

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Директор Інституту теоретичної фізики

ім. М. М. Боголюбова НАН України

академік НАН України

Анатолій ЗАГОРОДНІЙ



" 17 " 12 2023 р.

**ВИСНОВОК**

**Інституту теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Солохи-Климчак Мар'яни Дмитрівни на тему: «Динаміка дво- та трикластерних ядерних систем в мікроскопічних моделях», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 01.04.02 – Теоретична фізика, 10 – Природничі науки (104 – Фізика та астрономія)**

**ВИТЯГ**

з протоколу № 21 від 17 грудня 2023 р. засідання  
відділу теорії ядра і квантової теорії поля  
Інституту теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України

**СЛУХАЛИ:** провідного інженера лабораторії Структури атомних ядер відділу Теорії ядра і квантової теорії поля Інституту теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України Солоху-Климчак Мар'яну Дмитрівну за матеріалами дисертаційної роботи " Динаміка дво- та трикластерних ядерних систем в мікроскопічних моделях ", що висувається на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

**ПРИСУТНІ:**

керівник семінару – доктор фіз.-мат. наук, Лашко Юлія Анатоліївна,  
доктор фіз.-мат. наук, О.В. Нестеров  
доктор фіз.-мат. наук, В. С. Василевський;  
доктор фіз.-мат. наук, С.М.Перепелиця;  
кандидат фіз.-мат. наук, В. І. Жаба;  
кандидат фіз.-мат. наук, В. А. Бабенко;  
кандидат фіз.-мат. наук, Д. П'ятницький.  
кандидат фіз.-мат. наук, Б.Є. Гринюк

**УХВАЛИЛИ:** вважати дисертаційну роботу М.Д. “Динаміка дво- та трикластерних ядерних систем в мікроскопічних моделях” завершеним науковим дослідженням і затвердити такий висновок.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Солохи-Климчак Мар’яни Дмитрівни “Динаміка дво- та трикластерних ядерних систем в мікроскопічних моделях” написана за матеріалами робіт, що виконані ним під час навчання в аспірантурі в Інституті теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України (2019-2021 рр.) у відділі атомного ядра і квантової теорії поля, лабораторії структури атомного ядра та роботи на посаді провідного інженера в Інституті теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України (2012-2014 рр. та з 2023) у відділі теорії ядра і квантової теорії поля. Тема дисертації затверджена на засіданні вченої ради Інституту теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України від 28 грудня 2023 р., керівником призначено доктора фіз.-мат. наук, старшого наукового співробітника О.В. Нестерова.

### Актуальність роботи

Алгебраїчна версія методу резонуючих груп пройшла вже достатньо протяжній шлях свого розвитку. Так у фізиці легких атомних ядер вона вже використовувалась для вивчення бінарних одноканальних та багатоканальних реакцій, зв’язку колективних збуджень та бінарних каналів реакцій легких атомних ядер, задачі трикластерного континууму.

Але як і у кожного підходу при його розвитку мають місце свої внутрішні питання, відповіді на які є актуальними. Тому в першому розділі роботи розглядаються питання збіжності результатів за використанням T-матриці при дослідженні станів дискретного та неперервного спектрів. Розгляд обмежено модельними задачами частинки в полі центральних потенціалів.

Встановлення співвідношення між квантовими та класичними і квазікласичними методами опису фізичних систем є дуже цікавою та актуальною і складною проблемою сучасної фізики. Відомо, що маємо точну багаточастинкову хвильову функцію, то з точки зору квантової механіки, ми маємо вичерпну інформацію про систему яка розглядається. Але якщо нас цікавить лише усереднення одночастинкових та двочастинкових операторів нам достатньо знати одночастинкову матрицю густини. Але щоб наочно, при допомозі фазових портретів, показати як відбувається перехід від квантового стану до класичного необхідно побудувати густини у фазовому просторі. Для цього використовувалось перетворення Фока-Баргмана. Це було зроблено як для модельних систем, так і для реальної фізичної системи ядро  ${}^6\text{Li}$  в основному стані  $1^+$  та першого збудженого стану  $1^+$ .

Головною проблемою ядерної фізики є те, що до теперішнього часу невідомий потенціал обумовлюючий сильну взаємодію. Тому виявлення нових особливостей цього потенціалу є найактуальнішою задачею сучасної ядерної фізики. На протязі довгого часу для дослідження були доступні лише звичайні атомні ядра, тобто ті, які складаються з протонів і нейтронів. Але в п'ятдесятих роках минулого сторіччя було виявлено існування ядер, що складаються не тільки з протонів і нейтронів, а й такі, які містять в собі гіперони (кваркова структура:  $u$ -кварк,  $d$ -кварк + один з дивних кварків). Такі ядра називають гіперядрами. Зі звичайними ядрами їх споріднює те, що частинки з яких складаються ядра та гіперядра є сильно взаємодіючими. Тому дослідження гіперядер і зокрема зіставлення їх властивостями з властивостями звичайних ядер може дати додаткову інформацію про сильну взаємодію. При цьому роль теоретичних досліджень тут є дуже важливою оскільки експериментальні дослідження гіперядер ускладнені їх малим часом життя.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Виконана робота пов'язана з такими бюджетними темами: Дисертаційна робота виконувалась у відділі Структури атомних ядер Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт “Закономірності та властивості неперервного спектру легких атомних ядер, які проявляються в процесах їх зіткнень та розпаду” (2012-2016 рр.). та у відділі Теорії ядра і квантової теорії поля Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт (2022–2026 рр.): “Структура екзотичних ядер і гіперядер та динаміка реакцій за їх участю”.

**Метою досліджень**, дослідити динаміку 2-кластерних та 3-кластерних ядерних систем.

Для реалізації мети ми виконали такі задачі:

1. Розглянули збіжність хвильової функції та  $T$ -матричного розкладу по осциляторних функціях. Цей розгляд обмежили модельною задачею частинки в полі центрального потенціалу. Аналіз проводили в рамках матричної квантової механіки.

2. Дослідили фазові траєкторії для двох модельних задач: одновимірний вільний рух частинку у полі одновимірного гармонічного осцилятора:

-Показали, що фазовий портрет для станів континууму містить як скінченні так і нескінченні траєкторії.

-У міру збільшення енергії внесок фінітних траєкторій скорочується, а інфінітні траєкторії згущуються навколо класичних фазових траєкторій.

- Побудували фазові траєкторії для основного та збудженого стану ( $J^\pi = 1^+$ ) ядра  ${}^6\text{Li}$ , характеристики яких відтворювались в двокластерному представленні  $\alpha+d$  АВ МРГ.

- Продемонстрували, що фазовий портрет для зв'язаного стану містить лише фінітні фазові траєкторії, тоді як для високозбудженого стану нагадує фазовий портрет вільної частинки з незначним ефектом принципу Паулі

3. Продемонстрували, що кластерне представлення  $(D+n)+\Lambda$  безумовно відіграє домінуючу роль в описі властивостей гіперядра. Це обумовлено тим, що найнижчим порогом розпаду є поріг  ${}^3\text{H}+\Lambda$ , а енергія відриву гіперона становить близько 2 МеВ. При цьому, те, що гіперядро можливо представляти як кор  ${}^3\text{H}$  та  $\Lambda$ -гіперон, треба розглядати як перше наближення. Тому, що хоча взаємодія значно слабша та короткодіюча, ніж  $NN$  взаємодія,  $\Lambda$ -частинка може певною мірою поляризувати підсистему  ${}^3\text{H}$ .

*Об'єктом дослідження є:*

- З ціллю розширення можливостей АВ МРГ досліджувалась можливість використання  $T$ -матриці за допомогою її розкладу по осциляторному базису.

- Демонстрація можливостей використання фазових портретів для показу зв'язку між квантовими та класичними чи квазікласичними системами.

- Властивості гіперядра  ${}^4_\Lambda\text{H}$

*Предметом дослідження є*  $T$ -матриця в осциляторному представленні.

Фазові траєкторії для модельних та двокластерних задач, гіперядро  ${}^4_\Lambda\text{H}$ .

### **Практичне значення одержаних результатів**

Розроблено техніка використання методу  $T$ -матриці в задачах в яких пошук хвильової функції здійснюється за допомогою її розкладу по осциляторному базису. Техніку перевірено на тривимірних модельних задачах.

- За допомогою методу Фока-Баргмана побудовано фазові портрети для модельних систем та для реальної фізичної системи  ${}^6\text{Li}$ у двокластерному представленні  $\alpha+d$ .

- В рамках єдиного підходу за використанням трикластерної моделі досліджено властивості станів дискретного спектру та спектру неперервного в каналі  ${}^3\text{H}+\Lambda$  з врахуванням поляризації ядра мішені  ${}^3\text{H}=d+n$ .

### **Особистий внесок здобувача.**

#### 1 розділ

Приймала участь в аналітичних обчисленнях та провела всі необхідні числові розрахунки.

#### 2 розділ

Провела всі необхідні числові розрахунки та ілюстраційну роботу при підготовці статті для друку. Приймала участь у написанні тексту.

#### 3 розділ

Отримала тверді матричні елементи необхідні для числової реалізації задачі. Провела значну частину числових розрахунків, приймала участь в обговоренні результатів.

### **Основні результати дисертації** викладені у 3х роботах у наукових журналах:

[1] V.S. Vasilevsky, M.D. Soloha-Klymchak, T-matrix in discrete oscillator representation, Ukr. J. Phys. 60 (2015). No. 4, 297-308.

[2] Yu.A. Lashko, G.F. Filippov, V.S. Vasilevsky, M.D. Soloha-Krymchak, Phase portraits of quantum systems, Few-body Systems 55 (2014) 817-820.

[3] A.V. Nesterov, M. Solokha-Klymchak, Properties of  ${}^4_{\Lambda}\text{H}$  hypernucleus in three-cluster microscopic models, Ukr. J. Phys Vol. 66. (2021), No. 10, 846-856.

### **Апробація результатів дисертації**

Результати дисертаційної роботи доповідались на наступних семінарах та конференціях:

1. Боголюговські читання, Інститут теоретичної фізики НАН України, Київ, Україна, 16–17 жовтня 2023 р.
2. Міжнародна конференція “50 років академічної науки на Закарпатті” (ІЕФ-2020), Ужгород, 24-25 травня 2021 року.
3. Щорічна наукова конференція ІЯД, Київ, 27 вересня – 1 жовтня 2021 р.
4. Міжнародна наукова конференція молодих вчених та аспірантів ІЕР, м. Ужгород, 15-18 травня 2023 р
5. The 22<sup>nd</sup> European Conference on Few body Problems in Physics, September 9-13, 2013, Krakow, Poland.

### **Характеристика особистості здобувача**

Солоха-Климчак М.В. у 2009 р. закінчив кафедру теоретичної фізики Львівського національного університету імені Івана Франка та отримала ступінь магістра за спеціальністю «Фізика». З 2012 по 2014 рік працювала на посаді інженера у відділі «структури атомних ядер». У 2017 році пішла працювати вчителькою фізики і астрономії, інформатики у Спеціалізовану школу # 165 міста Києва. З 2019 по 2023 рік – навчалася в аспірантурі Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України з відривом від виробництва за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика. Після закінчення аспірантури Солоху-Климчак М.Д. було зараховано на посаду провідного інженера відділу Теорії ядра і квантової теорії поля Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України. З 2023 р. і по теперішній час Солоха-Климчак М. Д. працює в Інституті теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, основним науковим напрямком діяльності є дослідження ядерних систем, сильновзаємодіючих систем в мікроскопічних моделях.

### **УХВАЛЕНО:**

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Солохи-Климчак Мар'яни Дмитрівни “Динаміка дво- та трикластерних ядерних систем в мікроскопічних моделях”.
2. Визнати, що за актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Солохи-Климчак М.Д. відповідає спеціальності 104 Фізика та астрономія та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, пп. 6, 7, 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.
3. Рекомендувати дисертацію Солохи-Климчак М.Д. “Динаміка дво- та трикластерних ядерних систем в мікроскопічних моделях” до захисту на здобуття ступеня доктора філософії у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 104 Фізика та астрономія

4. Рекомендувати вченій раді Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

**Голова ради:**

**Горенштейн Марк Ісакович**, доктор фіз.-мат. наук, професор.

**Рецензенти:**

**Бабенко Володимир Анатолійович**, кандидат фіз.-мат. наук

**Гринюк Борис Євгенович**, кандидат фіз.-мат. наук.

**Офіційні опоненти:**

Плюйко Володимир Андрійович, доктор фіз –мат. наук., проф. кафедри ядерна фізика КНУ ім. Т. Г. Шевченка.

.

Михайлюк Вадим Петрович, доктор. фіз. - мат. наук, ІЯД НАН України, зав. лабораторією ТЯВП ВСЯ.

**Головуючий на засіданні –**

доктор фіз.-мат. наук,

провідний науковий співробітник

Інститут теоретичної фізики

ім. М. М. Боголюбова НАН України,

відділ теорії ядра

і квантової теорії поля



Віктор ВАСИЛЕВСЬКИЙ