

## ВІДГУК

### офіційного опонента

**на дисертаційну роботу Дувіряка Аскольда Андрійовича «Лагранжіани з часовою не локальністю та релятивістичні квантові задачі кількох тіл», подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика**

Релятивістська теорія прямих взаємодій (скорочено РТПВ) є відомою сукупністю підходів, концепцій та моделей для опису систем релятивістських частинок, в яких не використовується поняття поля як носія взаємодії із власними ступенями вільності. РТПВ у кількох випадках є корисною альтернативою сучасній квантовій теорії поля, зокрема у квантовій задачі кількох тіл. Відомими підходами до РТПВ є тривимірна релятивістська лагранжева механіка з вищими похідними, релятивістська гамільтонова механіка, явно коваріантний канонічний формалізм з в'язями, підхід на основі інтегралів дії типу Фоккера. Подальший розвиток формалізму РТПВ є актуальною задачею сучасної теоретичної фізики.

У дисертації Дувіряка А.А. зроблено акцент на аналізі різних лагранжіанів типу Фоккера для релятивістських двочастинкових та тричастинкових систем. Формалізм інтегралів Фоккера є апробованим підходом до РТПВ. Автор дисертації використовує два різні методи побудови моделі. По-перше, це заміна в інтегралі Тетраде-Фоккера симетричної функції Гріна на запізнюючу чи випереджаючу. Друга можливість гамільтонізації та квантування істотно-нелокальних часо-симетричних систем типу Фоккера ґрунтується на використанні розв'язків у вигляді колових орбіт. Таким чином, у певному сенсі наявний системний аналіз проблеми.

Різні підходи до РТПВ уже на протязі кількох десятиліть всебічно вивчаються у Інституті фізики конденсованих систем НАНУ спочатку групою Р.П. Гайди, а згодом і по сьогодні – групою В.І. Третяка. Таким чином, для досліджень у області РТПВ дисертант мав хорошу базу та можливість для творчих дискусій. Апарат та методи РТПВ широко застосовувалися та розвивалися у м. Львів, тому вони добре відомі дисертанту. Дисертаційна робота Дувіряка А.А. продовжує багаторічні дослідження, започатковані ще Р.П. Гайдою.

Основні результати дисертації полягають, по-перше, у квантовому описі та обчисленні спектрів двочастинкових систем з часо-асиметричною взаємодією польового типу. Окрім того, запропоновано схему квантування часо-симетричних фоккерівських систем, яку застосовано до кваркової моделі мезонів. В рамках частково-редукованої теорії поля отримано двочастинкові рівняння Дірака з різними взаємодіями, запропоновано їх блок-матричне представлення та псевдо-пертурбативний метод розв'язування, знайдено кілька точно розв'язуваних прикладів. Запропоновано нелінійні частково-редуковані теоретико-польові моделі з певним класом взаємодій, вказано їх відношення до спірної хромодинаміки.

Розроблена дисертантом тема представляє інтерес для фізики елементарних частинок, атомної та ядерної фізики. Тематика та проблематика, котрим присвячена дисертація, активно обговорюється та розвивається численною групою незалежних дослідників на сторінках багатьох провідних міжнародних журналів з теоретичної та математичної фізики. Роботи та результати дисертанта мають цілком пристойний вигляд серед низки публікацій інших авторів у галузі РТПВ. Рецензована дисертація доповнює попередні роботи цього напрямку новими теоретичними здобутками, отриманими на основі апробованих математичних методів.

Беззаперечними фактами, які доводять актуальність теми дисертації та вказують на достовірність отриманих результатів, є 20 публікації автора у провідних міжнародних журналах з теоретичної і математичної фізики та наявність позитивних посилань на результати автора інших незалежних від нього вчених, що є спеціалістами у даній галузі. Крім того, наявна низка публікацій у вітчизняних журналах. Матеріали дисертації опубліковані, зокрема, у таких визнаних журналах як Phys. Rev. A, J. Phys. A, J. Phys. J, Int. J.

Mod. Phys. A, Rep. Math. Phys., Eur. Phys. J, Cent. Eur. J. Phys. та у багатьох інших. На результати, які викладені у дисертації, у відомих журналах посилаються знані у даній тематиці спеціалісти, зокрема: L.M.Abreu, E.S.Nery (*Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brazil*), Jun-Kang He, Yue Li and Hong Chen (*Southwest University, Chongqing, China*), А.Е. Інопін (*Харківський Національний університет ім. Каразіна, Харків*), Олексій Туровський (*Інститут теоретичної фізики ім. Боголюбова, Київ*), Юрій Яремко (*Інститут фізики конденсованих систем, Львів*) та багато інших.

Дисертант використовує добре апробований математичний апарат класичної та квантової теорії поля, метод функцій Гріна, апарат електродинаміки Віллера-Фейнмана, що спирається на РТПВ, теоретико-груповий підхід.

Таким чином, достовірність одержаних результатів та висновків забезпечується використанням добре апробованих, а також сучасних математичних методів та порівнянням з результатами, отриманими іншими авторами. Про достовірність свідчить також цілком пристойна апробація результатів на багатьох міжнародних та вітчизняних конференціях і у опублікованих журнальних статтях.

Робота виконана в Інституті фізики конденсованих систем НАН України згідно планів робіт в рамках бюджетних тем НАН України.

За матеріалами дисертації опубліковано, 24 статті у фахових наукових журналах, 16 препринтів та 26 матеріалів і тез конференцій. Варто особливо відмітити, що дисертант має багато самостійних публікацій.

Дисертація складається з вступу, огляду літератури, шести розділів, висновків, списку використаних джерел (включає 415 найменувань) і додатків. Робота викладена на 378 сторінках.

У **вступі** висвітлені актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, мета і задачі дослідження, об'єкт та предмет дослідження, методи дослідження, структура та обсяг дисертації, короткий огляд розділів дисертації, наукова новизна одержаних результатів їх практичне і наукове значення, особистий внесок здобувача, апробація результатів дисертації на конференціях та у публікаціях, подяки.

У **першому розділі** цілком задовільно наведено огляд літератури за трьома темами, які стосуються дисертації. Представлено основні підходи до релятивістської квантової задачі кількох (особливо двох) тіл, релятивістські потенціальні моделі мезонів та баріонів, формалізм інтегралів дії типу Фоккера.

У **другому розділі** побудовано часо-асиметричні моделі польового типу. Спочатку розглядається модель, яка дозволяє усунути у фоккерівському інтегралі часову нелокальність і звести його до одно-часової Пуанкаре-інваріантної дії. Як наслідок отримано 10 нетерівських інтегралів руху. Для часо-асиметричних систем запропоновано явно коваріантний канонічний опис з двома в'язями 1-го класу. Для випадку гравітації, як нелінійного тензорного поля спіну  $s=2$ , часо-асиметричну модель побудовано на основі теорії гравітаційної дії на відстані Владімірова-Туригіна. Показано, що свобода вибору калібрувальних в'язей дозволяє перейти до тривимірних гамільтонових описів часо-асиметричних моделей у різних формах динаміки. Розглянуто різні конкретні приклади часо-асиметричних моделей польового типу і вивчена їх класична динаміка. Виконано квантування часо-асиметричних моделей з довільною теоретико-польовою взаємодією. Отримано спектри мас для векторної і скалярної взаємодій. Встановлено зв'язок квантованих часо-асиметричних моделей з квазіпотенціальними рівняннями Тодорова для безспінових частинок з електромагнітною і скалярною взаємодіями.

У **третьому розділі** розглянуто моделі кварків та мезонів. Кварки розглядаються як точкові частинки з внутрішніми ступенями вільності типу кольору. Запропонований лагранжів та гамільтонів опис такої частинки у калібрувальному полі як модель генерації динамічної маси кварків. Побудована потенціальна модель мезонів типу Фоккера. Класичний інтеграл дії для неї містить член взаємодії векторного типу, який виражається через функцію Гріна польового рівняння 4-го порядку. Квантування даної моделі спрощується в точковій

формі тривимірної гамільтонової динаміки. Основне у цьому описі рівняння на власні значення масового оператора зведено до квазіпотенціального типу і розв'язано двома способами.

У **четвертому розділі** розроблено метод квантування інтегралів типу Фоккера в наближенні майже колових орбіт. Метод базується на тому факті, що всі відомі в літературі двочастинкові фоккерівські системи з притягальною взаємодією допускають точні розв'язки у формі плоских концентричних колових орбіт, радіуси яких залежні від кутової швидкості частинки. Це доведено для двочастинкових систем типу Фоккера. Знайдено інтеграли руху – енергії та моменту імпульсу. Щоб охопити опис як легких так і важких мезонів, в модель введено короткосяжну взаємодію 1-глюонного обміну. Цього досягнуто шляхом доповнення дії тетраде-фоккерівським членом з константою сильної взаємодії. Тоді в нерелятивістській границі модель відтворює корнелівський потенціал.

**П'ятий розділ** присвячений частково-редукованій теорії поля і двочастинковим рівнянням Дірака. Розвинуто формалізм типу Фоккера для теоретико-польових систем. Розглянута система діраківських полів матерії, які взаємодіють з бозонним полем певної структури, а через нього – також і між собою. Часова нелокальність усувається безпосередньо в редукованому лагранжіані та інтегралах руху, в їх квазірелятивістських наближеннях. Квантування здійснюється нетрадиційно шляхом означення порожнього вакууму та накладання антикомутаційних співвідношень. Для вибору чи модифікації міжчастинкової взаємодії симетричну функцію Гріна поля-посередника запропоновано замінювати на феноменологічне пуанкаре-інваріантне ядро з потрібними властивостями. Таким чином, в рамках квазірелятивістських наближень виводяться двочастинкові рівняння Дірака з різними потенціалами. Запропоновано блок-матричне формулювання двочастинкового рівняння Дірака. Знайдено клас нових точних розв'язків цього рівняння із комбінаціями потенціалів лінійного і кулонівського типу, що мають складну спіно-кутову залежність.

У **шостому розділі** розвинуто іншу схему виведення кількочастинкових хвильових рівнянь з частково редукованих теоретико-польових лагранжіанів. Вона полягає в усуненні часової нелокальності на рівні гамільтонового опису з подальшим застосуванням канонічного квантування та варіаційного методу. Розглянуто частково-редуковану модель Юкави з медіатором уявної маси – тахіонним полем. Проаналізовано можливості введення утримної взаємодії в рамках частково-редукованої теорії поля. Процедуру редукції калібрувального поля-медіатора ітераційно застосовано до спінової хромодинаміки.

**Висновки** на належному рівні підсумовують одержані в дисертації результати та їх наукове значення.

Поряд з одержаними результатами в дисертації є недоліки.

1. Формули (6.1.14) і (6.1.15), вочевидь, суперечать основним принципам механіки

Гамільтона, оскільки в них стоїть  $\mathcal{E}_a = \frac{\delta \mathcal{L}}{\delta \phi_a}$ , а повинно бути  $\mathcal{E}_a = \frac{\delta \mathcal{L}}{\delta \dot{\phi}_a}$ , де  $\dot{\phi}_a = \frac{\partial \phi_a}{\partial x^0}$ .

Думка, що це описка – просто забув покласти крапку над «фі» – не є слушною, оскільки такі самі вирази стоять і у авторефераті, див. (35), (36). Далі, на основі цих хибних формул у дисертації виводяться інші формули...

2. Не ясна і дивна ситуація із таким терміном як «часо-асиметричні» системи, лагранжіани, тощо... Особливо із фізичним змістом цих понять. У інтернеті є 5-6 джерел, що містять такі поняття, причому два із них – це статті самого А.А. Дувіряка. Якщо такі задачі не розглядаються і не викликають інтерес, то як бути із актуальністю великої частини дисертації?

3. Апелювання у дисертації до таких понять як «темна матерія» і «темна енергія» є дещо несолідними, оскільки з астрофізичних експериментів останніх років слідує, що ці гіпотези себе не виправдовують і потрохи стають темою наукової фантастики. До речі, а де ж результати дисертанта у даній галузі? Не має? Тоді навіщо чіпати цей сторонній «пласт» сучасної фізики.

4. Низку зауважень викликають мова та стиль дисертації. Наприклад. Автор вживає дивний термін «диференційні рівняння» замість «диференціальні рівняння». Це дивно. Оскільки у математиці *основним терміном є диференціал*, а не *диференція* (відмінність), то і рівняння є диференціальним, а не диференційним! Правильний термін прийшов у українську (та інші славянські мови) з англійської, скоріш за все від Ісаака Ньютона. Щодо іншого терміна «диференційні», то він відноситься до об'єктів, що є якимось або чимось *розрізнені*, тобто *диференційовані* або *прокласифіковані* якимось їх фізичним параметром, що їх розрізняє... Далі. Інші дивні слова «релятивістичні системи» замість «релятивістські системи». В англійській мові (міжнародній мові фізики та математики) маємо «*relativistic systems*», а не «*relativistical systems*». До речі, «*relativistical systems*» я ніколи у англійській літературі з фізики та математики не зустрічав. Щодо «варіантний принцип» перед формулою (39) у авторефераті, то це описка, оскільки перед формулою (6.1.49) у дисертації стоять правильні слова «варіаційний принцип».

Однак наведені вище зауваження не впливають на загальне високе враження від дисертаційної роботи Дувіряка А.А. і не знижують її наукової цінності. Дисертація являє собою цілісне завершене наукове дослідження. Результати проведених досліджень викладені послідовно і чітко. Дисертант проявив свою високу наукову ерудицію, вміння ставити і розв'язувати складні та актуальні наукові задачі. Теоретичне значення і практична цінність основних положень, результатів і висновків дисертаційної роботи не викликають сумніву.

Слід відмітити високий ступінь самостійності автора – значна кількість журнальних статей, що увійшли в дисертацію, написані та опубліковані автором самостійно.

Автореферат дисертації повністю і правильно відображає її зміст. Всі положення, результати і висновки дисертаційної роботи повністю опубліковані у наведених у ній та авторефераті наукових статтях.

За науковим рівнем і обсягом проведених досліджень дисертаційна робота А.А. Дувіряка «Лагранжіани з часовою нелокальністю та релятивістичні квантові задачі кількох тіл» відповідає всім вимогам ВАК України до докторських дисертацій, а її автор Аскольд Андрійович Дувіряк заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Доктор фіз.-мат. наук,  
провідний науковий співробітник  
Інституту електронної фізики НАН України

В.М. Симулик

Підпис В.М. Симулика засвідчую:

Вчений секретар  
Інституту електронної фізики НАН України,  
кандидат фіз.-мат. наук

З.З. Торич