

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ДЕНИСЕНКО Олег Іванович



НЕРЕЗОНАНСНЕ РОЗСІДВАННЯ ЕЛЕКТРОНА НА ЕЛЕКТРОНІ  
ТА ПОЗИТРОНІ В СИЛЬНОМУ СВІТЛОВИМУ ПОЛІ

Спеціальність 01.04.16-фізика ядра і елементарних частинок

Науковий керівник:  
доктор фізико-математич-  
них наук РОШУПКІН С. П.

А в т о р е ф е р а т  
дисертації на здобуття наукового ступеня :  
кандидата фізико-математичних наук

Харків - 1995

037.1  
Дисертація в рукопис.

Робота виконана в Сумсько-

770 35.379  
ЛНБ України ім.В.Стефаника



Науковий керівник:

доктор фізико-математичних наук, член-кореспондент НАН України, професор Фомін Петро Іванович /ІТФ НАН України, м.Суми /

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук, член-кореспондент НАН України, професор Фомін Петро Іванович /ІТФ НАН України, м.Київ /;

кандидат фізико-математичних наук, доцент Зима Володимир Григорович /Харківський державний університет, м.Харків/

Провідна організація: Київський університет ім.Т.Г.Шевченка, м.Київ

Захист відбудеться "22" чудня 1995 р. о 17 годині на засіданні Спеціалізованої вченої ради Д 02.02.12 у Харківському державному університеті за адресою: 310108, м.Харків-108, пр-т Курчатова 31, ауд. 301

З дисертацією можна ознайомитися в Центральній науковій бібліотеці Харківського державного університету за адресою: 310077, м.Харків, пл.Свободи, 4.

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

Автореферат розроблений "16" листопада 1995 р.

Вчений секретар Спеціалізованої ради  
доктор фізико-математичних наук

Азаренков М.О.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема розсіяння релятивістських заряджених частинок в присутності сильного електромагнітного поля набула в останній час актуальність у зв'язку з утворенням потужних джерел випромінювання. Так в практиці фізичного експеримента по взаємодії потужного когерентного електромагнітного випромінювання з речовиною широко використовуються інтенсивності в діапазоні  $10^{12} - 10^{19}$  Вт/см<sup>2</sup>. Біля верхньої межі напруженість поля більше атомної, а швидкість коливання електрона наближається до швидкості світла.

В сильному полі випромінювання суттєву роль викривляють нелінійні ефекти, що пов'язані з поглинанням  $2\pi$  хвилі або випромінюванням у хвилю одразу кількох квантів. Це призводить до того, що перерізи фізичних процесів починають нелінійним чином залежати від інтенсивності падаючої хвилі, змінюються також кутові та спектральні характеристики розсіяння.

До числа фундаментальних та мало досліджених проблем квантової електродинаміки сильних полів відносяться процеси нерезонансного розсіяння релятивістських електрона на електроні та позитроні у зовнішньому полі, які мають нетривіальні особливості в сильних світлових полях. Питання, пов'язані з багатофотонним вимушеним гальмівним ефектом на релятивістських електронах в світловому полі важливі також для ряду пошукових прикладних напрямків, до яких можна віднести утворення лазера на вільних електронах, лазерне прискорення та ін.

Таким чином, теоретичне дослідження вимушеного випромінювання при зіткненнях релятивістських електронів в сильному світловому

полі уявляється актуальним і має як загальнофізичне, так і прикладне значення.

Мета дисертації: теоретично дослідити у загальному релятивістському випадку вимушене гальмівне випромінювання при розсіянні електрона на електроні та позитроні в сильному світловому полі.

#### Наукова новизна

В дисертації вивчено квантово-електродинамічні процеси вимушеного випромінювання при розсіянні електрона на електроні та позитроні в сильному світловому полі (одній та двох хвилях). В роботі вперше одержано слідуючі результати.

В загальному релятивістському випадку вивчено процес нерезонансного розсіяння електрона на позитроні в полі сильної світлової хвилі циркулярної поляризації.

В загальному релятивістському випадку вивчено процес розсіяння електрона на електроні та позитроні в світловому полі 2-х еліптично поляризованих хвиль одного напрямку і різних частот, інтенсивності яких  $\eta_{1,2} \ll 1$  і  $\beta_{1,2} \ll 1$ .

В загальному релятивістському випадку вивчено нерезонансне розсіяння електрона на електроні в площині перпендикулярній вектору поляризації 2-х лінійно поляризованих помірно сильних світлових хвиль одного напрямку і різних частот.

#### Наукові положення, що виносяться на захист

1. Лазерне поле циркулярної поляризації, коли квантовий параметр  $\gamma \gg 1$ , пригнічує інтерференцію прямого та зворотного каналів при розсіянні електрона на позитроні.

2. Нерезонансний диференціальний переріз розсіяння електрона на електроні в полі 2-х світлових хвиль може в декілька разів

перевищувати відповідний період розсіяння без зовнішнього поля.

3. Нерезонансний диференціальний період розсіяння електрона на позитроні в полі 2-х світлових хвиль може в декілька разів перевищувати відповідний період розсіяння без зовнішнього поля. При цьому період розсіяння суттєво залежить від поляризації зовнішніх хвиль.

4. Імовірність розсіяння електрона на електроні в площині, перпендикулярній вектору поляризації двох лінійно поляризованих лазерних хвиль одного напрямку може значно перевищувати імовірність розсіяння в будь-якій іншій геометрії.

#### Практична цінність.

Розвинута в дисертації теорія дозволяє поглибити уяви про вимушене гальмівне випромінювання при зіткненнях релятивістських електронів та позитронів в сильних світлових полях і передбачити ряд нових фізичних ефектів, таких як:

- пригнічення інтерференції прямого і обітного каналів в процесах розсіяння електрона на електроні та позитроні;
- суттєва асиметрія розсіяння електрона на електроні в певному інтервалі інтенсивностей світлового поля;
- випромінювання та поглинання електроном тільки парного числа фотонів лінійно поляризованої хвилі.

Подано рекомендації щодо постановки нових експериментів в сильних лазерних полях.

#### Апробація роботи

Матеріали дисертації докладані та обговорені на III Всесоюзному семінарі по атомній спектроскопії (Чорноголівка, грудень 1992), на Міжнародній конференції "Фізика на Україні" (Київ, червень 1993), Міжнародній науковій конференції, присвяченій

150-річчю від дня народження видатного українського фізика і електротехніка Івана Пулюя (Львів, 23-26 травня 1995 р.), науково-технічній конференції "Техніка і фізика електронних систем і пристроїв" (Суми, 18-20 травня 1995 р.).

### Публікації

За матеріалами дисертації опубліковано 3 оригінальні статті в центральних та закордонних журналах.

### Особистий внесок автора

В роботах [1,2,4-7] участь автора оцінюється 50%, в роботі [3] - 100%. В роботах [1,2,4-7] участь автора зводилася до аналітичного рішення задач, поставлених науковим керівником.

### Структура та обсяг роботи

Дисертація викладена на 118 сторінках основного машинописного тексту (з врахуванням 7 малюнків), складається із вступу, трьох глав, заключення та списку літератури із 89 ввіменувань.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дається стислий огляд попередніх робіт з вивчення елементарних квантових процесів, що протікають в зовнішньому електромагнітному полі. Відмічається, що процеси розсіяння електронів в світловому полі можуть мати місце в різних кінематичних областях: в добре відомій області, де квантовим параметром багатофотонності в квантовий параметр  $\gamma$  і яку будемо називати областю Бункіна-Федорова, в також в новій кінематичній області (в площині перпендикулярній вектору поляризації лінійно поляризованої хвилі), де даний параметр малий і параметром

багатофотонності є квантовий параметр  $\beta = \eta^2 (p \cdot c / \hbar \omega)$  ( $m \cdot c^2 / E$ ), а в полі двох хвиль інтенсивностей  $\eta_1$  і  $\eta_2$  і частот  $\omega_1$  і  $\omega_2$  - квантовий інтерференційний параметр  $\alpha_{\pm} = \eta_1 \eta_2 (p \cdot c / \hbar \omega_1 \pm \omega_2)$  ( $m \cdot c^2 / E$ ).

Вивчення процесів ведеться загальним методом, в якому точно ураховується дія поля хвилі, що розглядається як класичне електромагнітне поле, а решта частинок (електрони, позитрони, поглинуті та випромінювані кванти) розглядається квантовомеханічно.

Перша глава присвячена вивченню розсіяння релятивістських електрона на позитроні в сильному плоскохвильовому полі.

В § 1.1 в борновському наближенні по взаємодії електрона і позитрона одержано загальний релятивістський вираз для амплітуди  $e^-e^+$  розсіяння в полі циркулярно поляризованої хвилі довільної інтенсивності.

В § 1.2 аналізуються умови резонансного та нерезонансного протікання  $e^-e^+$  реакції. Показано, що у випадку довільних інтенсивностей зовнішнього поля нерезонансна область для дієграм розсіювального типу визначається умовою, щоб площина розсіяння електрона на позитроні в с.ц.т. була перпендикулярна хвильовому вектору хвилі, крім того квадрат 4-імпульса віртуального фотона в знігтіляційній амплітуді задовольняє умові:  $q_2^2 = 4 \cdot E_1^2 \cdot [1 + \eta^2 m^2 / E_1^2 - r \cdot \omega / E_1] \neq 0$  ( $r$  - ціле число, що визначає число поглинутих ( $r < 0$ ) та випромінюваних ( $r > 0$ ) фотонів зовнішнього поля електроном (позитроном)). Відмічено, що для інтенсивностей хвилі  $\eta \ll 1$  процес  $e^-e^+$  розсіяння буде протікати нерезонансно для будь-яких кутів розсіяння, виключаючи розсіяння на малі кути  $\theta \sim \hbar \cdot \omega / p \cdot c \ll 1$ .

В § 1.3 вивчено нерезонансне розсіяння електрона на позитроні в загальному релятивістському випадку для циркулярно поляризованої

хвилі, інтенсивність якої задовольняє умові  $\xi \ll 1$ . Одержано вираз для парціального диференціального перерізу нерезонансного розсіяння електрона на позитроні з випромінюванням та поглинанням довільного числа фотонів зовнішнього поля. Одержаний переріз детально аналізується для різних енергій електронів та інтенсивностей зовнішнього поля (область застосування одержаного виразу щодо інтенсивності зовнішньої хвилі значно розширюється:  $\eta \ll p/m$ , а не  $\eta \ll 1$ ,  $\beta \ll 1$ ). Парціальний диференціальний переріз підсумовано по всіх можливих процесах поглинання та випромінювання фотонів зовнішньої хвилі. В підсумованому перерізі зовнішнє поле впливає лише на інтерференційний доданок. При цьому нерезонансний диференціальний переріз розсіяння електрона на позитроні в елемент тілесного кута  $d\Omega$ , виражений в одиницях перерізу Беба, набуває простий вигляд

$$d\sigma(e^-e^+)/d\Omega_n = 1 - f(\theta, E) \cdot [1 - J_0(\alpha)] \quad (1)$$

Тут  $f$  - функція порядку одиниць, що залежить від відносної енергії та кута розсіяння електронів (позитронів), а аргументи функції Бесселя нульового індексу  $\alpha \sim \gamma$ . Из (1) видно, що коли  $\gamma \ll 1$  одержимо  $|1 - J_0| \ll 1$ , отже, зовнішнє поле практично не впливає на процес розсіяння електрона на позитроні (область застосування теорії збурень по зовнішньому полю). У випадку, коли інтенсивність світлового поля така, що  $\gamma \sim 1$ , тоді зовнішнє поле може суттєво вплинути на процес розсіяння. Якщо ж напруженість поля ще посилити, так щоб  $\gamma \gg 1$ , тоді  $|J_0| \ll 1$ , отже, інтерференційним доданком в нерезонансному перерізі можна нехтувати і, наприклад, при розсіванні на кут  $\theta = \pi$  в ультрареля-

тивістському випадку одержимо зростання перерізу в два рази.

В § 1.4 розглянуто нерезонансне розсіяння електрона на позитроні в області надсильних полів, коли  $\xi \gg 1$ . Одержано нерезонансний диференціальний переріз розсіяння. Показано, що так як в цій області квантовий параметр багатифотонності  $\gamma = \xi \cdot p_e / \omega \gg 1$ , то процес розсіяння електрона на позитроні буде супроводжуватися в основному багатифотонним поглинанням, коли  $|L| \sim \alpha \gg 1$  (випромінювання такого великого числа фотонів неможливо в силу закону збереження енергії). В силу цього електрон (позитрон) в кінцевому стані буде ультрарелятивістським, до того ж його енергія буде значно більша за початкову енергію, тобто реалізується прискорювальний режим, але переріз такого процесу пригнічений як  $1/\xi^4$ .

Друга глава присвячена вивченню вимушеного гальмівного випромінювання при розсіянні релятивістських електрона на електроні та позитроні в полі двох світлових хвиль одного напрямку та різних інтенсивностей й частот.

В боровському наближенні по взаємодії електрона з електроном (позитроном) в загальному релятивістському випадку одержані амплітуди  $e^-e^-$  та  $e^-e^+$  розсіяння в полі двох еліптично поляризованих хвиль довільних інтенсивностей і частот, що розповсюджуються вздовж одного напрямку. Показано, що частоти хвиль повинні відрізнятися на величину більшу або порядку самих частот. В цьому випадку багатофотонні процеси з випромінюванням (поглинанням)  $l$ - фотонів першої хвилі та  $z$ - фотонів другої хвилі характеризуються функціями  $I_{l,z}$ , які залежать в загальному випадку від десяти параметрів. Вид функцій  $I_{l,z}$  суттєво залежить від інтенсивностей хвиль, а також від того в який кінематичний

області розсіятися електрони: в області Бункна-Федорова або зовні нп.

Для інтенсивностей хвиль

$$\eta_j^2 \ll \begin{cases} \omega/R_L, & v_L \ll 1 \\ \omega_j R_L/m^2, & R_L \geq m \end{cases} \quad (2)$$

в загальному релятивістському випадку вичено нерезонансне розсіяння електрона на електроні та позитроні в полі двох еліптично поляризованих хвиль. Тут нерезонансна область визначається розсіянням електронів в с.ц.т. на кути не близькі до нуля та  $\pi$ :  $\theta \gg \hbar \omega/R_L c$  та  $|\pi - \theta| \gg \hbar \omega/R_L c$  (для розсіяння електрона на позитроні - на кути не близькі до нуля). В межах цих умов одержано релятивістські вириси для перетів диференціальних перетів розсіяння електрона на електроні та позитроні, які потім підсумовано по всіх можливих процесах випромінювання та поглинання фотонів зовнішнього поля. В підсумованому переті зовнішнє поле, як і в випадку одної хвилі, впливає лише на інтерференційний доданок. Нерезонансні диференціальні переті розсіяння електрона на електроні та позитроні в елемент тілесного кута  $d\Omega$ , виражені в одиницях відповідно перетів Маллера ( $d\sigma_{\text{Mol}}/d\Omega$ ) і Баба ( $d\sigma_B/d\Omega$ ), набувають простий аналітичний вигляд

$$d\sigma(e^-e^-)/d\sigma_{\text{Mol}} = 1 - f_1(\theta, E) \cdot [1 - J_0(\alpha_1) \cdot J_0(\alpha_2)], \quad (3)$$

$$d\sigma(e^-e^+)/d\sigma_B = 1 - f_2(\theta, E) \cdot [1 - J_0(\alpha'_1) \cdot J_0(\alpha'_2)]. \quad (4)$$

Тут  $f_1$  і  $f_2$  - функції порядку одиниці, що залежать від відносної енергії та кута розсіяння електронів (позитронів), з аргументи

функції Бесселя нульового індексу  $\alpha_{1,2} \sim \gamma_{1,2}$  (індекси вказують на номер хвиль). Із (3), (4) видно, що у випадку  $\gamma_j \gg 1$  ефект пригнічення інтерференції розсіювальної та обмінної амплітуд зовнішніми полями підсилюється квадратично. Визначені області інтенсивностей зовнішніх полів та енергій електронів (позитронів), в яких вплив зовнішніх хвиль найбільш суттєвий. Відмічається, що для нерелятивістських енергій електронів (позитронів) нерезонансний диференціальний переріз співпадає із звичайним диференціальним перерізом розсіяння вільних електронів на позитроні, так що вплив зовнішнього поля на процес нерезонансного  $e^-e^+$  розсіяння суттєво виявляється лише для релятивістських та ультрарелятивістських енергій електронів та позитронів.

Третя глава присвячена вивченню процесів вимушеного гальмівного випромінювання релятивістських електронів при розсіянні у площині перпендикулярній вектору поляризації двох лінійно поляризованих світлових хвиль. В даній кінематичній області багатифотонні процеси визначаються квантовими параметрами  $\beta_{1,2}$ . Відмічається, що в полі однієї хвилі ( $\beta_2 = 0$ ) в цьому випадку електрон випромінює або поглинає тільки парне число фотонів хвиль (випромінювання та поглинання непарного числа фотонів пригнічено). У випадку двох хвиль, внаслідок віртуальних інтерференційних процесів корельованого поглинання рівного числа фотонів обох хвиль процеси випромінювання (поглинання) парного і непарного числа фотонів першої та другої хвилі стають величинами одного порядку.

В § 3.2 одержано загальний релятивістський виріз для перерізу вимушеного гальмівного випромінювання (поглинання) електронів в полі двох лінійно поляризованих хвиль одного напрямку

(та поляризації) при розсіянні в площині перпендикулярній вектору поляризації. Детально вивчено випадок помірно сильних полів, коли класичний параметр  $\zeta_{1,2} \ll 1$ . В області сильних полів, коли  $\zeta_{1,2} \geq 1$  вивчено випадок нерелятивістських енергій електронів. Показано, що перетіз розсіяння електронів в площині перпендикулярній вектору поляризації хвиль при  $\beta_{1,2} \geq 1$  та  $\eta_{1,2} \ll 1$  значно перевищує перетіз розсіяння в будь-який інший геометрії.

### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

В дисертації систематично досліджено процеси вимушеного випромінювання при зіткненнях релятивістських електронів (позитронів) в сильному світловому полі. Основні результати полягають в наступному.

1. В загальному релятивістському випадку визначена нерезонансна область і одержано аналітичний вираз для парціального нерезонансного перетізу розсіяння електрона на позитроні в полі помірно сильної та надсильної циркулярно поляризованої світлової хвилі. Проведено підсумування парціального перетізу по всіх можливих процесах поглинання та випромінювання фотонів зовнішнього поля. Одержані результати погоджуються з раніше вивченим окремим випадком. Показано, що помірно сильне світлове поле може в декілька разів змінювати перетіз  $e^-e^+$  розсіяння, а в надсильному полі перетіз  $e^-e^+$  розсіяння пригнічено.

2. Многофотонні процеси випромінювання та поглинання фотонів хвилі при розсіянні електрона на позитроні характеризуються квантовим параметром Бункіна-Федорова. В загальному релятивістському випадку показано, що якщо квантовий параметр Бункіна-Федорова

набагато більший одиниці, зовнішнє електромагнітне поле пригнічує інтерференцію прямого та антірадіаційних каналів при електрон-позитронному розсіянні.

3. Підраховані кутові (для ультррелятивістських енергій електронів та позитронів) та енергетичні залежності перерізу електрон-позитронного розсіяння в полі циркулярно поляризованої хвилі, коли квантовий параметр Бункіна-Федорова набагато більший одиниці. Для ультррелятивістських електронів (позитронів) найбільше відмінна перерізу  $e^-e^+$  розсіяння в полі хвилі від звичайного перерізу Баба досягається при розсіянні в с.ц.т. на кут  $\theta_m \approx 76.2^\circ$  і складає 25%. У випадку розсіяння на кут  $\pi$  найбільше перевищення нерезонансного перерізу над перерізом Баба має місце для енергій електрона (позитрона)  $E \approx 0.6$  Мев і дорівнює двом.

4. В загальному релятивістському випадку одержано парціальні перерізи нерезонансного розсіяння електрона на електроні та електрона на позитроні в світловому полі 2-х еліптично поляризованих хвиль одного напрямку та різних частот, інтенсивності яких  $\eta_{1,2} \ll 1$  та  $\beta_{1,2} \ll 1$ . Показано, що в залежності від інтенсивності та поляризації хвиль процес розсіяння електрона на електроні та позитроні може проходити в різних кінематичних областях та характеризуватися різними параметрами багатифотонності.

5. В області Бункіна-Федорова для різних енергій електронів (позитронів) підраховані кутові розподіли  $e^-e^-$  і  $e^-e^+$  реакцій в світловому полі 2-х хвиль, коли квантовий параметр Бункіна-Федорова порядку одиниці. Показано суттєвий вплив поляризації хвиль на процес розсіяння. Максимальна відмінна нерезонансних перерізів від відповідних перерізів без зовнішнього поля має місце для лінійних

поляризацій хвиль та може досягати 100%.

6. В загальному релятивістському випадку одержано парціальний нерезонансний переріз розсіяння електрона на електроні в площині перпендикулярній вектору поляризації 2-х лінійно поляризованих помірно сильних світлових хвиль одного напрямку та різних частот. Показано, що багатифотонні процеси характеризуються квантовим параметром багатифотонності  $\beta_{1,2}$ . Передбачено, що в полях, коли квантовий параметр  $\beta_{1,2} > 1$ , але  $\eta_{1,2} \ll 1$  парціальна імовірність розсіяння електронів в площині перпендикулярній вектору поляризації обох хвиль значно перевищує парціальну імовірність розсіяння в будь-якій іншій геометрії, причому в полі однієї світлової хвилі розсіяння супроводжується випромінюванням та поглинанням парного числа фотонів хвилі.

Основні результати дисертації надруковані в наступних роботах:

1. Denisenko O.I., Roshchupkin S.P. Nonresonant Scattering of an Electron by a Positron in the Field of a Plane Electromagnetic Wave of an Arbitrary Intensity. // Laser Physics.- 1994.- V.4.- No.4.- P.903-909.
2. Denisenko O.I., Roshchupkin S.P. Non-Resonance Electron Scattering in the Field of Two Plane Light Waves. // Physica Scripta.- 1994.- V.50.- P.339-342.
3. Денисенко О.І. Нерезонансне розсіяння електрона на позитроні в полі двох плоских світлових хвиль. // УФЖ.-1995.-Т.40.№.3.- С.163 - 167.
4. Denisenko O.I., Roshchupkin S.P. Moller  $e^-e^-$  Scattering in the Presence of a Two Strong Electromagnetic Waves. // In Abstracts International Conference Physics in Ukraine. Kiev, 22-27 June

1993. Physics of Elementary Particles and Quantum Field Theory.

- P.28.

5. Денисенко О.И., Рошупкин С.П. Нерезонансное рассеяние электрона на позитроне в сильном световом поле. // Тезисы докладов III семинара по атомной спектроскопии. Черноголовка, 15-18 декабря 1992 г. - С.89.
6. Денисенко О.И., Рошупкин С.П. Нерезонансное рассеяние электрона на электроне в поле двух линейно поляризованных световых волн вне области Бункина-Федорова. // Тезисы докладов научно-технической конференции "Техника и физика электронных систем и устройств". Сумы, 18-20 мая 1995 г. - С.26-27.
7. Денисенко О.И., Рошупкин С.П. Вимушене гальтвине випромінювання при розсіянні електронів у полі двох світлових хвиль. // Тези доповідей міжнародної наукової конференції, присвяченої 150-річчю від дня народження видатного українського фізика і електротехніка Івана Пулюя. Львів, 23-26 травня 1995 р. - С. 54.

Денисенко О.И. Нерезонансное рассеяние электрона на электроне и позитроне в сильном световом поле.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика ядра и элементарных частиц, Харьковский государственный университет, Харьков, 1995.

Защищается 7 научных работ, которые содержат теоретическое исследование процессов вынужденного тормозного излучения электронов (позитронов) при рассеянии в сильном электромагнитном поле. Получены сечения  $e^-e^-$  и  $e^-e^+$  процессов в поле одной и двух волн, которые анализируются для разных энергий частиц и

поляризации волн. Показано, что в зависимости от интенсивности и поляризации волн процесс рассеяния электронов может протекать в различных кинематических областях.

Ключові слова: електрон, позитрон, розсіяння, переріз.

Denizenko O.I. Non-resonance Scattering of an Electron by the Electron and Positron in the Strong Light Field.

Thesis on search the scientific degree of candidate of physics and mathematics for speciality 01.04.16 - Nucleus and Elementary Particles Physics, Kharkov State University, Kharkov, 1995.

The seven scientific papers are protected, which contain theoretical investigation of the induced electron bremsstrahlung processes in the strong electromagnetic field. The cross-section of  $e^-e^-$  and  $e^-e^+$  processes in the field of one and two waves is obtained and analyzed for different energies and wave polarizations. It is shown that the process of the electron scattering take place in the different kinematic regions depending on wave intensity and wave polarizations.

Key words: electron, positron, scattering, cross-section

Денисенко Олег Іванович

НЕРЕЗОНАНСНЕ РОЗСІЮВАННЯ ЕЛЕКТРОНА НА ЕЛЕКТРОНИ  
ТА ПОЗИТРОНИ В СИЛЬНОМУ СВІТЛОВОМУ ПОЛІ

Відповідальний за випуск  
Рошукти Сергій Павлович

---

Підписано до друку  
Формат паперу 60×90 1/16  
Умовн. друк. арк. 0.7  
Тираж 80 екз.

---

СумДУ, 244007, Суми, вул. Римського-Корсакова, 2

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

"Ризоцентр" СумДУ

244007, Суми, вул. Римського-Корсакова, 2

... ..  
... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..  
... ..

17. 00. 01

445839

AB 33.374