

Т-484

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

4-90-519

**ТКАЧЕВ**  
Олег Григорьевич

УДК 539.142.3 + 539.143.5

**МАЛОБАРИОННЫЕ СИСТЕМЫ  
В SU(2)-МОДЕЛИ СКИРМА**

Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра  
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1990

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики  
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико - математических наук

В.А.Николаев

Официальные оппоненты:

доктор физико - математических наук

М.К.Волков

доктор физико - математических наук

А.А.Андреанов

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Московский государственный университет.

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1990 г.

Защита диссертации состоится на заседании специализированного  
совета K047.01.01 в Лаборатории теоретической физики Объеди-  
ненного института ядерных исследований " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1990г.  
по адресу г.Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединен-  
ного института ядерных исследований.

Ученый секретарь совета

кандидат физико - математических наук

А.Е.Дорохов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В низкоэнергетической области квантовой хромодинамики, где формируется адронный спектр, и не работает теория возмущений по кварк - глюонным взаимодействиям, эффективные киральные лагранжианы предлагают бесцветные степени свободы, какими являются бозонные поля, для описания событий в физике сильных взаимодействий. Хотя применение киральных лагранжианов обычно ограничивается полуклассическим приближением, успех модели Скирма, достигнутый в последние несколько лет, в описании нуклонов как квантовых состояний киральных солитонов, делает оправданным ее применение в физике ядра.

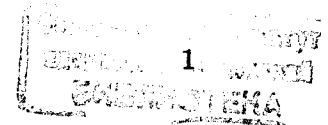
Нелинейные киральные теории естественным образом приводят к солитонным секторам. Уже классические киральные солитоны очень похожи на адроны: 1) Они несут некоторый точно сохраняющийся топологический заряд. Этот локализованный заряд - хороший кандидат в барионные числа. 2) Солитоны представляют собой протяженные сильно - взаимодействующие объекты. 3) Они очень массивны по сравнению с массами полей, входящих в лагранжиан.

Представляется актуальной разработка ядерной модели киральных солитонов, использующей аппарат, и, что более важно, переменные, общие с используемыми в современной нелинейной полевой теории нуклонов.

Построение ядерной модели киральных солитонов актуально, также, в связи с действующими и планируемыми экспериментальными программами, в различных физических центрах. Так могут быть обнаружены, предсказываемые моделью ядерные компаунд - состояния с антинуклонами, изомеры формы легких ядер, и высоколежащие  $0^+$  - вибрации в легких ядрах.

Актуальна и разработка вариационных приближений к решениям возникающих нелинейных задач, поскольку, вариационный подход, вскрывая физику явлений, требует существенно меньшее время на проведение численных расчетов, чем прямой поиск решений даже на суперкомпьютерах.

Цель работы состоит в теоретическом изучении структуры и



свойств легчайших нестранных малобарионных систем в рамках киральной теории легких ядер, в разработке вариационного подхода к проблеме поиска и исследования топологически нетривиальных решений нелинейной  $SU(2)$  - модели Скирма, в вычислении эффективных квантовых гамильтонианов в методе коллективных переменных Боголюбова.

Научная новизна и практическая ценность. Впервые изучается структура и свойства нестранных малобарионных систем и легких ядер в рамках модели киральных солитонов.

Для ряда топологических секторов модели впервые вычислен эффективный квантовый гамильтониан в методе коллективных переменных, позволяющий исследование спектра состояний и наблюдаемых для легчайших систем.

Предложенный вариационный подход позволяет проводить в модели численные расчеты наблюдаемых величин на персональных компьютерах за приемлемое время и с точностью, позволяющей решать поставленные задачи.

Предложенная ядерная модель киральных солитонов приводит к определенным теоретическим предсказаниям, которые могут быть проверены экспериментально. Так, например, предсказывается существование ядерных компаунд состояний, содержащих антинуклоны, указывается на определенную возможность обнаружения изомеров формы легких ядер, а, также, высоколежащей ветви  $0^+$  - вибраций в легких ядрах.

Апробация работы. Результаты, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на семинарах Лаборатории теоретической физики и Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ, на семинарах ИЯИЯЭ БАН (София, Болгария), на III международном симпозиуме "Пион - нуклонные и нуклон - нуклонные взаимодействия." (Гатчина, апрель 17-22, 1989.), на 4 рабочем совещании по перспективам в ядерной физике при промежуточных энергиях (Триест, Италия, май 8-12, 1989), на 12 международной конференции по малочастичным системам (Ванкувер, Канада, июль 2-8, 1989), на международной конференции "Ядерная спектроскопия и форма атомных ядер", (Ленинград, 10-13 апреля, 1990), на 9 меж-

дународной конференции по проблемам в квантовой теории поля (Дубна, апрель 24-28; 1990), на 12 международной конференции по малочастичным системам (Ужгород, июнь 1-5, 1990), на тематическом семинаре "Взаимодействие мезонов с легкими ядрами при промежуточных энергиях" (Дубна, 8-10 Июнь, 1990), и др.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 16 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Она содержит 102 страницы машинописного текста, 20 рисунков и 8 таблиц, расположенных в тексте. Список литературы включает 93 наименования.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обсуждается актуальность построения ядерной модели киральных солитонов и кратко излагается содержание по главам. Проводится обзор литературы по рассматриваемым в работе вопросам.

Первая глава посвящена краткой формулировке и разработке аппарата модели Скирма, который будет использоваться в последующих главах. Дается определение  $SU(2)$  варианта модели и рассматриваются ее основные свойства: киральная симметрия, спонтанное нарушение киральной симметрии. В этой главе получены общие формулы для динамических инвариантов (аксиальные заряды, изоспин и тензор энергии - импульса). Полученные в этой главе общие формулы неоднократно используются в следующих главах при исследовании проблемы квантования в методе коллективных переменных.

Во второй главе описан класс пробных решений уравнений, который далее эксплуатируется в вариационном подходе к модели Скирма. Получены и исследованы массовый функционал и уравнения движения для статических конфигураций в рамках предложенного вариационного подхода. Дана классификация решений и исследована структура распределения барионного заряда. Простейшие

из найденных решений имеют тороподобную структуру. Среди более сложных конфигураций обнаружены конфигурации, включающие в свою структуру распределения с отрицательным барионным зарядом, пространственно отделенные от областей с положительной плотностью. Таким образом, появляется возможность включить антибарионы в теоретическое описание ядерной материи на равных основаниях с барионами.

В третьей главе для конфигураций, полученных в Главе 2, вычислен квантовомеханический гамильтониан в методе коллективных переменных, соответствующих монополярным вибрациям и вращениям в координатном и изотопическом пространствах. На примере " $k\phi$ " - анзаца Хольцварта для системы с барионным зарядом  $B = 2$  показано, что монополярные вибрации существенно влияют на наклон ротационных полос и абсолютные значения энергий в спектре масс. Вычислены энергии нижайших состояний с  $B = 2, 3, 4$ , имеющих тороидальную форму распределения барионного заряда. Показано, что состояния, которые могли бы интерпретироваться как легкие ядра (дейтрон,  $\alpha$  - частица) имеют энергию связи, существенно большую экспериментальной. Некоторые энергетически нестабильные классические конфигурации, становятся стабильными благодаря учету квантовых поправок.

В четвертой главе вычислен массовый функционал и получены уравнения движения для статических ядерно - подобных конфигураций. Найден новый класс решений с барионными зарядами до  $B = 12$ . В данном классе обнаружено несколько случаев, когда для фиксированного барионного заряда можно найти несколько решений с сильно отличающимися распределениями плотности барионного числа и энергиями. Соответствующие им квантовые состояния могли бы проявиться на опыте, как изомеры формы, поскольку переходы между ними, вероятно, будут сильно затруднены в силу большого различия в их структуре. Получена почти линейная зависимость массы стационарных конфигураций для классических образов ядер от барионного заряда. Эта зависимость определяет квазиклассический вклад в первый член формулы Вайцзеккера.

В пятой главе вычислен квантовомеханический гамильтониан

для класса ядерно - подобных солитонов, классические свойства которых исследованы в предыдущей главе. Показано, что весьма ограничительная связь между третьими компонентами спина и изоспина в системе координат фиксированной в теле исчезает в рассматриваемом пространстве состояний. Исследование дыхательной моды привели к выводу, что жесткость солитонной материи в ядерно - подобных состояниях приблизительно равна жесткости нуклона и равна массе нуклона, а вычисленные частоты дыхательной моды воспроизводят  $B^{-1/3}$  зависимость, известную в ядерной физике для более тяжелых ядер.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В рамках нового вариационного приближения сформулирована ядерная модель киральных солитонов:

1. Описан новый класс пробных конфигураций кирального поля, минимизирующих энергетический функционал Скирма в секторах с барионным зарядом  $B \leq 12$ .

2. Получены и исследованы массовый функционал и уравнения для статических конфигураций в рамках предложенного вариационного подхода.

3. Дана классификация решений и исследована пространственная структура распределения барионного заряда. Показано, что (А) Простейшие из найденных конфигураций характеризуются тороподобным распределением плотности барионного заряда. (Б) Среди более сложных конфигураций обнаруживаются конфигурации, включающие в свою структуру области с отрицательным барионным зарядом, пространственно отделенные от областей с положительной плотностью барионного числа. (В) Обнаружено несколько случаев, когда для фиксированного барионного заряда можно найти несколько решений с сильно отличающимися распределениями плотности барионного числа и энергиями. Соответствующие им квантовые состояния могут проявиться на опыте как изомеры формы, поскольку переходы между ними, вероятно, будут сильно затруднены.

днены в силу большого различия в их структуре. (Г) Получена почти линейная зависимость массы ядерно - подобных солитонов от барионного числа. Эта зависимость определяет квазиклассический вклад в первый член формулы Вайцзеккера в рассматриваемой модели.

4. Для тороподобных конфигураций и имеющих более сложную структуру ядерно - подобных конфигураций, а также конфигураций, содержащих антисолитоны, вычислен квантовомеханический гамильтониан в методе коллективных переменных, соответствующих монопольным вибрациям и вращениям в координатном и изотопическом пространствах.

5. Вычислен спектр нижайших состояний полученного эффективного гамильтониана. Обнаружено, что некоторые энергетически нестабильные классические конфигурации, в рамках использованного приближения, становятся стабильными благодаря учету квантовых поправок.

6. Исследована сжимаемость солитонной материи в ядерно - подобных состояниях. Показано, что коэффициент несжимаемости приблизительно равен этому коэффициенту для нуклона, а вычисленные частоты дыхательной моды воспроизводят  $B^{-1/3}$  - зависимость, известную в ядерной физике более тяжелых ядер.

Основные результаты диссертации опубликованы  
в следующих работах:

1. Николаев В.А., Ткачев О.Г. "Ротационные полосы в спектре масс нестранных дибарионов". Сообщения ОИЯИ Р4-86-515, 1986, Дубна.
2. Николаев В.А., Ткачев О.Г. "Зарядовые формфакторы нестранных дибарионов в SU(2) - модели Скирма". Сообщения ОИЯИ Р4-87-422, 1987, Дубна.
3. Nikolaev V.A., Tkachev O.G. "New solitons in the Skyrme model". TRIUMF (FEW BODY XII) Contributed Papers from 12 International

Conference on Few Body Problems in Physics, TRI-89-2, p.F25, Vancouver, B.C.Canada, July 2-8, 1989.

4. Nikolaev V.A., Tkachev O.G. "New solitons in the Skyrme model". JINR Preprint E4-89-56, 1989, Dubna.
5. Николаев В.А., Ткачев О.Г. "Солитоны в топологически тривиальном нетривиальных секторах модели Скирма". Краткие сообщения ОИЯИ, 1989, N1[34]-89, с.28-36, Дубна.
6. Nikolaev V.A., Tkachev O.G. "Multibaryon and meson - like states in the SU(2) - Skyrme model". JINR Rapid Communication, 1989, N4[37]-89, p.18-23, Dubna.
7. Nikolaev V.A., Tkachev O.G. "Few - baryon systems in the SU(2) - Skyrme model". JINR Preprint E4-89-848, 1989, Dubna; Few Body Systems /to be published/.
8. Nikolaev V.A., Tkachev O.G. "Variational calculation of the charge formfactors of the multibaryons in the SU(2) - Skyrme model". Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Sciences, 1990, Vol.43. N6, pp.41-46.
9. Николаев В.А., Ткачев О.Г. "Малобарионные системы в SU(2) - модели Скирма". Известия АН СССР, 1990, т.54. N9, сс.1850-1858.
10. Николаев В.А., Ткачев О.Г. "Малобарионные системы в модели солитонов кирального поля". ЭЧАЯ, 1990, вып.6, т.21, сс.1500-1538.
11. Nikolaev V.A., Tkachev O.G. "Nuclei - like states within the model of solitons of chiral field". Proceedings of the IX International Conference on the Problem of Quantum Field Theory", Dubna, 24-28 April, 1990.
12. Nikolaeva R.M., Nikolaev V.A., Shitikova K.V., Tkachev O.G. "Lightnuclei as chiral soliton states and nuclear matter incompressibility phenomenology." JINR Preprint E4-90-375, 1990, Dubna.
13. Nikolaev V.A., Tkachev O.G. "Structure of heavy skyrmions in the variational approach". JINR Rapid Communication, 1989, N4[43]-90, pp.39-47, Dubna.
14. Nikolaev V.A., Novozhilov V.Yu., Tkachev O.G. "Partial restoration of the chiral symmetry in the generalized Skyrme model" JINR Preprint E4-88-536, 1988, Dubna.
15. Николаев В.А., Новожилов В.Ю., Ткачев О.Г. "Свойства барионов в обобщенной модели Скирма" Труды III международного

симпозиума "Пион - нуклонные и нуклон - нуклонные взаимодействия.", Гатчина, апрель 17-22, 1989. т.2, сс.348-353, Ленинград, 1989.

16. Nikolaev V.A., Novozhilov V.Yu., Tkachev O.G. "Generalized Skyrme model and baryon structure". Institute of Physics Preprint WSP-IF 89-02, November 1989, Zelena Gora.

Рукопись поступила в издательский отдел

14 ноября 1990 года.