

Хаотическая динамика и управление ею в системе двух связанных ридберговских атомов

А. В. Андреев^{1,*}, О. И. Москаленко^{1,2,†}, А. А. Короновский^{1,2,‡}, А. Е. Храмов^{1,2,§}

¹Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского,
факультет нелинейных процессов, кафедра физики открытых систем
Россия, 410012, Саратов, ул. Астраханская, д. 83

²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.
Россия, 410054, Саратов, ул. Политехническая, д. 77

В работе проведено исследование системы связанных ридберговских атомов, выявлено наличие хаотической динамики в такой системе и подобран метод подавления хаоса в ней.

PACS: 05.45.Gg, 05.45.Mt

УДК: 539.186.3, 530.181

Ключевые слова: ридберговские атомы, ридберговское состояние, дипольная блокада, хаос, подавление хаоса.

В настоящие дни значительный интерес вызывают задачи управления квантовыми системами с ридберговскими атомами в связи с тем, что подобные задачи имеют тесную связь с проблемой создания квантовых компьютеров [1]. Ридберговские атомы — это водородоподобные атомы, внешний электрон в которых находится в высоковозбужденном состоянии, вплоть до уровней порядка 1000. Данные объекты представляют в настоящее время особый интерес [2], потому что они могут быть использованы в квантовом контроле одного атома другими благодаря ридберговским (высоковозбужденным) состояниям. Волновые функции атомов в основном состоянии не превышают значения 0.1 нм, в то время как в ридберговском состоянии они достигают нескольких нанометров и даже выше. Это позволяет атомам, находящимся достаточно далеко для того, чтобы не взаимодействовать друг с другом, находясь в основном состоянии, сильно взаимодействовать в возбужденных состояниях. Это составляет эффект дипольной блокады [3].

Значительный интерес вызывает задача возникновения хаотической динамики в квантовой системе. Эта задача также имеет прикладное значение для решения проблемы квантовых вычислений в массиве атомов, включенных в твердое тело, принимающих ридберговское состояние [4].

Также системы с ридберговскими атомами являются перспективными для хранения и передачи информации. В связи с этим является перспективной задачей анализ методик подавления хаотической динамики в таких системах, т. к. хаос будет разрушать всю хранимую или передаваемую через систему информацию.

В данной работе нами было проведено исследование двух связанных ридберговских атомов и была показана возможность возникновения хаотической динамики в рассматриваемой системе. Также было проведено ис-

следование возможности управления хаотической динамикой путем параметрического воздействия на систему связанных ридберговских атомов.

Исследуемая система связанных ридберговских атомов описывается следующей системой квазиклассических уравнений [5]:

$$\begin{aligned} \dot{w}_1 &= -2\Omega I m q_1 - w_1 - 1, \\ \dot{w}_2 &= -2\Omega I m q_2 - w_2 - 1, \\ \dot{q}_1 &= i[\Delta - c(w_2 + 1)]q_1 - \frac{q_1}{2} + i\frac{\Omega}{2}w_1, \\ \dot{q}_2 &= i[\Delta - c(w_1 + 1)]q_2 - \frac{q_2}{2} + i\frac{\Omega}{2}w_2, \end{aligned} \quad (1)$$

где Ω — частота Раби, с которой осциллирует населенность возбужденного уровня атомной системы под действием резонансного лазерного излучения; Δ — отстройка частоты лазерного излучения от частоты резонансного атомного перехода; c — ридберговское взаимодействие; $w_{1,2}$ — инверсии, т. е. разности населенностей энергетических уровней атомов; $q_{1,2}$ — недиагональные элементы матрицы плотности атома, которая является аналогом волновой функции и служит для описания состояния квантовомеханической системы.

Для данной системы в работе [5] были обнаружены три характерных режима: однородный, антиферромагнитный и колебательный.

Мы провели исследование колебательной области и обнаружили в ней колебания периода 1, 2 и так далее, вплоть до хаотических. На основе полученных данных была построена карта режимов, показанная на рис. 1, для колебательной области, на которую были нанесены области периодических колебаний, а также области хаотической динамики. Цифрами на карте режимов обозначены периоды колебаний, хаос обозначен черным цветом.

Для диагностики режимов колебаний были построены бифуркационные диаграммы и спектры показателей Ляпунова, которые показывали хорошее соответствие между собой и качественно и количественно отображали все изменения в динамике системы, такие как переход от стационарному состоянию системы к колебательному, бифуркации удвоения периода, а также-

*E-mail: andreevandv@gmail.com

†E-mail: o.i.moskalenko@gmail.com

‡E-mail: alexey.koronovskii@gmail.com

§E-mail: hramovae@gmail.com

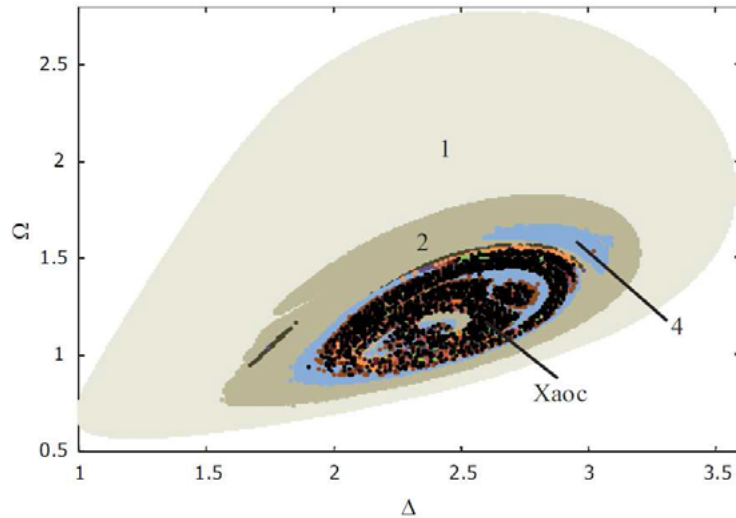


Рис. 1: Карта режимов для колебательной области. Цифрами обозначены периоды колебаний, хаос обозначен черным цветом.

возникновение режимов хаотической динамики с наличием окон периодичности внутри области хаоса. В исследуемой системе также была обнаружена бистабильность.

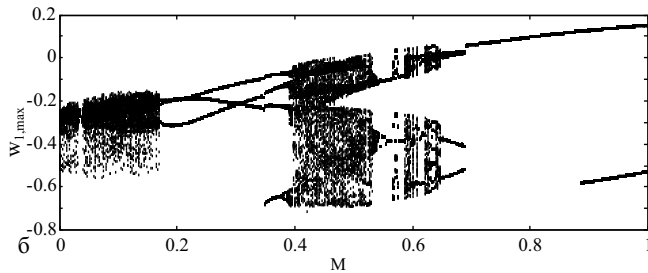


Рис. 2: Бифуркационная диаграмма для системы двух связанных ридберговских атомов под внешним параметрическим воздействием при значении параметров $\Omega = 1.2$, $\Delta = 2.6$, $f = f_0$, где f_0 — частота собственных колебаний автономной системы.

Для управления сложной динамикой в качестве метода подавления хаотической динамики использовалось введение внешнего параметрического воздействия. В качестве этого воздействия мы брали модуляцию частоты Раби внешним периодическим воздействием, что возможно реализовать в эксперименте:

$$\Omega = \Omega [1 + M \sin(2\pi ft)] \quad (2)$$

где M — амплитуда, а f — частота внешнего воздействия.

При значениях управляющих параметров, соответствующих хаотической динамике, была проанализирована система под внешним воздействием в зависимости от амплитуды и частоты этого воздействия. На рис. 2. представлена бифуркационная диаграмма, соответствующая исследуемой системе под внешним воздействием при значениях управляющих параметров Ω и Δ , при которых в автономной системе наблюдается хаотическая динамика. Видно, что существуют области параметра M , при которых в системе происходит подавление хаоса и наблюдается периодическая динамика.

Проводились исследования нашей системы под внешним воздействием в области параметров «амплитуда–частота внешнего воздействия». В результате при значениях управляющих параметров, соответствующим хаотической динамике в автономной системе, были получены области различных периодов колебаний, которые были нанесены на карту режимов «амплитуда–частота внешнего параметрического воздействия», при этом особое внимание было уделено возможности подавления хаоса в система связанных ридберговских атомов.

Работа выполнена при при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-32-20299).

- [1] Lukin M.D. et al. Phys. Rev. Lett. **85**, P.2208. (2000).
 [2] Greenland P. T. et al. Nature. **465** P.1057. (2010).
 [3] Schwarzschild B. Phys. Today. **62**. P.15. (2009).
 [4] Saffman M., Walker T. G. Reviews of Modern Physics.

- 82**. P.2313. (2010).
 [5] Lee T.E., Häffner H., Cross M. C. Phys. Rev. A. **84**, P.031402(R). (2011).

Chaotic dynamics and control of it in the system of two coupled Rydberg atoms

A. V. Andreev^{1,a}, O. I. Moskalenko^{1,2,b}, A. A. Koronovskii^{1,2,c}, A. E. Hramov^{1,2,d}

¹*Department of Open System Physics, Faculty of Nonlinear Process, Saratov State University
Saratov 410012, Russia*

²*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov
Saratov 410054, Russia*

E-mail: ^aandreevandv@gmail.com, ^bo.i.moskalenko@gmail.com, ^calexey.koronovskii@gmail.com, ^dhramovae@gmail.com

In this paper the system of two coupled Rydberg atoms is studied. Chaotic dynamics is revealed and the method for suppression of chaos in the system is selected.

PACS: 05.45.Gg, 05.45.Mt.

Keywords: Rydberg atoms, Rydberg state, dipole blockade, chaos, suppression of chaos.

Received 27.07.2015.

Сведения об авторах

1. Андреев Андрей Викторович — студент; тел.: +7 (845) 251-21-11, e-mail: andreevandv@gmail.com.
2. Москаленко Ольга Игоревна — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел.: +7 (845) 251-21-11, e-mail: o.i.moskalenko@gmail.com.
3. Короновский Алексей Александрович — доктор физ.-мат. наук, профессор, тел.: +7 (845) 251-42-94, e-mail: alexey.koronovskii@gmail.com.
4. Храмов Александр Евгеньевич — доктор физ.-мат. наук, профессор, тел.: +7 (845) 299-85-59, e-mail: hramovae@gmail.com.