

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного наукового центру «Харківський
фізико-технічний інститут»
доктору фізико-математичних наук,
завідувачу відділу квантово-
електродинамічних явищ та електродинаміки
адронів ІТФ ННЦ ХФТІ
Олександрю КОРЧИНУ

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

доктора фізико-математичних наук, провідного наукового співробітника відділу
квантово-електродинамічних явищ та електродинаміки адронів Інституту
теоретичної фізики імені О.І. Ахієзера Національного наукового центру
«Харківський фізико-технічний інститут»

Меренкова Миколи Петровича

на дисертаційну роботу Омельченко Вікторії Дмитрівни

**«Когерентні та некогерентні ефекти в розсіюванні частинок великої енергії
на тонких мішенях»,**

подану на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 10 – «Природничі науки»

за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія»

1. Актуальність обраної теми дисертаційної роботи

Фізика високих енергій є однією з основних галузей сучасних фізичних досліджень, про що свідчить будівництво, експлуатація та планування численних прискорювачів заряджених частинок. Дослідження процесів пружного розсіяння на прискорювачах з нерухомими або рухомими мішенями часто є необхідним для інтерпретації експериментів, які виконуються на цих прискорювачах. Апарат квантової електродинаміки, який дозволяє враховувати релятивістські та квантові ефекти, є природним для розгляду пружного розсіяння заряджених лептонів. Коли частинки розсіюються на окремих розсіювальних центрах, цей процес добре вивчений. Проте для мішеней, які складаються з великої кількості частинок, не можливо врахувати взаємодію налітаючої частинки з усіма розсіювальними центрами, тому обґрунтованим є використання моделі, в якій взаємодія частинки з

мішенню представляється розсіюванням у потенціалі мішені, і віддачею мішені можна знехтувати, завдяки її великій масі. У сучасних експериментах частинки налітають на мішень групами багатьох частинок – пучками. При переході від однієї частинки до пучка частинок, які взаємодіють з мішенню, співвідношення мас змінюється, але властивість частинок великої енергії розсіюватися на малі кути в тонких мішенях призводить до малої похибки при нехтуванні віддачею, тому модель потенціального розсіювання на статичному потенціалі добре описує процес розсіювання пучка релятивістських частинок і у цьому випадку, а отже, допускає відповідне узагальнення задачі розсіювання однієї частинки.

Опис процесу розсіяння у потенціалі методом квантової електродинаміки потребує знання хвильової функції розсіяної частинки, знаходження якої з рівнянь Дірака або Клейна-Гордона для довільного потенціалу є дуже складною задачею, яку доводиться вирішувати або чисельно, а якщо аналітично, то наближено. У ситуації, коли енергія частинки, що розсіюється, значно більше потенціалу, у деяких випадках, що й розглядаються в дисертації, доречним є використання борнівського наближення або ейконального – високоенергетичного наближення.

Вважаю, що вибрана тема дослідження відповідає напрямку сучасних досліджень у галузі фізики високих енергій і є **актуальною**.

2. Структура дисертаційної роботи

Дисертація має добру структуру і зрозумілий стиль викладення. Робота складається з 144 сторінок. Структура роботи є наступною.

У **Вступі** сформульовано мету та завдання дослідження. Перший розділ містить огляд джерел за темою роботи та постановку задачі. Розв'язання поставлених задач описано у Розділах 2-5.

У **другому** розділі диференціальні перерізи розсіювання релятивістських частинок у аморфному середовищі та на кристалічних мішенях, з урахуванням теплових коливань атомів кристалу, знайдено в борнівському наближенні.

У **третьому** розділі в рамках ейконального наближення, використовуючи метод стаціонарної фази, отримано диференціальні перерізи розсіювання в тонкому шарі речовини та в полі окремої кристалічної площини з рівномірним розподілом атомів.

У **четвертому** розділі досліджено ефект райдужного розсіювання на потенціалі площини атомів з рівномірним розподілом. В рамках ейконального

наближення отримано диференціальний по переданому імпульсу переріз за допомогою чисельного інтегрування та аналітично, методом стаціонарної фази (в термінах функції Ейрі). Результат проілюстровано графічно для різних параметрів мішені.

У п'ятому розділі в ейкональному наближенні знайдено хвильову функцію частинки (скалярної та зі спином половина) в потенціалі плоского пучка релятивістських заряджених частинок, за допомогою якої отримано диференціальний переріз розсіювання швидкого електрона на такому потенціалі.

Основні результати описані у **Висновках**.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Вагомі нові результати дисертаційної роботи можна сформулювати наступним чином:

1. У першому борнівському наближенні знайдено диференціальний переріз розсіювання релятивістських заряджених частинок на сукупності атомних площин з урахуванням теплових коливань (аморфної структури).

2. В ейкональному наближенні отримано диференціальний переріз розсіювання релятивістських заряджених частинок на атомній площині з рівномірним розподілом атомів. Вказано характерні множники, які описують розсіювання в неперервному потенціалі і багатократне розсіювання, відповідно.

3. Отримано аналітичний вираз для диференціального перерізу розсіювання поблизу точки райдуги при розсіюванні релятивістських заряджених частинок на атомній площині з рівномірним розподілом атомів методом стаціонарної фази. Зазначений переріз пораховано також чисельним інтегруванням для різних товщин мішені.

4. В ейкональному наближенні знайдено хвильову функцію швидкої зарядженої частинки, розсіяної в електромагнітному 4-потенціалі плоского пучка ультрарелятивістських частинок.

5. В ейкональному наближенні отримано диференціальний по переданому імпульсу переріз розсіювання швидких заряджених частинок на плоскому пучку ультрарелятивістських заряджених частинок для різної кількості частинок у пучку-мішені.

4. Достовірність і обґрунтованість наукових положень, сформульованих у дисертаційній роботі

Розгляд процесу розсіювання релятивістських частинок проводився на основі борнівського та ейконального наближень в межах їх застосовності. В аналітичних розрахунках здійснені математичні перетворення багатьох формул і обґрунтовано застосування додаткових фізичних допущень і наближень. Отримані результати відповідають фізичним закономірностям, характерним для процесів розсіювання в квантової електродинаміці на нерухомих та рухомих мішенях при високих енергіях. Отже, можна вважати представлені в дисертаційній роботі результати достовірними та обґрунтованими.

5. Повнота викладення наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях, апробація результатів роботи

Результати дисертації **в повній мірі** висвітлено у двох наукових статтях у журналах, індексованих у Scopus, а також двох препринтах, а також були представлені на міжнародних і вітчизняних конференціях.

6. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів

Дисертаційна робота виконана в рамках тематичного плану наукових досліджень Інституту теоретичної фізики ім. О.І. Ахієзера ННЦ ХФТІ. Отримані аналітичні результати сприяють глибшому розумінню ефектів, які виникають у процесах розсіювання частинок великої енергії на мішенях складної будови. Вони є наочними і розширюють представлення про особливості процесу розсіювання релятивістських частинок на таких мішенях. Знайдені диференціальні перерізи можуть використовуватися для дослідження квантових явищ при розсіюванні релятивістських частинок у експериментах на сучасних прискорювачах.

7. Відповідність вимогам академічної доброчесності

Дисертація містить результати власного дослідження, не містить запозичених матеріалів без належного посилання на них. Вважаю, що робота виконана з дотриманням академічної доброчесності.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи

До розглянутої дисертаційної роботи можна запропонувати такі дискусійні положення та зауваження:

1. У розділі 2 знайдено диференціальний переріз розсіювання релятивістських заряджених частинок на сукупності атомних площин у борнівському наближенні, але на жаль, його залежності від переданого імпульсу не проілюстровано за допомогою графіка.

2. У розділах 3 та 4 в ейкональному наближенні розглядається задача про розсіювання релятивістської зарядженої частинки на одній атомній площині. Доцільно було б розглянути розсіювання на сукупності атомних площин, як це було зроблено у розділі 2, та проаналізувати, як зміниться диференціальний переріз при переході від розсіювання на одній атомній площині до розсіювання на їх сукупності.

3. У п'ятому розділі розглядається розсіювання в полі пучка заряджених частинок «нульової товщини». При цьому не наведено пояснення щодо доцільності вибору такої форми пучка та її зв'язку з реальними експериментами.

Зроблені зауваження не впливають на загальну високу позитивну оцінку роботи, не зменшують вагомості та цінності отриманих при її виконанні наукових результатів.

9. Загальні висновки

У дисертаційній роботі

- послідовно досліджено розсіювання релятивістських заряджених частинок на нерухомих та рухомих мішенях складної будови;
- за допомогою наближень квантової електродинаміки знайдено відповідні аналітичні формули для диференціальних перерізів розсіювання;
- наведено фізичні умови та межі застосування використаних наближень;
- побудовано графіки залежності диференціальних перерізів розсіювання від переданих імпульсів для різних типів мішеней та їх параметрів.

Наукові результати повною мірою висвітлені в статтях, препринтах і матеріалах конференцій. У дисертаційній роботі результати описані послідовно та добре аргументовані. Дисертація Омельченко В.Д. є завершеною науково-дослідною роботою, виконаною на високому науковому рівні, не містить плагіату.

Робота присвячена актуальній темі. Наукові результати є новими, уточнюють існуючі знання про процес розсіювання релятивістських заряджених частинок на мішенях і можуть бути корисними для експериментальних досліджень. Отже, вважаю, що результати дисертації мають наукову цінність.

Дисертація задовольняє вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. №44) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

Вважаю, що Омельченко Вікторія Дмитрівна заслуговує на присудження їй ступеня доктора філософії в галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія».

Офіційний рецензент,
доктор фізико-математичних наук,
провідний науковий співробітник відділу
квантово-електродинамічних явищ та
електродинаміки адронів Інституту
теоретичної фізики імені О.І. Ахієзера
ННЦ ХФТІ



Микола МЕРЕНКОВ

Підпис М.П. Меренкова засвідчую,
В. о. ген. директора
Національного наукового центру
«Харківський фізико-технічний інститут»



Микола АЗАРЕНКОВ