

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. Дисертація присвячена дослідженню багаточастинкових інтерференційних ефектів в процесах непружного розсіяння адронів та їх моделюванню Монте-Карло генераторами.

Процеси непружного розсіяння адронів є предметом експериментальних і теоретичних досліджень на протязі декількох десятиріч. Експериментальні дані, отримані в останні роки на великому адронному колайдері доводять, що ці дослідження зберігають свою актуальність. Водночас, існуючі підходи в фізиці розсіяння адронів явно чи неявно виходять з припущення, що інтерференційні ефекти є несуттєвими. Таке припущення ґрунтується на відносно вдалому описі експерименту в межах феноменологічних моделей з усіма притаманними таким моделям недоліками. При цьому узгодження з експериментом в таких моделях досягається за рахунок використання великої кількості підгінних параметрів, чи додаткових припущень. Тому дану дисертаційну роботу, де розроблено динамічну, а не феноменологічну модель, метод врахування інтерференційних внесків, на основі якого доведена їх суттєвість, слід вважати вельми актуальною.

Важливим аргументом на користь актуальності дисертаційної роботи є результати, пов'язані із новими підходами до написання Монте-Карло генераторів. Створення і вдосконалення таких генераторів вже давно перетворилося на окрему область досліджень. Отримані в дисертації результати можуть бути корисними при створенні нових, або вдосконаленні існуючих генераторів.

Наукова новизна результатів дисертації полягає в наступному:

- розроблено новий метод підсумування інтерференційних внесків, який дозволив оцінити важливість їх врахування при моделюванні характеристик розсіяння, які вимірюються в експерименті. Цей метод дозволив також суттєво просунутися в збільшенні кількості вторинних частинок, для яких може бути проведений розрахунок;
- отримано результати експериментів з утворенням великої кількості вторинних частинок на рівні якісного збігу, описаний в межах динамічної моделі без якихось феноменологічних припущень, таких як, наприклад, домінування внеску мультиреджівської області фазового простору у величин, що вимірюються в експерименті, чи – то сильного впорядкування або по повздовжнім, як в реджійонній феноменології, або по поперечним, як в теорії ДГЛАП компонентам імпульсів вторинних частинок;
- виявлено інтерференційний механізм зміни із зростанням енергії інклюзивного перерізу по бистротам і дано пояснення ефекту утворення «плато» в залежності інклюзивного перерізу від бистроти. Цей ефект був на протязі багатьох років в центрі уваги Редже-феноменологічних моделей, але він ніколи не пояснювався з динамічних, тим більше інтерференційних міркувань;

- вперше застосовано метод Лапласа до розробки алгоритмів генерації непружних подій і показано, що за допомогою цього методу можна розв'язати проблеми, які заважали генерувати багаточастинкові події методом матричних елементів;
- розроблено новий метод генерування злив частинок, який на відміну від існуючих методів, дозволив довести суттєвість інтерференції між станами частинок в різних зливах і показати, що її необхідно враховувати. Таке питання раніше не досліджувалося через відсутність методів для такого дослідження, тому існуючі методи генерації ґрунтуються на припущенні, що інтерференцією між зливами можна знехтувати. Результати даної дисертації примушують інакше дивитися на це питання.

Практичне значення отриманих в дисертації результатів. Отримані в дисертації результати привертають увагу дослідників в області процесів розсіяння адронів до тих задач, якими на протязі багатьох років практично не займалися.

Наведені в роботі алгоритми та їх програмні реалізації можуть бути корисними при подальшому вдосконаленні запропонованих в дисертації моделей.

Нові методи розробки генераторів подій можуть значно спростити написання і реалізацію алгоритмів для Монте-Карло генераторів непружних подій, розширити можливості Монте-Карло генераторів при генеруванні подій із утворенням великої кількості вторинних частинок, а також можливості щодо потрібного врахування інтерференційних внесків, і пов'язаних із цим експериментальних ефектів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Автором наведено докладний аналіз існуючих підходів до тих питань, які розглядаються в дисертації, тому постановка задач і мотивація дослідження є обґрунтованими. Для опису процесу непружного розсіяння в дисертації обрано найпростішу динамічну квантово-польову модель «фі-три» з дійсним скалярним полем. Як метод розв'язання динамічної задачі використовується теорія збурень у вигляді діаграмної техніки Р.Фейнмана. Дійсно, використання не скалярних полів із додатковими лоренцевими і внутрішніми ступенями свободи призвело б до виникнення додаткових труднощів, які не мають відношення до розв'язку проблем, що розглядаються в дисертації, тому застосування спрощеної моделі є обґрунтованим і в цьому можна погодитися із дисертантом. В межах обраної динамічної моделі і методу її розв'язку обґрунтування подальших міркувань не викликає сумнівів, бо воно проводиться на основі математично строгих розрахунків як аналітичних так і чисельних. Фізичні висновки ґрунтуються на аналізі певних геометричних властивостей поверхонь в багатовимірному просторі, автор намагається за можливості візуалізувати за допомогою графіків, ті геометричні властивості, на яких базуються його висновки.

Положення, що стосуються розробки алгоритмів для Монте-Карло генераторів обґрунтовуються конкретно реалізацією цих положень в виді алгоритмів і програмних кодів із зіставленням їх результатів з результатами експерименту. При цьому в дисертації не проведено порівняння результатів генерування із аналогічними результатами інших генераторів, що є недоліком роботи.

Достовірність отриманих в дисертації результатів перш за все визначається збігом (із застереженнями, що стосуються відсутності кількісного збігу) отриманих результатів із відомими експериментальними результатами. З теоретичної точки зору, достовірність висновків визначається застосуванням адекватного

фізичного і математичного апарату. Оскільки в дисертації розглядаються процеси непружного розсіювання мікрочастинок, розігнаних до релятивістських енергій, то адекватним фізико-математичним засобом розв'язку відповідних задач є квантова теорія поля. Саме така квантово-польова динаміка й розглядається в дисертації, хоча й в найпростішому варіанті. Положення дисертації сформульовані на основі таких відомих математичних фактів як центральна гранична теорема, метод Лапласа для розрахунку багатовимірних інтегралів, методах діагоналізації матриць і, відповідно – розрахунку власних значень і власних векторів цих матриць. Всі ці результати коректно застосовано при проведенні аналітичних і чисельних розрахунків, пов'язаних із дисертаційним дослідженням, що визначає достовірність сформульованих здобувачем висновків.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях. За темою дисертаційної роботи опубліковано 18 праць, з яких 6 індексуються в наукометричній базі Scopus. Серед них 8 статей у наукових фахових виданнях України та інших держав (1 стаття опублікована у журналі, який відноситься до першого квартилю Q1), 2 статті - у збірниках наукових праць міжнародних конференцій і 8 тез доповідей на міжнародних конференціях. Основні результати дисертації повністю висвітлені у зазначених публікаціях і широко апробовані на наукових форумах високого рівня.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях не знайдено.

Аналіз змісту дисертації по розділах.

Вступ містить загальну характеристику роботи та обґрунтування її актуальності. Також наведені наукове і практичне значення отриманих результатів, мета і задачі дослідження. Окрім того, у вступі формулюються основні результати і положення, які виносяться на захист.

В першому розділі автор аналізує попередні роботи, що стосуються врахування інтерференції в процесах розсіювання з утворенням великої кількості частинок в кінцевому стані, а також описує існуючі Монте-Карло генератори. Виходячи з цього аналізу, формулюється постановка задач, які розв'язуються в дисертації.

В другому розділі, автор пояснює розроблений їм метод врахування інтерференційних внесків в повні перерізи розсіювання та інклюзивні перерізи по швидкості. Суть методу полягає в тому, щоб згрупувати інтерференційні доданки з близькими точками максимуму так, щоб кожна така сума мала одну точку максимуму. Тоді метод Лапласа застосовується для кожної такої суми і залишається врахувати лише інтерференцію між різними сумами. Це значно зменшує кількість доданків в сумі, яку потрібно розрахувати шляхом прямого підсумування. Проблема полягає в тому, що підсумовуючи доданки хоч із близькими, але не співпадаючими максимумами, дисертант отримує функцію із широким розмитим максимумом. Це вочевидь погіршує точність розрахунку. Проте це не заважає отримати, хоч і на рівні якісного збігу, цікаві результати щодо опису експериментів з вимірювання повного перерізу розсіювання адронів та інклюзивного перерізу по швидкостях вторинних частинок і виявити фізичні механізми, що визначають цю поведінку. Дискусійним моментом є те, що всі розрахунки проведені в найпростішій динамічній квантово-

польовій моделі «фі-три» із дійсним скалярним полем. Розгляд моделі з комплексним скалярним полем дозволив би врахувати те, що в експерименті вимірюється інклюзивний переріз по бистротам саме заряджених частинок.

Основні результати – це розроблений метод підсумування інтерференційних внесків, динамічна модель для інклюзивного перерізу по бистроті та інтерференційне пояснення зміни залежності інклюзивного перерізу від бистроти в широкому інтервалі енергій зіткнення протонів.

В третьому розділі дисертант описує розроблений їм метод генерації непружних подій за допомогою методу Лапласа. Спочатку розглядається ситуація, коли модуль амплітуди розсіяння має одну точку максимуму. Виходячи з результатів попереднього розділу, така ситуація може бути при достатньо низьких енергіях, коли точки максимуму всіх інтерференційних внесків настільки близькі, що сума їх має лише одну точку максимуму. Перевагами цього методу є те, що непружні події генеруються відразу з урахуванням закону збереження енергії – імпульсу і задача генерації складно скорельованих величин, в околі точки максимуму, зводиться до генерування незалежних гаусівських величин. Дискусійним моментом є те що максимум є розмитим, і тому гаусівське наближення, застосоване автором, може виявитися недостатнім в усій області фазового простору, в який сконцентровано більшість подій.

Далі дисертант переходить до випадку, коли амплітуда розсіяння має декілька (можливо навіть багато) точок максимуму. Метод генерації подій в цьому випадку базується на результатах, отриманих в другому розділі. Автор розробив суто алгоритмічний спосіб генерації, використовуючи лише окіл однієї точки максимуму, але замінюючи згенеровані події фізично еквівалентними, які отримуються перестановкою змінних різних частинок. За допомогою цього методу знову відтворена експериментальна залежність інклюзивного перерізу по бистроті від цієї бистроти, але вже суто методами Монте-Карло. Тому цей результат варто відзначити як основний результат третього розділу.

В четвертому розділі автор описує розроблений ним метод генерації злив, який за допомогою методу Лапласа можна реалізувати в межах методу матричних елементів для декількох десятків частинок в кінцевому стані. Основні результати цього розділу, які варто відзначити такі. Автор математично строго аналітично показав, що кожен деревний блок на діаграмі з декількома деревами досягає максимального значення при однакових чотириімпульсах частинок, що приєднуються до цього блоку. Це означає, що частинки в деревному блоці скорельовані по чотириімпульсах, що дає підставу вважати, що деревні блоки описують зливи частинок. Окрім того, однаковість чотириімпульсів частинок дерева в точці максимуму призводить до того, що підсумування по всіх перестановках частинок одного дерева призводить до факторіального множника для значення амплітуди в точці максимуму. Тепер таке підсумування є підсумуванням функцій із максимумами не в близьких точках, а в одній і тій самій точці. В результаті максимум виявляється не розмитим як в попередніх розділах і застосування методу Лапласа не викликає сумнівів. Також важливим результатом розділу 4 є те що дисертант провів розрахунок парціальних перерізів без врахування інтерференції між різними деревами і з її урахуванням і показав таким чином, що інтерференція між різними зливами має суттєве значення.

Висновки логічно витікають з тексту дисертації і в повному обсязі відображають сутність отриманих в дисертації результатів. Ці результати є розв'язками задач, поставлених у вступній частині дисертації. Завдяки розв'язкам цих задач автор досягає сформульованої мети, а саме, за допомогою отриманих результатів він розрахував парціальні перерізи непружного розсіяння і визначив роль інтерференційних ефектів в експериментально спостережуваній залежності парціального перерізу по швидкості при різних енергіях зіткнення протонів. Також за допомогою розроблених в дисертації методів автор створив Монте-Карло генератор і на рівні якісного збігу описав цим генератором експериментальний результат, а також згенерував процеси з утворенням декількох злив.

Оформлення дисертації. До оформлення дисертації зауважень немає. Зміст дисертації викладений послідовно, всі міркування детально обґрунтовуються або математично доводяться, для пояснення своїх міркувань автор використовує пояснювальні рисунки, які сприяють розумінню тексту дисертації.

Викладення змісту дисертації є обґрунтованим, послідовним і докладним. Всі перетворення добре прокоментовані.

Зауваження до дисертації

1. Можна погодитися із тим, що використання автором простої динамічної квантово-польової моделі є логічним з огляду на поставлені в дисертації задачі. Але використана в дисертації модель «фі-три» із дійсним скалярним полем видається занадто спрощеною. Використання моделі із комплексним полем не ускладнило б суттєво розв'язки поставлених задач, але дозволило б наблизитись до експерименту в якому вимірюються характеристики заряджених частинок.

2. Суть методу врахування інтерференційних внесків, розробленого дисертантом, полягає в застосуванні методу Лапласа до суми інтерференційних внесків із близькими максимумами. Але максимум такої суми є достатньо широким і не «гаусоподібний», що зокрема видно з рис. 2.7 на сторінці 53. Тому з точки зору точності розрахунку використання в цій ситуації методу Лапласа, який ефективний тоді, коли максимум є достатньо гострий, викликає сумнів.

3. В другому і третьому розділі дисертант порівнює свої результати із відомими експериментальними даними. В той же час, четвертий розділ, присвячений Монте-Карло генеруванню злив частинок, не містить жодного порівняння із експериментальними даними. Оскільки існуючі Монте-Карло генератори використовують для генерування злив, то доцільно було б порівняти результати генерування, отримані описаним в четвертому розділі методом, з результатами генерування існуючими Монте-Карло генераторами.

4. Автор стверджує, що отримані в дисертації результати можуть бути використані в майбутньому для створення лазерів нового типу. Але на наш погляд це питання є дискусійним, бо для того, щоб надати йому практичного значення потрібно ще багато додаткових досліджень. Навіть в теоретичному сенсі потрібно досліджувати існування виявленого в роботі механізму когерентності для полів із лоренцевими і внутрішніми ступенями свободи, бо саме такі поля зустрічатимуться в експерименті.

Слід зауважити, що зроблені зауваження не зменшують наукової цінності роботи.

Загальна оцінка дисертаційної роботи.

На основі наведеного аналізу змісту дисертації вважаю, що робота Потієнко Олексія Сергійовича «Метод Лапласа для опису інтерференційних ефектів в протон-протонному розсіянні і для побудови Монте-Карло генераторів» є завершеним науковим дослідженням, яке містить нові наукові положення та науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, що мають істотне значення для фізики елементарних частинок і високих енергій.

За актуальністю тематики, обґрунтованістю та достовірністю висновків і положень, новизною отриманих результатів та їх практичним значенням дисертація відповідає вимогам, передбаченим п.п. 10-11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, (Постанова 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.

Офіційний опонент:

Головний науковий співробітник

НДІ «Астрономічна обсерваторія»

Одеського національного університету

ім. І.І. Мечникова,

доктор фізико-математичних наук,

професор

Підпис О.І. Жука засвідчую:

Вчений секретар ОНУ

ім. І.І. Мечникова



Жук О.І.

Курандо С.В.

04.11. 2020 р.