

# Влияние постоянного магнитного поля на нестационарные режимы генерации твердотельных кольцевых лазеров

Н.В.Кравцов, С.Н.Чекина

*Экспериментально исследовано влияние постоянного магнитного поля на нелинейную динамику излучения кольцевого монолитного чип-лазера на Nd:YAG при модуляции мощности накачки последнего. Установлено, что наложение постоянного магнитного поля на активный элемент твердотельного кольцевого лазера, работающего в нестационарном режиме, приводит к смещению областей существования квазипериодических и хаотических режимов генерации в низкочастотную область модуляции мощности накачки. Кроме того, наложение магнитного поля на активный элемент такого лазера сопровождается возникновением спектральной невязанности.*

**Ключевые слова:** спектральная невязанность, твердотельный кольцевой лазер, магнитооптика, нелинейная динамика, динамический хаос.

## 1. Введение

В настоящее время исследование нестационарных и квазистационарных режимов генерации твердотельных кольцевых лазеров на кристалле Nd:YAG, возникающих при модуляции накачки, привлекает значительное внимание (см., напр., [1–5]). Это связано с тем, что такие исследования позволяют получать не только новую информацию о процессах нелинейного взаимодействия встречных волн в активной среде кольцевых лазеров, но и способствуют разработке новых методов управления выходными характеристиками излучения монолитных кольцевых лазеров.

Монолитный твердотельный кольцевой лазер является высокостабильной нелинейной системой, в которой возможно существование различных стационарных, квазипериодических и хаотических режимов генерации. Переключение этих режимов и управление выходными характеристиками лазера можно осуществлять, модулируя его параметры (мощность накачки, эффективную длину резонатора, коэффициенты связи встречных волн, внутрирезонаторные потери и др.) [6].

Специфика конструкции монолитных чип-лазеров не позволяет использовать для их модуляции управляющие внутрирезонаторные элементы. Одним из наиболее перспективных методов управления режимами генерации таких лазеров, на наш взгляд, является метод, основанный на использовании внешнего магнитного поля. Это, в частности, было продемонстрировано в работе [7], где показано, что постоянное магнитное поле при определенных условиях может стабилизировать хаотические колебания в твердотельных кольцевых лазерах.

Настоящая работа посвящена исследованию особенностей нелинейной динамики излучения монолитных кольцевых Nd:YAG-лазеров с полупроводниковой на-

качкой (кольцевых чип-лазеров), работающих в областях возбуждения квазипериодических и хаотических колебаний, при наложении внешнего постоянного магнитного поля на активный элемент, а также исследованию эволюции границ областей существования различных режимов генерации в зависимости от напряженности магнитного поля.

## 2. Экспериментальная установка

В работе использовалась экспериментальная установка, аналогичная описанной в [7]. Исследовался высокостабильный монолитный кольцевой Nd:YAG-лазер, который в отсутствие внешних воздействий работал в автомодуляционном режиме первого рода. В этом режиме интенсивности встречных волн совершают противофазные синусоидальные колебания, частота которых определяется величиной обратной связи встречных волн через обратное рассеяние (подробнее см. в [8]). Геометрический периметр кольцевого резонатора составлял 2.6 см, а угол неплоскостности резонатора был равен  $85^\circ$ . Накачка лазера осуществлялась полупроводниковым лазерным диодом, блок питания которого позволял плавно изменять мощность накачки и модулировать ее в диапазоне 10–100 кГц. При этом амплитуда модуляции могла достигать 100%. Постоянное магнитное поле создавалось при помощи небольшого электромагнита, расположенного вблизи активного элемента. Величина магнитного поля регулировалась от нуля до 100 Э. Напряженность магнитного поля измерялась по сдвигу частоты автомодуляционных колебаний, возникающему в кольцевом чип-лазере при наложении магнитного поля [8].

Используемая экспериментальная установка давала возможность одновременно регистрировать временные зависимости интенсивностей встречных волн и их спектры. Компьютерная обработка полученных результатов позволяла исследовать эволюцию областей существования различных режимов генерации, а также коэффициентов корреляции интенсивностей ( $K_I$ ) и спектров ( $K_S$ ) излучения встречных волн в различных режимах генерации в зависимости от напряженности магнитного поля.

Н.В.Кравцов, С.Н.Чекина. НИИ ядерной физики им. Д.В.Скобельцына МГУ им. М.В.Ломоносова, Россия, 119992 Москва, Воробьевы горы; e-mail: kravtsov@npi.phys.msu.ru

### 3. Экспериментальные результаты

В отсутствие каких-либо внешних воздействий лазер при превышении мощности накачки над порогом  $\eta < 0.3$  работал в автомодуляционном режиме первого рода. Частота автомодуляционных колебаний в нашем эксперименте составляла 180 кГц, частота релаксационных колебаний при  $\eta = 0.11$  была равна 55 кГц. При модуляции мощности накачки в лазере возбуждался режим динамического хаоса, перемежающийся окнами (областями), в которых существовали различные квазипериодические режимы, исследованные ранее в [6].

В настоящей работе исследовалось влияние внешнего магнитного поля на расположение внутри области динамического хаоса областей существования различных квазипериодических режимов при превышениях мощности накачки над порогом  $\eta = 0.11$  и  $0.22$ . В процессе экспериментов при фиксированных значениях внешнего магнитного поля  $H$  и превышениях пороговой мощности накачки  $\eta$  изменялись частота ( $f_p$ ) и глубина ( $h$ ) модуляции мощности накачки, что позволило перевести лазер в режим динамического хаоса и исследовать эволюцию областей существования различных квазипериодических режимов генерации.

Экспериментальные результаты иллюстрируют рис. 1 и 2, на которых показано взаимное расположение областей существования квазипериодических и хаотических режимов генерации при  $\eta = 0.11$  и  $0.22$  и различных значениях внешнего магнитного поля. Видно, что при включении магнитного поля области существования квазипериодических режимов возникают при более низких частотах модуляции тока накачки  $f_p$ . Действительно, если в отсутствие магнитного поля область существования квазипериодического режима QP-1 (при котором частота пульсаций интенсивности излучения встречных волн совпадает с частотой модуляции накачки [6]) при глубине модуляции накачки  $h = 10\%$ , возникала в случае  $f_p =$

27 – 32 кГц, то при наложении магнитного поля с напряженностью  $H = 61$  Э границы этой области смещались в сторону меньших  $f_p$  (22–26 кГц). Аналогичным образом изменялись границы и других квазипериодических режимов генерации.

Из экспериментальных данных видно (см. рис.1), что увеличение напряженности магнитного поля ведет к уменьшению областей существования некоторых квазипериодических режимов генерации. В частности, из эксперимента следует, что в отсутствие магнитного поля квазипериодический режим QP-3 существует в достаточно широкой полосе частот модуляции 45–55 кГц (см. рис.1,а и б), тогда как при  $H = 61$  Э он наблюдается только в узкой области вблизи 50 кГц (рис.1,з). Было обнаружено, что наложение магнитного поля на активную среду монолитного кольцевого лазера приводит в условиях квазипериодических и хаотических режимов генерации к возникновению значительной спектральной невзаимности встречных волн, величина которой может быть охарактеризована коэффициентом Пирсона [9].

Для регистрации спектральной невзаимности при фиксированных превышениях накачки над порогом ( $\eta = 0.11$  или  $0.22$ ) и фиксированных значениях напряженности магнитного поля  $H = 47$  Э, а также глубины модуляции  $h = 27\%$  регистрировались интенсивности (рис.3) и спектры встречных волн, по которым рассчитывались коэффициенты корреляции Пирсона для интенсивностей и спектров встречных волн  $K_I$  и  $K_S$ .

Приведем в качестве примера характерные значения спектральных коэффициентов корреляции для квазипериодических режимов генерации: при  $\eta_1 = 0.11$  в режиме QP-1  $K_S = 0.89$ , а в режиме QP-2  $K_S = 0.93$ . В промежуточной области динамического хаоса ( $f_p = 29$  кГц)  $K_S = 0.68$ . При  $\eta_2 = 0.22$  в режиме QP-1  $K_S = 0.92$ , а в режиме QP-2  $K_S = 0.90$ . Видно, что при наложении магнитного поля спектральные коэффициенты корреляции могут отличаться от единицы более чем на 10%.

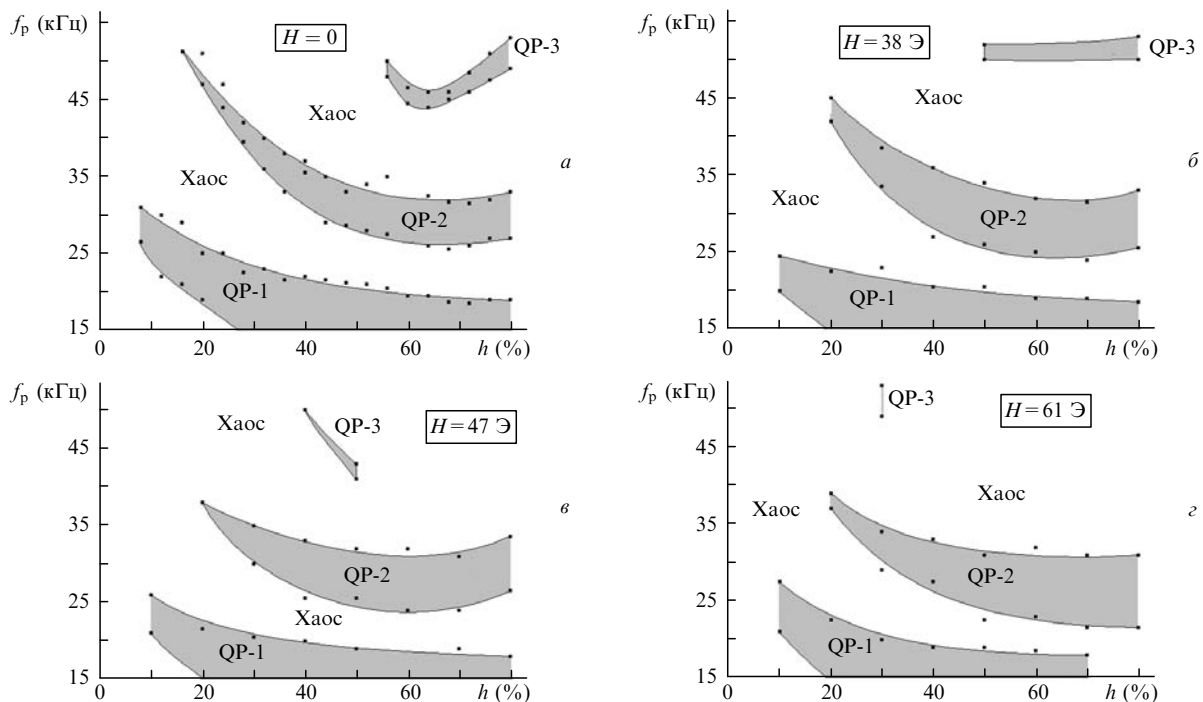


Рис.1. Эволюция областей существования квазипериодических режимов генерации при превышении пороговой мощности накачки  $\eta = 0.11$  в зависимости от напряженности магнитного поля  $H = 0$  (а), 38 Э (б), 47 Э (в) и 61 Э (з).

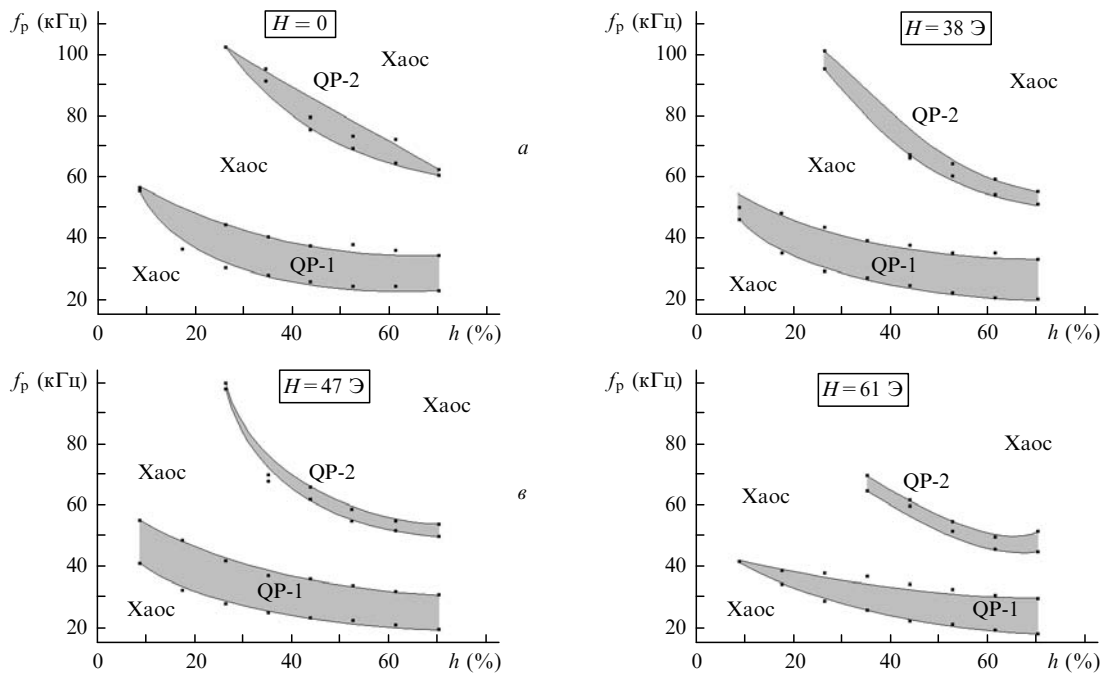


Рис.2. Эволюция областей существования квазипериодических режимов генерации при превышении пороговой мощности накачки  $\eta = 0.22$  в зависимости от напряженности магнитного поля  $H = 0$  (а),  $38 \text{ Э}$  (б),  $47 \text{ Э}$  (в) и  $61 \text{ Э}$  (г).

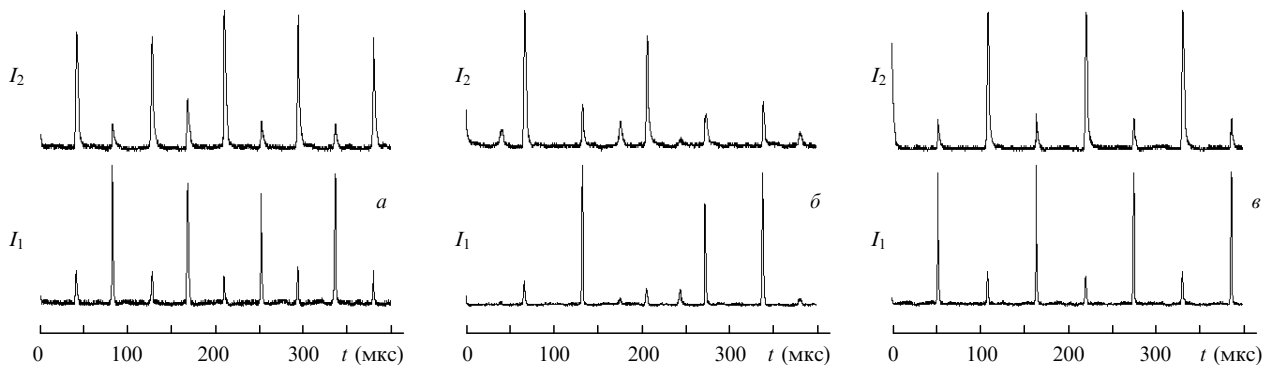


Рис.3. Характерные осциллограммы интенсивностей излучения встречных волн в квазипериодических QP-1 ( $f_p = 22 \text{ кГц}$ ) (а) и QP-2 ( $f_p = 35 \text{ кГц}$ ) (б) режимах, а также в хаотическом режиме генерации ( $f_p = 29 \text{ кГц}$ ) (в) при  $\eta = 0.11$  и  $H = 47 \text{ Э}$ .

Исследования показали, что аналогичные зависимости как поведения границ областей существования различных режимов генерации, так и значений спектральной невзаимности от напряженности магнитного поля сохраняются в достаточно широкой области превышений пороговой мощности накачки (см. рис.1 и 2).

#### 4. Заключение

Таким образом, в настоящей работе экспериментально исследовано влияние постоянного магнитного поля на нелинейную динамику излучения кольцевого монолитного чип-лазера на Nd:YAG в области динамического хаоса, перемежающегося окнами, в которых возбуждаются квазипериодические режимы генерации. Установлено, что наложение постоянного магнитного поля на активный элемент кольцевого лазера приводит к возникновению спектральной невзаимности встречных волн. Продемонстрировано также, что наложение магнитного поля вызывает смещение областей (окон) существования

квазипериодических режимов генерации в более низкочастотную область частот модуляции мощности накачки.

Авторы признательны В.В.Фирсову за помощь при проведении экспериментов.

Работа поддержана РФФИ (грант № 05-02-16008)

1. Кравцов Н., Пашинин П.П., Сидоров С.С., Фирсов В.В., Чекина С.Н. *Квантовая электроника*, **33**, 321 (2003).
2. De Shazer D., Breban R., Ott E., Roy R. *Phys. Rev. Lett.*, **87**, 044101(4) (2001).
3. Кравцов Н., Пашинин П.П., Сидоров С.С., Фирсов В.В., Чекина С.Н. *Квантовая электроника*, **34**, 325 (2004).
4. Klische W., Telle H.R., Weiss C.O. *Opt. Lett.*, **9**, 561 (1984).
5. Roy R., Thornburg K.S. *Phys. Rev. Lett.*, **72**, 2009 (1994).
6. Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г. *Квантовая электроника*, **34**, 487 (2004).
7. Алешин Д.А., Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г., Чекина С.Н. *Квантовая электроника*, **35**, 7 (2005).
8. Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г. *Квантовая электроника*, **36**, 192 (2006).
9. Боровиков В. *Statistica – искусство анализа данных на компьютере* (С.-Петербург: Питер, 2003).