

**Отзыв**  
официального оппонента  
**о диссертации Ефимова Александра Дмитриевича**  
**«Микроскопическая версия модели взаимодействующих бозонов»,**  
представленной в диссертационный совет Д 720.001.01 при Объединенном ин-  
ституте ядерных исследований (Лаборатория теоретической физики) по адресу:  
141980, г. Дубна, Московской области, ул. Жолио-Кюри, д. 6.  
на соискание учёной степени  
доктора физико-математических наук  
по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Исследование низколежащих коллективных состояний в чётно-чётных ядрах несмотря на многолетнюю историю этих исследований остаётся актуальной проблемой теории атомных ядер, поскольку позволяет получать обширную информацию о ядерных силах для анализа экспериментальной информации. Условное разделение этих уровней на ротационные и вибрационные не всегда соответствует их свойствам и сложности структуры. Для её описания предложены различные теоретические модели феноменологического и микроскопического характера. Созданная в ЛТФ ОИЯИ группой Р.В. Джолоса ядерная модель и так называемая модель взаимодействующих бозонов Аrimы-Якелло позволяют это выполнить на единой основе использования низкочастотной квадрупольной моды, но являются, по существу, феноменологическими с несколькими подгро-  
ночными параметрами. Делаются попытки расчёта этих параметров на микроскопической основе.

Диссертационная работа А.Д.Ефимова посвящена развитию модели взаимодействующих бозонов: создан её микроскопический вариант с перенормировкой бозонных параметров. Учтена связь коллективных и неколлективных, двухквазичастичных, мод возбуждений с моментами от  $0^+$  до  $6^+$ , а для описания высокоспиновых состояний, начиная с  $I=10^+$ , используемый базис был явно расширен за счёт бозонов с моментами от  $2^+$  до  $10^+$ . Появилась перспектива дальнейшего совершенствования модели для описания ядерных состояний другой природы.

Поэтому **актуальность темы** исследований в диссертации с переходом от феноменологического способа описания коллективных состояний в переходных ядрах к микроскопическому представляется несомненной и важной.

Разработанная теория была применена автором диссертации к исследованию ядер, относящихся к переходным с  $A \sim 120$ . Ему удалось с хорошей точностью

воспроизвести экспериментальные спектры до спина  $I=18^+$ , описать эффект пересечения полос, бэкбендинга и больших экспериментальных значений вероятностей E2-переходов в этой области возбуждения ядер, что было сделано на микроскопической основе впервые.

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, трех приложений и списка литературы из 136 наименований. Она содержит 202 страницы текста, 67 рисунков и 14 таблиц.

Во **Введении** определена актуальность работы, сформулированы её цели и задачи. Обсуждены проблемы описания коллективных состояний переходных ядер с помощью методов бозонного представления парных фермионных операторов. Сформулированы необходимые требования, предъявляемые к микроскопическому способу описания коллективных состояний.

В **первой главе** дан обзор научной литературы по данной рассматриваемой в диссертации проблеме. Обсуждаются различные подходы феноменологического и микроскопического характера описания квадрупольной низкоэнергетической коллективности. Подробно изложено обсуждение конкретных проблем, возникающих перед исследователями при стремлении к созданию микроскопической теории и которые необходимо решить для этого: учёт связи коллективных и неколлективных мод возбуждения с различными моментами, фазового перехода в Методе Случайных Фаз, большого числа бозонов, сверхтекучести, соблюдения принципа Паули. Методы решения этих проблем изложены в последующих главах диссертации.

Во **второй главе** представлен метод получения бозонных параметров. Согласование бозонных и фононных амплитуд и некоторые дополнительные условия определяют вариационный метод нахождения амплитуд коллективных фононов из минимума функционала полной энергии. Существенным элементом развивающейся здесь теории является учёт неколлективных фононных возбуждений, включающих в дополнение к коллективным квадрупольным D-фононам дополнительные фононы положительной чётности с моментами от  $0^+$  до  $6^+$ . Учёт связи коллективных и неколлективных состояний реализован по теории возмущений. Использованы эффективные межнуклонные силы в факторизованном виде. В техническом отношении автором была решена сложная проблема, требующая весьма громоздких аналитических вычислений. Были предложены и получены новые перенормированные значения бозонных параметров гамильтонiana из микроскопических выражений и поправок к ним. Соблюдался контроль за выполнением на каждом одночастичном уровне принципа Паули в

среднем. Таким образом, получен функционал фононной задачи в окончательном виде.

Полезно было бы, на мой взгляд, дать более чёткое сопоставление полученных результатов с работами других авторов.

В **третьей главе** определяются уравнения БКШ при наличии в состояниях большого числа квадрупольных мод возбуждений, что требует учёта блокировки одночастичных состояний за счёт квазичастиц, формирующих данные фононы, и уточняет величину бозонного гамильтониана. Это также сделано автором впервые.

В **четвертой главе** получены уравнения для фононных амплитуд в новом варианте квазичастичного метода случайной фазы. Переход к переопределенному набору параметров бозонного гамильтониана выполнен для того, чтобы получить более стабильные величины параметров, в реальных расчётах плавно меняющиеся при переходе от одного возбуждённого состояния ядра к другому в соответствии с представлениями феноменологических вариантов МВБ и о неизменности внебозонной энергии.

**Пятая глава** посвящена вычислению параметров оператора электрических квадрупольных переходов. Предполагается, что учёт эффектов, соответствующих поляризации вакуума, позволяет вычислять значения  $B(E2)$ , не вводя эффективных нуклонных зарядов.

В **шестой главе** приведены результаты расчётов спектров и вероятностей  $E2$ -переходов для изотонов с  $N=70$  и чётно-чётных изотопов теллура и ксенона, выполненных в рамках модели, представленной в предыдущих главах диссертации с самосогласованием по параметрам сверхтекучести, по фононным амплитудам и бозонному составу волновых функций. Эти результаты анализируются и сравниваются с экспериментальными данными.

Для цепочки изотонов рассчитывались все параметры модели, кроме  $k_2$ , обеспечивающего взаимодействие между бозонными конфигурациями, отличающимися одним бозоном. Этот параметр здесь выбирался феноменологически с целью удовлетворительного описания полос ираст- и некоторых других состояний. Вычисления проведены в двух вариантах: с микроскопически вычисленными для каждого состояния и с усреднёнными их значениями и это важно для проверки представления, принятого в МВБ, о неизменности параметров.

Для цепочек изотопов теллура и ксенона все параметры рассчитывались микроскопически и уже не оставалось свободных бозонных параметров, поэтому получившееся здесь неудовлетворительное описание высокоспиновых состояний и переходов между ними в изотопах ксенона, по мнению автора, можно

было исправить, расширив бозонное пространство, развивая таким образом представленную во второй главе диссертации модель.

В **седьмой** главе это сделано, т.е. явно рассмотрено расширенное бозонное пространство. В результате удалось правильно описать эффект пересечения полос, что также сделано на микроскопической основе впервые.

Автор подробно обсуждает и анализирует физическую картину спектров состояний с высокими спинами, и вероятностями E2-переходов между ними внутри ираст-полос и межполостных, существенно различающихся для лёгких и тяжёлых изотопов ксенона и бария. Анализ изменения структуры состояний на языке их компонентного бозонного состава ираст-полос позволяет понять и количественно объяснить физическую причину на первый взгляд сложной, запутанной и противоречивой картины бэк-бендинга, известной из эксперимента, и различных механизмов пересечения полос. В этом отношении очень интересным и теоретически обоснованным является проведённый автором анализ динамики влияния нейтронной подоболочки  $h_{11/2}$  при переходе от лёгких изотопов Хе и Ва к тяжёлым, когда в волновой функции происходит замещение от d-бозонного состава к тем, которые содержат высокоспиновый бозон, соответствующий двухквазичастичной mode. Полученные результаты в значительной степени являются предсказательными, поскольку пока ещё во многих ядрах не обнаружены экспериментально. В большинстве рассмотренных случаев имеется качественное и даже иногда удивительно хорошее количественное согласие теории и эксперимента вплоть до спина  $18^+$ , хотя и не для всех ядер. Такого соответствия, например, для  $^{120}\text{Xe}$  ему не удалось получить.

В **Заключении** представлены основные результаты работы. Главным является предложенная и осуществлённая автором диссертации методика микроскопического вычисления бозонных параметров, что позволяет ему с довольно хорошей точностью описывать высокоспиновые состояния в чётно-чётных переходных ядрах.

Замечания к диссертации носят в значительной степени характер пожеланий.

В своих исследованиях низколежащих возбуждений положительной чётности и электромагнитных переходов между ними, автор ограничивается E2-переходами. На мой взгляд, было бы интересно расширить этот подход и проверить его применимость на исследование природы и свойств магнитных M1-переходов.

При анализе структуры возбуждённых состояний автор не проводит сопоставления с экспериментальными данными по их квазичастичной структуре, по-

лучаемыми по спектроскопическим факторам из прямых ядерных реакций передачи нуклонов. Представляло бы большой интерес провести расчёты в сильно деформированных ядрах редкоземельной или трансурановой областей, чтобы определить пределы применимости МВБ и сравнить её выводы с результатами, полученными в Квазичастично-Фононной Модели Ядра, развивающейся в ЛТФ ОИЯИ.

**Научная и практическая ценность** проведённых автором диссертации исследований определяется тем, что создана возможность с единым сферическим базисом одночастичных состояний описывать коллективные возбуждения чётно-чётных ядер, различающихся по форме от сферических до деформированных.

**Обоснованность полученных результатов** основана на том, что в работе последовательно реализовывались те требования к микроскопическому бозонному описанию коллективных свойств ядер, которые были сформулированы в предыдущих исследованиях. В основе применяемых подходов были широко используемые в теоретической ядерной физике метод случайной фазы и приближение БКШ. При решении поставленной задачи эти методы были существенно модифицированы.

**Личный вклад** А.Д. Ефимова в данных исследованиях был определяющим, что подтверждается его докладами на многих международных и отечественных конференциях и семинарах и обсуждениями, которые эти выступления сопровождали.

Оценивая диссертацию в целом, следует сказать, что А.Д. Ефимовым получены важные, имеющие большую научную ценность результаты, это законченное научное исследование. Многие из них получены им впервые. Они, несомненно, будут использованы при планировании новых экспериментов и анализе получаемых в них данных. Исследования выполнены им на хорошем научном уровне. Достоверность их подтверждается хорошим описанием экспериментальных данных. Полученные диссидентом результаты представляют определённый шаг в создании в будущем микроскопического описания структуры и свойств нечётных и нечётно-нечётных ядер. Замечания по диссертации не снижают её высокой положительной оценки. Работы автора своевременно опубликованы в ведущих российских и зарубежных научных журналах и в трудах научных конференций и докладывались на них. Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации.

Значительный объём выполненных А.Д. Ефимовым исследований по актуальной теме позволяет сделать заключение, что его диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК и Минобрнауки РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора физико-математических наук, а её автор,

Ефимов Александр Дмитриевич, безусловно заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент:

03.06.2010

Малов Леонард Александрович,  
ведущий научный сотрудник Лаборатории  
теоретической физики ОИЯИ,  
доктор физико-математических наук.

ул. Жолио-Кюри, д. 6, г. Дубна, 141980,  
Московская обл.

тел.: +7 903 261 79 45

e-mail: [malov@theor.jinr.ru](mailto:malov@theor.jinr.ru)

Даю согласие на обработку моих персональных данных любым законодательно разрешенным способом.

Подпись официального оппонента Л.А. Ма  
Ученый секретарь ЛТФ ОИЯИ

А.В.Андреев

