

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль \_\_\_\_\_ 03.06.01/01.04.16 \_\_\_\_\_  
Школа \_\_\_\_\_ ИШФП \_\_\_\_\_  
Отделение \_\_\_\_\_

**Научный доклад об основных результатах подготовленной научно-  
квалификационной работы**

|  |
|--|
| Тема научно-квалификационной работы  |
| <b>Решение квантовомеханической задачи пяти тел для системы <math>\eta</math>-4N</b> |

УДК 530.145.6:51

Аспирант

| Группа | ФИО                        | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| A8-06  | Колесников Олег Валерьевич |         |      |

Руководителя профиля подготовки

| Должность       | ФИО       | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------|-----------|---------------------------|---------|------|
| Профессор ИШФВП | Фикс А.И. | д.ф.-м.н.                 |         |      |

Руководитель отделения

| Должность      | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Директор ИШФВП | Гоголев А.С. | к.ф.-м.н.                 |         |      |

Научный руководитель

| Должность       | ФИО       | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------|-----------|---------------------------|---------|------|
| Профессор ИШФВП | Фикс А.И. | д.ф.-м.н.                 |         |      |

В научно-квалификационной работе реализован систематический подход к решению задачи о взаимодействии  $\eta$ -мезона с малонуклонными системами, основанный на формализме Альта-Грассбергера-Сандхаса (АГС), лишенный принципиальных недостатков, характерных для имеющихся приближенных методов. Полученный формализм позволяет найти точное решение как для связанных основных и возбужденных состояний, так и для задачи рассеяния. Одним из существенных достоинств метода является его наглядность и удобство практического использования.

**Целью работы** является решение квантовомеханической задачи пяти тел на основе формализма АГС и применение полученного решения к исследованию системы, содержащей псевдоскалярный мезон ( $\eta$ -мезон) и четыре нуклона.

Основными **задачами** научно-квалификационной работы являлись следующие:

1. Вывести уравнения для системы пяти частиц с использованием формализма АГС;
2. Решить задачу пяти тел для взаимодействия псевдоскалярного мезона с системой четырех нуклонов;
3. Исследовать динамические особенности взаимодействия  $\eta$ -мезонов с малонуклонными ядрами  $d$ ,  ${}^3\text{He}$  и  ${}^4\text{He}$ .
4. На основе фитирования параметров модели к имеющимся экспериментальным данным для образования  $\eta$  мезонов на ядрах получить зависимость амплитуды  $\eta N$  рассеяния от энергии в подпороговой области.

#### **Научная новизна**

1. Впервые развит математический аппарат для решения задачи пяти тел в рамках метода Альта-Грассбергера-Сандхаса. Получены выражения для эффективных потенциалов, описывающих взаимодействия в подсистемах, возникающих при разбиении исходной системы пяти частиц по схемам  $(1 + 4)$  и  $(2 + 3)$ . Проведена необходимая процедура симметризации и выписаны уравнения для симметризованных амплитуд.

2. Впервые решена задача взаимодействия в системе пяти тождественных бозонов и вычислены энергии связи такой системы. Исследована сходимость результатов при изменении количества членов, учитываемых в сепарабельном разложении.
3. Впервые дано точное решение задачи о взаимодействии  $\eta$ -мезонов с системой четырех нуклонов. Вычислена длина рассеяния  $\eta$ -мезона на ядре  ${}^4\text{He}$ . Получены количественные результаты, объясняющие отсутствие связанных состояний в этой системе.
4. Впервые на основе точного решения задачи взаимодействия  $\eta$ -мезонов с ядрами  $d$ ,  ${}^3\text{He}$  и  ${}^4\text{He}$  получена зависимость амплитуды  $\eta N$  рассеяния  $f_{\eta N}$  от энергии в подпороговой области.

#### **Основные защищаемые положения научно-квалификационной работы**

1. Вывод уравнений АГС для задачи пяти тел показывает, что наряду с потенциалами, имеющими структурные аналоги в четырехчастичной задаче, в случае пяти частиц появляются потенциалы, имеющие принципиально иную структуру. В связи с этим, уравнения АГС для системы пяти тел не могут быть получены путем простой экстраполяции эффективных потенциалов задачи четырех тел на систему с  $N = 5$ .
2. Анализ зависимости результатов от числа сепарабельных членов в разложении ядер интегральных уравнений, как и в случае пяти бозонов, демонстрирует сходимость, вполне достаточную для практических целей. В целом, удержание в разложении первых 4-6 членов обеспечивает точность лучше 1 %.
3. Расчеты рассеяния  $\eta$ -мезона на ядрах  $d$ ,  ${}^3\text{He}$  и  ${}^4\text{He}$  показывают, что в каждом из трех случаев имеется сравнительно широкая, но тем не менее ограниченная область энергий, при которых значения элементарной амплитуды рассеяния  $f_{\eta N}$  оказывают существенное влияние на величину амплитуды  $\eta$ -ядерного рассеяния  $f_{\eta A}$ .

4. Притяжение в системе  $\eta^4\text{He}$  является более слабым по сравнению с системой  $\eta^3\text{He}$  вследствие сильной зависимости амплитуды  $f_{\eta N}$  от энергии в подпороговой области. Этот результат объясняет, почему эффект взаимодействия в конечном состоянии в реакции  $dd \rightarrow \eta^4\text{He}$  оказывается слабее, чем в процессах, в которых образуется система  $\eta^3\text{He}$ , например  $dp \rightarrow \eta^3\text{He}$ .
5. Вещественные части длин рассеяния  $\eta$ -мезона на ядрах  $d$ ,  $^3\text{He}$  и  $^4\text{He}$  положительны. Таким образом,  $\eta$ -мезон не образует связанного состояния с ядрами с массовым числом  $A \leq 4$ .

### **Апробация работы**

По теме научно-квалификационной работы опубликованы 4 статьи в зарубежных журналах. Результаты научно-квалификационной работы докладывались на научных семинарах исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов, кафедры теоретической физики и квантовой теории поля Томского государственного университета.

### **Содержание работы**

Во **введении** обосновывается актуальность исследований, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме, формулируется научная новизна и практическая значимость результатов представленной работы.

В **главе 1** развит математический аппарат для решения задачи пяти тел в рамках метода Альта-Грассбергера-Сандхаса. Получены выражения для эффективных потенциалов, описывающих взаимодействия в подсистемах, возникающих при разбиении исходной системы пяти частиц по схемам (1+4) и (2+3). Проведена необходимая процедура симметризации и выписаны уравнения для симметризованных амплитуд.

В **главе 2** полученный формализм применяется к задаче о взаимодействии в системе пяти тождественных бозонов и вычисляются энергии связи такой системы. Исследована сходимость результатов при изменении количества членов, учитываемых в сепарабельном разложении. Показано, что общая эффективность применения сепарабельного разложения ядер интегральных уравнений непосредственно связана с полюсной природой затравочных двухчастичных взаимодействий в системах  $\eta N$  и  $NN$ .

**Глава 3** посвящена исследованию взаимодействия  $\eta$ -мезона с ядром  ${}^4\text{He}$  на основе решения уравнений АГС. Вычислена длина рассеяния  $\eta$ -мезона на ядре  ${}^4\text{He}$ . Получены количественные результаты, объясняющие отсутствие связанных состояний в этой системе. В этой же главе на основе точного решения задачи взаимодействия  $\eta$ -мезонов с ядрами  $d$ ,  ${}^3\text{He}$  и  ${}^4\text{He}$  получена зависимость амплитуды  $\eta N$  рассеяния от энергии в подпороговой области.

В **заключении** приведены основные результаты научно-квалификационной работы. Приложения содержат формальный материал, который использовался при проведении вычислений.

Полученные в работе уравнения для системы  $\eta - 4N$  могут непосредственно использоваться для исследования взаимодействия других псевдоскалярных мезонов с ядром  ${}^4\text{He}$ . Кроме этого, развитый формализм, в силу своей универсальности и эффективности, открывают широкие возможности для решения аналогичных задач взаимодействия в других системах адронов. Сюда следует отнести пятиядерные системы (в первую очередь  ${}^5\text{He}$  и  ${}^5\text{Li}$ ), гиперядра, а также системы, содержащие ядро  ${}^4\text{He}$  и  $K$ -мезон,  $\eta'$ -мезон и другие мезоны.