

## Связанные состояния для двух проводящих слоев

Багмутов А.С.<sup>1, 1</sup>Научный руководитель, д.ф.-м.н., профессор Попов И.Ю.<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

*Аннотация:* В работе приведены численные результаты для квантовых систем, состоящих из двух параллельных проводящих слоев, соединенных через отверстия различной формы, в которых находятся одна или две частицы. Исследуется зависимость энергии связанных состояний от формы окна между слоями.

**Ключевые слова:** нанослой, собственные функции, модель Хартри-Фока.

**Введение**

Для моделирования волноводов используются Лапласианы с граничными условиями Дирихле, заданные на бесконечных полосах и проводящих слоях разной размерности. В таких системах локальные деформации создают возможности для формирования связанных состояний, энергия которых зависит от параметров деформации. Примеры таких систем можно найти в [1-3]. В настоящей работе рассматривается случай двух параллельных трехмерных проводящих слоев, соединенных через окно, форма которого варьируется. Для подобных систем спектр был исследован в [4]. Нашей целью является обнаружение зависимостей энергии связанных состояний от формы окна, с использованием модели Хартри-Фока и последующих численных расчетов. Полученные решения мы классифицируем по количеству и типу зон знакопостоянства (нодальных областей), обобщая случай классической нодальной теоремы Куранта.

**Модель**

Мы применяем модель Хартри-Фока для случая взаимодействия двух частиц. Лапласиан системы тогда принимает вид  $\hat{H} = \sum_k \hat{H}_k + \frac{1}{2} \sum_{j \neq k} V_{j,k}$ , где  $H_k$  - лапласианы отдельных частиц,  $V_{j,k}$  - потенциал взаимодействия двух частиц, суммирование идет по количеству частиц. В качестве потенциала используется  $\delta$ -потенциал. Для нахождения многочастичных решений, был использован итеративный алгоритм.

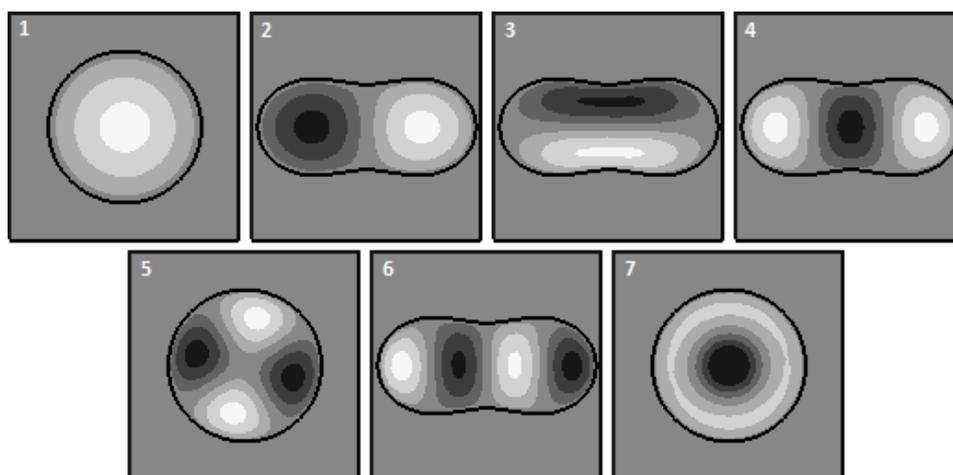


Рис.1. Классификация связанных состояний, в виде сечения через плоскость окна.

**Результаты**

Основным результатом являются графики зависимости энергии связанных состояний от формы окна между слоями. В частности, мы рассматриваем окна двух типов: эллиптические и овалы Кассини. Площадь окна одинаковая во всех случаях. Связанные состояния одной частицы мы классифицируем по количеству и типу зон знакопостоянства рис.1. Соответствующие указанной классификации энергии указаны на рис.2. Далее, мы

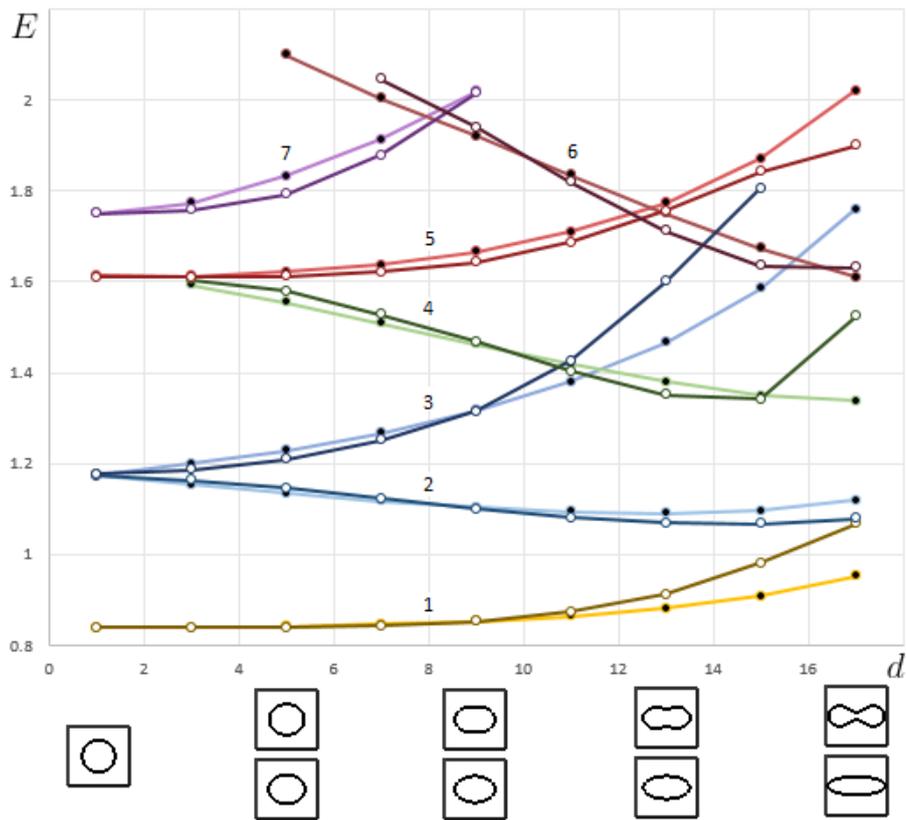


Рис.2 Энергии различных типов состояний (см. Рис.1), как функции расстояния между фокусами овалов Кассини. Бледные линии соответствуют соответственным энергиям для овальных окон.

рассматриваем двухчастичную систему и сравниваем уровни энергии с одночастичным случаем рис. 3.

### Заключение

Как можно видеть, полученные результаты подчиняются классической теореме Куранта, но различные типы, в соответствии с нашей классификацией, связанных состояний, имеют совершенно различную динамику изменения энергии, в зависимости от типа окна. Случай двух частиц тесно связан с параллельным случаем одной частицы определенных типов, создавая возможности для оценки.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-31-90050).

### Литература

1. Borisov D. Discrete spectrum of a pair of non-symmetric waveguides coupled by a window. // Sbornik Mathematics. – 2006. – 197(4) – P. 475–504.
2. Borisov D. Bound states in weakly deformed strips and layers / Borisov D., Exner P. and Gadyshin R. D. Krejcirik // Annales Henri Poincare. – 2001. – 2(3). – P. 553-572.
3. Popov I.Yu. Asymptotics of bound states and bands for laterally coupled waveguides and layers // J. Math. Phys. – 2002. – 43(1). – P. 215–234.
4. Borisov D. On the spectrum of two quantum layers coupled by a window // J. Phys. A: Math. Theor. – 2007. – 40(19) – P. 5045-5066.

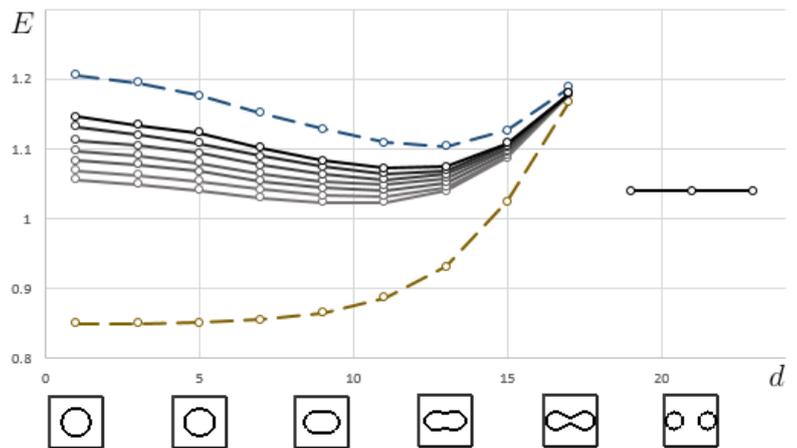


Рис.3. Энергии двухчастичного состояния с увеличением силы взаимодействия (более темные линии). Пунктир – нижние состояния из Рис.2.