

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Потієнка Олексія Сергійовича “Метод Лапласа для опису інтерференційних ефектів в протон-протонному розсіянні і для побудови Монте-Карло генераторів”, яка подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія

Ми, рецензенти Скалозубов В.І. і Косенко С.І., розглянувши дисертацію та наукові публікації, у яких висвітлено основні наукові результати дисертації, а також за результатами фахового семінару, проведеного на кафедрі теоретичної та експериментальної ядерної фізики, дійшли такого висновку.

1. Дисертаційна робота присвячена розв’язку актуальної проблеми в галузі досліджень фізики елементарних частинок і високих енергій – застосуванню метода Лапласа для опису інтерференційних ефектів в протон-протонному розсіянні і побудові Монте-Карло генераторів з урахуванням цих ефектів.

Мета, яка сформульована в роботі, відповідає обраному напрямку дослідження, отримані результати мають наукову новизну та сприяють досягненню мети.

2. Наукова новизна результатів дисертації полягає в тому, що автором – розроблено новий метод врахування інтерференційних внесків в перерізи непружного розсіяння адронів. Цей метод застосовано для моделювання парціальних перерізів непружного розсіяння, повного перерізу непружного розсіяння, інклюзивного перерізу по швидкості. На рівні якісного опису досягнуто узгодження із результатами експериментів;

– виявлено фізичний механізм, що визначає зміну характеру залежності від швидкості відповідного інклюзивного перерізу розсіяння адронів із зростанням їх енергії зіткнення. Вперше надано пояснення такого відомого експериментального явища як інтерференційний ефект;

– розроблено новий метод створення Монте-Карло генераторів непружних подій з використанням гаусівського наближення матричного елемента в околі його точки максимуму з урахуванням закону збереження енергії-імпульсу в непружному процесі;

– розроблено новий двоетапний метод Монте-Карло генерації непружних подій з урахуванням інтерференційних внесків, оснований на запропонованому методі врахування цих внесків;

– доведено, що точка максимуму внеску в амплітуду розсіяння деревної

діаграми з декількома деревами досягається за умови рівності чотириімпульсів всіх частинок, що приєднані до одного й того самого дерева. На основі цього висновку розроблено новий метод генерування багаточастинкових партонних та адронних злив, а також процесів з декількома зливами методом матричних елементів для таких параметрів, при яких в існуючих Монте-Карло генераторах застосовується лише метод злив;

– вперше визначено відносний внесок в парціальний переріз непружного розсіяння процесів із різною кількістю злив з урахуванням інтерференції частинок всередині злив, а також показано, що інтерференційні внески між різними зливами є суттєвими.

3. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації.

Теоретичне значення отриманих результатів полягає в тому, що сформульовано новий теоретичний підхід до опису процесів непружного розсіяння адронів, виявлено нові фізичні механізми, пов'язані із інтерференційними внесками, які відповідають за експериментально спостережувані ефекти для інклюзивних перерізів по бистротах вторинних частинок, а також за когерентність частинок в адронних і партонних зливах. Вперше доведено необхідність врахування інтерференційних внесків, що виникають внаслідок перестановок частинок між різними зливами і вперше розроблено метод їх врахування. Сформульовано нові теоретичні підходи до створення генераторів непружних подій.

Практична значущість результатів дисертації обумовлена тим, що розроблені алгоритми і відповідні програмні коди можуть бути використані як при чисельних розрахунках процесів непружного розсіяння, так і як складові частини генераторів подій, які широко використовуються в експериментальних дослідженнях з фізики високих енергій. Новий метод розробки генераторів подій, представлений в роботі може значно спростити, а відтак, зекономити час і витрату ресурсів на процес створення генераторів. Виявлений в роботі новий механізм когерентності частинок в багаточастинкових зливах може бути використаний для створення лазерів чи їх аналогів на принципово новій основі, ніж існуючі лазери.

4. Основні 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.

Вважаємо, що результати і зміст дисертації повністю відбито у згаданих публікаціях.

Так, другий розділ відображено у публікаціях:

O. Potiienko, K. Merkotan, N. Chudak, D. Ptashynskiy, T. Zelentsova, T. Yushkevich, I. Sharph, and V. Rusov, New method of accounting for interference contributions within a multiperipheral model, Physical Review D 101, 7 (2020).

І.В. Шарф, О.С. Потієнко, Н.О. Подолян, Ю.В. Волкотруб, Д.А. Пташинський, К.К. Меркотан, А.В. Тихонов, М.А. Делієргієв, В.Д. Русов, Ю.В. Харитонova, Новий метод врахування інтерференційних внесків для діаграм непружного розсіювання, Матеріали міжнародної конференції молодих учених і аспірантів, (Берега А.Е., Ужгород, 2015), 207.

Чудак Н.О., Меркотан К.К., Пташинський Д.А., Потієнко О.С., Шарф І.В., Брегід В.І., Розрахунок диференціального перерізу пружного розсіювання адронів за переданим чотириімпульсом в межах теорії збурень, Журн. фіз. Досл. 23(1), 1101 (2019).

D.A. Ptashynskiy, T.M. Zelentsova, N.O. Chudak, K.K. Merkotan, O.S. Potiienko, V.V. Voitenko, O.D. Berezovskiy, V.V. Opyatyuk, O.V. Zharova, T.V. Yushkevich, I.V. Sharph, V.D. Rusov, Multiparticle fields on the subset of simultaneity, Ukrainian Journal of Physics 64(8), 732 (2019).

Меркотан К.К., Зеленцова Т.М., Чудак Н.О., Пташинський Д.А., Урбаневич В.В., Потієнко О.С., Войтенко В.В., Березовський О.Д., Шарф І.В., Русов В.Д., Багаточастинкові поля і механізм Хіггса. Журн. фіз. досл. 22(3), 3001 (2018).

N. Chudak, M. Deliyergiyev, K. Merkotan, O. Potiienko, D. Ptashynskiy, Y. Shabatura, G. Sokhrannyi, A. Tykhonov, Y. Volkotrub, I. Sharph, V. Rusov., Multi-Particle Quantum Fields, Physics Journal 2(3), 181 (2016).

I.V I.V Sharf, K. K. Merkotan, N. A. Podolyan, D. A. Ptashynskyy, A. V. Tykhonov, M. A. Deliyergiyev, G. O. Sokhrannyi, Y. V. Volkotrub , O.S. Potiienko, V. D. Rusov, On equivalence of gluon-loop exchange in the inelastic processes in perturbative QCD to pion exchange in ϕ^3 theory, EPJ Web of Conferences 60, 20018 (2013).

O. Potiienko, I. Sharf, The new method of interference contributions accounting for inelastic scattering diagrams, in Abstracts of Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung Physics School “Diffractive and electromagnetic processes at high energies” (WE-Heraeus Physics School, Bad Honnef, 2015).

Н.О. Чудак, К.К. Меркотан, Д.А. Пташинський, О. С. Потієнко, В.І. Брегід., Розрахунок диференціального перерізу пружного розсіяння адронів за переданим чотириімпульсом в межах теорії збурень, Тези доповідей Міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики (Еврика-2018), (Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, 2018), Е6.

Д.А. Пташинський, Н.О. Чудак, К.К. Меркотан, О. С. Потієнко, В.І. Брегід, Багаточастинкові польові оператори в квантовій теорії поля, Тези доповідей Міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики (Еврика-2018), (Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, 2018), Е4.

Третій розділ – у публікаціях:

O. Potiienko, K. Merkotan, N. Chudak, D. Ptashynskiy, T. Zelentsova, T. Yushkevich, I. Sharph, and V. Rusov, New method of accounting for interference contributions within a multiperipheral model, Physical Review D 101, 7 (2020).

Чудак Н.О., Меркотан К.К., Пташинський Д.А., Потієнко О.С., Делієргієв М.А., Тихонов А.В., Сохранний Г.О., Жарова О.В., Березовський О.Д., Войтенко В.В., Волкотруб Ю.В., Шарф І.В., Русов В.Д., Внутрішні стани адронів в релятивістських системах відліку, Укр. фіз. Жур. 61(12), 1039 (2016).

Чудак Н.О., Меркотан К.К., Пташинський Д.А., Потієнко О.С., Шарф І.В., Брегід В.І., Розрахунок диференціального перерізу пружного розсіяння адронів за переданим чотириімпульсом в межах теорії збурень, Журн. фіз. Досл. 23(1), 1101 (2019).

D.A. Ptashynskiy, T.M. Zelentsova, N.O. Chudak, K.K. Merkotan, O.S. Potiienko, V.V. Voitenko, O.D. Berezovskiy, V.V. Opyatyuk, O.V. Zharova, T.V. Yushkevich, I.V. Sharph, V.D. Rusov, Multiparticle fields on the subset of simultaneity, Ukrainian Journal of Physics 64(8), 732 (2019).

Меркотан К.К., Зеленцова Т.М., Чудак Н.О., Пташинський Д.А., Урбаневич В.В., Потієнко О.С., Войтенко В.В., Березовський О.Д., Шарф І.В., Русов В.Д., Багаточастинкові поля і механізм Хіггса. Журн. фіз. досл. 22(3), 3001 (2018).

N. Chudak, M. Deliyergiyev, K. Merkotan, O. Potiienko, D. Ptashynskiy, Y. Shabatura, G. Sokhrannyi, A. Tykhonov, Y. Volkotrub, I. Sharph, V. Rusov., Multi-Particle Quantum Fields, Physics Journal 2(3), 181 (2016).

Ю.Волкотруб, І. Шарф, В. Русов, Н.Чудак (Подольян), О. Потієнко, Д. Пташинський, К.Меркотан, А.Тихонов, М.Делієргієв, В.Урбаневич, Метод

Лапласа для Монте-Карло-генераторів процесів розсіяння, Науковий вісник Ужгородського університету, Серія Фізика 38, 96 (2015).

N. Chudak, D. Ptashynskiy, A. Potienko. Multi-particle field operators as a method for hadron scattering description, in Abstracts of Posters of Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung Physics School “QCD - Old Challenges and New Opportunities” (WE-Heraeus Physics School, Bad Honnef, 2017).

O. S. Potienko., A new method for Monte-Carlo event generators of the scattering processes, in Abstracts of 18-th Odessa International Astronomical Gamov Conference-School “Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology” (Odessa, 2018), 14.

Ptashynskiy Dmytro, Chudak Nataliia, Merkotan Kyrylo, Potienko Oleksii, A New Symmetry of Electroweak Lagrangian, in Proceedings of the Thirteenth Conference on the Intersections of Particle and Nuclear Physics (CIPANP 2018), edited by Wick Haxton, eConf C180529, 91.

O. Potienko, I. Sharf, The new method of interference contributions accounting for inelastic scattering diagrams, in Abstracts of Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung Physics School “Diffractive and electromagnetic processes at high energies” (WE-Heraeus Physics School, Bad Honnef, 2015).

Dmytro Ptashynskiy, Nataliia Chudak, Oleksii Potienko, Kyrylo Merkotan., Multi-particle fields as a method for hadron’s description, in Book of Abstracts of 8th International Workshop on Astronomy and Relativistic Astrophysics (IWARA2018, Ollantaytambo, 2018), 35.

Четвертий розділ – у публікаціях:

Меркотан К.К., Зеленцова Т.М., Чудак Н.О., Пташинський Д.А., Урбаневич В.В., Потієнко О.С., Войтенко В.В., Березовський О.Д., Шарф І.В., Русов В.Д, Багаточастинкові поля і механізм Хіггса. Журн. фіз. досл. 22(3), 3001 (2018).

K.K. Merkotan, T.M. Zelentsova, N.O. Chudak, D.A. Ptashynskiy, V.V. Urbanevich, O.S. Potienko, V.V. Voitenko, O.D. Berezovskyi, I.V. Sharph, V.D. Rusov, A New Symmetry of Electroweak Lagrangian, East Eur. J. Phys. 5(2), 35 (2018).

I.V Sharf, K. K. Merkotan, N. A. Podolyan, D. A. Ptashynskyy, A. V. Tykhonov, M. A. Deliyergiyev, G. O. Sokhrannyi, Y. V. Volkotrub , O.S. Potiyenko, V. D. Rusov, On equivalence of gluon-loop exchange in the inelastic processes in perturbative QCD to pion exchange in ϕ^3 theory, in LHCP 2013 –

Large Hadron Collider Physics 2013, edited by M. Bosman (EDP Sciences - Web of Conferences, Les Ulis, 2014), 60, 20088.

K.K. Merkotan, T.M. Zelentsova, N.O. Chudak, D.A. Ptashynskiy, V.V. Urbanevich, O.S. Potienko, V.V. Voitenko, O.D. Berezovskyi, I.V. Sharph, V.D. Rusov, An alternative method of an electromagnetic field introduction into a Standard Model, in Proceedings of International Conference of Young Scientists "Problems of Physics and Astronomy", edited by A.M. Maharramov (Baku University Publishing House, Baku, 2017), 82.

Ptashynskiy Dmytro, Chudak Nataliia, Merkotan Kyrylo, Potienko Oleksii, A New Symmetry of Electroweak Lagrangian, in Proceedings of the Thirteenth Conference on the Intersections of Particle and Nuclear Physics (CIPANP 2018), edited by Wick Haxton, eConf C180529, 91.

5. Особистий внесок здобувача полягає в

- розробці методу врахування інтерференційних внесків, проведенні відповідних аналітичних і чисельних розрахунків, реалізації методу в виді алгоритму і відповідного програмного коду, проведенні моделювання і зіставленні його результатів з експериментом;

- розробці нового методу побудови генераторів непружних подій на основі методу Лапласа, розробці відповідного алгоритму і реалізації його в виді програмного коду.

- виявленні інтерференційної природи поведінки залежності інклюзивних перерізів по швидкості у відповідних інтервалах значень енергії зіткнення адронів.

- розробці нового двоетапного методу генерування подій з урахуванням інтерференційних ефектів для декількох десятків тотожних частинок в кінцевому стані, реалізації його в виді алгоритму, імплементації цього алгоритму в виді програмного коду, генерування непружних подій і зіставленні результатів цього генерування з експериментом;

- розробці нового методу генерування багаточастинкових злив методом матричних елементів, проведенні відповідних доведень і розрахунків, реалізації на основі цих розрахунків алгоритму і програмного коду;

- доведенні суттєвості внесків в перерізи.

Особистий внесок здобувача до всіх наукових публікацій, опублікованих із співавторами та зарахованих за темою дисертації полягає в наступному.

В роботі [1] здобувачу належать розробка методу врахування інтерференції між сумами по групах близьких максимумів, а також розробка і

реалізація всіх чисельних алгоритмів. Разом з Чудак Н.О., Меркотаном К.К., Пташинським Д.А. було розроблено метод врахування інтерференції всередині сум, що відповідають групам.

В роботі [2] здобувачу належать розрахунки генератору буста в нерелятивістському наближенні в системі спокою адрона. Разом з Чудак Н.О., Меркотаном К.К., Пташинським Д.А. було доведено комутативність внутрішнього гамільтоніану адрону із генератором буста в межах обраної динамічної моделі.

В роботі [3] здобувачу належать розрахунки інтерференційних внесків в стрибок уявної частини амплітуди пружного розсіяння на S -канальному розрізі з урахуванням спінових Лоренц-інваріантів. Разом з Чудак Н.О., Меркотаном К.К., Пташинським Д.А. були виконані чисельні розрахунки диференціального перерізу пружного розсіяння в межах методу багаточастинкових полів.

В роботі [4] здобувачу належить доведення можливості опису двочастинкового глюонного поля за допомогою моделі фі-три, виходячи з лагранжіану багаточастинкових калібрувальних полів на підмножині одночасності. Разом з Чудак Н.О., Меркотаном К.К., Пташинським Д.А. побудовано опис двочастинкового глюонного поля методом Лагранжа за допомогою калібрувального принципу без додаткових умов.

В роботі [5] здобувачу належить доведення можливості опису зв'язаних станів W - бозонів за допомогою моделі фі-три з використанням калібрувального принципу. Разом з Чудак Н.О., Меркотаном К.К., Пташинським Д.А. показано що бозон Хіггса можна розглядати як зв'язаний стан W - бозонів.

В роботі [6] здобувачу належить доведення можливості опису поля глюоболів в межах моделі фі-три виходячи з динамічних рівнянь для одночастинкового калібрувального поля. Разом з Чудак Н.О., Меркотаном К.К., Пташинським Д.А. отримано динамічні рівняння для багаточастинкових полів із накладанням додаткових умов.

В роботі [7] здобувачу належить розрахунок лагранжіану взаємодії W - бозонів із ферміонними полями в межах моделі із локальною симетрією електрослабкого лагранжіану відносно переходу до еквівалентного представлення групи $SU(2)_L$. Разом з Чудак Н.О., Меркотаном К.К., Пташинським Д.А. досліджені наслідки вимоги цієї симетрії.

В роботі [8] здобувачу належить розробка алгоритму застосування методу Лапласа для побудови Монте-Карло генераторів подій. Разом з

Волкотрубом Ю.В, Чудак Н.О., Меркотаном К.К., Пташинським Д.А., розроблено і реалізовано алгоритми генерування для найпростішого випадку без врахування інтерференційних внесків.

В роботі [9] здобувачу належить розробка і реалізація алгоритму застосування методу Лапласа для розрахунку діаграм непружного розсіяння із глюонними петлями. Разом з Волкотрубом Ю.В, Чудак Н.О., Меркотаном К.К., Пташинським Д.А., проведені чисельні розрахунки і досліджені властивості моделі непружного розсіяння із глюонними петлями.

В роботі [10] здобувачу належить розрахунок лагранжіану, локально інваріантного відносно переходу до еквівалентного представлення калібрувальної групи. Разом із Чудак Н.О., Меркотаном К.К., Пташинським Д.А., Войтенко В.В. показано, що в межах запропонованої моделі $W^{\pm}$ -бозони не взаємодіють з електромагнітним полем.

В роботі [11] здобувачу належить отримання рівнянь двочастинкового глюонного поля за допомогою додаткових припущень. Разом із Чудак Н.О. і Пташинським Д.А. отримано динамічні рівняння для різних багаточастинкових полів і досліджені їх властивості.

В роботі [13] здобувачу належить розрахунок кваркової частини лагранжіану з урахуванням симетрії відносно локального переходу до еквівалентного представлення генераторів. Разом із Чудак Н.О., Меркотаном К.К., Пташинським Д.А., знайдено вид лагранжіану полів стандартної моделі, але з урахуванням запропонованої в роботі нової симетрії.

В роботі [14] здобувачу належить розробка і реалізація всіх чисельних алгоритмів. Разом з І.В. Шарфом розроблялася ідея методу врахування інтерференційних доданків для діаграм типу гребінка.

В роботі [15] здобувачу належить дослідження аналогії між динамікою двочастинкового калібрувального поля і моделлю «фі-три». Разом із Чудак Н.О., Меркотаном К.К., Пташинським Д.А. досліджено зв'язок між квантованими багаточастинковими полями і процесами народження і знищення адронів.

В роботі [16] здобувачу належать чисельні розрахунки інтегралу по двочастинковому розрізу від стрибка уявної частини амплітуди пружного розсіяння. Разом із Чудак Н.О., Меркотаном К.К., Пташинським Д.А. розрахована модель пружного розсіяння адронів методом багаточастинкових полів.

В роботі [17] здобувачу належить чисельний розрахунок часткового розв'язку динамічного рівняння для двоглюонного поля. Разом з Чудак Н.О.,

Меркотаном К.К., Пташинським Д.А., отримано і проаналізовано розв'язки динамічних рівнянь багаточастинкових полів і досліджений їх зв'язок із явищами конфайнменту і спонтанного порушення симетрії.

В роботі [18] здобувачу належить розробка алгоритму побудови матриць, що описують перестановки між групами частинок для розбиття діаграми на довільну кількість груп. Разом Н.О. Чудак(Подолян), Д.А. Пташинським і К.К. Меркотаном були проведені аналітичні і чисельні розрахунки пов'язані із застосуванням методу Лапласа (максимізація, розрахунок других похідних від логарифма суми по перестановках всередині груп в точці максимуму), розроблено програмні коди і проведено розрахунки повного перерізу розсіяння, повного перерізу непружного розсіяння та інклюзивного перерізу по швидкості вторинних частинок, а також зіставлення результатів розрахунків з експериментальними даними.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях не виявлено.

Враховуючи вищезгадане, вважаємо, що дисертаційна робота О.С. Потієнко є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить в собі нові науково обґрунтовані результати, які вперше визначають роль інтерференційних ефектів у добре відомих експериментальних результатах, а також відкривають нові можливості щодо розробки генераторів подій в різних багаточастинкових процесах для різних типів взаємодій.

Дисертація відповідає вимогам, передбаченим пунктом 10 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затверджену постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167, і рекомендується до захисту у спеціалізованій вченій раді.

Рецензенти:

Д.т.н., професор

В.І. Скалозубов

К.ф.-м.н., доцент

С.І. Косенко

Підписи рецензентів Скалозубова В.І. і Косенка С.І. посвідчую.

Вчений секретар ОНПІУ



В.І. Шевчук

25.08.2020