

Академія наук України
Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголобова

На правах рукопису

Бистренко
Олексій Васильович

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ
КЛАСТЕРНИХ ТА КОЛЕКТИВНИХ КВАДРУПОЛЬНИХ
СТУПЕНІВ ВЛЬНОСТІ ЯДРА ^{20}Ne

01.04.02 - теоретична фізика

Автореферат дисертації
на здобуття вченого ступеня
кандидата фізико-математичних наук

К и і в - 1993

АВ 28915

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00814061 (К)

Дисертація в рукопис.

Робота виконана в Інституті теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова Академії наук України.

Наукові керівники:

доктор фізико-математичних наук, професор Філіпов Г. Ф.

кандидат фізико-математичних наук Охріменко І. П.

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук Симоног І. В.

кандидат фізико-математичних наук Доценко І. С.

Провідна організація:

Інститут ядерних досліджень АН України

Захист відбудеться "21" грудня 1993 р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради (шифр Д 016.34.01) при Інституті теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова Академії наук України (252143, Київ-143, вул. Метрологічна, 14б).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту теоретичної фізики АН України.

Автореферат розісланий "16" листопада 1993 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої ради
доктор фіз.-мат. наук

В. Є. Кузьмічев

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Головні успіхи мікроскопічної теорії легких ядер останнім часом пов'язані з розвитком багатоканальних варіантів метода резонуючих груп (МРТ) - одного з найбільш ефективних методів дослідження різноманітних мод руху ядер. Подібні підходи дали можливість теоретично описати процеси взаємодії різних каналів (кластерних та колективних) найлегших ядер та вивчити їх вплив на структуру суцільного спектра. Однак, вже у випадку ядер α - оболонки послідовне мікроскопічне врахування навіть двох каналів пов'язане зі значними труднощами. Одною з найбільш цікавих систем такого роду є ядро ^{20}Ne . Експериментальні дані вказують, з одного боку, на істотну α -кластеризацію ^{20}Ne , про що свідчить, наприклад, низька енергія порогу у α - ^{16}O - каналі. З іншого боку, поведінка Е2- ймовірностей, зокрема, явище гігантського квадрупольного резонансу, що проявляється у вигляді значної концентрації ймовірностей Е2- переходів в області 20 - 30 Мев, свідчить про важливу роль квадрупольної моди у формуванні структури суцільного спектра. Мікроскопічні ж розрахунки структури цього ядра, виконані до цього часу, враховують лише окремо або кластерні, або колективні канали, і не дають змоги пояснити в рамках єдиного підходу основні властивості суцільного спектра. Так, наприклад, кластерні моделі, які задовільно описують параметри бар'єрних резонансів, не можуть пояснити енергетичний розподіл Е2- ймовірностей. Щодо колективних моделей, які добре описують поведінку Е2- ймовірностей та явище гігантського квадрупольного резонансу, то вони взагалі не в змозі пояснити існування суцільного спектра у розглядуваній області енергій (до 30 Мев), бо колективні канали залишаються тут закритими. У зв'язку з цим видається актуальним розв'язання двоканальної задачі, яке враховувало б зв'язок кластерного і колективного квадрупольного каналів.

Метою роботи є дослідження впливу взаємодії α - кластерної та колективної квадрупольної мод руху ядра ^{20}Ne на структуру суцільного спектра в рамках послідовного мікроскопічного підходу

- алгебраїчної версії МРТ. Головну увагу було приділено вивченню резонансних станів в суцільному спектрі, а також дослідженню поведінки ймовірностей квадрупольних переходів між станами дискретного та суцільного спектрів.

Наукова новизна та практична цінність роботи полягає у тому, що вперше виходячи з послідовної мікроскопічної теорії розв'язана задача дослідження структури суцільного спектра ^{20}Ne в урахуванням зв'язку α - кластерного та колективного квадрупольного каналів:

одержано явні вирази для матриці густини та твірних інваріантів для операторів кінетичної та потенціальної енергій, одиничного та квадрупольного операторів. При цьому останні є основою для дослідження в рамках запропонованого методу інших ядер sd - оболонки ($n+^{16}\text{O}$; $p+^{16}\text{O}$, а також таких систем, як $\alpha+^{40}\text{Ca}$, $n+^{40}\text{Ca}$, тощо). Отримані результати можуть бути використані для розрахунку не тільки потенціальної енергії, зумовленої дією NN -сил, але також для обчислення кулонівської енергії ядер sd - оболонки. Крім того, знайдені вирази можуть бути застосовані безпосередньо в розрахунках властивостей ядер sd - оболонки в альтернативних версіях МРТ як ядра інтегральних рівнянь;

уперше сформульована та розв'язана система рівнянь динаміки алгебраїчної версії МРТ для випадку взаємодії кластерної та колективної мод ^{20}Ne ; розраховано спектр зв'язаних станів і параметри (положення та ширини) бар'єрних і квадрупольних резонансів; знайдено фази та перерізи α - ^{16}O - розсіяння для різних кутових моментів та парностей;

розраховано ймовірності $E2$ - переходів між станами зв'язаного та суцільного спектрів та відповідні квадрупольні правила сум; розглядено можливість пояснення гігантського квадрупольного резонансу у рамках даного методу, а також правомірність апроксимації суцільного спектра станами дискретного спектру (яка прийнята у колективних моделях);

досліджена залежність отриманих результатів від використаних NN -потенціалів, розглядуваних мод руху та відповідних конфігурацій базисних функцій.

Апробація роботи. Головні результати дисертації доповідались на XXXII нараді з ядерної спектроскопії та структури атомного ядра (Київ, 1992); на міжнародній конференції "Physics in Ukraine" (Київ, 1993); на семінарах ІТФ АН України.

Публікації. Головні результати дисертації [1 - 8] опубліковані у вигляді статей в журналі "Ядерная физика", препринтів ІТФ АН України, в працях конференцій.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, заключення, додатку та списку цитованої літератури з 59 найменувань. Загальний об'єм дисертації - 94 сторінки друкованого тексту, включаючи 31 малюнок і 4 таблиці.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність поставленої проблеми, сформульовано мету роботи, окреслено структуру дисертації.

Головними етапами при розв'язуванні конкретної задачі в рамках алгебраїчної версії МРТ є:

- 1) визначення актуальних нуклонних мод та побудова відповідних твірних інваріантів;
- 2) побудова у явному вигляді динамічної системи лінійних алгебраїчних рівнянь;
- 3) розв'язання рівнянь динаміки.

Метою першого розділу є реалізація пунктів 1) і 2) для випадку задачі взємодії α - кластерного та колективного квадрупольного каналів в ядрі ^{20}Ne . При цьому головну увагу приділено обрахунку явного вигляду твірних інваріантів для операторів, що входять до гамільтоніану системи; у випадку ядер α - оболонки подібні розрахунки з технічного боку є надзвичайно складними.

Побудовано твірні функції для осциляторного базиса, придатного для дослідження двоканальної задачі, а також знайдено явний вигляд одностинкової матриці густини для розглядуваної системи, яка є потужним засобом обчислення твірних інваріантів для різноманітних операторів. Знайдено явний вигляд твірних

інваріантів для таких операторів фізичних величин, як одиничний оператор, оператори кінетичної та потенціальної енергій. Розглянуто можливість застосування отриманих результатів для обчислення кулонівської енергії ^{20}Ne .

Тут також сформульовані рівняння динаміки алгебраїчної версії МРГ для даної задачі та розглядаються методи їх розв'язання для випадків дискретного і суцільного спектрів.

У другому розділі дисертації виходячи з отриманих рівнянь динаміки досліджено стани дискретного та суцільного спектрів ^{20}Ne , а також фази та перерізи α - ^{16}O - розсіяння для різних парностей та кутових моментів. Для опису нуклон-нуклонної взаємодії використано ряд напівреалістичних NN - потенціалів. Розрахунки проведені як без, так і з урахуванням кулонівської взаємодії для різноманітних конфігурацій базисних функцій та відповідних їм мод руху.

Одним з головних питань при розгляді ізольованого α -кластерного каналу є питання про походження 0_2^+ - 4_2^+ - обертальної смуги резонансів, що спостерігається в області 2 - 4 МеВ над порогом α - ^{16}O розвалу. Більшість авторів схиляються до думки про її кулонівську природу; проте, можна зустріти і спроби альтернативних пояснень. Виконані в дисертації розрахунки підтверджують кулонівське походження цієї смуги.

В цьому розділі розглянуто також питання про можливість пояснити в рамках запропонованого методу α - кластерну природу 10^+ - резонансів, що спостерігались останнім часом в області 26 - 28 МеВ. Проведено порівняння отриманих результатів з розрахунками структури ядра ^{20}Ne , що враховують лише квадрупольний канал, а також з розрахунками α - кластерної структури ^{20}Ne , виконаними у традиційних варіантах МРГ.

При розгляді двоканальної задачі головну увагу було звернено на вплив квадрупольної моди на структуру суцільного спектра. Одне з основних питань при цьому - про можливість прояву (у вигляді резонансного стану) або розчинення квадрупольного збудження у суцільному спектрі після врахування кластерного каналу; відповідь на це питання залежить від інтенсивності зв'язку каналів. У зв'язку з цим у дисертації обговорюється можливість застосування у випадку даної задачі

емпіричного критерію, запропонованого останнім часом іншими авторами. Як свідчать проведені розрахунки, згаданий критерій у розглядуваному випадку потребує уточнень.

Досліджено поведінку хвильових функцій суцільного спектра, фаз та перерізів α - ^{16}O розсіяння в області енергій, близькій до резонансної. Показано, що при наближенні до квадрупольного резонанса відбувається "розхитування" квадрупольної моди: внески відповідних квадрупольних амплітуд у порівнянні з кластерними різко зростають.

Виконана оцінка ядерних ширин (та інших параметрів) квадрупольних резонансів.

В третьому розділі дисертації двоканальний варіант алгебраїчної версії МРГ застосовано до розгляду ймовірностей Е2-переходів між станами дискретного та суцільного спектрів ^{20}Ne та явища гігантського квадрупольного резонансу. Слід підкреслити, що, не дивлячись на те, що останнім часом в літературі було зроблено спробу урахувати вплив зв'язку α -кластерного та колективного квадрупольного каналів ^{20}Ne на поведінку Е2-ймовірностей, проте, дуже обмежена кількість врахованих у цій роботі кластерних функцій (до 6), а також застосований метод (апроксимація суцільного спектра дискретними рівнями, отриманими в результаті діагоналізації гамільтоніана на обмеженому базисі) не дають змоги говорити про послідовне урахування кластерного каналу. Справа у тому, що для коректного опису суцільного спектра необхідно розв'язувати задачу з відповідними граничними умовами, тобто враховувати асимптотику хвильових функцій суцільного спектра у кластерному каналі. Тому одне з головних питань, що були вивчені - про правомірність апроксимації неперервного спектру дискретними рівнями, як це робилось до цього часу у колективних моделях.

У цьому розділі також розглянуто енергетично-зв'язане квадрупольне правило сум; досліджено залежність енергетичного розподілу Е2-ймовірностей від конфігурації базисних функцій та від застосовуваних NN -потенціалів; проведено порівняння отриманих результатів з експериментом та даними інших авторів (за розрахунками, виконаними в колективних моделях). З аналітичних результатів даного розділу відзначимо явний вигляд

твірною матричного елемента для квадрупольного оператора, що потрібен для обчислення ймовірностей квадрупольних переходів.

У заключенні сформульовано головні результати дисертаційної роботи.

1. Побудовано твірні функції для багаточастинкового осциляторного базиса, придатного для дослідження взаємодії α -кластерного та колективного квадрупольного каналів у ядрі ^{20}Ne . Знайдено явний вигляд твірних матричних елементів для таких операторів фізичних величин, як кінетична і потенціальна енергії, одиничний та квадрупольний оператор. Отримані явні вирази для матриці густини та твірних інваріантів для розглядуваної задачі являють собою самостійний інтерес, бо значна частина отриманих аналітичних результатів є основою для вивчення у рамках запропонованого методу інших ядер α -оболонки ($n+^{16}\text{O}$; $p+^{16}\text{O}$, а також таких систем, як $\alpha+^{40}\text{Ca}$, $n+^{40}\text{Ca}$ тощо). При цьому вони можуть бути використані для обчислення не тільки потенціальної енергії, обумовленої дією NN - сил, але й для розрахунку кулонівської енергії ядер α -оболонки. Крім того, знайдечі вирази можуть бути використані безпосередньо у альтернативних варіантах МРГ як ядра інтегральних рівнянь.

2. Побудована і розв'язана система рівнянь динаміки алгебраїчної версії МРГ для випадку взаємодії кластерної та колективної квадрупольної мод ^{20}Ne . Тим самим уперше дослідження структури суцільного спектра ^{20}Ne виконано виходячи з послідовного мікроскопічного двоканального розрахунку. Досліджено стани дискретного та суцільного спектрів ^{20}Ne , обраховано фази і перерізи α - ^{16}O -розсіяння.

3. Обчислено ймовірності $E2$ -переходів між станами дискретного і суцільного спектрів. Вивчено питання про правомірність апроксимації суцільного спектра дискретними рівняннями, як це було можливим до цього часу в колективних моделях. Розглянуто енергетично-зв'язане квадрупольне правило сум та явище гігантського квадрупольного резонансу. Уперше з'явилась можливість обчислювати ймовірності $E2$ -переходів до будь-якого енергетичного інтервалу суцільного спектра.

4. Показано принципову можливість опису у рамках

запропонованого методу таких явищ у ядрі ^{20}Ne , як існування бар'єрних та квадрупольних резонансів, гігантського квадрупольного резонансу. Досліджено залежність отриманих результатів від розглядуваних мод руху, відповідних їм конфігурацій базисних функцій та застосованих NN - потенціалів.

5. Підтверджено кулонівську природу другої обертальної смуги 0_2^+ , 2_2^+ , 4_2^+ - резонансів в області 2 - 4 МеВ над порогом розвалу.

6. Показано, що урахування квадрупольного каналу в задачі α - ^{16}O -розсіяння призводить до появи в області вище 10 МеВ над порогом розвалу додаткових парних обертальних смуг резонансних станів квадрупольної природи. Підкреслимо, що цей висновок отримано в результаті послідовного мікроскопічного розрахунку і не залежить від вибору NN - сил.

7. Вперше виконано оцінку ядерних ширин квадрупольних збуджень ^{20}Ne .

8. Показано, що апроксимація неперервного спектру дискретними станами позитивної енергії (навіть при досить значній кількості використовуваних базисних функцій) є недостатньою для опису поведінки $E2$ - ймовірностей у ядрі ^{20}Ne , бо не дає змогу визначити енергетичний інтервал, до якого повинні бути віднесені відповідні дискретні дані. Коректний опис суцільного спектра в рамках алгебраїчної версії МРГ дає істотно більш детальну інформацію.

9. Показано, що урахування взаємодії кластерного та колективного квадрупольного каналів призводить до своєрідної конкуренції між бар'єрними та квадрупольними резонансами та до пов'язаного з нею перерозподілу $E2$ - ймовірностей між відповідними областями суцільного спектра. Спостерігається істотне домінування або бар'єрних, або квадрупольних резонансів.

Головні результати дисертації опубліковані в роботах:

1. Быстренко А. В. Алгебраическая реализация метода резонирующих групп для системы $^4\text{He} - ^{16}\text{O}$. Препринт ИТФ-81-131Р, 1981, 19 с.
2. Быстренко А. В. Алгебраическая реализация метода резонирующих

- груп для системи ${}^4\text{He} - {}^{16}\text{O}$. Тезиси докладов XXXII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Киев, 16 - 18 марта, 1982, "Наука".
3. Быстренко А. В. Исследование кластерной структуры ядра ${}^{20}\text{Ne}$ в алгебраической версии МРГ. "Ядерная Физика", 1984, т. 40, вып 2(8), с. 389-393.
 4. Bystrenko A. V. A study of cluster structure of nucleus ${}^{20}\text{Ne}$ in an algebraic version of RGM. Preprint ITP-83-116E, 14 p.
 5. Быстренко А. В., Охрименко И. П. Исследование квадрупольных резонансов в α - ${}^{16}\text{O}$ рассеянии. "Ядерная Физика", 1993, т. 56, вып. 5, с. 51 - 64.
 6. Быстренко А. В., Охрименко И. П. Исследование квадрупольных резонансов в α - ${}^{16}\text{O}$ рассеянии. Препринт ИТФ-92-23Р, 1992, 21 с.
 7. Bystrenko A. V., Okhrimenko I. P. The coupling of cluster and quadrupole channels in ${}^{20}\text{Ne}$ and its influence on the continuous spectrum structure. In: International Conference "Physics in Ukraine", Kiev, 22 - 27 June, 1993, p. 25 - 28.
 8. A. V. Bystrenko, I. P. Okhrimenko. The connection between cluster and collective quadrupole channels in ${}^{20}\text{Ne}$ and E2-transition probabilities between the bound and continuous spectrum states. Preprint ITP-93-53E, 1993, 18p.

БИСТРЕНКО ОЛЕКСІЙ ВАСИЛЬОВИЧ

Дослідження взаємодії кластерних та колективних
квадрупольних ступенів вільності ядра ^{20}Ne

Зам.- 272 Формат 60x84/16 Обл.-вид.арк.- 0,64

Підписано до друку 05.11.93 р. Тираж 100 екз.

Поліграфічна дільниця ІТФ АН України

464487

AB 28915

AB 28.915