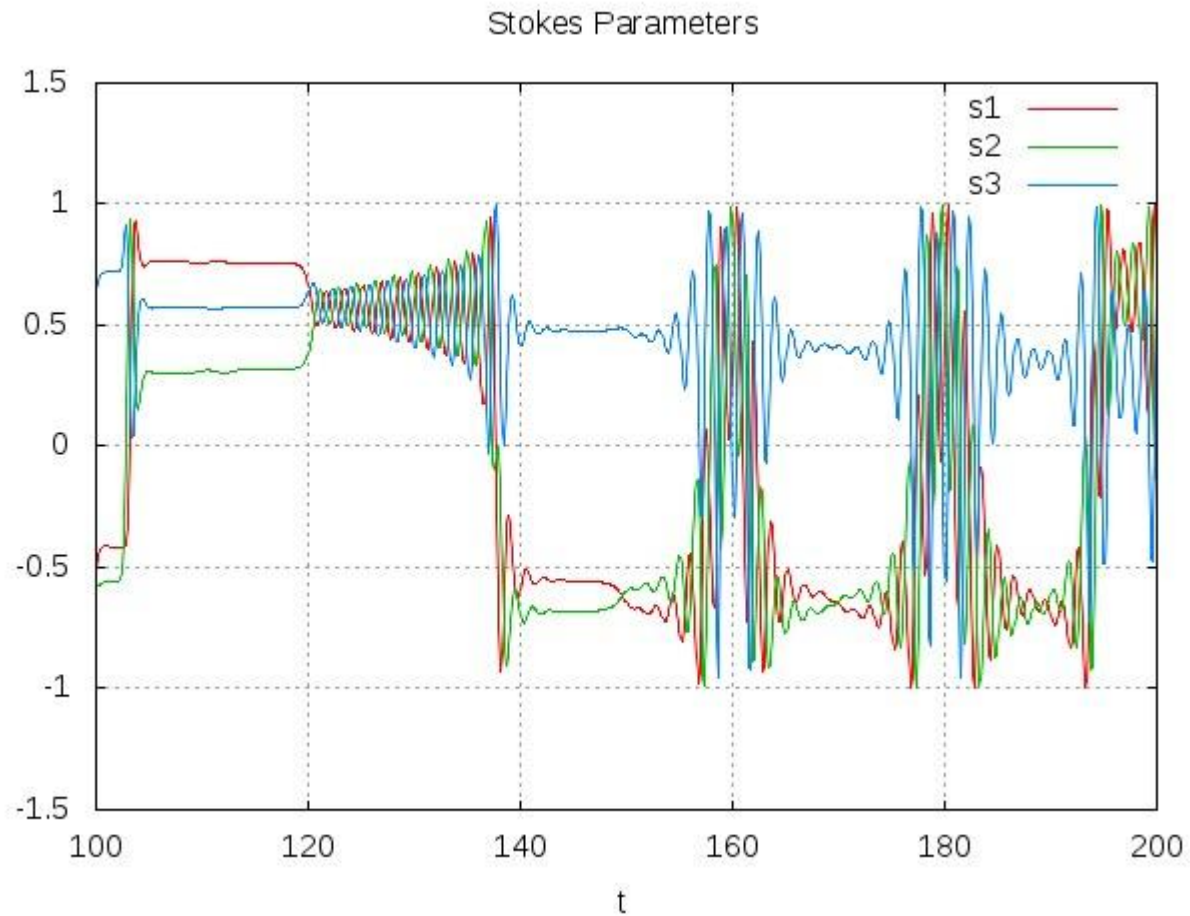
Результаты численного моделирования. Тестовая задача на автоосцилляции.



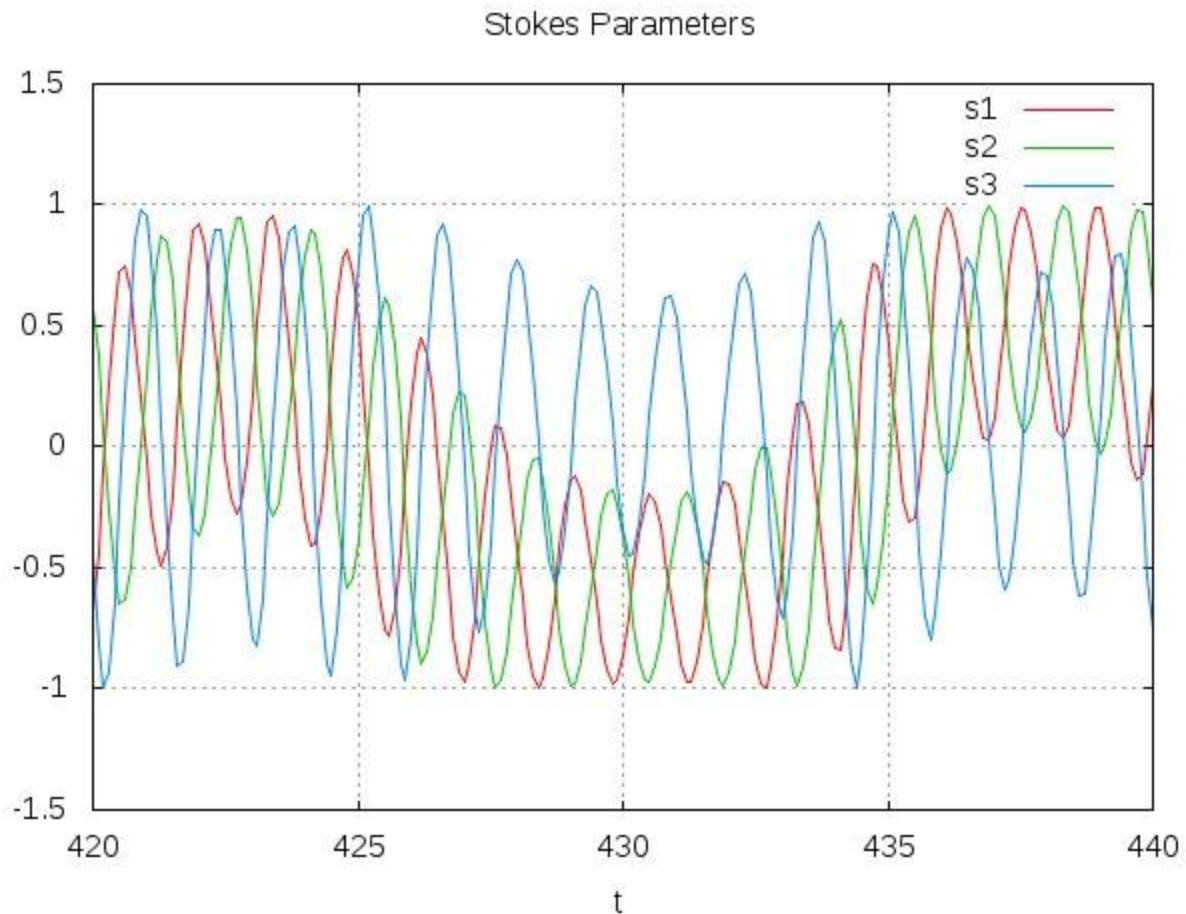
Результаты численного моделирования. Тестовая задача на автоосцилляции.



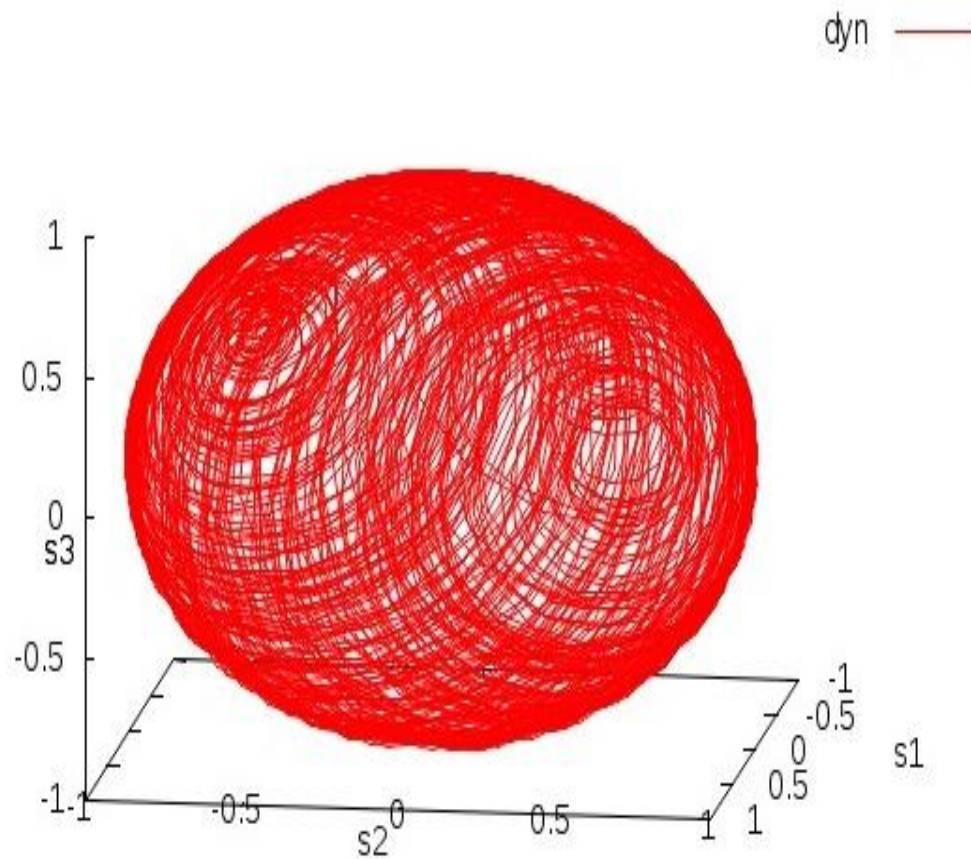
Результаты численного моделирования.



Результаты численного моделирования.

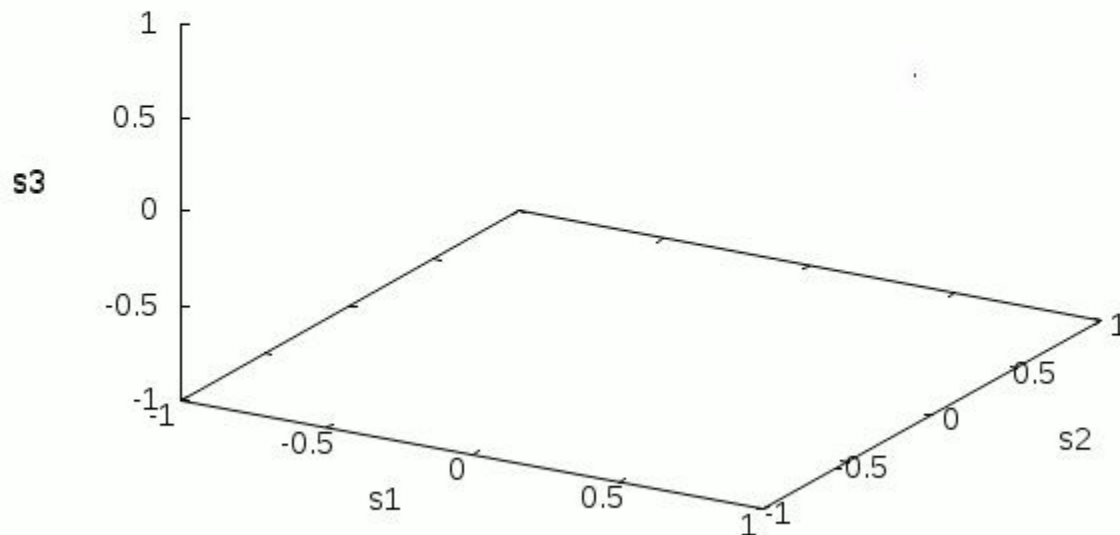


Результаты численного моделирования.



Результаты численного моделирования.

dynamics



Спасибо за внимание!