

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Лебеда Олександра Анатолійовича

«Нелінійні ефекти в процесах квантової електродинаміки в сильному імпульсному полі лазера»,

яка подана на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

Актуальність обраної теми. Основним об'єктом дослідження дисертаційної роботи Лебеда О.А. є лазер-модифіковані фізичні процеси та особливості їх протікання при певних значеннях енергій та кутів розсіювання частинок. Зокрема, в рамках підходів квантової електродинаміки розглянуто процеси розсіювання електрона на ядрі, гальмівне випромінювання електрона на ядрі, народження електрон-позитронних пар фотоном на ядрі, розсіювання електрона на електроні. Науковий інтерес до дослідження таких процесів викликаний широким застосуванням лазерного випромінювання в сучасних прикладних і фундаментальних дослідженнях. Розвиток лазерної фізики направлений на збільшення потужності джерел випромінювання за рахунок вдосконалення механізмів підсилення лазерного поля та скорочення тривалості лазерних імпульсів. Постійний розвиток лазерних систем ставить нові задачі для теоретичної фізики відносно розвитку моделі описання лазерного поля та вивчення фізичних процесів у потужних імпульсних полях. В імпульсних полях стають все більш суттєвими нелінійні ефекти квантової електродинаміки в зовнішніх полях. Дослідження різних аспектів впливу імпульсного лазерного випромінювання на фізичні процеси, чому присвячена дисертаційна робота Лебеда О.А., є актуальним і важливим завданням теоретичної фізики.

Вивчення фізичних процесів в імпульсному лазерному полі важливо також через низку цікавих кінематичних ефектів, що проявляються за певних умов протікання процесів. Зокрема, у зовнішньому полі можуть виникати резонанси, що приводить до зростання перерізу розсіювання та може мати різне прикладне застосування. Можливість резонансного протікання процесів належить до фундаментальних проблем квантової електродинаміки в зовнішніх полях. Становить також інтерес вивчення процесів в полі двох однаково направлених лазерних хвиль. При певній кінематиці процесу вимушене випромінювання і поглинання фотонів першої та другої лазерної хвилі відбувається корельованим чином, а ймовірність таких процесів зростає в порівнянні з іншими кінематичними умовами.

Тема дисертаційної роботи є актуальною, також тому, що на сьогоднішній день експериментальна перевірка нелінійних ефектів квантової електродинаміки в зовнішніх лазерних полях є цікавим та актуальним питанням. Експериментальне дослідження таких ефектів включено в наукові програми ряду міжнародних проектів: ELI (Extreme Light Infrastructure, European), FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research, GSI, Darmstadt, Germany), XFEL (European X-ray free-electron laser, DESY, Germany) та інші.

Основні положення та висновки роботи, їх новизна, обґрунтованість та достовірність. В дисертаційній роботі Лебеда О.А. побудована квантова релятивістська теорія процесів квантової електродинаміки, які протікають під впливом імпульсного лазерного поля, отримано нові явні вирази для амплітуд переходу та диференціальних перерізів розсіювання, досліджено енергетичні та кутові розподіли частинок в кінцевому стані та проведено порівняльний аналіз для моделей монохроматичної та імпульсної лазерної хвилі. Основною спрямованістю досліджень є аналіз фізичних процесів в імпульсному полі: за резонансних умов; у випадку двох хвиль при кореляції випромінювання та поглинання фотонів лазерного поля; при розсіюванні швидких частинок на малі кути за малих переданих між частинками імпульсів; коли енергія поля, що поглинається чи випромінюється частинкою, одного порядку за величиною з початковою кінетичною енергією частинок. За таких умов процеси вивчені вперше в дисертаційній роботі.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У вступі обговорюється актуальність теми дисертаційної роботи, мета і задачі дослідження, методи дослідження, зв'язок з науковими програмами і темами, наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, особистий внесок здобувача, апробація результатів дисертації. В першому розділі подано огляд літератури і проаналізовано сучасний стан досліджень процесів КЕД в імпульсному лазерному полі.

Розділи 2 – 5 є оригінальними. До найбільш значних та нових результатів дисертаційної роботи слід віднести такі.

1. Визначено та досліджено резонансні властивості процесів гальмівного випромінювання електрона при розсіюванні на ядрі, фотонародження електрон-позитронних пар на ядрі та розсіювання електрона на електроні в імпульсному лазерному полі, що пов'язані з можливістю виходу частинки в проміжному стані на масову поверхню. При цьому розвинуто методіку дослідження фізичних процесів другого порядку за постійною тонкої структури в полі імпульсного лазера, зокрема розроблено метод усунення резонансної розбіжності амплітуди та перерізу процесу без застосування феноменологічної процедури Брейта-Вігнера.

2. Виявлено, що резонансні властивості перерізів досліджуваних процесів визначаються характеристиками імпульсної хвилі та кінематикою процесу. Показано, що за умов резонансу переріз процесу в імпульсному лазерному полі може на кілька порядків величини перевищувати відповідний переріз за відсутності зовнішнього поля.

3. Для процесів у полі двох імпульсних лазерних хвиль передбачено інтерференційний ефект у особливій кінематичній області, що пов'язаний з кореляцією у вимушеному випромінюванні та поглинанні фотонів однієї та другої хвилі. Показано, що ймовірність процесів з корельованим випромінюванням (поглинанням) електроном рівного числа фотонів обох хвиль на 2-3 порядки

величини перевищує відповідну ймовірність у будь-якій іншій кінематиці розсіювання.

4. Уперше досліджено енергетичні розподіли частинок у кінцевому стані для процесів розсіювання електрона на ядрі, гальмівного випромінювання електрона на ядрі, фотонародження електрон-позитронних пар на ядрі в полі двох імпульсних лазерних хвиль. Показано, що інтерференційний ефект проявляється в перерозподілі ймовірностей парціальних процесів і енергетичний спектр електрона набуває перерозподілу та має смугастий вигляд. Показано, що можлива одночасна реалізація резонансних та інтерференційних умов.

5. Уперше пораховано переріз процесу розсіювання електрона на електроні в сильному лазерному полі для ультрарелятивістських енергій, отримано аналітичний вираз для профіля резонансного піку. Показано, що величина резонансного перерізу істотно залежить від поляризації лазерної хвилі: для циркулярної поляризації переріз в чотири рази перевищує відповідний переріз для лінійної поляризації хвилі. Цю особливість процесу можна бути спостережати на експерименті.

Усе вище сказане свідчить про те, що в дисертаційній роботі було розв'язано важливі задачі в галузі сучасної теоретичної фізики елементарних частинок і високих енергій в сильних зовнішніх електромагнітних полях.

Висновки та наукові положення дисертаційної роботи впливають з досліджень, які виконані із застосуванням адекватних теоретичних моделей, які використовують загальноприйняті методи теоретичних досліджень: стандартні правила квантової електродинаміки для знаходження ймовірностей процесів, діаграмна техніка в рамках картини Фаррі, точні розв'язки Д.М. Волкова рівняння Дірака в полі монохроматичної хвилі. У граничних випадках нові результати співпадають з раніш відомими. Усе це дає підставу вважати результати дисертаційної роботи достовірними та обґрунтованими.

Значущість роботи для науки і практики результатів дисертаційної роботи полягає у тому, що розвинена теорія дозволяє поглибити уявлення про перебіг процесів квантової електродинаміки та передбачити ряд нових фізичних ефектів: резонансні ефекти, інтерференційні ефекти.

Параметри зовнішнього лазерного поля та геометрія процесів, що були використані для кількісних розрахунків в дисертаційній роботі, відповідають раніше проведеним та запланованим експериментам з перевірки нелінійних ефектів квантової електродинаміки. Отже, результати дослідження будуть корисні при виконанні наукових програм міжнародних проектів. Отримані загальні аналітичні закономірності для процесів в зовнішньому полі можуть бути поширені на випромінювання рентгенівського діапазону, оскільки використані моделі добре узгоджуються з параметрами сучасних джерел рентгенівського випромінювання (спектральний склад, інтенсивність).

Таким чином, дослідження проведені на рівні світових аналогів, результати можуть бути використані та перевірені в подальших експериментах з квантової електродинаміки в сильних полях.

Зауваження щодо змісту дисертації

1. Досліджено процеси у випадку, коли лазерне поле є суперпозицією двох однаково направлених хвиль, але нічого не сказано про конфігурацію лазерних хвиль, що поширюються перпендикулярно або під довільним кутом.
2. В роботі не представлено безпосереднє порівняння теоретичних результатів дисертації з експериментальними даними там де такі дані є.
3. Було би бажано провести підрахунки для електрослабких процесів в полі лазерної хвилі, наприклад, для лептонного розпаду W -бозона.


Однак, зазначені зауваження не в якому разі не є принциповими, вони не мають впливу на головні результати дисертаційної роботи і не зменшують наукового та практичного значення результатів дисертації.

Відповідність встановленим вимогам до докторських дисертацій.

Дисертаційна робота Лебеда Олександра Анатолійовича є закінченим, самостійним дослідженням, яке виконане на високому науковому рівні, містить вирішення важливої наукової задачі зі створення теорії процесів квантової електродинаміки в імпульсних лазерних полях. Результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені в публікаціях. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 27 наукових працях, із них: 1 монографія; 1 розділ в монографії зарубіжного видавництва; 13 статей у провідних фахових журналах, 12 статей індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science, з них 10 у журналах першого і другого кuartилів. Її апробація представлена на міжнародних конференціях у вигляді 5 праць конференцій та 7 тез доповідей. Зміст автореферату повністю відображує сутність дисертаційної роботи.

Таким чином, дисертаційна робота Лебеда О.А. за актуальністю, новизною, практичним значенням, об'ємом і завершеністю виконаних досліджень повністю відповідає паспорту спеціальності. Враховуючи актуальність теми дисертації, новизну і важливість результатів, рівень і кількість публікацій, вважаю, що дисертаційна робота Лебеда Олександра Анатолійовича "Нелінійні ефекти в процесах квантової електродинаміки в сильному імпульсному полі лазера" відповідає всім вимогам до докторських дисертацій «порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р., а її автор, Лебедь Олександр Анатолійович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Завідувач відділу Астрофізики і елементарних частинок Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор

 В.П. Гусинін

Підпис В.П. Гусиніна засвідчую:
Вчений секретар Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України

 С.М. Перепелиця

