

Изучение распадов бозона Хиггса на нерегистрируемые частицы в эксперименте CEPC

Студент: Косицын А.М. Научный руководитель: Чадеева М.В.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

26 декабря 2024 г.

Обзор эксперимента CEPC

- Круговой e^+e^- коллайдер (CEPC – Circular Electron Positron Collider) — это крупный международный научный объект, предложенный китайским сообществом физиков в 2012 году
- Он будет размещён в Китае в подземном кольцевом туннеле длиной около 100 км
- CEPC представляет собой двухкольцевой коллайдер, пучки e^+ и e^- циркулируют в противоположных трубах

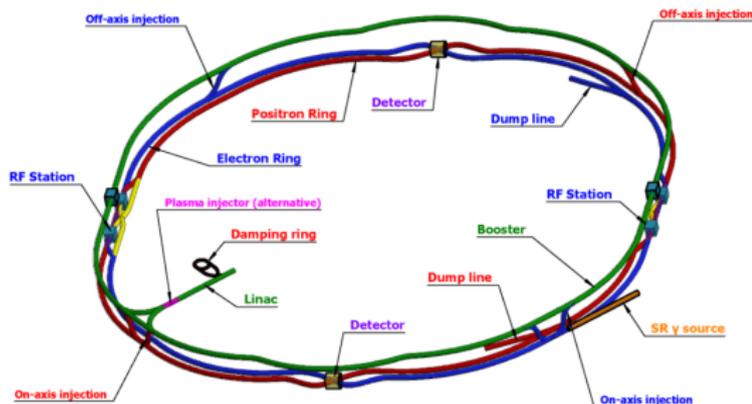


Рис. 1: Схематичное изображение CEPC

- Сначала, 10 лет СЕРС будет работать как фабрика бозона Хиггса и создаст около 2,6 миллиона частиц Хиггса
- Затем, в течение 2 лет как суперфабрика Z-бозонов и создаст около 2,5 триллиона Z-бозонов
- Затем, в течение 1 года как фабрика W-бозонов и создаст около 130 миллионов W-бозонов

Предполагаемые режимы работы

- $H (e^+e^- \rightarrow ZH)$
- $Z (e^+e^- \rightarrow Z)$
- $W (e^+e^- \rightarrow W^+W^-)$
- Рассматривается также возможность изучения процессов с рождением топ-кварка при энергии 360 ГэВ

Строительство и прогресс СЕРС

В текущий момент обсуждается место строительства. В 2023 году завершены исследования и разработки, а также подготовка о техническом проектировании (TDR). С 2024 по 2027 год будет проводится техническое проектирование (EDR), а строительство начнется в 2027 году и будет завершено к 2035 году. Исследование CDR основано на месте Цин Хуан Дао.



Рис. 2: Обсуждение места строительства



ПО CEPС состоит из нескольких независимых частей: генератор, моделирование прохождения через вещество детектора, реконструкция и анализ. В основном все написано на C++. Большая часть ПО была перенесена из ILCSoft.



Рис. 4: Схема ПО CEPС

Исследование бозона Хиггса на СЕРС

По сравнению с адронным коллайдером, e^+e^- коллайдер обладает преимуществом в исследовании механизмов образования бозона Хиггса. Энергия пучков лептонов и соответственно начальное состояние точно известны.

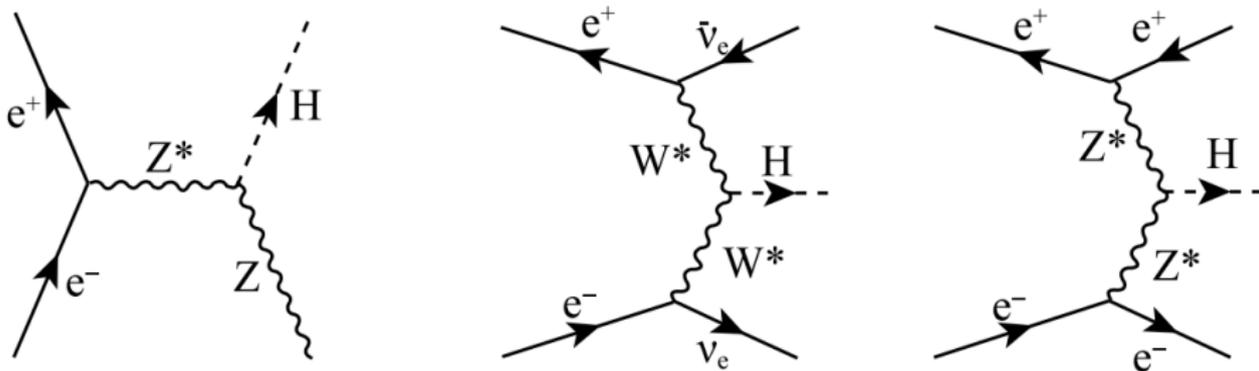


Рис. 5: Механизмы рождения бозона Хиггса на СЕРС

Исследуемый распад

Распад Z -бозона в два мюона составляет около 3%, а в два кварка около 70%. Поэтому важно получить оценки точности для второго процесса. Если бозон Хиггса распадется на нерегистрируемые частицы, его массу можно восстановить с помощью метода массы отдачи.

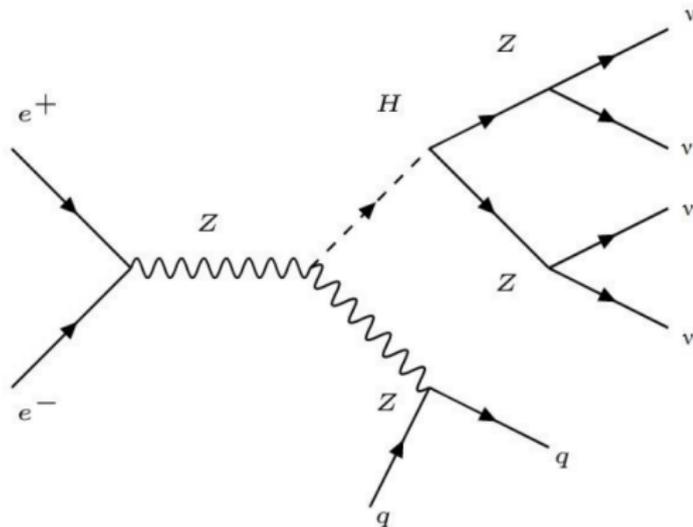


Рис. 6: Исследуемый распад

Вычисление массы отдачи

В случае распада бозона Хиггса на нерегистрируемые частицы в детекторе будут зарегистрированы только струи от процесса $Z \rightarrow qq$ и распределение массы отдачи, построенное по формуле:

$$M_{\text{recoil}} = \sqrt{(\sqrt{s} - E_{qq})^2 - p_{qq}^2}, \quad (1)$$

где E_{qq} и p_{qq} реконструированные импульс и энергия струй, s — энергия в системе центра масс, достигнет максимума в точке $M_{\text{recoil}} \approx M_h$, где M_h — масса бозона Хиггса.

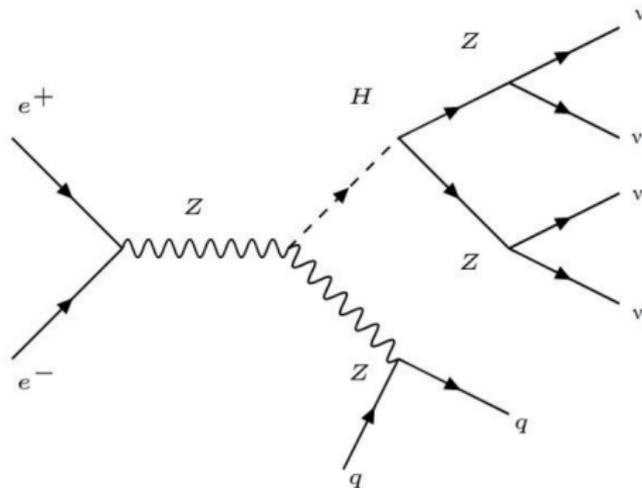


Рис. 7: Исследуемый распад

Тестирование программного обеспечения CEPС

- Для того чтобы освоить использование программного обеспечения CEPС была запущена полная реконструкция и анализ 200 событий процесса $e^+e^- \rightarrow Zh \rightarrow qqX$ (X — инклюзивные распады бозона Хиггса в Стандартной Модели). Сейчас еще не все возможные файлы генератора сгенерированы, поэтому тестирование проводилось на этом файле.
- Была построена инвариантная масса для этого процесса.
- Была построена масса отдачи для этого процесса.
- Т.к. данный генераторный файл содержит все известные каналы распада бозона Хиггса, то для получения сигнального канала нужно будет делать отбор по параметрам генерации.
- В CEPС предполагается 700 тысяч событий, а интересный канал распада составляет примерно 0.1% от всех каналов. Это означает, что при реконструкции всех сгенерированных событий интересующего нас процесса на CEPС будет получено около 700 сигнальных.

Инвариантная масса для $e^+e^- \rightarrow Zh \rightarrow qqX$

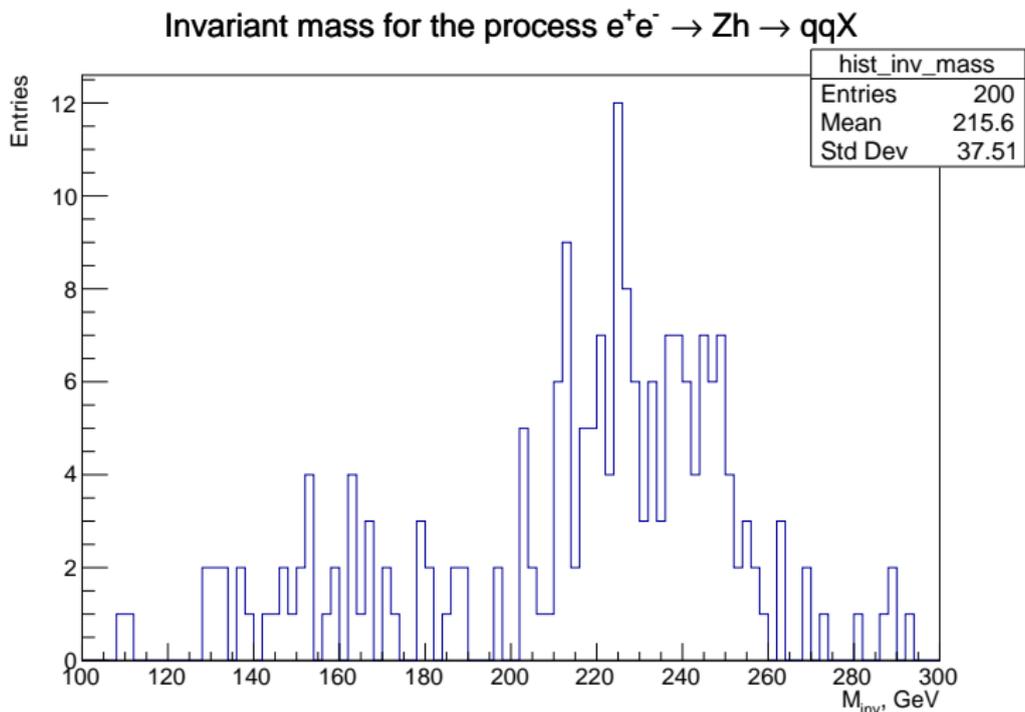


Рис. 8: Инвариантная масса для процесса $e^+e^- \rightarrow Zh \rightarrow qqX$

Масса отдачи для $e^+e^- \rightarrow Zh \rightarrow qqX$

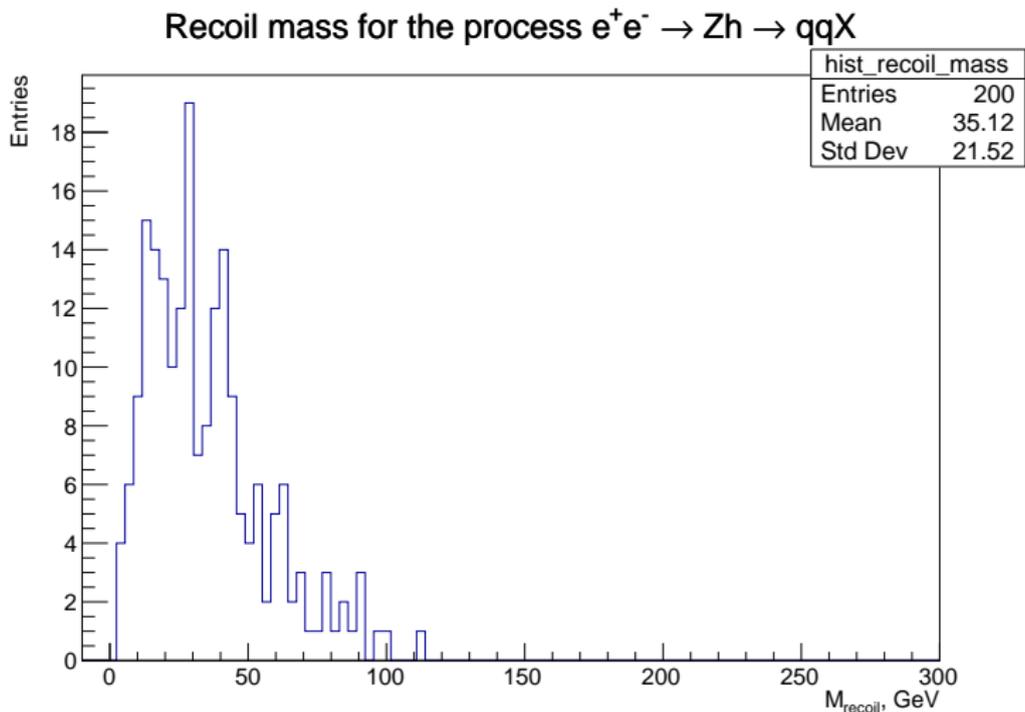


Рис. 9: Масса отдачи для процесса $e^+e^- \rightarrow Zh \rightarrow qqX$

При анализе сигнального процесса ($e^+e^- \rightarrow Zh$, $Z \rightarrow qq$, $h \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\nu$) необходимо учитывать существование следующих фоновых процессов на СЕРС:

- $e^+e^- \rightarrow WW$
- $e^+e^- \rightarrow e^\pm\nu W^\pm$
- $e^+e^- \rightarrow e^+e^-Z$, ($Z \rightarrow qq$)
- $e^+e^- \rightarrow ZZ$, ($Z \rightarrow qq$; $Z \rightarrow \nu\nu$)
- $e^+e^- \rightarrow \nu\nu Z$, ($Z \rightarrow qq$)
- $e^+e^- \rightarrow \nu\nu h$, ($h \rightarrow qq, \tau\tau$)
- $e^+e^- \rightarrow Zh$, ($h \rightarrow qq, \tau\tau$; $Z \rightarrow \nu\nu$)

- Был проведен предварительный анализ сгенерированных событий с рождением бозона Хиггса в ассоциации с Z -бозоном и последующим распадом Z -бозона на кварк антикварковую пару, а бозона Хиггса на нерегистрируемые частицы.
- Рассмотрены фоновые процессы при анализе сигнального процесса.
- В дальнейшем планируется реконструировать все имеющиеся события как сигнального, так и фоновых каналов.

Спасибо за внимание