

Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

Динамика
Системы

Заключение

Состояния Ландау-Штарка в конечной системе, переход к квантовому хаосу

Чесноков И Ю Коловский А Р

Институт физики СО РАН им. Киренского г. Красноярск

19 декабря 2016 г.

Топологические решетки

Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

Динамика
Системы

Заключение

- Топологические решетки - решетки, у которых собственные функции имеют топологический заряд.
- Пример: твердое тело в магнитном поле, эффект Холла, графен.
- Для решеток конечного размера возникают топологически защищенные краевые состояния.
- В настоящее время проводятся эксперименты на решетках с холодными атомами по созданию и манипуляции топологическими системами.
- Простейший вариант манипуляции, это приложение постоянного электрического поля.

- Duca, L., Li, T., Reitter, M., Bloch, I., Schleier-Smith, M., Schneider, U. (2015). An Aharonov-Bohm interferometer for determining Bloch band topology. *Science*, 347(6219), 288-292.
- Atala, M., et al. (2013). Direct measurement of the Zak phase in topological Bloch bands. *Nature Physics*, 9(12), 795-800.

Квантовый хаос

Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

Динамика
Системы

Заключение

- Квантовый хаос возникает в системах хаотических в классическом пределе.
- Известный пример: Спектр Ридберговских атомов Лития и Водорода
- Атомы Водорода являются интегрируемыми при любой величине внешнего электрического поля.
- Атомы Лития являются хаотическими при сильном внешнем электрическом поле.
- Хаотичность системы проявляется в спектральных характеристиках: статистика межуровневых расстояний.

Спектр атома Водорода

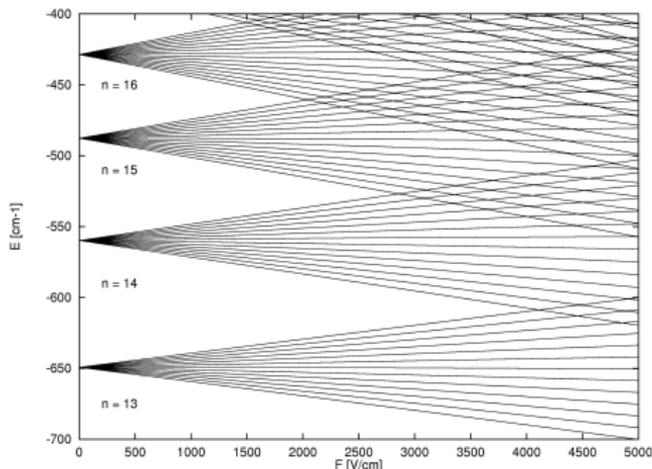
Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

Динамика
Системы

Заключение



Спектр атома Водорода около $n=15$ во внешнем электрическом поле Classical, semiclassical, and quantum dynamics in the lithium Stark system. Physical Review A, 51(5), 3604.

Спектр атома Лития

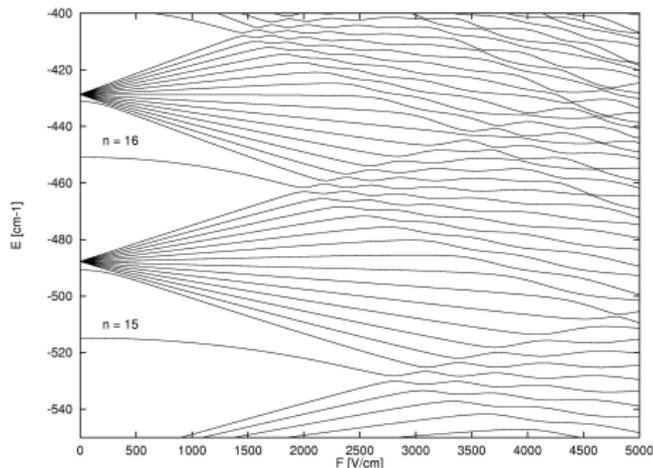
Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

Динамика
Системы

Заключение



Спектр атома Лития около $n=15$ во внешнем электрическом поле. Пересечения между уровнями запрещены.

Теория случайных Матриц

Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

Динамика
Системы

Заключение

- Система с квантовым хаосом описывается с помощью теории случайных матриц - гипотеза Бохигаса-Джанонни-Шмита.
- Одна из главных характеристик - статистика межуровневых состояний.
- Для упорядоченных систем межуровневые состояния распределены по распределению Пуассона.
- Хаотические системы имеют различные распределения в зависимости от класса системы.

Гамильтониан

Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

Динамика
Системы

Заключение

- Гамильтониан системы в приближении сильной связи:

$$\hat{H} = \frac{J}{2}(|l+1, m\rangle\langle l, m| \exp(i\alpha m) + h.c.) + \frac{J}{2}(|l, m+1\rangle\langle l, m| + h.c.) + edFm|l, m\rangle\langle l, m|$$

Где $\alpha = \frac{eBd^2}{\hbar}$ фаза Пиерса

- Классический аналог :

$$H_{cl} = -J \cos(p_x - \alpha y) - J \cos(p_y) + V(x) + Fy.$$

- В отсутствии магнитного поля происходили бы осцилляции Блоха с частотой $\omega_b = F$ по оси y .
- Если включить магнитное поле в бесконечной решетке, частица будет дрейфовать перпендикулярно эл. полю со скоростью $v^* = F/\alpha$ вдоль оси x .

Краевые состояния

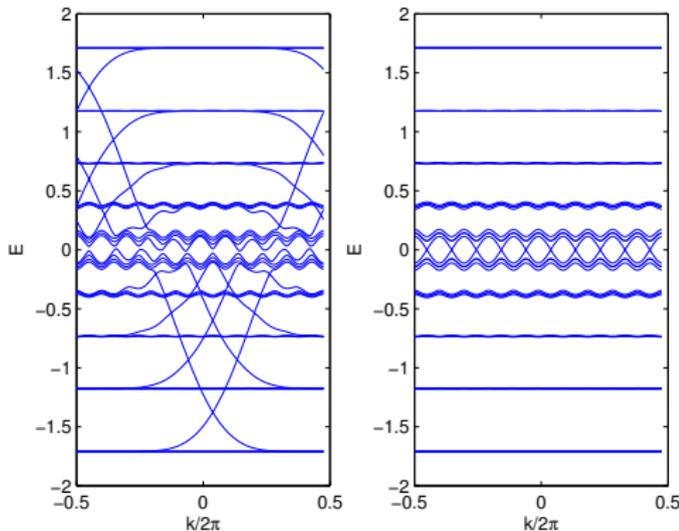
Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

Динамика
Системы

Заключение



Справа система с периодическими граничными условиями, слева - граничные условия Дирихле; $\alpha = 1/10$.

Собственные состояния

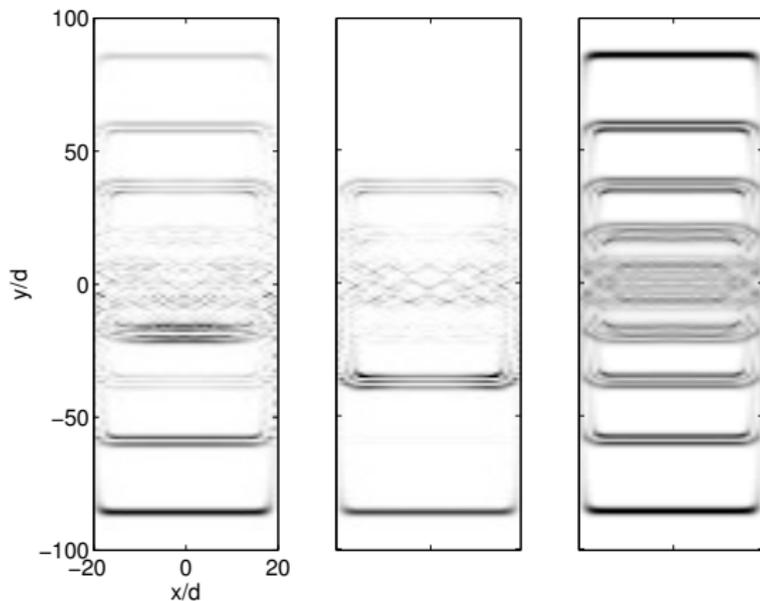
Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

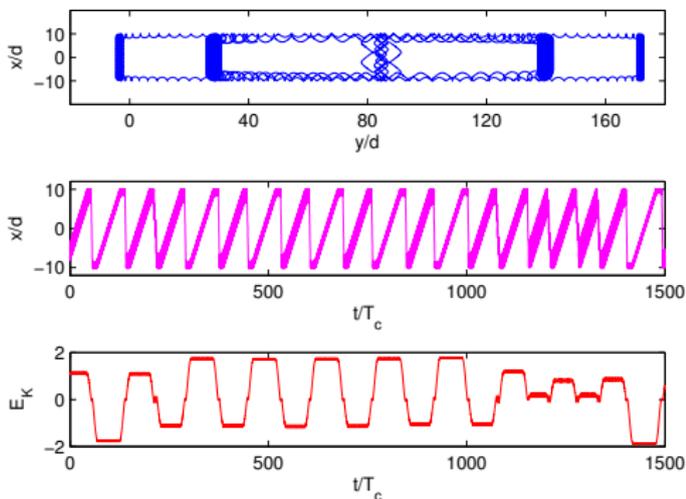
Динамика
Системы

Заключение



На левой и средней панели собственные состояния системы, на правой распределение плотности уровней в пространстве: $\alpha = 1/10$, $F = 0.02$.

Динамика классической частицы



Динамика классической частицы, верхний график - координатное пространство, средний - положение по оси x , нижний - кинетическая энергия частицы от времени. Динамика классической частицы является хаотической.

Динамика квантовой частицы - Видео

Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

Динамика
Системы

Заключение

MOVIE

- Систему можно анализировать с нескольких точек зрения.
- На языке магнитных зон благодаря краевым состояниям происходит туннелирование из одной зоны в другую. Скорость туннелирования из первой магнитной зоны в верхние $v_x = v^*/L_x$
- Также динамику можно анализировать с точки зрения собственных функций системы - состояний Ландау-Штарка.

$$\hat{U}\Psi^{(\nu n)} = \exp(-iE_\nu T_b) \Psi^{(\nu n)}$$

- В квантовом случае динамика похожа на классическую, но пакет разбивается на множество маленьких суб-пакетов, которые могут интерферировать между собой.

Статистика междуровневых расстояний для бесконечной системы

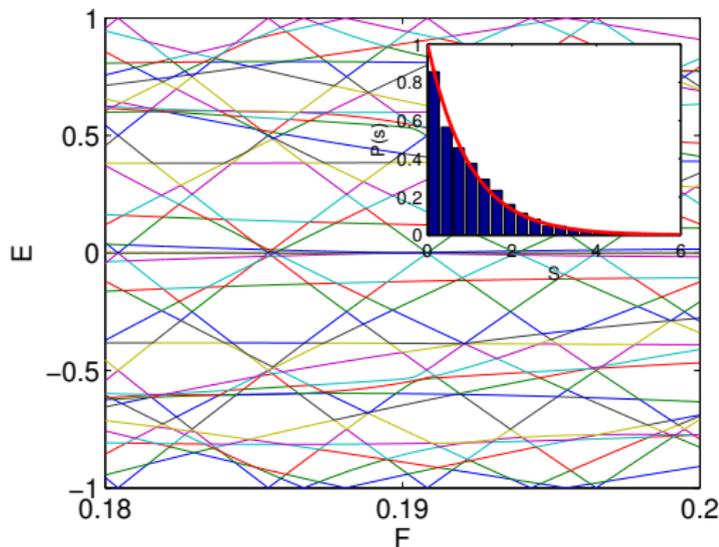
Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

Динамика
Системы

Заключение



Бесконечная система является интегрируемой.
Статистика междуровневых состояний (на вставке) -
Пуассоновская.

Статистика междуровневых расстояний для конечной системы

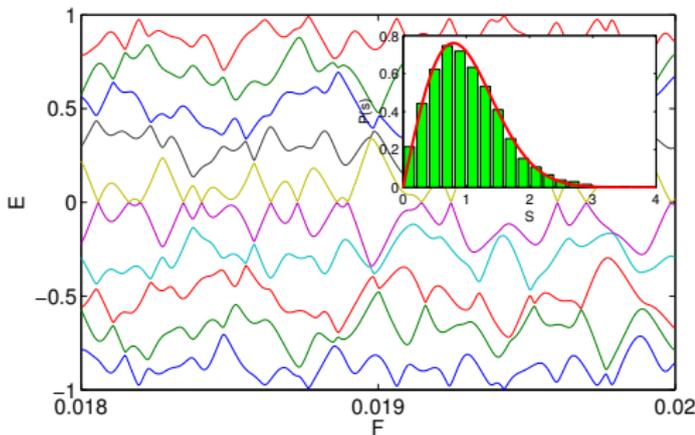
Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

Динамика
Системы

Заключение



Уровни энергии в зависимости от силы магнитного поля демонстрируют поведение похожее на спагетти - результат запрета пересечений между уровнями.

$\alpha = 1/10$ Статистика междуровневых состояний

$$\text{Вигнеровская } p(s) = \frac{\pi}{2} s \exp\left(-\frac{\pi}{4} s^2\right).$$

Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

Динамика
Системы

Заключение

- Были проанализирована система с геометрией в виде ленты в присутствии магнитного и электрического поля и её классический аналог.
- Была получены необычные колебания Блоха, в которых туннелирование между магнитными зонами происходит за счет краевых топологических состояний.
- Были построены собственные состояния оператора эволюции - состояния Ландау-Штарка, проанализирован их спектр.
- Получено, что система переходит из интегрируемой в хаотическую при появлении граничных условий Дирихле.

Спасибо за ваше внимание

Состояния
Ландау-
Штарка в
конечной
системе,
переход к
квантовому
хаосу

Чесноков И
Ю,
Коловский
А Р

Введение

Динамика
Системы

Заключение