|  |
| --- |
| **ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В.Н. КАРАЗІНА** |

(повне найменування вищого навчального закладу)

|  |
| --- |
| **ННІ «ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ»** |
| (назва факультету) |
| **КАФЕДРА ФІЗИКИ ЯДРА ТА ВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ ІМЕНІ О.І. АХІЄЗЕРА** |

(повна назва кафедри)

**Пояснювальна записка**

до дипломного проекту (роботи)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_МАГІСТРА\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

укр.\_Вплив розміру пучку на електрон-позитронне розсіювання.

Англ.Beam-size effect in electron-positron scattering.

Виконав(ла): студент 2 курсу навчання

за ОНП «Еспериментальна ядерна фізика та фізика плазми»

спеціальність «Прикладна фізика та наноматеріали»

Вінніченко В.В

(прізвище та ініціали) (особистий підпис)

Керівник: Кузнецов П.Е.

(прізвище та ініціали) (особистий підпис)

Рецензент: Онищенко Г.М.

(прізвище та ініціали) (особистий підпис)

Харків – 2023 рік

Анотація

У цій роботі було проведено дослідження ефекту розміру пучку у електрон-позитронному розсіюванні. Було проведено розрахунки цього ефекту для колайдеру SuperKEKB. Також був запропонований метод подальшого вивчення ефекту и зроблено теоретичний прогноз эксперименту.

In this thesis, a study was carried out on the effect of beam size in electron-positron scattering. Calculation was performed on the effect for the SuperKEKB collider. The method of further study of the effect was proposed and the theoretical prediction of the experiment formed.

Зміст

1.Вступ…………………………………………4

2.Розділ 1.Огляд літератури…………………..7

3.Розділ 2.Постановка задачі та її практичне значення………………………………………..9

4.Розділ3.Теоретичний огляд задачі………….14

3.1. Світність та переріз розсіювання…...14

3.2. Наближення еквівалентних фотонів...17

3.3Поправки до перерізуюю……………...21

5.Розділ4.Результати розрахунків та їх аналіз..25

6.Висновки……………………………………..33

7.Список використаних джерел………………36

Вступ

Поперечний переріз розсіювання є фундаментальною величиною у вивченні фізики елементарних частинок, оскільки він описує ймовірність того, що дві частинки будуть взаємодіяти через розсіювання. У багатьох експериментах з фізики елементарних частинок поперечний переріз вимірюється шляхом зіткнення двох пучків частинок, наприклад протонів або електронів, і виявлення розсіяних частинок. Однак на поперечний переріз може вплинути розмір пучків, оскільки розподіл частинок у середині пучків може впливати на ймовірність розсіювання.

Залежність поперечного перерізу розсіювання від розміру пучка, або ефект розміру пучка, є важливою темою у дослідженнях фізики елементарних частинок. В останні роки зростає інтерес до розуміння впливу розміру пучка на поперечні перерізи розсіювання, особливо у високоенергетичних колайдерах, таких як Великий адронний коллайдер (LHC) у CERN та коллайдер Tevatron у Фермілабі.

Ефект розміру пучка може виникати через низку факторів, включаючи кінцевий розмір частинок у пучках, кінцеву роздільну здатність детекторів, які використовуються для вимірювання розсіяних частинок, і нерівномірність магнітних полів, які направляють пучки. Ці фактори можуть призводити до зміни поперечного перерізу розсіювання, що залежить від розміру та форми пучків.

У 1982 цей ефект був помічений на колайдері VEPP-4. Було помічено, що переріз однофотонного гальмівного випромінювання виявився значно меншим ніж передбачає стандартна квантова електродинаміка. Було припущено, що причина цього ефекту у тому що характерні прицільні параметри процесу є значно більшими ніж самі розміри пучків у експериментах. Теоретично це можна пояснити релятивістським подовженням поперечного поля електронів та позитронів вплодб до макроскопічних розмірів(кількох сантиметрів). При цьому типові розміри пучків у прискорювачах частинок вимірюється десятками нанометрів. Розрахунки перерізу розсіювання за допомогою типової квантової електродинаміки не можуть дати правильних результатів.

Теоретичний опис цього явища зазвичай робиться за допомогою наближення еквівалентних фотонів. У цій картині електричне поле частини представляється як хмара віртуальних фотонів. Тоді процеси гальмівного випромінювання предстають процесами зіткнення нелітаючих частинок з фотонами які оточують частинку-мішень У цій картині можливо ввести відсіч яка має розміри реального пучка частинок і не враховувати фотони які лежать за ї межами.

Теоретичне врахування його ефекту є дуже важливою задачею, адже цей ефект впливає як на втрати частинок у колайдерах так і на загальну точність вимірювання світності у колайдерах та розуміння шуму у їх детекторах. Саме процес однофотонного гальмівного випромінювання використовується у колайдері SuperKEKB для моніторингу світності. А отже цей ефект є важливим для розуміння для найбільш ефективної роботи колайдеру.

У даній роботі представлено дослідження залежності перерізу розсіювання від розміру пучка в електрон-позитронному коллайдері SuperKEKB. Ефект розглянуто за допомогою наближення еквівалентних фотонів. Проведено розрахунки і порівняльний аналіз результатів з урахуванням ефекту та без нього.

Також запропоновано метод подальшого дослідження ефекту, який може дозволити покращити вимірювання світності колайдеру якщо робити на нього поправки.

Розділ 1.Огляд літератури

Однофотонне гальмівне випромінювання досліджується вже дуже давно.

Однією з головних теоретичних робіт у питанні такого випромінювання у ультрарелетевістському наближенні ( тобто з фотонами обміном імпульсом з якими можна знехтувати і які випромінюються з 0 кутом) є робота[6].

У цій роботі автори отримали одні з перших теоретичних виразів для подібного процесу.

Ефект розміру пучка, відомий також як MD-эфект був вперше виявлений у публікації [1]:

У цій статті автори працюючи на колайдері VEPP-4 помітили, що вірогідність процесів випромінювання гальмівною радіації у колайдері значно менші ніж передбачає, класична квантова електродинаміка.

Вони висунули гіпотезу, що причина цього лежить у відсутності вкладу великих прицільних параметрів, адже гальмівне випромінювання наприклад в полі атомного ядра для ультрарелятивистских частинок відбувається на значно більших відстанях ніж зазвичай.

Також авторами було помічено поведінку випромінення при зсуві пучків. і виміряно відношення цього процесу до процесу який не залежить від великих значень прицільного параметра.

У роботі [2], автори вперше отримали теоретичне рішення проблеми змінення ефективного перерізу при зміщенні одного пучку відносно іншого.

У роботі [5] автори зібрали да доформулювали та більшість теоретичних питань щодо процесів з великим вкладом велики прицільних параметрів.

У роботы [7] автори провели дослідження ефекту за допомогою комп'ютерного моделювання методом Монте-Карло.

Розділ 2.Постановка задачі та її практичне значення

Електрон-позитронні колайдери (ЕПК) - це тип прискорювачів частинок, які використовуються для дослідження взаємодією фундаментальних частинок. У ЕПК електрони і позитрони (античастинки електрона) прискорюються в протилежних напрямках і зіткнення між ними відбувається в центрі мас системи.

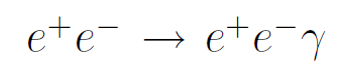
Однією з головних задач ЕПК є точне вимірювання світності - параметра, який характеризує силу взаємодії між електромагнітним полем і зарядженою частинкою. Однак, існують деякі проблеми, пов'язані з вимірюванням світності в ЕПК.

По-перше, однією з найбільших проблем є точність вимірювання світності в самому зіткненні електронів та позитронів. Це пов'язано з тим, що у зіткненні відбувається взаємодія не тільки між електронами та позитронами, але і між ними та іншими частинками, що присутні в детекторі. Це може призводити до спотворення результатів вимірювання світності.

По-друге, існують проблеми з точністю вимірювання світності на низьких енергіях. Це пов'язано з тим, що на низьких енергіях взаємодія між електронами та позитронами менш інтенсивна, і тому вимірювання стає більш чутливим до зовнішніх впливів.

Наприкінці, потрібно зазначити, що зменшення енергії зіткнення електронів та позитронів може допомогти у вирішенні деяких проблем вимірювання світності в ЕП.

Електрон-позитронна взаємодія називається розсіюванням Бхабха, і вона включає багато випромінювання, яке в найнижчому порядку (лише один фотон) описується наступними двома діаграмами.



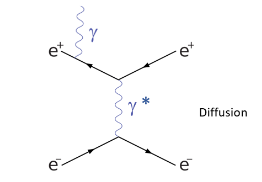
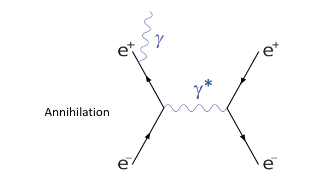


Рис1.Квантово-електродинамічні діаграми поправок першого порядку

Перша діаграма (розсіювання через анігіляцію) переважає при великих кутах розсіювання (великий обмін імпульсом), а друга при малих кутах з малим обміном імпульсом.

Фотони, які утворюються при цій взаємодії можуть бути використані для моніторингу світності електрон-позитронного колайдеру. Наприклад електрон-позитронний колайдер SuperKEKB, на якому проводиться експеримент Belle II використовує обидва види фотонів для моніторингу світності.

SuperKEKB — це енергетичний асиметричний колайдер е+-електронів і е-позитронів, що складається з двох кілець: кільця низької енергії (LER), де промінь позитронів рухається з енергією 4 ГеВ, і кільця високої енергії (HER), де промінь електронів рухається з енергією 7 ГеВ, з енергією в центрі мас 10,58 ГеВ. Промені стикаються під кутом 83 мрад. Прискорювач розташований у KEK (High Energy Accelerator Research Organisation), лабораторії фізики елементарних частинок, розташованій у Цукубі, Японія.

В експерименті Belle II розсіяні частинки виявляються за допомогою трьох детекторів: ECL (Електромагнітний кристалічний калориметр), ZDLM (Zero Degree Luminosity Monitor), який є датчиком ефекту Черенкова, і Lumibelle II, який є алмазним детектором. ECL розташований у камері взаємодії, тому виявляє частинки з великим кутом розсіювання та використовується для вимірювання абсолютної світності.

У той час як ZDLM і Lumibelle II розташовані поза камерою і виявляють частинки лише за нульовим кутом розсіювання. Вони реєструюють фотони гальмівного випромінювання , які відповідають малому обміну імпульсом і рухаються у напрямку пучків.

Вони використовуються для вимірювання відносної світності (щоб знати, коли світність зростає зменшується у відповідь на дії персоналу), а абсолютні значення, які вони показують, насправді не досліджувалися.

Радіаційне розсіювання Бхабха є дуже важливим джерелом шуму для детекторів. Тому дуже корисно дуже точно знати ефективний переріз цього процесу, щоб мати можливість правильно імітувати цей фоновий шум.

Теоретичний переріз Бхабха відомий, але він розбіжний під малими кутами, що ускладнює дослідження цього процесу у випадку гальмівного випромінювання під нульовим кутом. Для формування якісних прогнозів необхідно використовувати різні методи апроксимації.

Відомо також що на переріз звичайного однофотонного гальмівного випромінювання впливає і розмір пучків. Цей ефект розміру пучків відомий також як MD-ефект має бути врахований для найбільш ефективного моніторингу світності. Він полягає в тому, що через релятивіське подовження поперечного електромагнітного поля електронів і позитронів вони можуть взаємодіяти на великих відстанях.

Таким чином необхідно враховувати і макроскопічні прицільні параметри, які зазвичай значно більші ніж справжні розміри пучка у колайдері. Через це взаємодія пучків виявляється слабшою ніж передбачає звичайна квантова електродинаміка.

У цій роботі ми намагатимемося переформулювати звичайні формули теорії розсіювання щоб віднести зміну числа подій у детекторі не до світності а перерізу розсіювання. Адже саме переріз ,зазвичай, вважається характеристикою процесу а світність характеристикою колайдеру. Буде розраховано поправки до очікуваного числа подій через цей ефект для SuperKEKB і висунуто прогноз для деяких результатів вимірювань

Дослідження цього ефекту ускладнюється тим, що SuperKEKB не може вільно маніпулювати розмірами пучка, не впливаючи на інші важливі для нас показники.

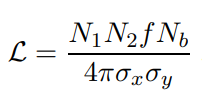
SuperKEKB має енергоприйняття 1%, що означає, що якщо частинка втратить 1% або більше енергії, вона буде сильно відхилена магнітною оптикою та покине промінь. Lumibelle II знаходиться за точкою взаємодії та виявляє частинки, які розсіялися під невеликими кутами та, як правило, залишалися на промені, але через втрату 1% або більше енергії залишають промінь незабаром після цього. У цій роботі буде використовувати це як нижню межу в інтегруванні під час розрахунку поперечного перерізу.

Розділ3.Теоретичний огляд задачі

3.1. Світність та переріз розсіювання

Світність (англ. "Luminosity") прискорювача - це параметр, який визначає кількість частинок, які проходять через певну площу в одиницю часу. В фізиці частинок світність є важливим показником для вимірювання інтенсивності зіткнення частинок.

Світність прискорювачаз гаусовими пучками можна визначити за формулою:



де L - світність, Nb - кількість частинок в пучку, f - частота зіткнень, σx та σy - стандартні відхилення від гаусівського розподілу пучка по горизонтальній та вертикальній вісі відповідно.

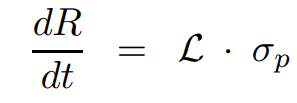
Іншими словами, світність пропорційна кількості частинок в пучку, частоті зіткнень та зв'язана з розміром пучка. Чим більша кількість частинок в пучку, тим більша світність, а отже, тим більша інтенсивність зіткнення.

Вимірювання світності є важливою задачею у фізиці частинок, оскільки інтенсивність зіткнення частинок впливає на ефективність виявлення рідкісних процесів та зменшення статистичних похибок. Проте вимірювання світності є нетривіальним завданням, оскільки для його визначення потрібно точно виміряти кількість частинок, що проходять через певну площу, а також стандартні відхилення розподілу пучка по горизонтальній та вертикальній вісі.

Однією з проблем вимірювання світністі є те, що при високих значеннях світністі можуть відбуватися взаємодії між частинками, які можуть впливати на точність вимірювання. Також можуть виникати проблеми зі зберіганням інтенсивних пучків на достатньо тривалий час, оскільки вони можуть викликати пошкодження матеріалів, з яких зроблені стінки прискорювача.

Узагалі, світність - це складний параметр, який визначається багатьма факторами, такими як кількість частинок в пучку, щільність пучка, форма та розмір пучка, частота зіткнень, енергія частинок та інші.

Тому що світність пов'язана з частотою подій



Зменшення цієї самої частоти подій можна віднести і до зменшення світності і до зменшення перерізу. Зазвичай їївідносять до зменшення світності.

Оскільки MD-ефект призводить до зменшення числа фотонів гальмівного випромінювання, яке використовується у SuperKEKB для вимірювання світності, ми введемо поняття скоригованого перерізу розсіювання. Адже саме переріз розсіювання вважаеться характеристикою процесу и зазвичай використовується для розрахунків світності колайдерів. А світність зазвичай вважається характеристикою самого колайдеру.

3.2. Наближення еквівалентних фотонів

MD-ефект у процесах однофотонного гальмівного випромінювання можна описати за допомогою процесу однофотонного гальмівного випромінювання або процесу e −e + → e −e +γ.

Цей процес можна зобразити за допомогою рис 2,3 блок-діограм.

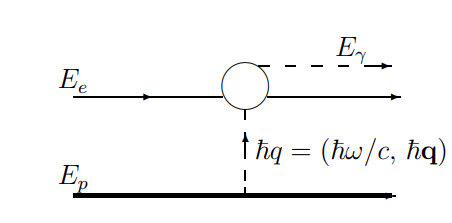
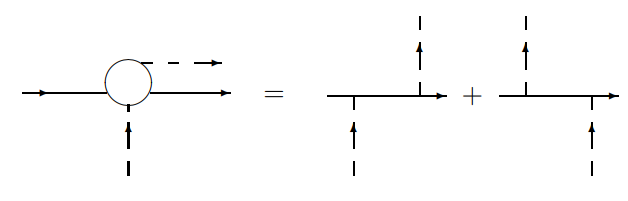


Рис 2,3 Блок діаграми випромінювання гальмівного фотону



У ньому фотон випромінюється електроном, а випроміненням позитрона можна знехтувати. Тут можна скористатися наближенням Вайцзеккера-Вильямса, відомим також як наближення еквівалентних фотонів.

Великі прицільні параметри *q* ≿σ⊥ ,де σ⊥-поперечний розмір пучків відповідають маленький передачі імпульсу а отже у цьому випадку процес можна представити як комптонівське розсіювання еквівалентних фотонів які випускаються позитроном та розсіюються електроном. Можна уявити диск, який складається з еквівалентних фотонів з частотою ω і радіусом

*q*m ∼ γpc/ω , де γp = Ep/(mpc2 )- Лоренц-фактор позитрону рис4.

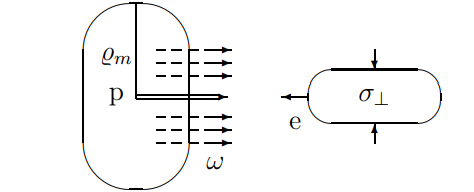
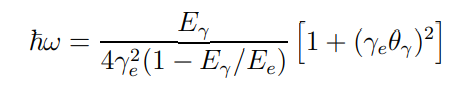


Рис4. Пучок частинок, нелітаючий на диск еквівалентних фотонів

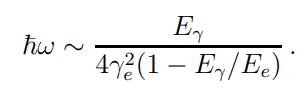
В результаті релятивістської трансформації поля позитрону, це поле є стиснутим у напрямку руху, а характерна продольна довжина регіону який займає поле на відстані *q*m від осі руху можно приблизно вважати

λ ∼ *q*/γp Отже частота приблизно становить ω ∼ c/λ ∼ γpc/*q*.

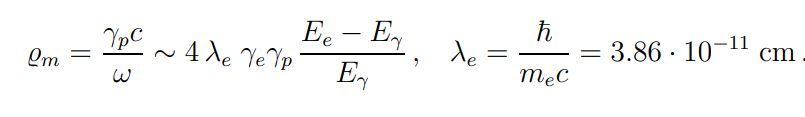
З іншого боку(у системі відліку колайдеру) еквівалентний фотон та електрон рухаються назустріч одне-одному і відбувається комптонівське розсіювання. Основний внесок у таке розсіювання будуть вносити фотони, які були розсіяні у зворотному напрямку. Для таких фотонів ми можемо віднести енергію еквівалентних фотонів до енергії розсіяних фотонів за допомогою формули



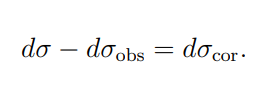
А тому для типових кутів фотонів гальмівного випромінювання :



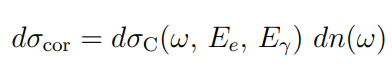
Таким чином ми можемо вирахувати радіус диску з еквівалентних фотонів які відповідають фотону з фінальною енергією



Стандартні розрахунки враховують взаємодію такого диску з необмеженим за шириною потоком електронів. Але у колайдерах частинок поперечні розміри пучків значно менші за характерну поперечну довжину поля. Це призводить до зменшення числа розсіяних еквівалентних фотонів адже фотони з регіону не можуть взаємодіяти з електронами з нападаючого пучка. В результаті, експериментально вимірюваний переріз процесу буде менший за теоретичний, адже той рахується для випадку нескінченного поперечного розширення пучку.



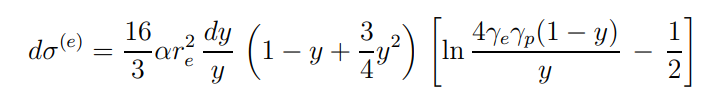
Таким чином це дозволяє вирахувати поправки до перерізу через число відсутніх еквівалентних фотонів



3.3 Поправки до перерізу

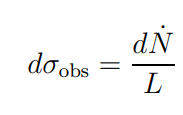
Стандартний переріз розсіювання для однофотонного гальмівного випромінювання зазвичай записується, як функція відношення енергії електрону до енергії випроміненого фотона *y =*

Тоді звичайний переріз для цього процесу буде виражатися

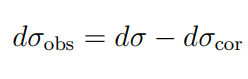


Де - постійна тонкої структури , γp,γе гамма фактори електрону і позитрону.

Тепер встановимо вимірюваний переріз(який вбирає в себе весь ефект замість світності) через кількість подій:

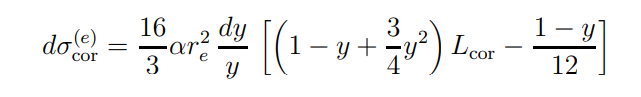


І визначимо таким чином поправку на ефект кінечності розміру пучку як

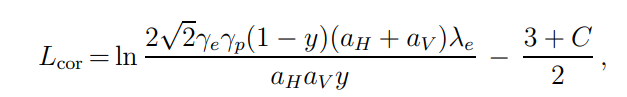


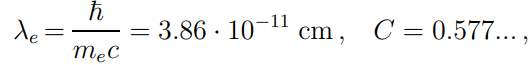
Варто зазначити що корекція до перерізу є величиною залежною від поперечних розмірів пучків як електронів так і позитронів а також їх довжини і кута, під яким стикаються частинки.

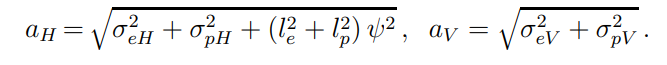
Поправка до перерізу у тих же самих термінах :



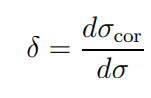
Тут :







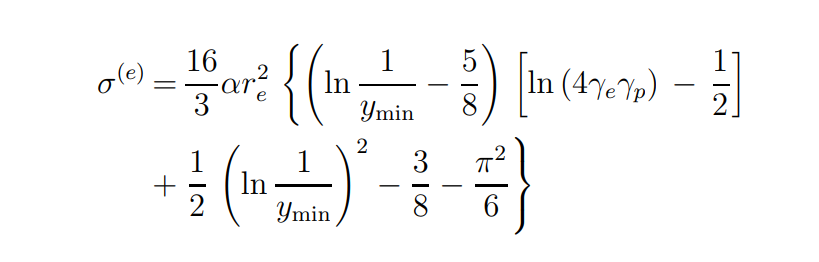
Обчислення дозволяє вирахувати відносну величину ефекту



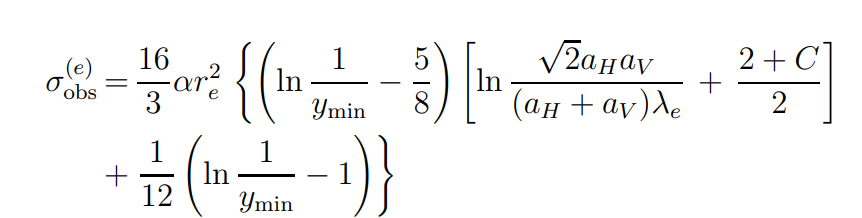
Яка є різною для різних значень відносних енергій електрону та фотону.

Повний переріз отримується інтегруванням диференційного перерізу по y. SuperKEKB має енергоприйняття 1% що означає що частинка не може пройти магнітну оптику колайдеру якщо втратить хоча б 1% від своєї енергії на випромінення. Тому ми будемо вважати *ymin* = 0.01 - при меньших значениях частинки залишаються у пучку а не сходят с з нього у детектор, тому ми нічого не можемо знати про процеси з меньшим *y.*

Якщо проінтегрувати не скоригований на кінцевість розміру пучка повний переріз то отримаємо стандартний вираз для повного перерізу:



Якщо проінтегрувати переріз, який був отриманий в результаті внесення поправок на кінцеві розміри пучку, а також кут між пучками то отримаємо результуючий переріз який дорівнює



Таким чином, використовуючи вищезазначені прийоми можно не тільки встановлювати поправки до кількості очікуваних фотонів гальмівного випромінювання, а і розраховувати втрати частинок у колайдері через випромінювання.

Розділ4.Результати розрахунків та їх аналіз

В процесі роботи було проведено розрахунки очікуваних поправок до перерізу однофотонного гальмівного випромінювання у колайдері SuperKEKB. Під час розрахунків використовувалися реальні робочі параметри колайдеру такі як поперечні та продольні розміри пучків, енергія електронів і позитронів( вона є різною через асимметрию колайдеру), кут зіткнення.

Енергоприйняття колайдеру вважалося нижньою границею. Причина цього в тому, що детектор LumiBelle2 реєструє електрони які через процес випромінювання фотону втратили енергію і зійшли з траєкторії потрапивши на детектор. Кількість фотонів гальмівного випромінювання можна вважати рівною кількості електронів які потрапили у детектор. Електрони які втратили менше ніж це граничне значення(1%) продовжують рух у колайдері і не детектуються.

У таблиці 1 наведено параметри колайдеру які використовувалися під час розрахунків

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ee | Ep | σV | σH | σz | 2ψ |
| 4 GeV | 7 GeV | 0.1 µm | 10 µm | 0.0065m | 0.08 rad |

Таблиця 1

В результаті розрахунків було вирахувано стандартний диференціальний переріз розсіювання а також поправка через скінченність розмірів пучків

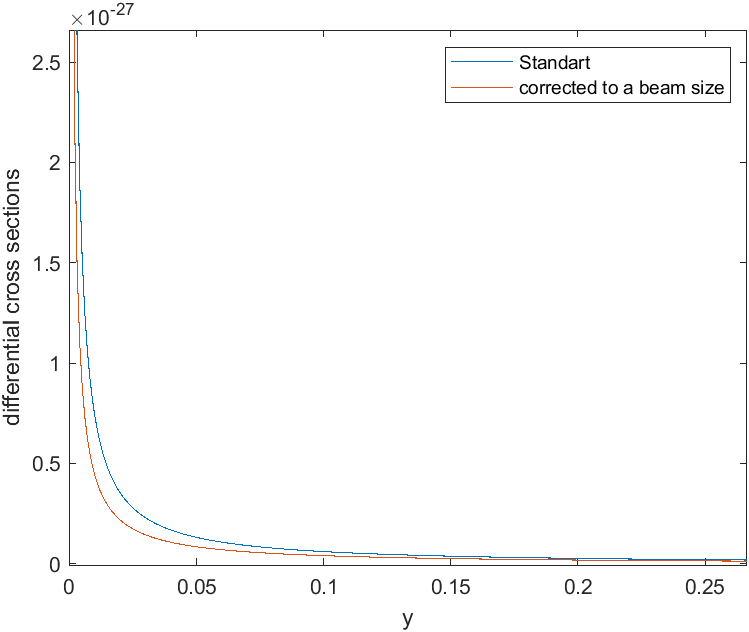


рис.5

На рис.5 представлено графік звичайного та скоригованого диференційних перерізів розсіювання.

Варто зазначити що скоригований диференціальний переріз є очікувано меньшим ніж стандартний.

На рис.6 зображено стандартний та скоригований перерізи ,які були нормалізовані до спільного коефіцієнта

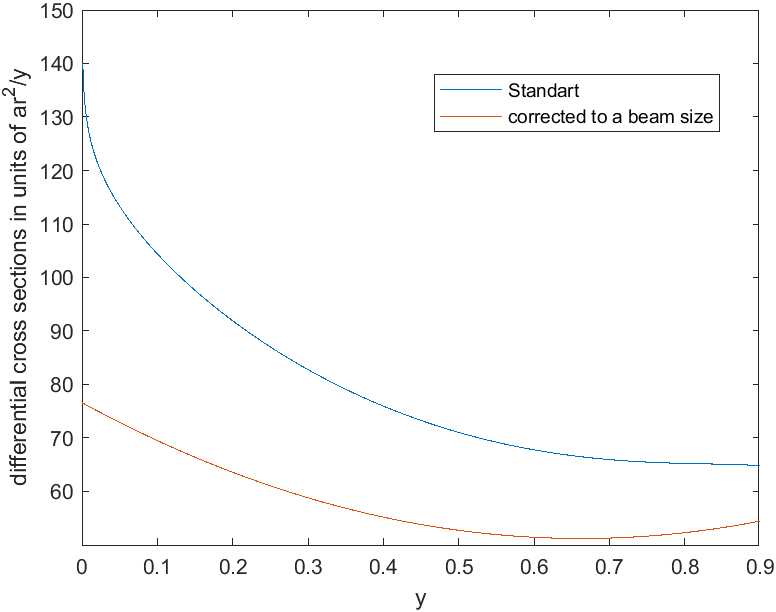


рис.6

Варто зазначити, що регіон в якому різниця між цими диференційними перерізами розсіювання в якому найбільша (y<0.01) не буде враховуватися у подальшому розраховуванні повних перерізів адже частинки які беруть участь у цих процесах ніколи не враховувалися і не могли бути враховані під час моніторингу світимості на колайдері

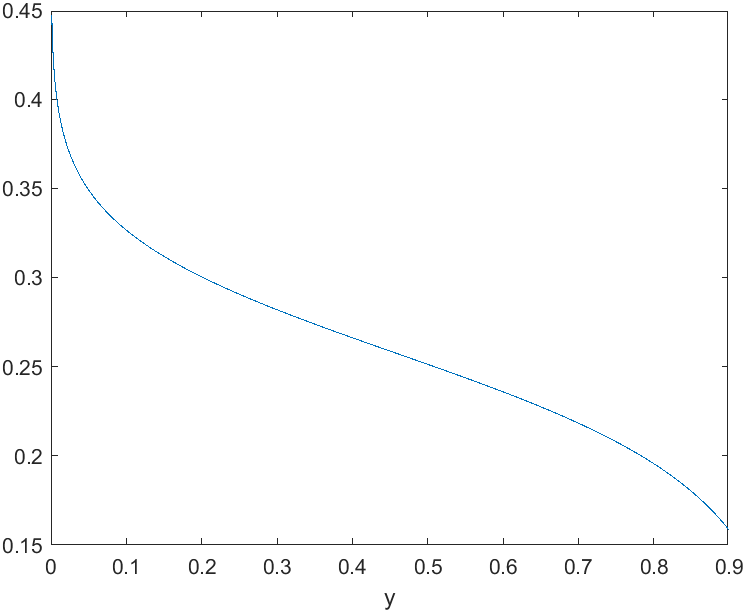
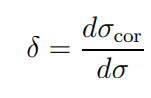


Рис.7

На рис7 зображено графік відносної величини ефекту розміру пучка.



Як і очікувалося найбільша корекція походить із регіону який відповідає до малого обміну енергіями ( тобто великих прицільних параметрів).Цей результат означає зменшення кількості подій зіткнення у області малих у більш ніж на 30%.

Це зменшення кількості подій дуже важко зафіксувати на пряму адже SuperKEKB не може вільно маніпулювати розміром пучку. Ідеальним варіантом перевірки величини ефекту було б зменшення розмірів пучку без суттєвої зміни інших важливих параметрів колайдеру. На жаль SuperKEKB може зменшити розміри пучків без суттєвої зміни розподілення частинок у фазовому просторі імпульсів.

Тому що це зниження кількості подій подій важко спостерігати безпосередньо. Було запропоновано, що замість цього слід спостерігати за поведінкою частоти подій під час вертикального або горизонтального зміщення одного пучка відносно іншого зміщення. Оскільки великі прицільні параметри впливу роблять основний внесок у поправку до поперечного перерізу, ця поправка повинна змінюватися під час зміщення, і, таким чином, спостереження за «аномальною» поведінкою кількості подій під час зміщення має забезпечити перевірку методу розрахунку цієї поправки.

Якщо ми вимірюємо відношення кількості подій реакції, яка залежить від розміру пучка, до кількості подій реакції, яка не залежить від розміру пучка. Потім ми можемо розділити це відношення під час зміщення на співвідношення без зсуву, таким чином розділивши поперечний переріз зі зміненою поправкою на переріз із початковою поправкою. Графік цього співвідношення співвідношень згідно з формулою з роботи[2], де інтеграл обчислюється чисельно, показано на рис.8.

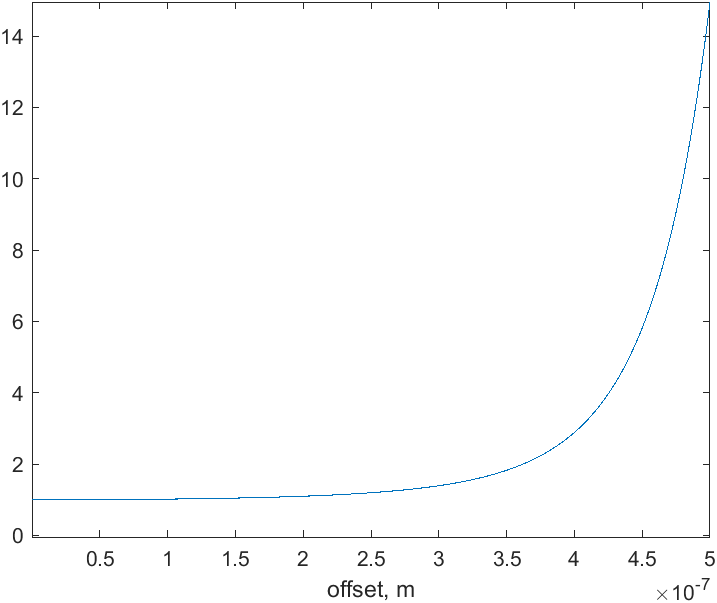


рис.8

тут σ1` - це повний переріз з поправкою на ефект розміру пучку під час зсуву. σ1-це звичайний повний переріз (без поправки на ефект) під час зсуву,σ2 - будь який інший процес не залежачий від великих прицільних параметрів

Це відношення сягає 15 при 5σ.

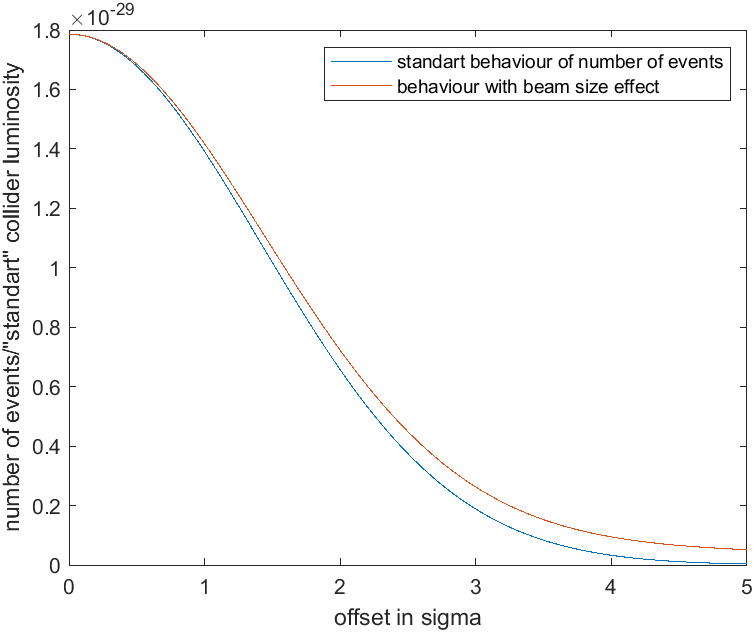


рис. 9

Нормальна поведінка кількості подій із постійним перерізом і поведінка нашої кількості подій зі змінним перерізом під час вертикального зсуву пучку наведено на рис. 9.

З наведених графіків видно що цей ефект має бути дуже значним при сильних відхиленнях пучків (>3σ). Це повинно означати що навіть при повному розведенні пучків колайдера детектори все одно повинні реєструвати значну кількість подій зіткнення.

Звісно практична перевірка може бути проведена лише відсліджуючи який-небудь процес, який не залежить суттєво від великих значень прицільного параметру а отже і від розміру пучка. Таким процессом може бути, наприклад, електрон позитронне розсіювання, яке відбуваеться з великим обміном імпульсом(через анігіляцію) - перша діограмма на рис1.

У колайдері SuperKEKB таке розсіювання через анігіляцію вимірюеться окремим детектором ECL який можна використати разом із даними LumiBelle2 для оцінки та більш детального дослідження эффекту.

Висновки

У цій роботі було розглянуто эффект розміру пучку відомий також я MD-эффект для процесів електрон-позитронної взаємодії. Цей ефект є результатом релятивістських ефектів для електромагнітного поля. Через них частинки набувають можливості взаємодіяти навіть на макроскопічних відстанях.

Через цей ефект суттєво зменшує кількість гальмівного випромінювання яке відповідає до малої передачі імпульсів між частинками. Це суттєво зменшує втрати частинок у колайдерах. Дослідження цього ефекту є дуже важливим адже процеси гальмівного випромінювання широко використовуються при моніторингу світимості, наприклад у колайдерах : наприклад електрон- позитронних колайдерах.

У роботі було проведено дослідження широкого спектру літератури по темі. Був даний теоретичний огляд проблеми. Сам фізичний ефект був розглянутий з боку апроксимації Вайцзеккера-Вильямса яка також відома як апроксимація еквівалентних фотонів.

У цьому наближенні стає можливим сформулювати вирази, які виражають корекцію як до диференційного перерізу розсіювання так і до повного перерізу.

Було проведено теоретичні розрахунки для реальних параметрів ассиметричного электрон-позитронного коллайдера SuperKEKB. Був розрахований як звичайний диференціальний переріз розсіювання так і спеціальна поправка на ефект кінечності розмірів пучка. Був проведений порівняльний аналіз звичайного і скоригованого перерізів розсіювання.

Була оцінена відносна величина ефекту для різних енергій гальмівних фотонів та відношень енергій електронів і фотонів.

Було отримано формулу та зазначено величину, яка може дозволити вимірювати ефект навіть якщо колайдер не може легко маніпулювати розміром своїх пучків. Було створено прогноз поведінки різних процесів при розведенні пучків: тих що залежать від далеких прицільних параметрів а отже і від розміру пучку і тих, що ні.

У кінці було запропоновано процес диференціальний переріз якого не залежить суттєво від великих значень прицільного параметра і тому може бути використаний як споміжний для дослідження ефекту.

Базуючись на результатів розрахунків та аналізу фізичних процесів, я можу зробити наступний висновок:

Отримані результати підтверджують наявність досліджуваного ефекту та демонструють важливість врахування його впливу на фізичні процеси в прискорювачі. Дослідження показали, що розуміння та контроль за цим ефектом є важливим для покращення ефективності прискорювачів та розробки нових прискорювальних систем та їх детекторів.

Отримані результати можуть бути корисними для подальшої роботи над удосконаленням прискорювачів та вивченням фізичних процесів, які відбуваються в них.

В першу чергу прогноз одночасної поповедінки різних процесів потребує подальшого вивчення на реальних данних.

В цілому, робота дозволила збільшити розуміння фізики прискорювачів частинок та потенційниу ефективність їх застосувань в різних областях науки та техніки.

# 

# 

# Список використаних джерел

1. A.E. Blinov et al., Phys. Lett. B113 (1982) 423
2. V.N. Baier, V.M. Katkov, V.M. Strakhovenko, Sov. Yad. Fiz. 36 (1982) 163.
3. A.I. Burov, Ya.S. Derbenyev, Preprint INP 82-07 (Novosibirsk, 1982).
4. V.B. Berestetskii, E.M. Lifshitz, L.P. Pitaevskii, Quantum Electrodynamics, Pergamon Press (Second English edition, 1994).
5. G.L. Kotkin, V.G. Serbo, A.Schiller, Int. J. of Mod. Physics A7 (1992) 4707.
6. Altarelli, G., Buccella, F. Single photon emission in high-energy e+-e- collisions. *Nuovo Cim* 34, 1337–1346 (1964).
7. R. Kleiss, H. Burkhardt, Comput. Phys. Commun. 81 (1994) 372
8. Kotkin, G. & Serbo, V.. (2006). Beam-size effect and particle losses at colliders. RuPAC 2006