

Відгук
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Потієнко Олексія Сергійовича «Метод Лапласа для опису
інтерференційних ефектів в протон-протонному розсіянні і для побудови
Монте-Карло генераторів», подану на здобуття наукового ступеня
доктора філософії за спеціальністю 104 – «Фізика і астрономія»

Актуальність теми дисертаційного дослідження

Одним з факторів, які визначають складність опису процесів за участю сильної взаємодії є те, що вони супроводжуються утворенням великої кількості частинок. Зазвичай ці процеси аналізують з використанням ймовірностей цих процесів, не приймаючи до уваги їх фазові і квантові характеристики, які описуються амплітудами ймовірностей. Такий спрощений відхід часто використовується при аналізі моделей, які відносяться як до квантової теорії поля, так і для систем, принцип роботи яких базується на використанні статистичної обробки системи випадкових величин (на основі так-званих генераторів Монте – Карло). Це приводить до того, що багато дуже істотних квантових інтерференційних ефектів залишається недослідженими, а, відповідно, потенційно нові ефекти та процеси, що супроводжують сильну взаємодію за участю багатьох частинок, залишаються поза увагою дослідників.

Виходячи з цих обставин, тема даної дисертації, присвяченої застосуванню метода Лапласа для опису інтерференційних ефектів в протон-протонному розсіянні і побудові Монте-Карло генераторів з урахуванням цих ефектів, є важливою і актуальною як для розвитку теорії цих процесів, так і для оптимізації наступних експериментів.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій,
сформульованих у дисертації**

Незважаючи на наявність певних наближень (зокрема, підгонка константи зв'язку), робота представляє розрахунок, який проведений майже з перших принципів. В процесі досліджень автор розглядав протони та піони, які складаються з кварків, як кванти поля на основі методу багаточастинкових полів. Звичайно, питання про те, наскільки використання методу багаточастинкових полів може розглядатися як розрахунок з перших принципів, є досить дискусійним, але такий шлях безумовно є цікавим і повинен бути дослідженим.

В роботі доволі строго витримана структура динамічної теорії від лагранжіану до спостережуваних величин, тому представлені в дисертації результати є обґрунтованими саме використанням цієї динамічної теорії. Це є суттєвим плюсом представленої роботи саме з точки зору обґрунтованості результатів.

Всі положення і висновки обґрунтовані результатами як чисельних і аналітичних розрахунків, так і даними комп'ютерного моделювання. Ці розрахунки проведені математично строго. Застосовані наближення також детально обговорені і обґрунтовані.

В цілому ступінь обґрунтування положень і висновків дисертації не викликає сумнівів.

Достовірність результатів дисертації

Достовірність наукових результатів дисертації забезпечується використанням в дослідженні ряду сучасних теорій і методів теоретичної фізики та математики: теорії квантових полів, теорії груп, комбінаторної теорії, методів лінійної алгебри і математичного аналізу, чисельних методів діагоналізації матриць, максимізації функцій, генерування випадкових величин із заданими функціями розподілу. Результати розрахунків порівнювалися із відомими експериментальними результатами, проводилося зіставлення застосованих методів із підходами і результатами інших дослідників. При проведенні розрахунків і генерації подій ретельно контролювалася відповідність закону збереження енергії-імпульсу. Розроблені алгоритми тестувалися на простих моделях.



Варто відзначити, що автор приділив багато уваги обґрунтуванню достовірності отриманих результатів. Багато положень перевірено на окремих прикладах. Там, де це можливо і доцільно, проведені додаткові розрахунки, результати яких продемонстровано з метою обґрунтувати достовірність отриманих в дисертації результатів. З цього приводу варто відзначити рис.2.5-2.7, які візуалізують перевірку достовірності проведеного автором аналізу розташування точок максимуму амплітуди непружного розсіювання. Саме на результатах цього аналізу базуються висновки розділу 2. На рис. 2.14-2.16 наведено графіки, які дозволяють порівняти результати розрахунків автора із відомими експериментальними даними. Збіг на якісному рівні є аргументом на користь достовірності результатів. Водночас відсутність кількісного збігу є певним недоліком представленої роботи. Ці проблеми детально оговорені в роботі і можна погодитися з міркуваннями автора, що за наявності якісного збігу подальше ускладнення моделі може покращити ситуацію на кількісному рівні, особливо на тлі дефіциту подібних розрахунків в межах квантової теорії поля.

В розділі 3 варто відзначити перевірку достовірності результатів на конкретному простому прикладі (3.23), представлену на рис. 3.2, а також зіставлення з експериментальними даними результатів генерування на рис.3.3-3.8, з вже розглянутим зауваженням щодо відсутності кількісного збігу.

Наукова новизна результатів.

В дисертації розроблено новий підхід до розрахунків фейнманівських діаграм для процесів з утворенням великих кількостей вторинних частинок, а також для створення Монте-Карло генераторів відповідних процесів. Цей підхід принципово відрізняється від існуючих тим, що він не використовує припущень про сильну впорядкованість вторинних частинок по бистротах для мультипериферичних діаграм і про сильну впорядкованість по поперечних імпульсах для деревних діаграм. Також варто відзначити, що в моделі автора закон збереження енергії-імпульсу враховано із самого початку і всі подальші розрахунки проведені не на всьому фазовому просторі, а на його підмножині, що визначається заданим значенням повної енергії імпульсу.

Для порівняння варто відзначити, що в існуючих моделях закон збереження енергії-імпульсу зазвичай виконується лише наближено, що може приводити до істотних похибок. Для випадку мультипериферичних діаграм цей підхід дозволив автору сформулювати динамічну модель для опису повного перерізу розсіювання і інклюзивного перерізу по бистротах вторинних частинок, і виявити динамічний механізм що описує особливості залежностей що спостерігаються в експерименті.

Новим також є розроблений метод «написання» генераторів Монте-Карло із застосуванням методу Лапласа і метод генерування непружних подій з урахуванням інтерференційних внесків. Новизна цього методу суттєво пов'язана із новизною підходу до опису непружних процесів, що обговорена вище. Зазначене вище міркування щодо врахування в розробленій в дисертації моделі закону збереження енергії-імпульсу також варто віднести й до розробленого методу генерації. Запропонований спосіб генерування дозволяє відразу генерувати події, які задовольняють умові збереження енергії-імпульсу, в той час, як в існуючих генераторах це досягається із використанням додаткових і дуже громіздких процедур, які, крім того, накладають певні обмеження на залежності матричних елементів від чотири-імпульсів частинок в кінцевому стані.

Новим є розроблений в дисертації підхід до опису непружних процесів з утворенням злив. Окремо варто відзначити новизну розробленого в дисертації способу генерації злив, який суттєво відрізняється від існуючих як з точки зору можливостей по кількості частинок в кінцевому стані і кількості злив, що утворюються, так і по обґрунтованості динамічної моделі. Цей метод, на відміну від існуючих не потребує узгодження результатів генерації методом матричних елементів з наступною генерацією методом злив.

Важливим елементом наукової новизни результатів дисертації є виявлення

факторіального підсилення константи зв'язку в зливах і пов'язаного із ним нового механізму когерентності частинок в зливах.

Найважливішим фактором наукової новизни результатів дисертації, який стосується дисертації в цілому, є те що отримані результати дають нові інструменти дослідження інтерференційних ефектів в процесах непружного розсіювання з утворенням великої кількості частинок, містять новий погляд на ступінь суттєвості цих ефектів в процесах, що спостерігаються експерименті і привертають увагу дослідників до подальшого вивчення цих ефектів і розв'язку існуючих проблем.

Практичне значення отриманих в дисертації результатів

Розроблені в дисертації методи можуть бути застосовані при обробці експериментальних даних і плануванні експериментів, що вивчають процеси з утворенням великої кількості вторинних частинок як на прискорювачах, так і в космічних променях. Розроблені алгоритми Монте-Карло генерування можуть бути використані як для вдосконалення існуючих генераторів, так і при написанні нових. Отримані в дисертації результати можуть бути корисними при формуванні курсів з фізики високих енергій, теорії розсіювання і квантової теорії поля, а також курсів з комп'ютерного моделювання процесів розсіювання.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Результати дисертаційної роботи викладено в 18 публікаціях, 6 з яких індексуються в наукометричній базі Scopus, у тому числі в 8 статтях у наукових фахових виданнях України та інших держав (1 статтю опубліковано у виданні, віднесеному до першого квартилю Q 1 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank), 2 статтях у збірниках наукових праць міжнародних конференцій і додатково висвітлено в 8 тезах доповідей на міжнародних конференціях. Основні результати дисертації повністю висвітлено в цих публікаціях.

Основні положення дисертації також пройшли широку апробацію на низці фахових міжнародних конференцій і симпозіумах.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях не виявлено.

Аналіз змісту дисертації по розділах

Дисертація містить анотацію на українській та англійській мовах (с.2-13), вступ (с.16-23), чотири розділи (с. 24-36 – розділ 1, с.37-75 – розділ 2, с.76-96 – розділ 3, с.97-132), висновки (с.133-135), список використаних джерел (с.136-148), і додаток, що містить список публікацій здобувача і відомості щодо апробації результатів дисертації (с.152-153). Повний обсяг дисертації 153 сторінки. Обсяг основної частини 129 сторінок. Список цитувань містить 144 посилання.

Вступ містить стандартні пункти: загальну характеристику роботи, обґрунтування актуальності теми, характеристику зв'язку роботи з науковими програмами, планами, темами, формулювання мети і задач дослідження, предмета і об'єкта дослідження і методів дослідження, використаних в дисертації для розв'язку поставлених задач. Далі характеризуються наукова новизна і практичне значення результатів дисертації, особистий внесок здобувача, наводяться дані щодо апробації результатів дисертації на наукових конференціях, наводяться відомості про структуру і обсяг дисертації.

Перший розділ містить огляд публікацій, які стосуються інтерференційних ефектів в процесах непружного розсіювання адронів і генерація непружних подій з урахуванням цих ефектів. В огляді автор показує, що ці теми є справді недостатньо дослідженими та їм варто приділити увагу. Огляд є достатньо повним і з нього логічно витікає постановка задач дисертаційного дослідження.

Другий розділ присвячено розрахункам повного перерізу розсіювання протонів та інклюзивного перерізу по швидкості в обраній автором моделі для периферичних діаграм.

Основні результати другого розділу: викладений розроблений автором метод підсумування великої кількості інтерференційних внесків; за допомогою цього методу

розраховано парціальні перерізи непружного розсіювання; повний переріз розсіювання (хоча з не до кінця обґрунтованим внеском від пружного розсіювання, яке представлено лише однією полюсною діаграмою); інклюзивний переріз по швидкості вторинних частинок. Результати зіставлено з експериментом і на рівні якісної поведінки залежностей отримано досить непогане узгодження. Дано пояснення ефекту переходу від залежності з одним максимумом до плато і далі до появи двох симетричних максимумів в інклюзивному перерізі по швидкості. При цьому застосовано розроблений метод підсумування інтерференційних внесків.

Третій розділ присвячено Монте-Карло генерації непружного протон-протонного розсіювання з утворенням великих кількостей вторинних частинок. Автор демонструє переваги застосування методу Лапласа, яким він користувався в попередньому розділі, для розв'язку задачі генерації непружних подій на окремому випадку, коли квадрат модуля матричного елемента має одну точку максимуму. Слід зазначити, що аналіз, проведений здобувачем в попередньому розділі, демонструє обмеженість області застосування цього випадку інтервалом достатньо низьких енергій зіткнення протонів. Тому далі автор описує розроблений їм алгоритм генерування у випадку коли квадрат модуля амплітуди розсіювання має велику кількість точок максимуму. Цей алгоритм є основним результатом третього розділу, який варто відзначити, бо таке врахування інтерференційних ефектів при генерації є суттєво новим і недоступне в межах існуючих алгоритмів генерації.

Також слід зазначити, що є певні підстави для дискусій відносно того, наскільки точно цей алгоритм відтворює розподіл результатів експерименту у відповідності до квадрату модуля матричного елемента. Вочевидь, розроблений алгоритм розв'язує задачу врахування інтерференції при генерації подій в принципі і має досить гарний ресурс для вдосконалення і підвищення точності. Але бажано було б встановити наскільки потрібне це вдосконалення.

Четвертий розділ починається з аналітичного доведення того, що множники, які відповідають деревним блокам на діаграмі рис.4.1 (с. 97), досягають максимального значення при рівних значеннях чотиривекторів енергії-імпульса вторинних частинок які належать одному й тому самому деревному блоку. Доведення є достатньо логічним та фактичним, а результат - обґрунтованим і достовірним, але в межах розглянутої достатньо специфічної моделі. В зв'язку із цим виникає багато питань для дискусії. В моделі, яку розглянув здобувач, маса вторинних частинок і віртуальних частинок є однаковими, але можна, вочевидь, розглянути модель із різними масами. Наприклад, якщо розглядати партонні зливи то маси партонів не повинні дорівнювати масам вторинних адронів. Виникає питання - чи збережеться цей результат, який має ключову роль для всього четвертого розділу, для випадку різних мас? Окрім того, якщо розглядати не скалярні моделі, то вирази, які відповідають лініям окрім знаменників матимуть ще чисельники, які залежать від чотирьох імпульсів. Це змінить формальний вираз деревного блоку і знов постає питання чи збережеться висновок про рівність чотирьох імпульсів в точці максимуму в цьому випадку. Також варто відзначити, що в моделях партонної еволюції зазвичай використовують діаграми, що містять три-глюонні вершини, які залежать від чотирьох імпульсів частинок, які приєднуються до такої вершини, що теж змінить суттєво вираз для деревного блоку.

Таким чином відносно четвертого розділу варто зробити зауваження, що йому бракує аналізу питання, наскільки отримані результати залежні від обраної моделі. Ще одним зауваженням до четвертого розділу є те, що результати розрахунків і генерації методами цього розділу ніяким чином не порівнюються з експериментом.

Проте, незважаючи на зроблене зауваження, результати четвертого розділу заслуговують на схвальну оцінку, бо при моделюванні злив як теоретичними, так і методами Монте-Карло інтерференційні ефекти зазвичай просто ігноруються. Тому проведений в четвертому розділі аналіз, нехай і на основі дуже спрощеної моделі,

фактично є першою спробою вивчити роль цих ефектів, а отримані результати вказують на те, що інтерференційним ефектам в зливах потрібно приділити значно більше уваги, ніж це робилося до цих пір.

Найбільш важливим результатом четвертого розділу, на наш погляд, є те, що показана суттєвість інтерференції між різними зливами, яка, наскільки нам відомо, взагалі не розглядалась раніше в жодній моделі.

Якщо майбутні дослідження покажуть, що результати, отримані в четвертому розділі, можуть бути перенесені й на інші моделі, цінність цих результатів значно зросте.

Висновки по розділам і по дисертації відповідають отриманим в дисертації результатам. Вони точно виражають зміст і наукову новизну цих результатів і ґрунтуються на розглянутих в тексті доведеннях, математичних перетвореннях, графіках і порівнянні з результатами відомих експериментів. Отримані результати відповідають вказаним у вступі меті, задачам, предмету і об'єкту дослідження і дійсно досягнуті із використанням вказаних у вступі методів.

Оформлення дисертації

Оформлення дисертації виконане на належному рівні. Зауважень щодо оформлення немає.

Зауваження до дисертації

1. В роботі автор обґрунтовує використання для опису непружного розсіювання моделі «фі-три» результатами методу багаточастинкових полів, розробленого їм у співавторстві з іншими дослідниками. Однак в межах цієї моделі протони розглядаються як кванти біспінорного поля і маса віртуальних частинок (глюболів) не дорівнює масі вторинних адронів. В той же час, в дисертації протони розглядаються як кванти скалярного поля із відповідною масою, а маса віртуальних частинок дорівнює масі вторинних адронів. При цьому з точки зору основної теми дисертації – дослідження інтерференційних ефектів, незрозуміло, навіщо авторові потрібні такі спрощення, які ніяким чином не полегшують задачу врахування інтерференційних ефектів.

2. Автор стверджує, що запропоновані їм методи розрахунку можуть бути застосовані не тільки в межах спрощеної скалярної теорії «фі-три», а й в більш реалістичних теоріях. Але в цих не скалярних теоріях чисельники пропагаторів і вершини можуть залежати від чотири-імпульсів, що значно ускладнить аналіз, тому вказане твердження автора потребує ретельного обґрунтування, яке в тексті дисертації не наведено.

3. В розд.2 аналіз інтерференційних ефектів проводиться на основі припущення (стор.37), що всі вторинні частинки, які утворюються при протон-протонному розсіюванні мають однакову масу, яка дорівнює масі піона. Такий підхід дозволяє аналізувати інтерференційні процеси в системі ідентичних частинок-бозонів. Цікаво виявити, в якій мірі буде прояв інтерференційних ефектів у тому випадку, коли серед генерованих при такому розсіюванні частинок будуть різні типи бозонів, або навіть ферміони. Припущення про генерацію тільки ідентичних піонів істотно оптимізує аналіз, але може приводити до помилок і неузгодження з результатами експериментів.

Можливо, що саме із-за таких припущень автору не вдалося досягти кількісного збігу результатів розрахунків і генерації подій із результатами експерименту і довелося обмежитися лише збігом характеру залежностей величин, аналогічним тому, що спостерігається в експерименті. Це зауваження, як відзначено вище, стосується четвертого розділу дисертації. Якщо в попередніх розділах автором проведено порівняння результатів його розрахунків і Монте-Карло генерування із експериментом, то в четвертому розділі такого порівняння немає. Оскільки в четвертому розділі робляться важливі висновки щодо ролі інтерференційних ефектів в зливах, таке порівняння було б дуже важливим. Такий аналіз варто зробити в наступних дослідженнях.

4. Деякі зауваження можна зробити відносно розрахунку базового інтерференційного внеску (2.30), в якому автор стверджує, що кожен із добутоків у підінтегральному виразі

(2.30) є гаусівською функцією, тому увесь добуток також є гаусівською функцією і має єдину точку максимуму. Очевидно, що таке твердження абсолютно справедливе тільки в тому випадку, коли кожен з цих добутків має співпадаючий з іншими максимум. Це ж твердження не зовсім узгоджується з аналізом, який автор проводить на стор.55 (рис.2.8), де на простому прикладі показане формування добутку у формі розподілу з 2 або 4 максимумами.

Ще одне цікаве питання стосується реалізації умов інтерференції в таких процесах. Така інтерференція завжди вимагає виконання певних фазових умов хвильових функцій генерованих частинок. На жаль в літературі це питання практично не розглядалось, тому автору можна побажати провести в майбутньому такий аналіз.

5. Аналогічне зауваження відносно припущення, що всі вторинні частинки, мають однакову масу, яка дорівнює масі піона, стосується Висновку 5 (стор.135), де стверджується, що даний метод дозволяє генерувати партонні та адронні зливи з великою кількістю частинок у зливі і великою кількістю злив методом матричних елементів, користуючись розробленими методами інтерференцію між зливами. Для обґрунтування такого висновку бажано було б провести короткий аналіз, як впливає зміна типу генерованих частинок (піони на партони) на інтерференційні ефекти.

Слід зазначити, що ці зауваження не псують загального дуже позитивного враження від роботи і носять характер рекомендацій на майбутнє.

Загальна оцінка дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Потієнко О.С. «Метод Лапласа для опису інтерференційних ефектів в протон-протонному розсіянні і для побудови Монте-Карло генераторів» є завершеним науковим дослідженням, яка містить в собі нові науково обґрунтовані результати, що вперше визначають роль інтерференційних ефектів у відомих експериментах, а також відкривають нові можливості щодо розробки генераторів подій в різних багаточастинкових процесах для різних типів сильної взаємодії. Ці результати надруковані в фахових наукових журналах з високими науково метричними показниками і доповідались на спеціалізованих наукових конференціях високого рівня.

Дисертація відповідає вимогам, передбаченим п. 10 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затверджену постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167, а її автор Потієнко О.С. за розробку методу Лапласа для опису інтерференційних ефектів в протон-протонному розсіянні і для побудови Монте-Карло генераторів заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 104 – «Фізика та астрономія».

Завідувач кафедри математики і
теоретичної радіофізики
Київського національного університету
ім. Тараса Шевченка,
доктор фізико-математичних наук,
професор

02.11. 2020 р.

Висоцький В.І.

Потієнко О.С.
Бачина С.М.
Коробов Н.В.
02.11. 2020р.

