

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий (ИЯТШ)

Направление подготовки 03.04.02 Физика

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Поиск многочастичных распадов прелестных мезонов с чармонием в конечном состоянии УДК <u>539.126.13</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ71	Москвитина Полина Игоревна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭФ ИЯТШ	Лидер А.М.	д.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Проректор по ОД ТПУ	Вагнер А.Р.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Исаева Е.С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ ИЯТШ	Лидер А.М.	д.т.н., доцент		

1. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>		
P1	Понимает необходимость самостоятельного обучения и повышения квалификации в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), критерий 5 АИОР
P2	Проявляет способность эффективно работать самостоятельно в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, быть лидером в команде, консультировать по вопросам проектирования научных исследований, а также быть готовым к педагогической деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-11), критерий 5 АИОР
P3	Умеет находить зарубежных и отечественных партнеров, владеет иностранным языком, позволяющим работать с зарубежными партнерами с учетом культурных, языковых и социально-экономических условий.	Требования ФГОС (ОК-2, ОК-4), критерий 5 АИОР
P4	Проявляет понимание используемых методов, области их применения, вопросов безопасности и здравоохранения, юридических аспектов, ответственности за профессиональную деятельность и ее влияния на окружающую среду.	Требования ФГОС (ОК-3), критерий 5 АИОР
P5	Следует кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научно-исследовательской деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5), критерий 5 АИОР
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P6	Проявляет глубокие естественнонаучные, математические профессиональные знания в проведении научных исследований в перспективных областях профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-1), критерий 5 АИОР
P7	Принимает участие в фундаментальных исследованиях и проектах в области физики низких температур, конденсированного состояния и материаловедения, а также в модернизации современных и создании новых методов изучения механических, электрических, магнитных и тепловых свойств твердых, жидких и газообразных веществ.	Требования ФГОС (ПК-2), критерий 5 АИОР

P8	Способен обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной деятельности, осуществлять презентацию научной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4), критерий 5 АИОР
P9	Способен применять полученные знания для решения нечетко определенных задач, в нестандартных ситуациях, использует творческий подход для разработки новых оригинальных идей и методов исследования в области физики конденсированного состояния, низких температур и сжижения природного газа.	Требования ФГОС (ПК-3), критерий 5 АИОР
P10	Способен планировать проведение аналитических имитационных исследований по профессиональной деятельности с применением современных достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области научных исследований, умеет критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делает выводы, знает правовые основы в области интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ОК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9), критерий 5 АИОР
P11	Умеет интегрировать знания в различных и смежных областях научных исследований и решает задачи, требующие абстрактного и креативного мышления и оригинальности в разработке концептуальных аспектов проектов научных исследований.	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-10), критерий 5 АИОР

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий (ИЯТШ)
 Направление подготовки (специальность) 03.04.02 Физика
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
Лидер А.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ71	Москвитина Полина Игоревна

Тема работы:

Поиск многочастичных распадов прелестных мезонов с чармонием в конечном состоянии	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Данные, набранные экспериментом ЛНСб за 2011, 2012 и 2015-2017 гг. при энергиях в системе центра масс 7, 8 и 13 ТэВ соответственно, с полной интегральной светимостью 6.5 фб⁻¹; программные пакеты Bender и Ganga, библиотеки RooFit и набора расширений Ostar и Bender необходимые для работы с языком программирования Python.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор литературных источников по исследуемой тематике; постановка задачи исследования, проектирования, проведение физического анализа данных; анализ полученных результатов; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение (расчет себестоимости НТИ); социальная ответственность.</p>
--	---

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация в среде Microsoft office PowerPoint.</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна, доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Исаевна Елизавета Сергеевна, старший преподаватель ООД ШБИП
Иностранный язык	Шайкина Ольга Игоревна, преподаватель ОИЯ ШБИП

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Глава 1. Эксперимент ЛНСб на ускорителе БАК

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭФ ИЯТШ	Лидер А.М.	д.т.н., доцент		
Проректор по ОД ТПУ	Вагнер А.Р.	к. ф.-м. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ71	Москвитина Полина Игоревна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий (ИЯТШ)
 Направление подготовки (специальность) 03.04.02 Физика
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики
 Период выполнения Весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.02.19	Составление и утверждение технического задания	
11.03.19	Подбор и изучение материалов по теме	
16.03.19	Выбор направления научного исследования	
21.03.19	Календарное планирование работ по теме	
29.03.19	Разработка кода, выбор параметров моделирования	
22.04.19	Выбор ограничений и проведение моделирования	
26.04.19	Анализ и обработка полученных данных	
04.05.19	Оценка эффективности полученных результатов	
14.05.19	Составление пояснительной записки	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭФ ИЯТШ	Лидер А.М.	д.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Проректор по ОД ТПУ	Вагнер А.Р.	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения ЭФ	Лидер А.М.	д.т.н., доцент		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ71	Москвитиной Полине Игоревне

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	03.04.02 Физика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ)</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зарботная плата (101348.61 руб.) 2. Бюджет затрат НИИ (194854.11 руб.)
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Тариф на промышленную электроэнергию 5,8 за 1 кВт 2. Районный коэффициент города Томска - 1,3
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Размер отчислений во внебюджетные фонды – 27.1%.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценочная карта конкурентных технических решений
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Иерархическая структура работ
<i>3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Диаграмма Исикавы 3. Матрица SWOT 4. График проведения и бюджет НИОКР 5. Диаграмма Ганта 6. Бюджет научно-технического исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Сегментирование рынка
2. Диаграмма Исикавы
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ71	Москвитина Полина Игоревна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ71	Москвитиной Полине Игоревне

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	03.04.02 Физика

Тема ВКР:

Поиск многочастичных распадов прелестных мезонов с чармонием в конечном состоянии	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Проведение и оптимизация физического анализа для поиска распада</i> $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ <i>Полученные данные будут использоваться для развития и поддержания научной деятельности в области изучения В-физики</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ; – Конституция РФ; – ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года); – Федеральный закон "О персональных данных" от 27.07.2006 N 152-ФЗ; – Федеральный закон от 28.12.2013 N 426-ФЗ (ред. от 27.12.2018) "О специальной оценке условий труда";

	<ul style="list-style-type: none"> – Федеральный закон от 24.07.1998 № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»; – ГОСТ 12.2.032-78; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; – ПНД Ф 12.13.1-03; – ГОСТ Р 50923-96
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – Вредные проявления факторов производственной среды (микроклимат, освещение, вибрации, электромагнитное ионизирующее излучение); – Превышение уровня шума; – Отсутствие или недостаток естественного света; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; – Пожароопасность
3. Экологическая безопасность:	Загрязнение литосферы неутилизированными отходами
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: сильные морозы, несанкционированное проникновение на рабочее место, пожар; Наиболее типичная ЧС – сильные морозы

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Исаева Е.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ71	Москвитина Полина Игоревна		

АННОТАЦИЯ

Одной из основных задач экспериментальной физики высоких энергий является точная проверка предсказаний Стандартной модели (СМ) и поиск физических явлений за ее пределами. Необходимость таких исследований стала главной мотивацией для сооружения Большого адронного коллайдера (БАК, Large Hadron Collider, LHC) в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН, Женева). Четыре крупнейших эксперимента этого ускорителя (ATLAS, CMS, LHCb и ALICE) призваны подробно проверить различные аспекты Стандартной модели и других теорий.

Одно из направлений исследований, обеспечивающих большие возможности для поиска физики за пределами СМ, – это изучение свойств частиц, содержащих тяжелые кварки. Точные измерения в этой области позволяют вести непрямой поиск «новой физики», вклад которой может приводить к значительным отклонениям измеряемых величин от теоретически предсказанных значений. На БАК экспериментом, нацеленным, в первую очередь, на исследование физики частиц, содержащих тяжелые кварки, стал эксперимент LHCb.

Одним из перспективных направлений такого рода исследований является изучение распадов B -мезонов в конечные состояния, содержащие чармониевый резонанс. Такие распады уже продемонстрировали свою пользу, как удобный инструмент для изучения электрослабых переходов и CP -нарушения. Кроме того, многочастичные распады b -адронов в конечные состояния с чармонием играют важную роль в активно развивающейся сейчас области, связанной с поиском и изучением экзотических частиц.

В данной работе проводился поиск распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ в данных, набранных экспериментом LHCb в протон-протонных столкновениях в 2011, 2012 и 2015-2017 годах при энергиях в системе центра масс 7, 8 и 13 ТэВ соответственно. Полная интегральная светимость составляла 6.5 фб^{-1} . Для восстановления сигнала использовались моды $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$, $\eta \rightarrow \gamma \gamma$. В результате анализа, с помощью смоделированных статистических данных,

был проведен подбор оптимальных ограничений для выделения сигнала из данных, набранных экспериментом. В результате физического анализа был обнаружен сигнал распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ в данных зарегистрированных детектором LHCb в протон-протонных столкновениях в течение Run I и Run II в ЦЕРН.

ANNOTATION

One of the main topics of the high energy physics is precision measurements in Standard Model (SM) and searches for physics beyond it. This was a main motivation for building Large Hadronic Collider (LHC) at European Organization for Nuclear Research (CERN). The four big experiments, such as ATLAS, CMS, LHCb and Alice were built to test various aspects of the Standard Model and other theories.

One of main directions of searches for physics beyond Standard Model are studies of particles containing heavy quarks. Precision measurements in this direction allow to perform indirect searches for new physics, which may lead to significant deviations in experimental measurements with respect to SM predictions. At the LHC, the LHCb is the experiment, mainly targeting searches for particles containing heavy quarks.

One of the promising searches in this direction are searches for B -meson decays with charmonium in final states. Such decays have already been successfully used as a tool for electroweak measurements and CP -violation studies. Furthermore, multibody decays of b -hadrons with charmonium in final states playing an important role for exotic particle searches.

This work presents a search for $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ decay using 6.5 fb^{-1} of data collected by the LHCb experiment in pp collisions in 2011, 2012 and 2015-2016 at the centre-of-mass energies of 7, 8 and 13 TeV correspondingly. For signal reconstruction, the $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ and $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$ ($\eta \rightarrow \gamma\gamma$) modes were used. In the analysis, optimization of the selection requirements is performed observe signal in experimental data. As a result, an evidence of the mode $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ decay is seen in the data collected by LHCb detector in pp -collisions in Run I and Run II at CERN.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 124 страницы, 31 рисунок, 32 таблицы, 44 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: БАК, физический анализ данных, B_s^0 – мезон, прелестные мезоны, чармоний, эксперимент LHCb.

Объектом исследования является: распад $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ ($J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$, $\eta \rightarrow \gamma\gamma$).

Цель работы – обнаружить распад $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ в данных, набранных экспериментом LHCb на Большом адронном коллайдере в протон-протонных столкновениях в 2011, 2012 и 2015-2017 годах при энергиях в системе центра масс 7, 8 и 13 ТэВ соответственно. Полная интегральная светимость составляла 6.5 фб^{-1} . Для восстановления сигнала использовалась мода $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$, $\eta \rightarrow \gamma\gamma$.

В процессе исследования проводился физический анализ данных, набранных экспериментом LHCb с помощью программной среды ROOT, с использованием библиотеки RooFit и программных пакетов Bender и Ganga, а также анализ полученных результатов.

В результате исследования был проведён физический анализ данных набранных экспериментом LHCb в протон-протонных столкновениях в течение Run1 и Run2 и соответствующей интегральной светимости 6.5 фб^{-1} , наблюдался сигнал распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ с использованием мод $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$ и $\eta \rightarrow \gamma\gamma$.

Степень внедрения: в настоящее время предмет исследования находится к стадии теоретической проработки.

Область применения: анализ может быть полезным организациям, занимающимся научными теоретическими исследованиями в области физики высоких энергий и элементарных частиц.

Экономическая эффективность / значимость работы на данный момент не установлена, так как предмет исследования находится в стадии теоретической проработки.

В будущем планируется: применить полученные результаты для моды $\eta' \rightarrow \rho^0 \gamma$ ($\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$), задействовать многомерный анализ для увеличения мощности разделения сигнал / фон, рассчитать эффективность для вычисления парциальной ширины распада.

Содержание

АННОТАЦИЯ	11
РЕФЕРАТ.....	14
Введение	18
1. Эксперимент LHCb на ускорителе БАК.....	20
1.1 Большой Адронный Коллайдер.....	20
1.2 Детектор LHCb.....	21
1.2.1 Трековые детекторы	24
1.2.1.1 Магнит	24
1.2.1.2 Вершинный детектор	25
1.2.1.3 Кремниевый трекер	27
1.2.1.4 Внешний трекер.....	28
1.2.2 Идентификация частиц	29
1.2.2.1 Система RICH	30
1.2.2.2 Калориметрическая система.....	31
1.2.2.3 Мюонная система	33
1.2.3 Обработка данных	34
1.2.3.1 Триггер.....	34
1.2.3.2 Реконструкция треков	36
1.2.3.3 Моделирование данных	37
2. Поиск распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$	39
2.1 Отбор сигнальных событий	39
2.2 Обработка смоделированных статистических данных	41
2.3 Оптимизация критериев отбора сигнальных событий.....	43
2.4 Наблюдение сигнала $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$	53
Заключение.....	56
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	57
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	57
3.2 Анализ конкурентных технических решений	59
3.3 Диаграмма Исикавы.....	60
3.4 SWOT-анализ.....	63
3.5 Инициализация проекта	65
3.6 Цели и результат проекта.....	65
3.7 Организационная структура проекта	67

3.8	Ограничения и допущения проекта	68
3.9	Планирование управления научно-техническим проектом.....	68
3.10	План проекта	69
3.11	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	70
3.12	Формирование бюджета затрат научно-технического исследования....	74
3.13	Реестр рисков проекта	75
3.14	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	75
4.	Социальная ответственность	80
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	80
4.1.1	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	80
4.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	83
4.2	Производственная безопасность	86
4.2.1	Анализ вредных и опасных факторов.....	87
4.3	Экологическая безопасность.....	94
4.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	95
	Список литературы.....	98
	Приложение А.....	101

Введение

В 1973 году Макотой Кобаяши и Тошихиде Маскавой было предсказано третье поколение кварков, для объяснения несохранения CP -четности в СМ. Согласно их гипотезе, нарушение CP -четности возникает благодаря смешиванию кварков при слабых переходах [1]. В эксперименте E288 (Фермилаб, США) в 1977 году группой под руководством Леона Ледермана было открыто новое семейство тяжелых частиц, названных Y -мезонами [2, 3], интерпретируемых как частицы, состоящие из пары b и \bar{b} кварков. Это стало первым свидетельством существования третьего поколения кварков. Позднее это открытие было подтверждено экспериментами ARGUS и CLEO, обнаружившими B -мезон, частицу, состоящую из одного b - и одного легкого кварка. Ими было установлено, что эффект нарушения CP -симметрии проявляется наиболее сильно в распадах B -мезонов. Это стало причиной большого интереса к физике B -мезонов.

Исследование эффекта нарушения CP -симметрии – не единственная причина повышенного интереса к изучению физики адронов, содержащих b -кварки. Распады с такими частицами зарекомендовали себя как удобный инструмент для поиска и исследования новых, в том числе экзотических, адронов, а также для измерения различных асимметрий, проверки лептонной универсальности и других задач. Таким образом, исследование и поиск новых распадов B -мезонов является актуальной задачей для физики элементарных частиц. Исследования проводятся как с помощью детекторов общего назначения, так и в экспериментах, которые были созданы специально для изучения распадов B -мезонов. Например, специализированные асимметричные « B -фабрики»: установка BaBar [4] на ускорителе PEP-II (SLAC, США) и установка Belle [5] на ускорителе KEKB (КЕК, Япония).

На Большом адронном коллайдере [6] LHCb является экспериментом [7], в первую очередь нацеленным на исследование физики адронов, содержащих b -кварки. Энергии, достигаемые на БАК при протон-протонных столкновениях, позволяют получать все возможные барионы и мезоны,

содержащие b -кварк, и обеспечивать детектор LHCb большими сечениями рождения b - и c -кварков.

Распады адронов, содержащих b -кварк, с чармонием в конечном состоянии являются чувствительным аппаратом для исследования электрослабых переходов. Многие свойства B -мезонов были слабо изучены ранее в предыдущих экспериментах. Исследование этих частиц связано не только с измерениями масс и собственных времен жизни, но и с возможностью получения новой информации о проблемах квантовой хромодинамики.

Личный вклад автора

Автор принимала активное участие в анализе физических данных эксперимента LHCb. Ею были выбраны критерии отбора сигнальных событий распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ в случае использования канала $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$. С помощью наложения соответствующих ограничений в данных, набранных экспериментом, автором был обнаружен сигнал распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$.

1. Эксперимент LHCb на ускорителе БАК

Основной целью детектора LHCb является поиск косвенных проявлений новой физики за пределами СМ в редких распадах адронов, содержащих прелестные и очарованные кварки [8, 9]. Таким образом, главный интерес представляют изучение нарушения CP -симметрии, изоспиновой симметрии и зарядово-лептонной симметрии в распадах частиц, содержащих b - и c -кварки, что позволит лучше понять различия между материей и антиматерией.

В настоящем разделе содержится краткое описание экспериментальной установки, используемой для сбора данных, проанализированных в этой диссертации. После краткого общего обзора ускорителя и детектора обсуждаются основные подсистемы и их характеристики. Более подробную информацию о конструкции и работе детектора LHCb можно найти в [10].

1.1 Большой Адронный Коллайдер

Большой адронный коллайдер (БАК) – крупнейший в мире и самый мощный ускоритель заряженных частиц на встречных пучках, предназначенный для разгона протонов и тяжелых ионов. Ускоритель расположен в старом туннеле БЭП (большой электрон-позитронный коллайдер), в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН) на границе Швейцарии и Франции недалеко от города Женевы.

БАК представляет собой 27-километровый двухкольцевой синхротрон, в котором протоны движутся в противоположных направлениях и сталкиваются в точках пересечения пучков. Эти точки соответствуют положениям четырех основных детекторов частиц – ATLAS [11], CMS [12], ALICE [13] и LHCb. ATLAS и CMS направлены на прямой поиск и изучение проявлений новой физики за пределами СМ. Детектор ALICE направлен на изучение кварк-глюонной плазмы, получаемой в столкновениях тяжелых ионов свинца. Кроме того, вблизи области пересечения пучков расположены детектор LHCf [14] и детектор TOTEM [15].

Перед попаданием в кольца БАК (рисунок 1.1) протоны производятся и ускоряются в четыре этапа: их получают путем ионизации атомов водорода, после ускоряют в начальном линейном ускорителе (LINAC2), который доводит их до энергии 50 МэВ. Затем они проходят через протонный синхротронный ускоритель (BOOSTER), который ускоряет их до 26 ГэВ, и, наконец, ускоряются в суперпротонном синхротроне (SPS), до энергии 450 ГэВ.

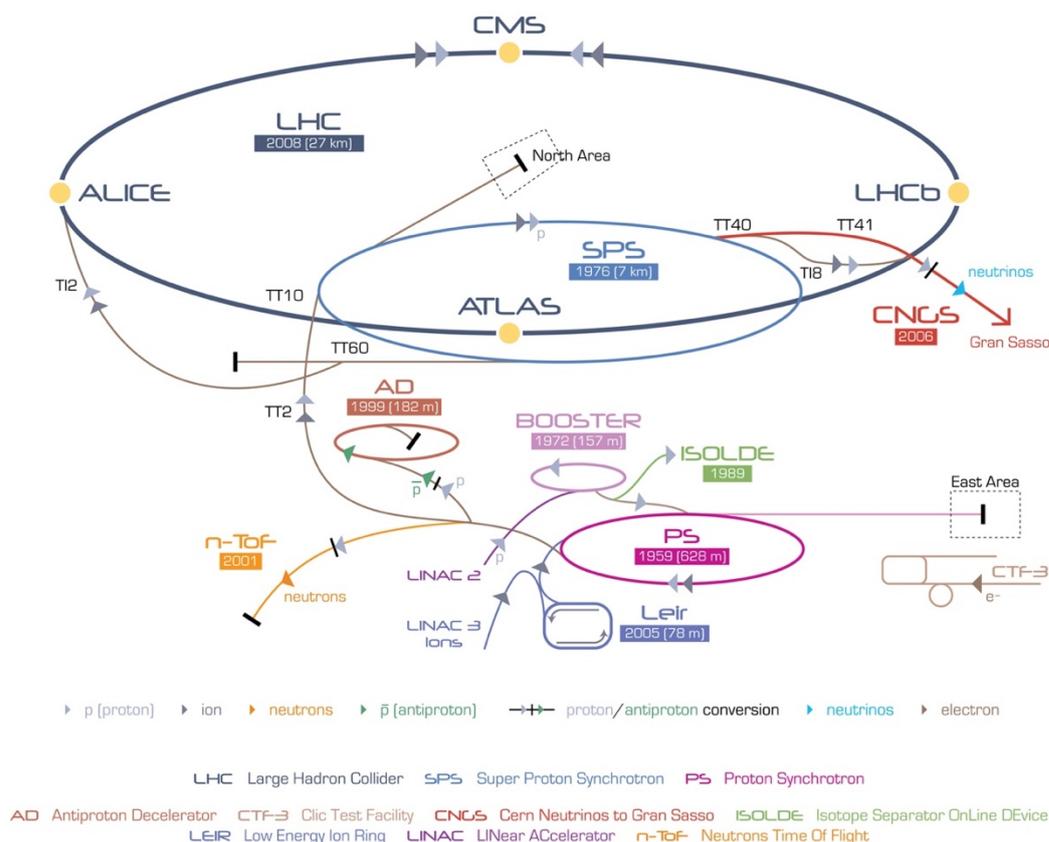


Рисунок 1.1 – Ускорительный комплекс БАК

1.2 Детектор LHCb

Детекторный комплекс LHCb состоит из трековой системы, системы идентификации частиц и системы триггеров. Трековая система представлена дипольным магнитом, вершинным детектором VELO и секциями кремниевых треков. Система идентификации частиц состоит из системы черенковских детекторов, калориметрических и мюонных детекторов. Начало лабораторной системы координат детектора LHCb совпадает с точкой пересечения протонных пучков. Координатная ось x направлена в центр кольца Большого адронного коллайдера, а координатная ось y направлена вертикально вверх. Координатная

ось z совпадает с осью пучка и направлена от точки столкновения протонов в сторону мюонных станций.

Геометрия детектора LHCb определена ожидаемым угловым распределением рождаемых b -кварков. При энергиях ускорителя БАК в pp -столкновениях прелестные кварки рождаются парами $b\bar{b}$ преимущественно в узком конусе вдоль оси пучка (рисунок 1.2). В связи с этим, около 40% всех рожденных в столкновениях частиц, соержащих b - и c -кварки, попадают в аксептанс LHCb. По этой причине LHCb имеет угловой охват от 15 до 250 мрад по вертикали и 300 мрад по горизонтали, что соответствует области псевдобыстрот $1.6 < \eta < 4.9$.

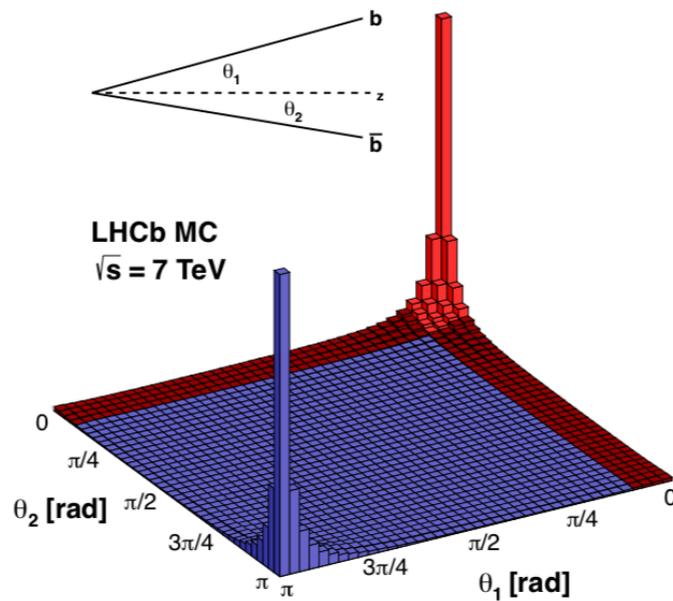


Рисунок 1.2 – Угловое распределение пар $b\bar{b}$ кварков, образованных в pp -столкновениях на БАК при $\sqrt{S} = 7$ ТэВ. θ_1 и θ_2 – углы между импульсами кварков и осью пучка. Геометрический аксептанс детектора LHCb выделен красным цветом

Детектор LHCb (рисунок 1.3) работает при мгновенной светимости, уменьшенной, относительно номинальной светимости БАК: $2 \cdot 5 \times 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

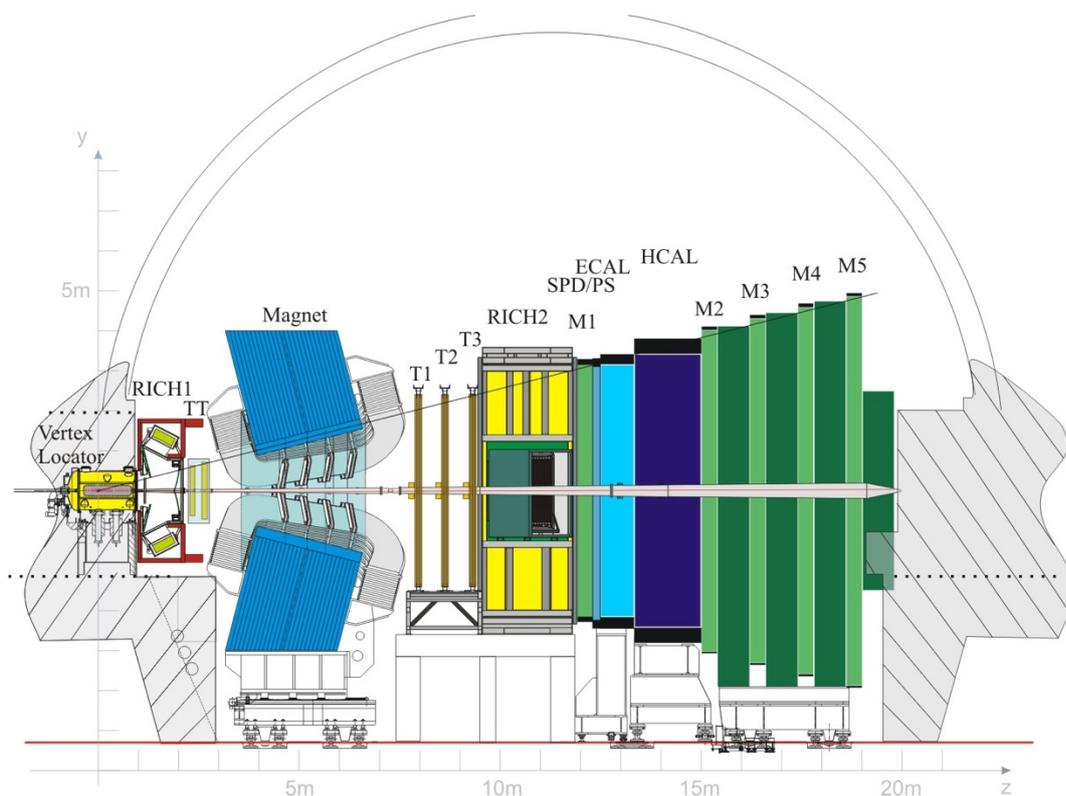


Рисунок 1.3 – Общий вид детектора LHCb с его подсистемами

Этот выбор обусловлен необходимостью высокого координатного разрешения для вершин взаимодействий. Точка взаимодействия, где произошло pp -столкновение (первичная вершина) и точка, где образовавшаяся частица распалась (вторичная вершина), используются для отделения продуктов распада адрона, содержащего b -кварк, от частиц, полученных непосредственно при pp -столкновениях. Это позволяет существенно уменьшить основной фон. На возможность обнаружения вершины распада b -адрона отрицательно влияет наличие нескольких pp -взаимодействий в одном и том же пересечении пучков. При проектной светимости БАК ожидается, что пучки будут пересекаться каждые 25 нс и при каждом таком пересечении будет происходить, в среднем, 23 взаимодействия. Работа при пониженной светимости позволяет получать от 1 до 5 pp -столкновений в LHCb на одно пересечение пучков.

1.2.1 Трековые детекторы

Трековая система является важной частью LHCb. Она состоит из дипольного магнита, стрипового вершинного детектора (VELO) и трековых станций: триггерного трекера (Tracker Turicensis, TT) перед дипольным магнитом и трех трековых станций T1, T2 и T3, которые находятся после магнита и охватывают всю область чувствительности спектрометра. VELO и TT используют кремниевые микростриповые детекторы. В T1-T3 кремниевые микрострипы используются в области, близкой к области пучка (Inner Tracker, IT), тогда как во внешней области станций (Outer Tracker, OT) – дрейфовые трубки. Основной задачей трековой системы является восстановление траекторий заряженных частиц и точное измерение их импульсов.

1.2.1.1 Магнит

Сверхпроводящий дипольный магнит (рисунок 1.4) используется в LHCb для отклонения треков заряженных частиц, чтобы измерить их импульс. Магнит способен создавать магнитное поле до 4 Тл как по направлению оси u , так и против.

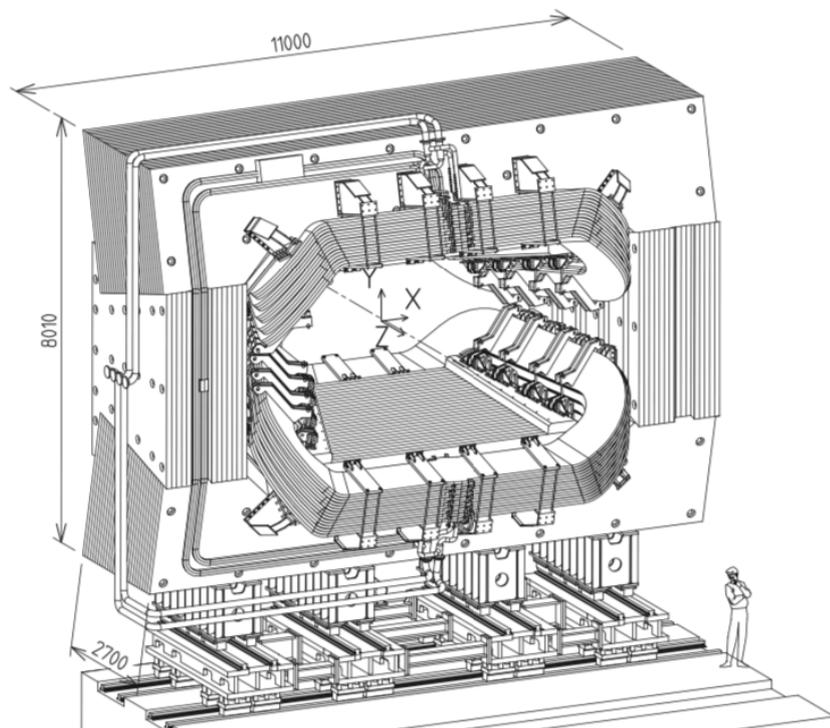


Рисунок 1.4 – Общий вид дипольного магнита детектора LHCb

Это магнит с катушками в форме седла, размещенными зеркально симметрично друг другу. Размеры магнита соответствуют требуемой области чувствительности детектора [16].

Благодаря магнитному полю, импульсы заряженных частиц, проходящих через всю трековую систему, измеряются с точностью до 0.4% для частиц с импульсом до 5 ГэВ/с и до 0.6% для частиц с импульсом до 100 ГэВ/с.

1.2.1.2 Вершинный детектор

Для идентификации вторичных вершин используется вершинный детектор VELO [17], который обеспечивает точные измерения координат треков вблизи области взаимодействия [18]; он состоит из серии круглых кремниевых модулей толщиной 220 мкм, расположенных вдоль направления пучка, как показано на рисунке 1.5. Длина вершинного детектора составляет 1 м.

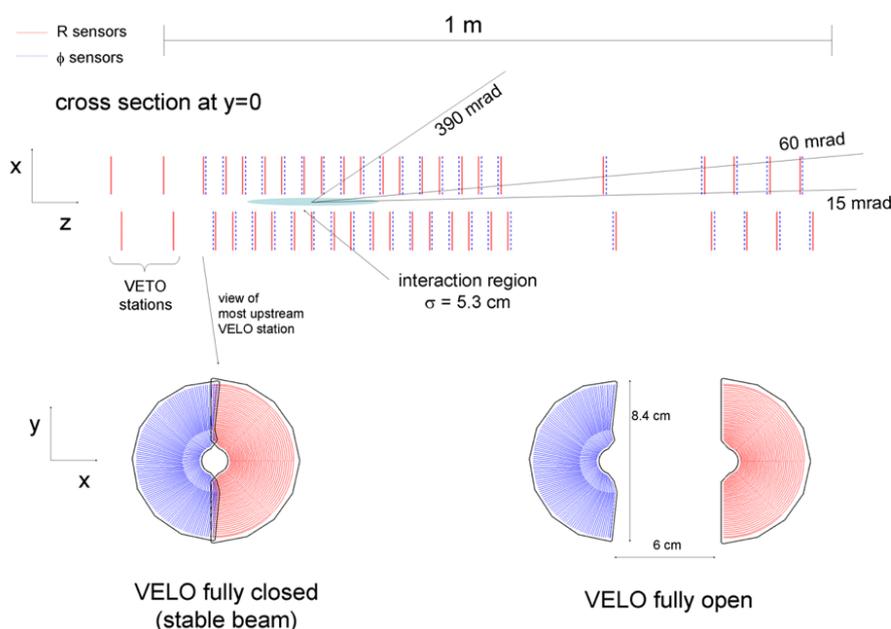


Рисунок 1.5 – Расположение кремниевых модулей VELO вдоль направления пучка. Лицевая поверхность первых модулей показана как в закрытом, так и в открытом положениях

Каждый модуль состоит из двух частей, измеряющие расстояние до оси пучка (R -сенсоры) и азимутальный угол (ϕ -сенсоры). Определение координат

частиц осуществляется микрополосками, расположение которых показано на рисунке 1.6.

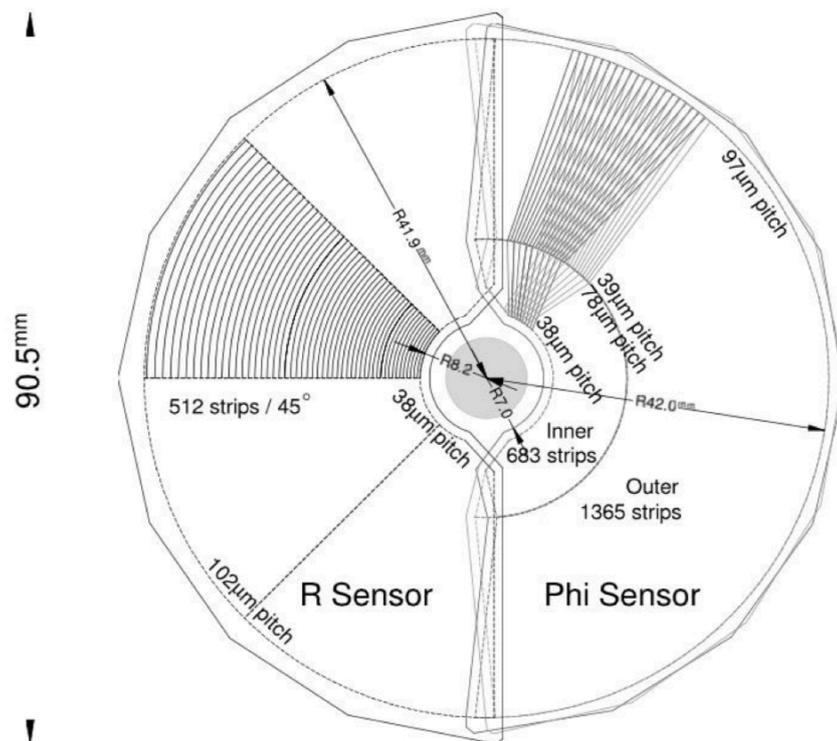


Рисунок 1.6 – Схема расположения микрополос R - и φ -сensors детектора VELO

Кроме покрытия всей передней области чувствительности LHCb, VELO также частично покрывает заднюю полусферу, что позволяет улучшить идентификацию первичных вершин. Для обеспечения безопасности вершинного детектора во время инъекции пучка, его половинки раздвигаются на расстояние 6 см друг от друга (рисунок 1.5). В сдвинутом состоянии датчики частично перекрываются; это необходимо для полного покрытия по азимуту и позволяет выполнить взаимное выравнивание датчиков.

Вся подсистема VELO установлена в сосуде, который поддерживает вакуум вокруг сенсоров. Для отвода тепла, генерируемого в электронике сенсора (в вакууме) и для минимизации радиационного воздействия, температура VELO поддерживается в диапазоне от -10 до 0°C . Охлаждение обеспечивается жидким CO_2 .

Ошибки в измерении положения первичной вершины возникают в основном из-за большого количества треков, возникающих при pp -столкновении. В среднем, для события, разрешение в направлении оси z (вдоль оси пучка) составляет 42 мкм, тогда как разрешение перпендикулярно пучку – 10 мкм.

1.2.1.3 Кремниевый трекер

Кремниевый трекер (ST) [19] включает в себя два детектора: триггерный трекер (Tracker Turicensis, TT) и внутренний трекер (Inner Tracker, IT). TT и IT состоят из четырех слоев кремниевых микростриповых сенсоров с шагом около 200 мкм. Для улучшения восстановления треков полосы в четырех слоях расположены согласно x - u - v - x геометрии. В первом и четвертом слоях вертикально, а во втором и третьем под стереуглами -5° и $+5^\circ$ соответственно. Такое расположение обеспечивает чувствительность в вертикальном (y) направлении траекторий частиц и помогает улучшить реконструкцию трека. Расположение слоев детектора показано на рисунке 1.7.

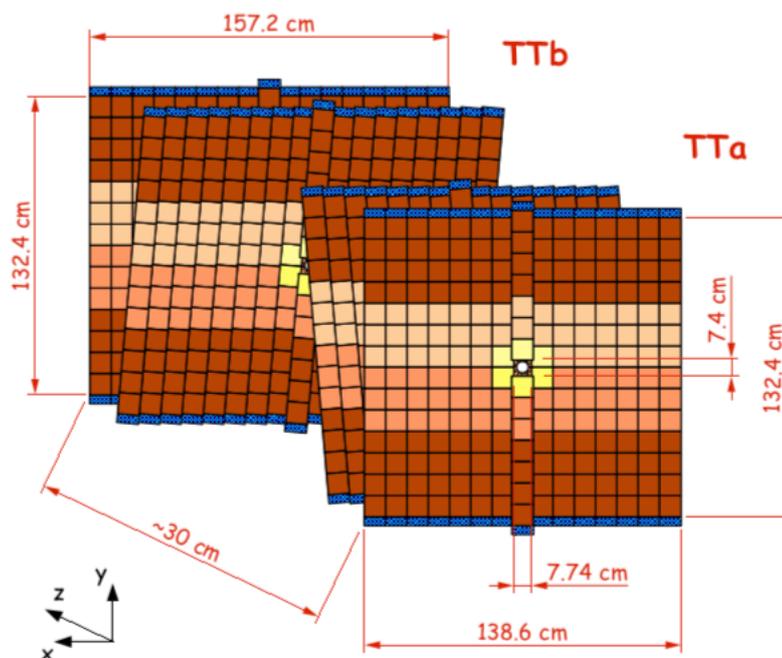


Рисунок 1.7 – Расположение слоев TT

Триггерный трекер, представляет собой планарную станцию шириной 150 см и высотой 130 см, покрывающую всю область детектирования

эксперимента. Он передает информацию в триггер высокого уровня (HLT) и используется для реконструкции треков.

Внутренний трекер (IT) представляет собой кремниевый микростриповый детектор шириной 120 см и высотой 40 см, установленный в центре трековых станций, рядом с пучком. Он позволяет точно измерить импульсы частиц ниже по потоку от магнита. Выбор кремниевой микростриповой технологии обусловлен необходимостью малой гранулярности детектора, которая требуется при обработке данных с большой множественностью частиц. IT состоит из 3 станций (T1, T2, T3), для каждой из которых имеется четыре плоскости детектирования, в таком же расположении x - u - v - x , что и для ТТ. На рисунке 1.8 показана схема размещения одной из плоскостей IT.

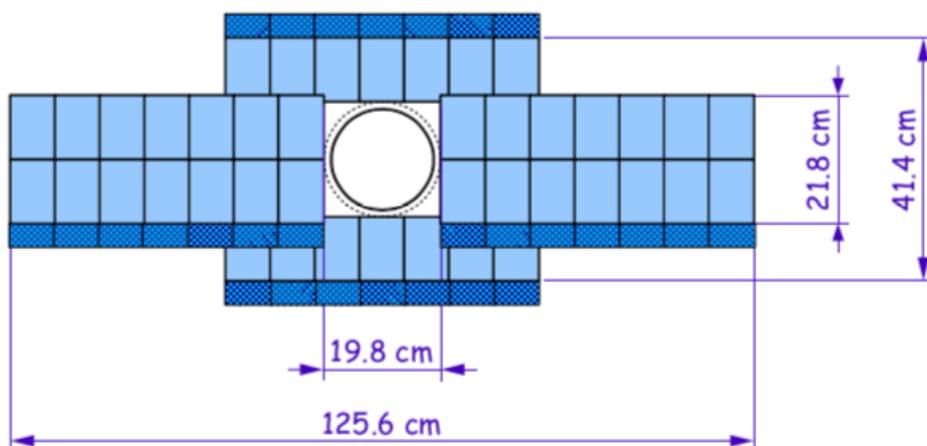


Рисунок 1.8 – Схема плоскостей IT

1.2.1.4 Внешний трекер

Внешний трекер (OT) [20] охватывает внешнюю область трех трековых станций T1-T3, вокруг внутреннего трекера; он выполняет регистрацию треков ниже по потоку от магнита, позволяя определять импульсы заряженных частиц.

Поскольку поток частиц в этой области ниже, чем в IT, здесь используется технология детекторов с дрейфовыми трубками. Внешний трекер спроектирован как набор отдельных газонепроницаемых модулей, каждый из

которых содержит две дрейфовые трубки. Используется комбинация аргона (70%) и CO_2 (30%). Внешняя электроника измеряет время дрейфа ионизационных кластеров, создаваемых заряженными частицами, проходящими через дрейфовые трубки и ионизирующий газ.

Компоновка внешнего трекера аналогична компоновке внутреннего и триггерного, а также включает три трековые станции, состоящие из четырех детектирующих слоев в схеме $x-u-v-x$, как показано на рисунке 1.9.

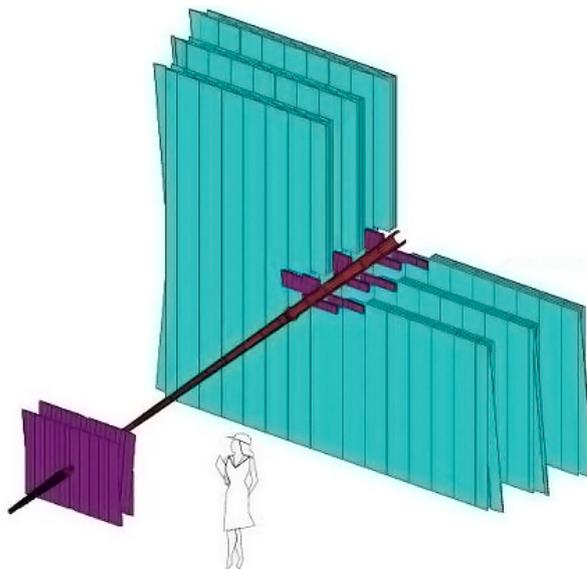


Рисунок 1.9 – Взаимное расположение станций ОТ

1.2.2 Идентификация частиц

Для анализа данных, собранных экспериментом LHCb, требуется идентификация заряженных частиц (e , μ , π , K , p), прошедших через детектор [21]. Информация, полученная от двух детекторов RICH, калориметров и мюонной системы, помогает идентифицировать эти частицы.

Нейтральные частицы, такие как фотоны и нейтральные пионы, могут быть идентифицированы с помощью электромагнитного калориметра, где $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ может быть детектирован либо как два отдельных электромагнитных кластера или как один, который является результатом перекрытия двух кластеров.

1.2.2.1 Система RICH

Как и в большинстве экспериментов по физике элементарных частиц, разделение заряженных пионов и каонов является важным этапом реконструкции в LHCb. Эта задача выполняется двумя детекторами колец черенковского излучения (**R**ing **I**mage **C**herenkov **D**etector, RICH) [22].

RICH1 расположен между системой VELO и системой TT перед магнитом и покрывает всю область чувствительности LHCb, тогда как RICH2 расположен между станцией T3 и первой мюонной станцией и имеет более ограниченную чувствительность к углам, от ± 15 мрад до ± 120 мрад (по горизонтали) и до ± 100 мрад (по вертикали). Их расположение показано на рисунке 1.10.

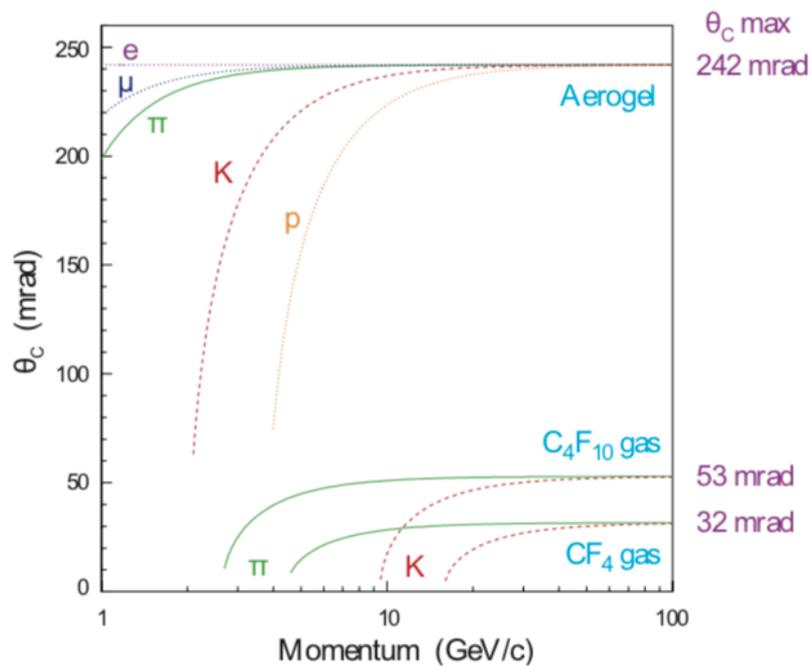


Рисунок 1.10 – Соотношение между θ_c и импульсом для разных типов частиц и вещества в детекторе RICH

RICH1, идентифицирует заряженные частицы с низким импульсом ($\sim 1 \div 60$ ГэВ/с), используя радиаторы из аэрогеля и газа C_4F_{10} , в то время как RICH2, охватывает диапазон высоких импульсов от ~ 15 ГэВ/с до 100 ГэВ/с и выше, используя радиатор CF_4 .

Процедура, используемая для дискриминации, заключается в следующем: угол раскрытия черенковского конуса излучения позволяет рассчитать скорость v частицы как [23]

$$\cos \theta_c = \frac{1}{n\beta}, \quad (1.1)$$

где $\beta = v/c$, c – скорость света в вакууме, а n – показатель преломления среды. Зная импульс (от трековых детекторов) и скорость частицы, можно определить ее массу и использовать ее для идентификации частицы. Соотношение между θ_c и импульсом для разных частиц показано на рисунке 1.11.

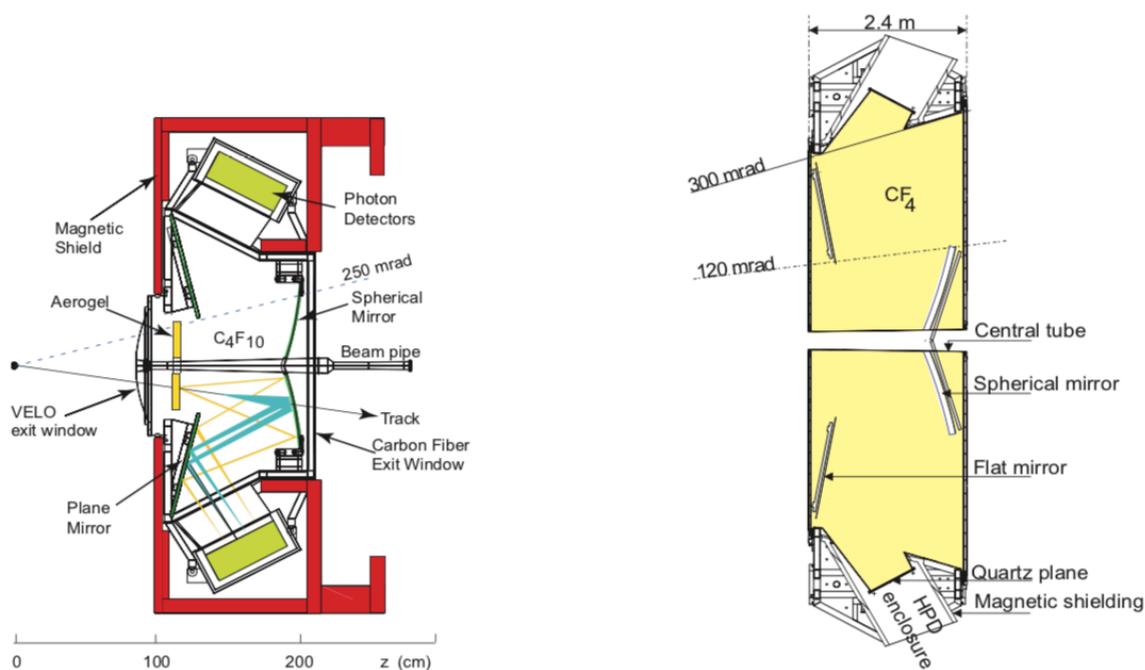


Рисунок 1.11 – Расположение детекторов RICH1 (слева) и RICH2 (справа)

Система RICH позволяет идентифицировать каоны с эффективностью $\sim 95\%$. Эффективность идентификации протонов составляет более 90% .

1.2.2.2 Калориметрическая система

Расположенные между мюонными станциями M1 и M2, электромагнитный калориметр (ECAL) и адронный калориметр (HCAL) выполняют несколько функций [24, 25]. Они используются для отбора кандидатов в адроны, электроны и фотоны в первом триггерном уровне (L0).

Кроме того, вместе с предливневым детектором (Preshower, PRS) и детектором на основе сцинтилляционных пластин (Scintillating Pad Detector, SPD), они обеспечивают идентификацию электронов, фотонов и адронов, а также измерение их энергий и положений (рисунок 1.12).

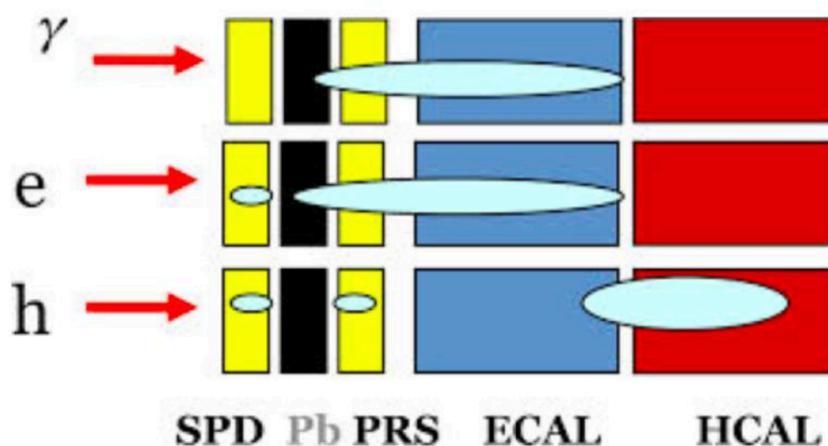


Рисунок 1.12 – Калориметрическая система детектора LHCb. Эллипсами схематически изображено выделение энергии при прохождении разных типов частиц

Предливневый детектор и сцинтилляционно-падовый детектор расположены перед ECAL и отделены друг от друга свинцовым слоем толщиной 15 мм. Они в основном используются для правильной идентификации электронов: наличие PS перед ECAL обеспечивает продольную сегментацию, необходимую для различения заряженных пионов, в то время как SPD позволяет отклонять фон от нейтральных пионов с высоким E_T .

Частицы взаимодействуют со свинцом (в ECAL) или железом (в HCAL), создавая каскад вторичных частиц. Эти частицы попадают в сцинтилляторы, которые испускают фотоны, регистрируемые фотоумножителями. Количество собранного света пропорционально энергии исходной взаимодействующей частицы.

1.2.2.3 Мюонная система

Мюонная система эксперимента LHCb [26] обеспечивает быстрое измерение поперечного импульса мюонов для триггера. Состоит из пяти прямоугольных трековых станций, расположенных вдоль оси пучка. Первая станция (M1) расположена перед предливневым детектором (SPD), а остальные четыре станции (M2, M3, M4 и M5) расположены ниже по потоку от калориметра (HCAL), чередуясь с железными поглотителями, которые препятствуют проникновению адронов, для отбора мюонов (рисунок 1.13).

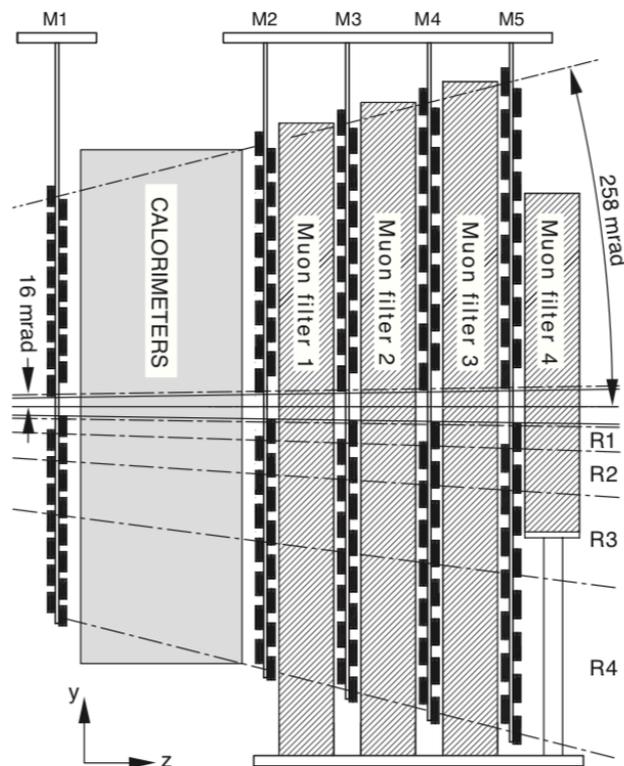


Рисунок 1.13 – Боковой вид мюонной системы

Для эксперимента LHCb точное детектирование мюонов является важным требованием, так как мюоны присутствуют в конечных состояниях во многих распадах b -адронов.

Станции M1 – M3 имеют высокое пространственное разрешение вдоль координаты x . Они используются для определения направления трека и для расчета поперечного импульса (p_T) мюона. Станции M4 и M5 имеют ограниченное пространственное разрешение и их основной целью является

идентификация пролетающих насквозь частиц. Для прохождения всех станций мюон должен обладать импульсом, большим чем 5 ГэВ/с. Каждая станция разделена на четыре области с возрастающим расстоянием от пучка. Линейные размеры областей относятся как 1:2:4:8. Выбор такой геометрии обусловлен необходимостью равномерности потока частиц через каждую область.

В мюонных станциях используются многопроволочные пропорциональные камеры (MWPCs), каждая из которых содержит газовую смесь Ar (40%), CO₂ (55%) и CF₄ (5%). Во внутренней области M1 установлены газовые электронные умножители (GEM). Ионизирующая среда GEM представляет собой газовую смесь Ar (45%), CO₂ (15%) и CF₄ (40%), которая обеспечивает не только радиационную стойкость, но и временное разрешение, превышающее 5 нс. Мюонная система независимо от других систем позволяет определить импульс трека с точностью ~20%. [27] При этом эффективность идентификации мюонов составляет ~97%.

1.2.3 Обработка данных

Триггерная система LHCb [28] подразделяется на низкоуровневую аппаратную часть и программную часть высокого уровня.

События, отбираемые триггерной системой, передаются на предварительную реконструкцию, которая классифицирует события посредством различных требований в соответствии с их свойствами. Например, наличием пары мюонов, образующих J/ψ , или совместимой с конкретными распадами, представляющими интерес.

Многочисленные вычислительные инструменты LHCb, используемые для автономного анализа и моделирования, подробно описаны в [29].

1.2.3.1 Триггер

Взаимодействие определяется как видимое, если оно содержит как минимум две заряженные частицы с достаточным количеством отсчетов в VELO и T1 – T3. Триггер LHCb разделен на два уровня (рисунок 1.14).

Первый уровень, называемый L0, представляет собой аппаратный триггер, работающий синхронно с частотой взаимодействия пучков 40 МГц. L0-триггер снижает входную частоту до максимум 1 МГц.

Триггер L0 получает информацию от трех подсистем: калориметрической, мюонной и системы оценки множественности события. Он восстанавливает адроны, электроны и фотоны с большой поперечной энергией E_T , выделившейся в калориметрах и мюоны с большими p_T в мюонных камерах.

Триггер высокого уровня (High Level Trigger, HLT) – это приложение на C++, использующее для работы кластер (Event Filter Farm), состоящий из нескольких тысяч процессоров [30]. Он получает события прошедшие L0-триггер и снижает частоту максимум до 3 кГц, отправляя события непосредственно в хранилище. HLT подразделяется на два этапа: HLT1 и HLT2.

HLT1 выполняет так называемое подтверждение нулевого уровня (*Level-0 confirmation*). А именно, он восстанавливает частицы в VELO и T-станциях, соответствующих объектам триггера L0. На уровне HLT2 события восстанавливаются и отбираются при помощи более сложных алгоритмов, учитывающих всю информацию от детектора.

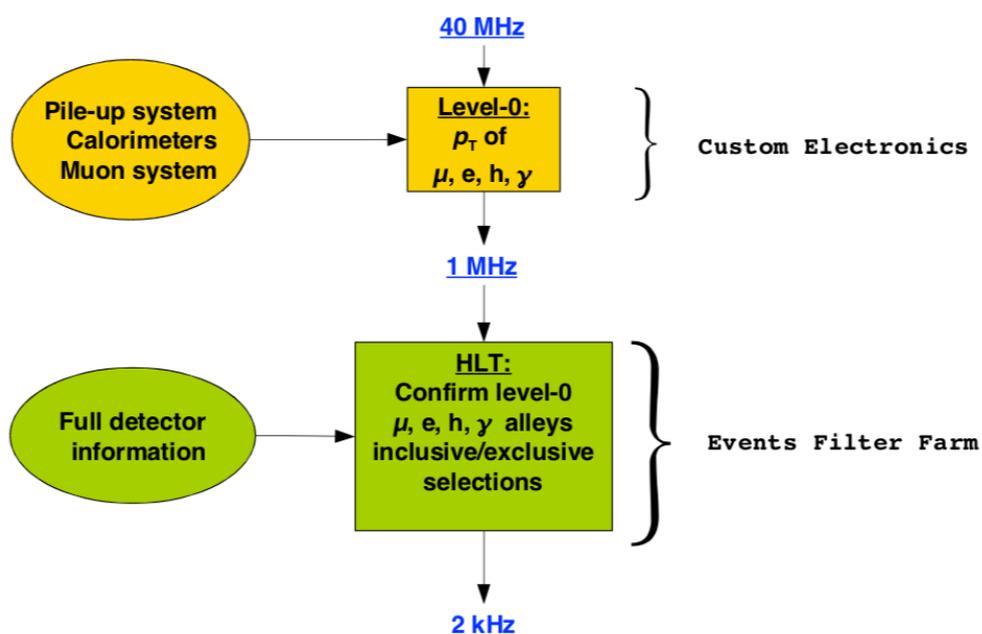


Рисунок 1.14 – Схема триггерной системы

Для контроля эффективности и систематических ошибок, триггеры обоих уровней могут быть полностью эмулированы на сохраненных данных.

1.2.3.2 Реконструкция треков

Измерения детекторов VELO, TT, IT и OT комбинируются при помощи программы реконструирования треков, таким образом определяются траектории частиц, которые идут из VELO до калориметров. Алгоритм реконструкции старается найти траектории всех частиц в событии, которые оставили достаточную информацию в детекторах для того, чтобы быть восстановленными. В зависимости от траекторий внутри спектрометра треки классифицируются по следующим категориям, как показано на рисунке 1.15.

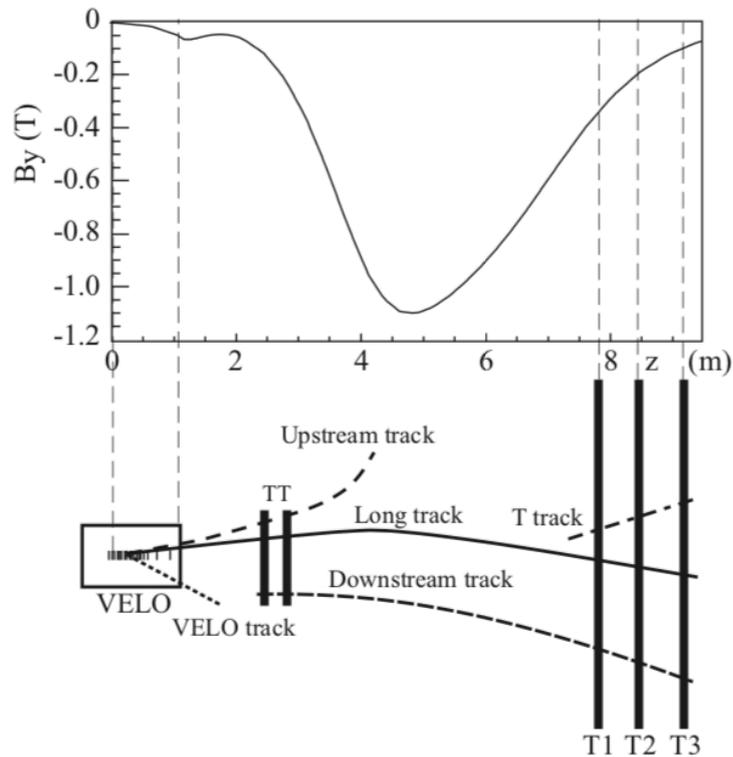


Рисунок 1.15 – Схематическое изображение различных типов треков: длинные, восходящие, нисходящие, VELO и T-треки. Компонент магнитного поля B_y показан выше, как функция координаты z

– длинные треки (long tracks) – это треки, которые проходят насквозь всю трекингую систему из VELO до T станций. Это наиболее важные треки

для реконструкции распадов b -адронов. Для этих треков импульсы измеряются наиболее точно;

- восходящие треки (upstream tracks) проходят только через станции VELO и TT. Как правило, имеют меньший импульс и отклоняются от области чувствительности детектора магнитным полем;

- нисходящие треки (downstream tracks) проходят только через станции TT и T и остаются невидимыми для VELO. Они в основном происходят из распадов K_S^0 и Λ , распадающихся вне области детектирования VELO;

- треки VELO (VELO tracks), в отличие от предыдущих треков, можно увидеть только в VELO. Как правило, это треки с большим углом или обратным треком, которые являются полезными для реконструкции первичной вершины;

- T треки (T tracks) обычно возникают во вторичных взаимодействиях и видны только в T станциях. Они полезны для глобального распознавания образов в RICH2.

Дополнительную информацию о реконструкции треков можно найти в [10] и [31].

1.2.3.3 Моделирование данных

Моделирование событий, происходящих в эксперименте, – необходимая часть анализа данных. Оно позволяет оценить кинематические параметры распадов и работу детектора. В LHCb для моделирования используется программный пакет Gauss [32], который состоит из набора библиотек для физического моделирования [33]. Процессы, происходящие при pp -столкновениях, включая рождение тяжелых адронов, генерируются пакетом PYTHIA [34]. Для моделирования событий в эксперименте LHCb в этот пакет были включены специальные настройки, позволяющие воспроизводить правильные множественности треков в области чувствительности эксперимента. Распады тяжелых частиц, родившихся в эксперименте,

моделируются программным пакетом EvtGen [35], первоначально разработанным для экспериментов BaBar и CLEO.

Отклик детектора моделируется на втором этапе с помощью пакета GEANT4 [36], он опирается на точное описание геометрии детектора и детали физических процессов, стоящих за работой каждой подсистемы. В дальнейшем данные моделирования обрабатываются теми же программами, что и данные эксперимента. В частности, за реконструкцию событий отвечает программа Brunel, для триггерного отбора используется программа Moore.

Анализ отобранных данных (как экспериментальных, так и смоделированных) проводится с помощью программ Bender и Ostar, являющихся частью программного обеспечения LHCb. Ostar также использует библиотеки программного пакета ROOT [37], широко используемого в физике частиц для обработки результатов экспериментов.

2. Поиск распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$

2.1 Отбор сигнальных событий

Распад $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ реконструируется с использованием мод $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$, $\eta \rightarrow \gamma \gamma$. Анализ был проведен на данных, набранных экспериментом LHCb в pp -столкновениях 7, 8 и 13 ТэВ, соответствующих интегральным светимостям 1, 2 и 3.5 фб⁻¹, соответственно.

Для отбора сигнальных событий накладываются ограничения на качество восстановления дочерних частиц, их кинематические параметры и идентификацию. В качестве начальных значений критериев отбора для реконструирования распада выбраны значения, использовавшиеся в эксперименте LHCb для исследования распада со схожим конечным состоянием: $B^+ \rightarrow J/\psi \eta' K^+$.

На начальном этапе из пар противоположно заряженных треков формировались кандидаты $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$. Поперечный импульс каждого трека в паре должен удовлетворять условию $p_T(\mu) > 500$ МэВ/с. Качество треков обеспечивалось за счет того, что на χ^2 аппроксимации каждого из них наложено ограничение $\chi^2_{TR}(\mu) < 5$. Треки должны быть совместимы с мюонной гипотезой, для этого, разность логарифмов глобальной вероятности гипотез мюона и адрона, $\Delta \log L^{\mu-h}$ [38], для трека должна быть больше нуля. В процессе реконструкции заряженных треков может возникать ситуация, когда трек одной и той же частицы оказывается восстановленным дважды. Чтобы отсечь такой вклад, для каждого из треков вычислялось расстояние Кульбака-Либлера [39, 40], $\text{CloneDist}(\mu)$. Если значение $\text{CloneDist}(\mu)$ оказывалось меньше 5000, то в дальнейшем, при формировании J/ψ – мезона использовался только тот трек, который был лучше реконструирован. Так как пары мюонных треков, формирующих J/ψ – мезон, должны происходить из общей вершины, накладывается ограничение на χ^2 аппроксимации общей вершины [41]: $\chi^2_{vx}/nDF(J/\psi) < 20$, где nDF – это число степеней свободы. Для того, чтобы подавить фон от первичных J/ψ – мезонов, наложено требование, чтобы вершина распада J/ψ – мезона была достаточно удалена от вершины протон-

протонного взаимодействия: расстояние между первичной и вторичной вершинами, разделенное на ошибку измерения этого расстояния, $|DLS|$, должно быть > 3 . Ограничение накладывалось и на инвариантную массу мюонной пары. Значение инвариантной массы для J/ψ – кандидатов лежит между 3050 и 3150 МэВ/ c^2 [42], что соответствует интервалу $\pm 5\sigma$ вокруг номинальной массы J/ψ – мезона. Для отбора лучших треков с заряженными каонами, накладывается ограничение на χ^2 аппроксимации каждого трека $\chi^2_{TR}(\mu) < 5$.

Кандидаты $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$ скомбинированы из двух противоположно заряженных пионных треков, ограничение на поперечные импульсы которых составляет $p_T(\pi^\pm) > 0.2$ МэВ/ c , и η – мезона, с инвариантной массой лежащей в интервале [508; 588] (МэВ/ c^2). Анализ инвариантной массы B_s^0 – кандидатов осуществляется в промежутке от 5.25 до 5.55 МэВ/ c^2 . Инвариантная масса η' – кандидатов лежит в промежутке от 913 до 1003 МэВ/ c^2 .

Предварительные ограничения при первоначальной реконструкции распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Ограничения предварительного отбора данных

Величина	Ограничение
Массовое окно B_s^0 – мезона	
$M(B_s^0)$, МэВ/ c^2	[5.25; 5.55]
$J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$	
$M(J/\psi)$, МэВ/ c^2	[3050; 3150]
$p_T(\mu)$, МэВ/ c	> 0.500
$\Delta \log L^{\mu-h}$	> 0
CloneDist(μ)	> 5000
$\chi^2_{TR}(\mu)$	< 5
$\chi^2_{VX}/nDF(J/\psi)$	< 20
DLS	> 3

Кандидаты $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^\pm$	
χ^2_{VX}	< 9
χ^2_{IP} (треков)	> 4
K^\pm – кандидаты	
CloneDist(K^\pm)	> 5000
χ^2_{TR} (K^\pm)	< 5
π^\pm – кандидаты	
$p_T(\pi^\pm)$, МэВ/c	> 0.2
CloneDist(π^\pm)	> 5000
χ^2_{TR} (π^\pm)	< 5
η' – кандидаты	
$M(\eta')$, МэВ/c ²	[913; 1003]
χ^2_{VX} (η')	< 9
Кандидаты $\eta \rightarrow \gamma\gamma$	
$M(\eta)$, МэВ/c ²	[508; 588]

2.2 Обработка смоделированных статистических данных

Для определения функции, описывающей разрешение сигнала, используется смоделированные статистические данные. Распределение по инвариантной массе $M(B_s^0)$ для данных моделирования аппроксимируется методом небинированного максимального правдоподобия. Наилучшее описание сигнала дает функция двусторонний Crystal Ball [43, 44]. На рисунке 2.1 представлена гистограмма с результатом аппроксимации (таблица 2.2).

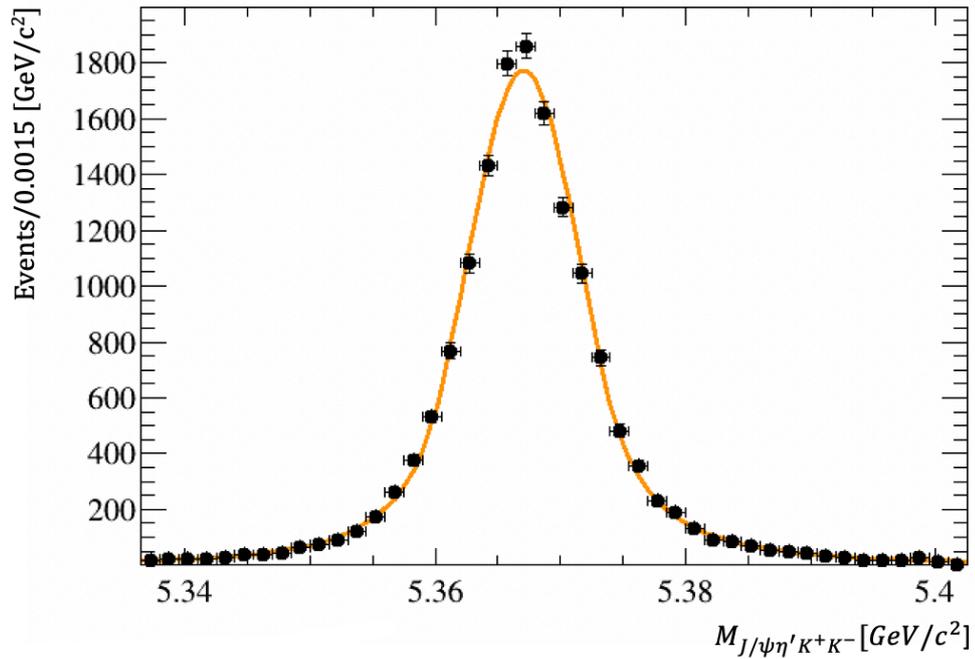


Рисунок 2.1 – Аппроксимация сигнальной компоненты функцией двусторонний Crystal Ball

Таблица 2.2 – Параметры аппроксимации распределения инвариантной массы B_s^0 – кандидатов для данных моделирования в исследуемом канале. Указаны только статистические ошибки, отражающие число смоделированных событий

Параметр	Значение
Число сигнальных событий $N_{B_s^0}$	15841 ± 128
Среднее $M_{B_s^0}$, МэВ/ c^2	5367.1 ± 0.05
Разрешение $\sigma_{B_s^0}$, МэВ/ c^2	4.58 ± 0.08
aL	1.42 ± 0.04
aR	1.38 ± 0.05
nL	1.93 ± 0.18
nR	1.79 ± 0.19

2.3 Оптимизация критериев отбора сигнальных событий

Для подавления фоновых событий ко всем B_s^0 – кандидатам применяется набор ограничений. Эти ограничения накладываются после первоначального отбора и ужесточают требования к переменным, аналогичным тем, которые были наложены на этапе селекции.

Для оптимизации критериев отбора рассматривается статистическая значимость сигнала $S/\delta S$, где S соответствует количеству сигнальных событий, а δS – статистической ошибке. Для определения количества сигнальных событий используется аппроксимация распределения событий по инвариантной массе B_s^0 – кандидатов. Выбираются такие значения ограничений, при которых статистическая значимость сигнала становится максимальной.

Для отбора сигнальных событий были выбраны кинематические переменные: τ – время жизни частицы-кандидата (в собственной системе отчета); $\min p_T(K^\pm)$ – минимальный поперечный импульс каонов; $p_T(\eta')$ – поперечный импульс η' ; χ^2_{DTF} – кинематическая подгонка дерева распада для улучшения разрешения по инвариантной массе B_s^0 – кандидатов; $\min p_T(\gamma)$ – минимальный поперечный импульс фотонов; $\min CL(\gamma)$ – соответствующая вероятность фотонной гипотезы; $\text{ProbNN}(K^\pm)$ – переменная нейронной сети для идентификации каонов, использующая информацию от различных подсистем для идентификации заряженных частиц; $\text{ProbNN}(\pi^\pm)$ – переменная нейронной сети для идентификации пионов. Ниже приведены детали оптимизации для каждой переменной (рисунки 2.2 – 2.9) с результатами для пяти точек вокруг оптимального значения для данной переменной (таблицы 2.3 – 2.10).

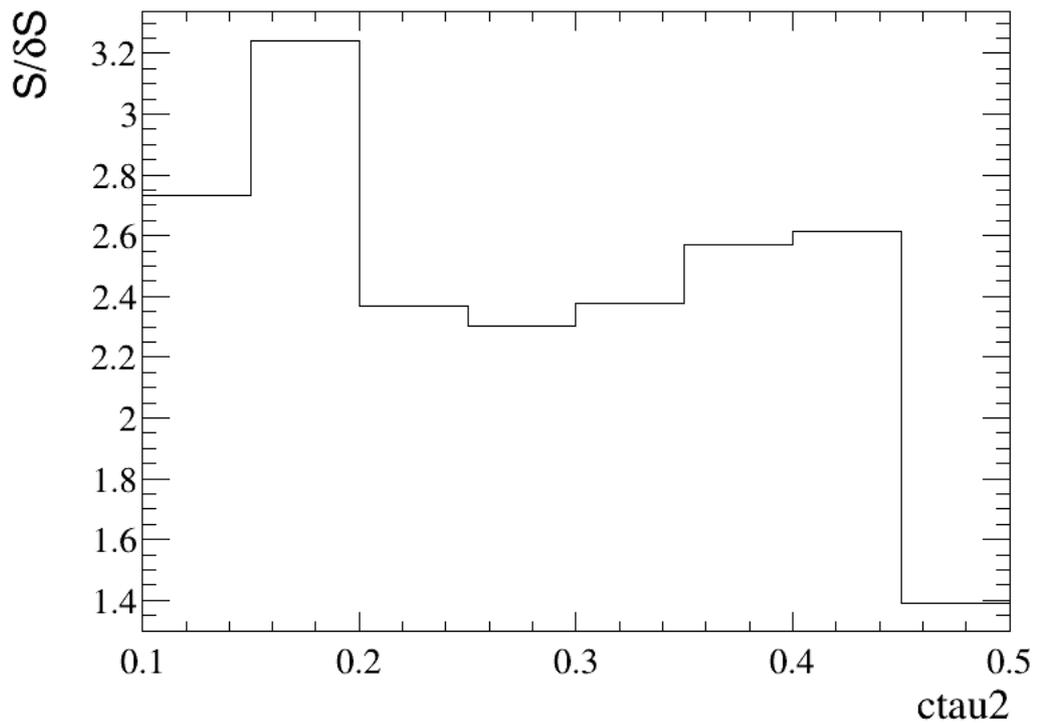


Рисунок 2.2 – Зависимость значимости, $S/\delta S$, от значений ограничений на $c\tau$

Таблица 2.3 – Значения S , δS и $S/\delta S$ при различных ограничениях на $c\tau$

$c\tau$	S (ЧСС)	δS (Ошибка)	$S/\delta S$
0.1	18.7	6.9	2.73
0.15	21.4	6.6	3.24
0.2	13.7	5.8	2.37
0.25	12.6	5.5	2.30
0.3	12.7	5.3	2.38

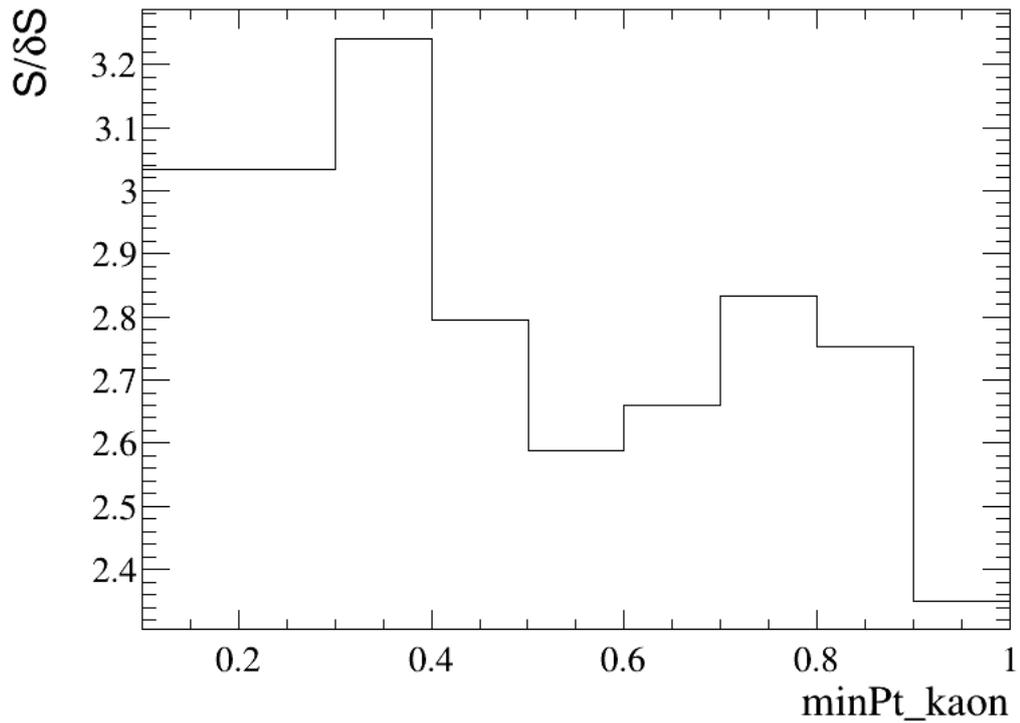


Рисунок 2.3 – Зависимость значимости, $S/\delta S$, от значений ограничений на $\min p_T(K^\pm)$

Таблица 2.4 – Значения S , δS и $S/\delta S$ при различных ограничениях на $\min p_T(K^\pm)$

$\min p_T(K^\pm)$	S (ЧСС)	δS (Ошибка)	$S/\delta S$
0.1	20.1	6.6	3.04
0.2	20.1	6.6	3.04
0.3	21.4	6.6	3.24
0.4	16.8	6.0	2.80
0.5	14.4	5.6	2.59

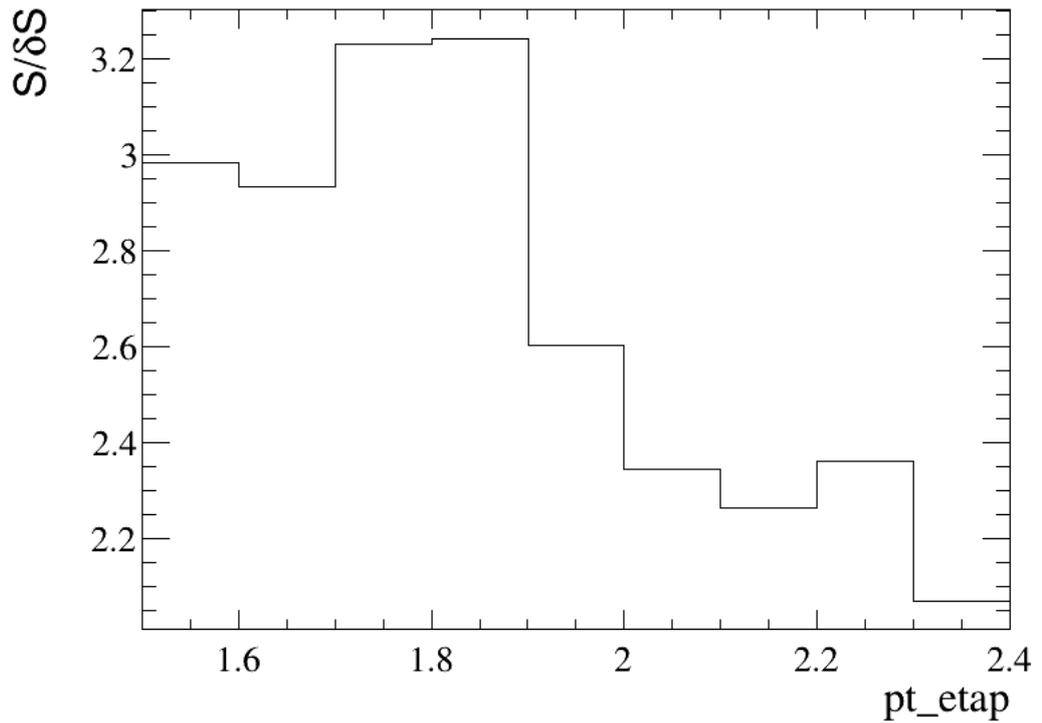


Рисунок 2.4 – Зависимость значимости, $S/\delta S$, от значений ограничений на $p_T(\eta')$

Таблица 2.5 – Значения S , δS и $S/\delta S$ при различных ограничениях на $p_T(\eta')$

$p_T(\eta')$	S (ЧСС)	δS (Ошибка)	$S/\delta S$
1.5	23.1	7.7	2.98
1.6	21.2	7.2	2.93
1.7	22.5	7.0	3.23
1.8	21.4	6.6	3.24
1.9	14.6	5.6	2.61

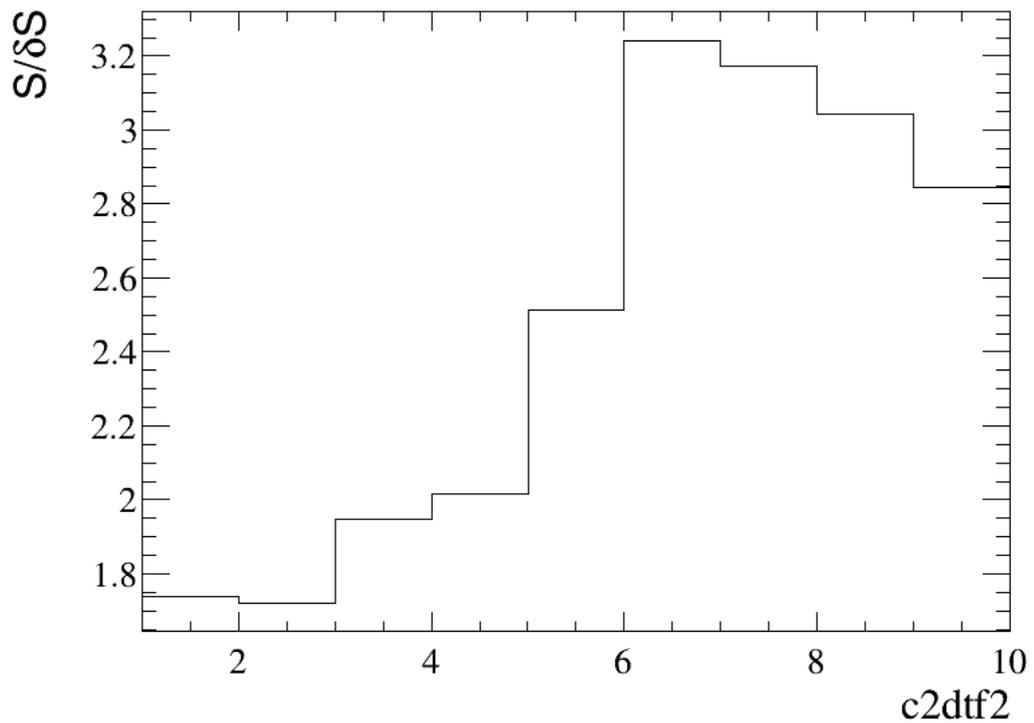


Рисунок 2.5 – Зависимость значимости, $S/\delta S$, от значений ограничений на χ^2_{DTF}

Таблица 2.6 – Значения S , δS и $S/\delta S$ при различных ограничениях на χ^2_{DTF}

χ^2_{DTF}	S (ЧСС)	δS (Ошибка)	$S/\delta S$
3	8.6	4.4	1.95
4	10.1	5.0	2.02
5	14.6	5.8	2.52
6	21.4	6.6	3.24
7	21.2	6.7	3.18

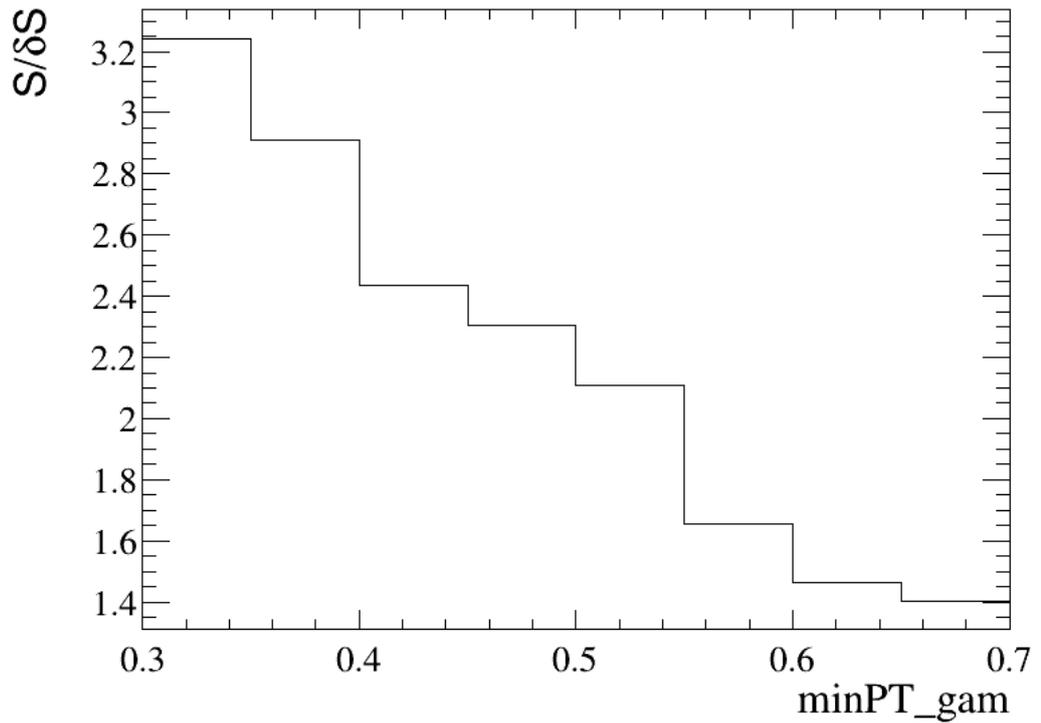


Рисунок 2.6 – Зависимость значимости, $S/\delta S$, от значений ограничений на $\min p_T(\gamma)$

Таблица 2.7 – Значения S , δS и $S/\delta S$ при различных ограничениях на $\min p_T(\gamma)$

$\min p_T(\gamma)$	S (ЧСС)	δS (Ошибка)	$S/\delta S$
0.3	21.4	6.6	3.24
0.35	16.7	5.8	2.91
0.4	12.2	5.0	2.44
0.45	10.0	4.3	2.31
0.5	8.0	3.8	2.11

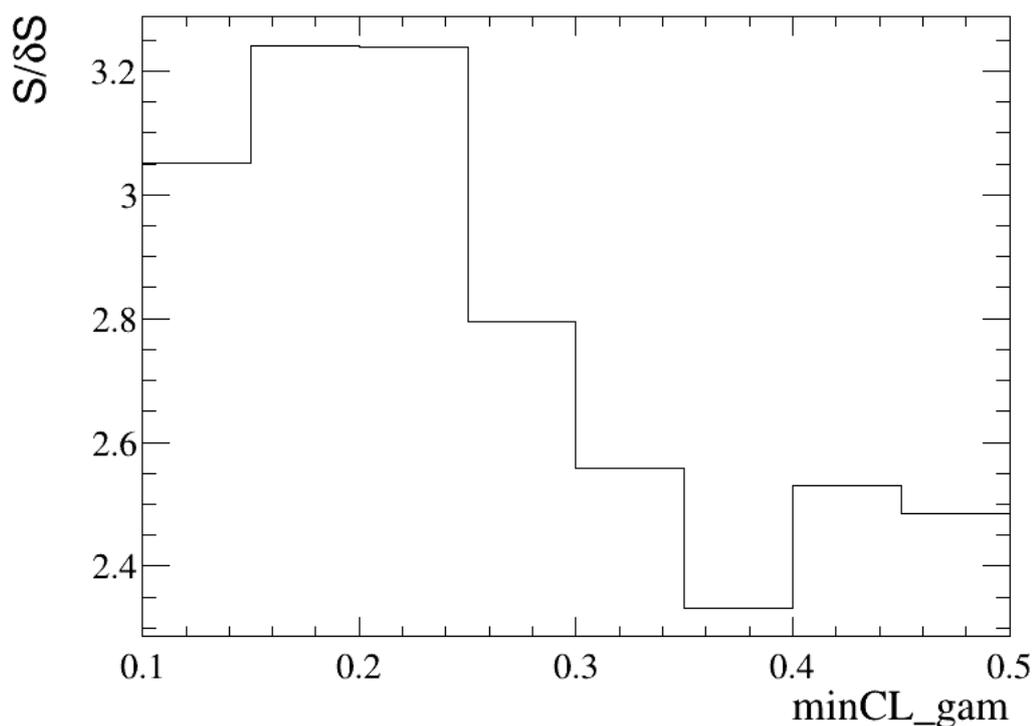


Рисунок 2.7 – Зависимость значимости, $S/\delta S$, от значений ограничений на $\min CL(\gamma)$

Таблица 2.8 – Значения S , δS и $S/\delta S$ д при различных ограничениях на $\min CL(\gamma)$

$\min CL(\gamma)$	S (ЧСС)	δS (Ошибка)	$S/\delta S$
0.1	20.2	6.6	3.05
0.15	21.4	6.6	3.24
0.2	20.6	6.4	3.24
0.25	16.0	5.7	2.80
0.3	13.9	5.4	2.56

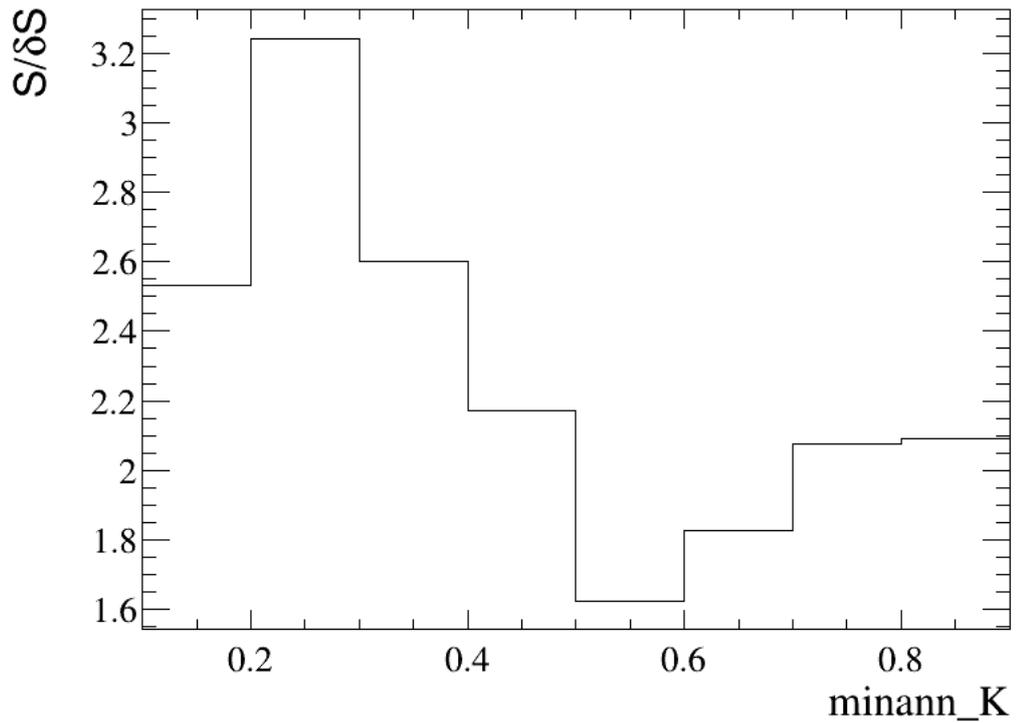


Рисунок 2.8 – Зависимость значимости, $S/\delta S$, от значений ограничений на ProbNN(K^\pm)

Таблица 2.9 – Значения S , δS и $S/\delta S$ при различных ограничениях на ProbNN(K^\pm)

ProbNN(K^\pm)	S (ЧСС)	δS (Ошибка)	$S/\delta S$
0.1	19.0	7.5	2.53
0.2	21.4	6.6	3.24
0.3	14.3	5.5	2.60
0.4	10.7	4.9	2.18
0.5	6.8	4.2	1.62

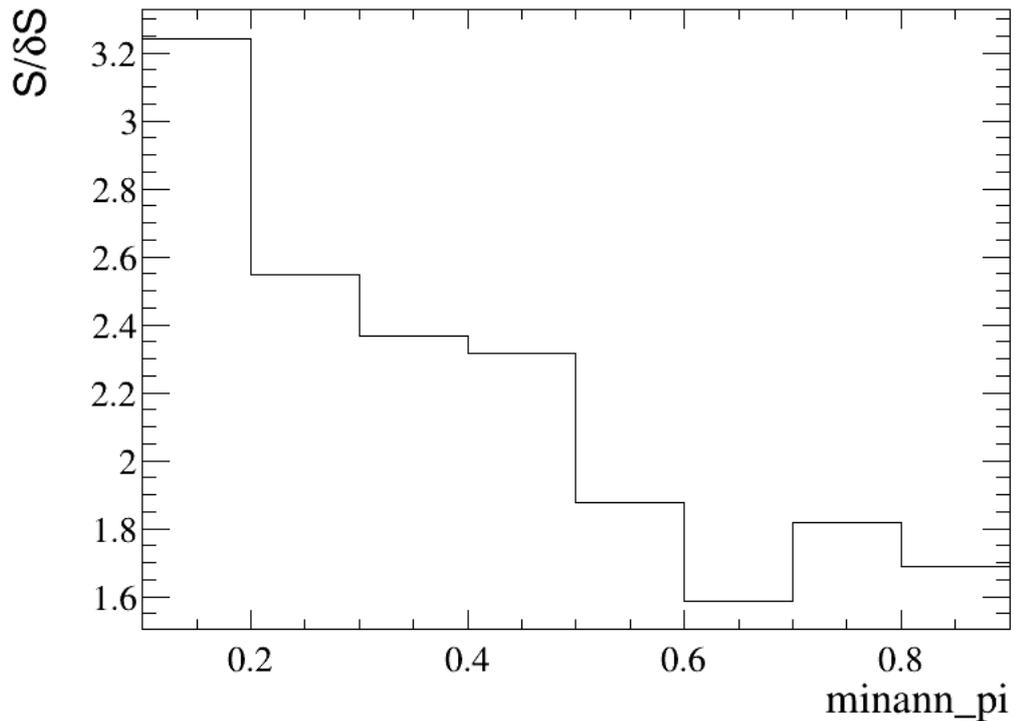


Рисунок 2.9 – Зависимость значимости, $S/\delta S$, от значений ограничений на $\text{ProbNN}(\pi^\pm)$.

Таблица 2.10 – Значения S , δS и $S/\delta S$ при различных ограничениях на $\text{ProbNN}(\pi^\pm)$

$\text{ProbNN}(\pi^\pm)$	S (ЧСС)	δS (Ошибка)	$S/\delta S$
0.1	21.4	6.6	3.24
0.2	14.6	5.7	2.55
0.3	12.6	5.3	2.38
0.4	11.8	5.1	2.32
0.5	8.3	4.4	1.88

Таким образом, для идентификации каонов установлено ограничение на переменную нейронной сети, использующую информацию от различных подсистем детектора для идентификации заряженных частиц, $\text{ProbNN}(K^\pm) > 0.2$, на поперечный импульс $p_T(K^\pm) > 0.3$ МэВ/с.

Для идентификации пионов также установлено ограничение на переменную нейронной сети, $\text{ProbNN}(\pi^\pm) > 0.1$, с ограничением на поперечный импульс $p_T(\pi^\pm) > 0.2$ МэВ/с. Оптимизация показала, что эти ограничения не требуют ужесточения по сравнению с теми значениями, которые были наложены на стадии предварительного отбора.

η – мезоны восстанавливаются путем комбинации двух фотонов, которые в свою очередь реконструируются как нейтральные кластеры в электромагнитном калориметре. Поперечный импульс каждого из фотонов больше 300 МэВ/с, а соответствующая вероятность фотонной гипотезы (CL) превышает 15%. Поперечный импульс η' – кандидатов превышает 1800 МэВ/с.

B_s^0 – мезоны реконструируются из комбинаций $J/\psi \eta' (\pi^+ \pi^- \eta (\gamma\gamma)) K^\pm$. Чтобы улучшить их массовое разрешение, проводится "кинематическая аппроксимация" (DecayTreeFitter, DTF). Для каждого кандидата дерево распада, которое включает в себя треки дочерних частиц и положение первичных и вторичных вершин, было аппроксимировано заново. Массы промежуточных резонансов при этом фиксируются на их номинальных массах, а направление суммы их импульсов совпадает с направлением из первичной вершины во вторичную (так называемые «констрейнты» в массы и в первичную вершину). Распады, имеющие значение χ^2_{DTF} этой глобальной аппроксимации, превышающее 6, не брались в рассмотрение. Для подавления комбинаторного фона от частиц, рождающихся в первичном протон-протонном взаимодействии, время распада B_s^0 – кандидата (с τ) было больше 150 мкм.

Сводная информация о требованиях к выбору наложенных ограничений после оптимизации (для сокращения уровня фона и дальнейшего отбора данных) приведена в таблице 2.11. Оптимизация, построение гистограмм и аппроксимация выполнялись с помощью стандартного программного обеспечения эксперимента LHCb.

Таблица 2.11 – Критерии отбора после оптимизации

Величина	Ограничение
Кандидаты $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^\pm$	
χ^2_{DTF} (PV, J/ψ, η', η констрейнты)	< 6
ст, мм	> 0.150 [0.150; 2]
K^\pm – кандидаты	
ProbNN(K^\pm)	> 0.2
min $p_T(K^\pm)$, МэВ/с	> 0.3
π^\pm – кандидаты	
ProbNN(π^\pm)	> 0.1
η' – кандидаты	
$p_T(\eta')$, МэВ/с	> 1.8
γ – кандидаты	
min $p_T(\gamma)$, МэВ/с	> 0.3

2.4 Наблюдение сигнала $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$

В этом разделе представлен сигнал распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ с использованием мод $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$, $\eta \rightarrow \gamma \gamma$. Распределение по инвариантной массе отобранных $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ кандидатов после наложения ограничений, описанных в главах 2.1 и 2.3, представлено на рисунке 2.11.

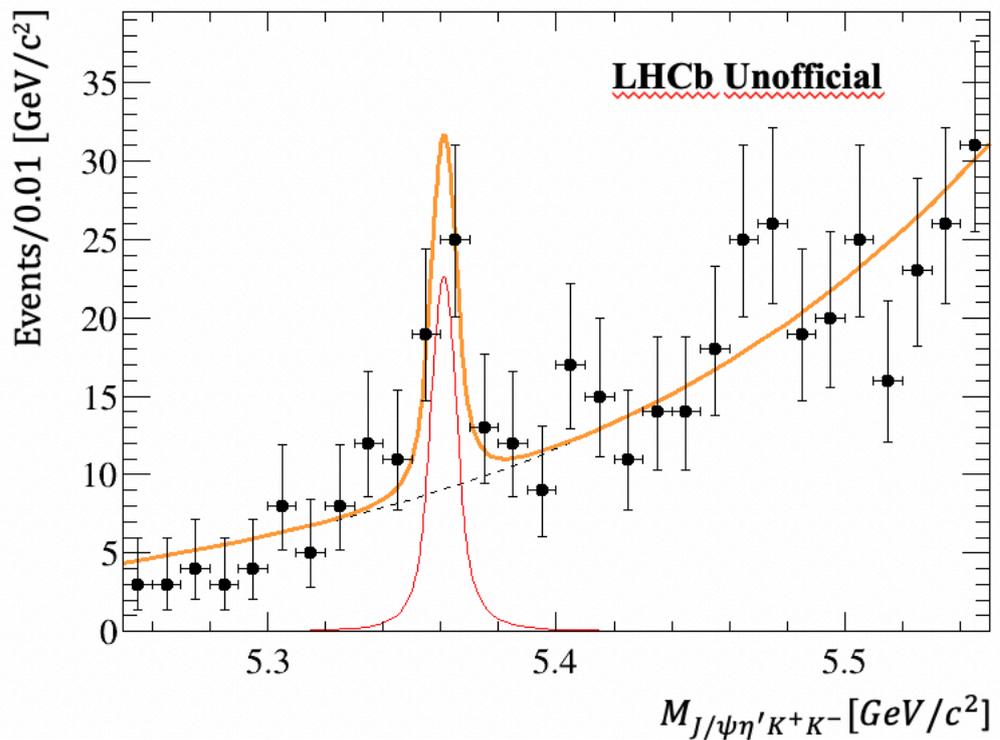


Рисунок 2.10 – Распределение по инвариантной массе отобранных B_S^0 – кандидатов, распадающихся по каналу $B_S^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$, $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$, $\eta \rightarrow \gamma \gamma$ со всеми критериями анализа. Черные точки соответствуют распределению данных, сплошная линия показывает результат аппроксимации распределения аналитической функций

Полученное распределение аппроксимировалось при помощи функции сигнал + фон, где фон описывался полиномом второго порядка, а сигнал – функцией двусторонний Crystal Ball. Для аппроксимации были зафиксированны «хвосты» функции с параметрами, взятыми из соответствующей аппроксимации смоделированных данных:

$$aL = 1.42; aR = 1.38; nL = 1.93; nR = 1.79.$$

Ширина пика $\sigma_{B_S^0}$ и масса $M(B_S^0)$ оставлены как свободные параметры.

Результаты аппроксимации приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Параметры аппроксимации инвариантной массы $J/\psi \eta' K^+ K^-$

Параметр	Значение
Число сигнальных событий $N_{B_s^0}$	30 ± 8
Среднее $M_{B_s^0}$, МэВ/ c^2	5361.1 ± 1.9
Разрешение $\sigma_{B_s^0}$, МэВ/ c^2	4.58 ± 1.0

Положение пика соответствует значению 5361.1 ± 1.9 МэВ/ c^2 , что согласуется с номинальной массой B_s^0 – мезона 5366.8 ± 0.2 МэВ/ c^2 [43], а разрешение согласуется со значением, ожидаемым из моделирования. Число сигнальных событий, полученное в результате анализа, составило 30 ± 8 .

Заключение

В ходе проделанной работы в данных, набранных экспериментом LHCb в протон-протонных столкновениях при энергиях в системе центра масс 7, 8 и 13 ТэВ, в течение 2012-2012 гг. и 2015-2017 гг. и соответствующей интегральной светимости 6.5 фб^{-1} , был впервые выделен сигнал распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ с последующим распадом $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$, $\eta \rightarrow \gamma\gamma$.

Для описания сигнала использовалась функция двусторонний Crystal Ball, а фон – полиномом второй степени. Установлено, что положение пика составляет $5361.1 \pm 1.9 \text{ МэВ}/c^2$, что согласуется с номинальной массой B_s^0 [43], а разрешение согласуется с ожидаемым значением из моделирования. Полученное количество сигнальных событий составляет 30 ± 8 .

Апробация результатов

1. VII Международная научная конференция «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики – 2017». ТГУ, Томск, Россия, ноябрь 2017.

2. II Международная «Трансъевропейская школа физики высоких энергий – 2018». Полтава, Украина, июль 2018.

3. XII Международная «Транссибирская школа по физике высоких энергий – 2019». Доклад «Research for beauty mesons multiparticle decays with charmonium final states in the LHCb experiment». Томск, Россия, апрель 2019.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

На сегодняшний день перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Коммерческая привлекательность научного исследования определяется как превышением технических параметров над предыдущими разработками, так и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на вопросы – будет ли продукт востребован рынком; какова будет его цена; каков бюджет научного проекта; какой срок потребуются для выхода на рынок и так далее.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В данной работе проводилось исследование многочастинных распадов прелестных B_s^0 – мезонов с чармонием в конечном состоянии в ускорителе

заряженных частиц на встречных пучках Большого адронного коллайдера, посвященном исследованию прелестных адронов.

Был проведен физический анализ данных набранных в эксперименте ЛНСб за 2011, 2012 гг., которым соответствуют интегральные светимости 1 фб^{-1} при энергии в системе центра масс 7 ТэВ и 2 фб^{-1} при 8 ТэВ, и 2015-2017 гг. – интегральная светимость 0.32 фб^{-1} , 1.67 фб^{-1} и 1.71 фб^{-1} при энергии в системе центра масс 13 ТэВ (полная интегральная светимость составляла 6.5 фб^{-1}). Для того, чтобы узнать в каком направлении проводить исследования, был проведен анализ потребителей. Целевым рынком данной разработки будет являться научная, образовательная отрасль. В качестве основных потребителей выбраны организациями, занимающимися научными теоретическими исследованиями в области физики высоких энергий и физики элементарных частиц. В качестве заинтересованных могут выступать крупные коллаборации, проводящие эксперименты на адронных коллайдерах различного типа, а также специализированные асимметричные «В-фабрики», например, установка ВаВаг (K_1) [5] на ускорителе PEP-II (SLAC, США) и установка Belle [4] на ускорителе КЕКВ (K_2) (КЕК, Япония).

Главными преимуществами данного исследования являются большое сечение рождения b -кварков и возможность рождения всех возможных B -мезонов по сравнению с другими экспериментами и при этом большое количество набранных экспериментальных данных. В таблице 3.1 приведена карта сегментирования по данному исследованию.

Таблица 3.1 – Карта сегментирования

Организации	Первое обнаружение распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$
Адронные коллайдеры	<p>Большое сечение рождения b-кварков и возможность рождения всех возможных B-мезонов по сравнению с другими экспериментами.</p> <p>Большое количество набранных экспериментальных данных</p>

3.2 Анализ конкурентных технических решений

Для проведения анализа конкурентоспособности разработки будет использоваться оценочная карта, приведенная в таблице 3.2. Разработка данной работы подразумевает использование всех трех типов визуализации для контроля эффективности метода. Конкурентная разработка подразумевает использование только одного типа визуализации. (К1). Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять единицу.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (3.1)$$

Где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

В данном исследовании:

B_{k1} – бал соответствующему установке ВаВаг на ускорителе КЕКВ (КЕК, Япония); B_{k2} – бал соответствующему установке Belle на ускорителе РЕР-II (SLAC, США); K_{k1} – конкурентоспособность ВаВаг; K_{k2} – конкурентоспособность Belle.

Таблица 3.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Время наработки данных для анализа и моделирования	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
2. Достоверность	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6

измерений							
3. Удобство обработки данных	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
4. Простота планирования	0,2	3	4	5	0,6	0,8	1
6. Отсутствие дорогостоящего оборудования для реализации метода	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
2. Финансирование научной разработки	0,1	3	2	4	0,3	0,2	0,4
3. Цена	0,05	2	3	2	0,1	0,15	0,1
Итого	1	30	30	32	3,9	3,85	4,1

3.3 Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Область применения диаграммы:

1. Выявление причин возникновения проблемы;
2. Анализ и структурирование процессов на предприятии;
3. Оценка причинно-следственных связей.

Объектом анализа является распределение по инвариантной массе B_s^0 – мезона, распадающегося по каналу $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ ($J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$, $\eta \rightarrow \gamma \gamma$), построенное на основе данных набранных в эксперименте ЛНСб.

Факторы, влияющие на объект анализа:

- эксперты;
- технология проведения работ;
- производственная среда;
- оборудование.

Экспертами данного исследования являются:

- физик-программист;
- инженер-физик ускорителей;
- инженер-физик высоких энергий;
- физик элементарных частиц.

На выполнение работы существенное влияние оказывают эксперты, так как основная работа заключается в разработки кода, физик-программист может оценить эффективность его написания, а физики – правильность физического аспекта работы, так как исследуемые процессы должны быть возможными, а критерии отбора зависят от параметров ускорителя.

К технологии проведения работы относятся данные, на основе которых проводится НТИ, описание данных представлено в разделе 2:

- данные набранные за 2011-2012 гг (Run I);
- данные набранные за 2015-2017 гг (Run II).

От качества набранных (Run I и Run II) и смоделированных (Монте-Карло) зависит правильность результатов НТИ. При обработке данных может возникнуть ряд проблем, так как во время набора статистики, в детекторе случаются поломки. Поэтому при разработке кода нужно учитывать вероятность таких ошибок.

Под производственной средой подразумеваем среду, в которой разрабатываем код, а именно:

- язык программирования Python;
- программные пакеты Bender и Ganga;
- библиотеки ROOT и RooFit;
- наборы расширений Ostar.

Для выполнения НТИ необходимо владеть языками программирования Python и C++, так как вся работа осуществляется с помощью программной среды ROOT. Во время работы необходимо изучать программные пакеты Bender и Ganga, библиотеки ROOT и RooFit и наборы расширений Ostar и Bender, так как они постоянно обновляются.

В качестве оборудования использовали:

- рабочий персональный компьютер;
- домашний персональный компьютер;
- распределенную вычислительную систему GRID.

Существует возможность поломки или сбоя персональных компьютеров, например, при подключении интернета, что может существенно повлиять на скорость выполнения работы.

Причинно-следственная диаграмма представлена на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Причинно-следственная диаграмма

Данная статья включает в себя все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по тематике диссертации.

3.4 SWOT-анализ

Сильными сторонами исследования распада B_s^0 – мезона по каналу $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ ($J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$, $\eta \rightarrow \gamma \gamma$) в эксперименте LHCb являются:

- возможность работать удалённо;
- большое сечение рождения c - и b -кварков в эксперименте LHCb;
- собрана большая статистика;
- снижение фона;
- существование набора расширений Ostar и Bender на языке программирования Python.

Слабыми сторонами данной разработки можно назвать следующие свойства и особенности:

- необходимость знания нескольких языков программирования;
- невозможность определить ошибки в коде по мере его разработки;
- длительность расчетов;
- большое количество дочерних частиц в распаде;
- недостаточная точность расчетов.

К возможностям данного проекта можно отнести:

- наличие подробного плана для реализации подобных задач;
- код прост в освоении;
- доступность программного обеспечения;
- использование библиотек для разнообразных задач;
- увеличения статистики данных.

К угрозам можно отнести:

- поломка ЭВМ;
- сбои в подключении сети интернет;
- отсутствие коммерческого интереса к проекту;
- параллельное проведение данного исследования конкурирующей лабораторией.

В таблице 3.3 представлен SWOT-анализ в виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 3.3 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> – С1. возможность работать удалённо; – С2. большое сечение рождения <i>c</i>- и <i>b</i>-кварков в эксперименте LHCb; – С3. собрана большая статистика; – С4. снижение фона; – С5. существование набора расширений Ostar и Bender на языке программирования python. 	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Сл1. необходимость знания нескольких языков программирования; – Сл2. невозможность определить ошибки в коде по мере его разработки; – Сл3. длительность расчетов. – Сл4. большое количество дочерних частиц в распаде; – Сл3. недостаточная точность расчетов.
<p>Возможности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – В1. наличие подробного плана для реализации подобных задач; – В2. код прост в освоении; – В3. доступность программного обеспечения; – В4. использование библиотек для разнообразных физических задач; – В5. увеличения статистики данных. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проведение анализа различных распадов; 2. Написание кода для каждой задачи. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повторный запуск кода после обнаружения ошибки; 2. Независимое пользование.

<p>Угрозы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – У1. поломка ЭВМ; – У2. сбои в подключении сети интернет; – У3. отсутствие коммерческого интереса к проекту; – У4. параллельное проведение данного исследования конкурирующей лабораторией. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Улучшение безопасности работы с кодом; 2. Получение более точного результата. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение количества серверов для обработки и хранения больших объемов данных, благодаря чему увеличится точность расчётов и скорость их выполнения; 2. Привлечение большего количества сотрудников/студентов для физического анализа данных
---	---	---

На основе результатов проведенного анализа можно сделать вывод, что для улучшения точности результатов исследования необходимо набрать большую статистику за счет данных набранных на эксперименте за 2018 г. А для уменьшения внешних угрозы (поломка ЭВМ, сбои в подключении сети интернет) работу необходимо проводить через удаленный рабочий стол.

3.5 Инициализация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

3.6 Цели и результат проекта

В данном разделе приведена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых

могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 3.4

Таблица 3.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Национальный исследовательский Томский политехнический университет	Развитие и поддержание научной деятельности в области изучения В-физики. Написание научных статей, с целью публикации в известных научных журналах для поднятия рейтинга ВУЗа. Поддержка связи с институтами исследовательского центра «Курчатовский институт»
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»	Развитие и поддержание научной деятельности в области изучения В-физики. Написание научных статей, с целью публикации в известных научных журналах. Поддержка связи с национальным исследовательским Томским политехническим университетом.

В таблице 3.5 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 3.5 – Цели и результат проекта

Цели проекта	Проведение и оптимизация физического анализа для поиска распада на данных набранных экспериментом ЛНСб в протон-протонных столкновениях в течение Run I и Run II в ЦЕРН (Женева, Швейцария)
Ожидаемые результаты проекта	Обнаружение сигнала распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$ с использованием моды $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$
Критерии приемки результата проекта	Данные соответствия определяются по результатам проведения экспериментальных исследований.
Требования к результату проекта	Требование:
	1. Проект должен быть завершен до 1 июня 2019 года.

	2. Полученные результаты должны удовлетворять критериям приемки результата проекта
	3. Результаты научного исследования должны быть представлены на международных школах и конференциях

3.7 Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо было решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эта информация представлена в таблице 3.6

Таблица 3.6 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты , час.
Лидер Андрей Маркович, профессор ОЭФ ИТЯШ	Руководитель проекта	Руководство процессом выполнения проекта. Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта.	84
Москвитина Полина Игоревна, магистрант НИ ТПУ	Исполнитель проекта	Выполнение работ по теоретической проработке проекта. Практическая реализация проекта. Написание магистерской диссертации.	498
Итого:			582

3.8 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. В таблице 3.7 представлены ограничения проекта.

Таблица 3.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения / допущения
1. Бюджет проекта	400000 руб.
1.1. Источник финансирования	Минобрнауки РФ
2. Сроки проекта:	01.02.2019 – 14.05.2019 гг.
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	04.02.2019 г.
2.2. Дата завершения проекта	14.05.2019

3.9 Планирование управления научно-техническим проектом

В процессе создания иерархической структуры работ проекта было структурировано и определено содержание всего проекта, которое представлено на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Иерархическая структура работ

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей. Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ.

3.10 План проекта

В рамках планирования диссертационного проекта необходимо составить календарный график проекта, представленный в таблице 3.8. С помощью диаграммы Гранта в таблице 3.9 проиллюстрирован календарный план диссертации, на котором работы по теме характеризуются датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 3.8 – Календарный план диссертационного проекта

№	Название	Т, кал. дн.	Дата	Состав участников
1	Составление и утверждение технического задания	3	01.02.2019- 04.02.2019	Руководитель Магистрант
2	Подбор и изучение материалов по теме	28	05.02.2019- 11.03.2019	Магистрант
3	Выбор направления научного исследования	5	12.03.2019- 16.03.2019	Руководитель Магистрант
4	Календарное планирование работ по теме	4	18.03.2019- 21.03.2019	Руководитель Магистрант
5	Разработка кода, выбор параметров моделирования	7	22.03.2019- 29.03.2019	Магистрант
6	Выбор ограничений и проведение моделирования	20	30.03.2019- 22.04.2019	Магистрант
7	Анализ и обработка полученных данных	4	23.04.2019- 26.04.2019	Руководитель Магистрант
8	Оценка эффективности полученных результатов	5	27.04.2019- 04.05.2019	Руководитель Магистрант

9	Составление пояснительной записки	7	05.05.2019-14.05.2019	Магистрант
---	-----------------------------------	---	-----------------------	------------

Таблица 3.9 – Календарный план-график в виде диаграммы Ганта

№ раб	Вид работ	Исполнители	T _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ															
				февр			март			апр			май						
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, магистр	3	█															
2	Подбор и изучение материалов по теме	Магистр	28	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
3	Выбор направления научного исследования	Руководитель, магистр	5				█	█	█										
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, магистр	4				█	█	█	█									
5	Разработка кода, выбор параметров моделирования	Магистр	7							█	█	█	█	█					
6	Выбор ограничений и проведение моделирования	Магистр	20																
7	Анализ и обработка полученных данных	Руководитель, магистр	4																
8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, магистр	5																
9	Составление пояснительной записки	Магистр	7																
		Руководитель, Магистр																	
		Магистр																	

3.11 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета учитываются только затраты на материалы для исследования и заработную плату участникам проекта.

Так как все исследования теоретические и проводились на компьютерах, то необходимо учесть затраты на электроэнергию. Компьютеры, используемые в диссертационной работе, уже имелись в лаборатории. Примерное потребление одного компьютера за сутки – 180 Ватт, плюс монитор, еще 40 Ватт, т. е. 220 Ватт (или 0.22 кВт). Весь период работы составляет 83 дня или 498 часа.

Электроэнергетические затраты за время работы над проектом можно рассчитать, как

$$Q_э = W \cdot P \cdot t = 0.22 \cdot 498 \cdot 5.8 = 635.45 \text{ руб.} \quad (3.2)$$

где W – тариф на электроэнергию (5.8 рублей за 1 кВт/ч), P – электроэнергетические затраты компьютера за весь период работы (компьютер – 0.22 кВт), t – время работы над проектом в часах.

Итого, электроэнергетические затраты на компьютеры составляют 635,45 рублей за весь период исследовательской работы.

Основная заработная плата рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы: оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями; стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд и выполнение дополнительных обязанностей. В раздел включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников непосредственно участвующих в выполнении работ. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Полная заработная плата включает в себя основную и дополнительную (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$):

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп.}} \quad (3.3)$$

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (3.4)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность

работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_d}, \quad (3.5)$$

где $Z_{\text{ок}}$ – месячный должностной оклад, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 48 раб. дней $M = 10.4$ месяца, 6-дневная неделя); F_d – действительный годовой фонд рабочего времени (таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Фонд рабочего времени

Показатель рабочего времени	Количество дней	
	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52	52
Праздничные дни	14	14
Отпуск	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ок}} \cdot k_p, \quad (3.6)$$

где $Z_{\text{ок}}$ – заработная плата по окладу, руб.; k_p – районный коэффициент (для Томска равен 1.3).

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций. Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (3.7)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной плат (0,1). Расчет основной и дополнительной заработной платы приведён в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Расчет основной и дополнительной заработной платы

Участники	З _{ок} , руб	к _р	З _м , руб	З _{дн} , руб	Т _р	З _{осн} , руб	З _{доп} , руб
Руководитель	47 104	1.3	61 235.2	2 537.2	14	35520.8	3552.08
Магистр	12 664	1.3	16 463,2	682.1	83	56614.3	5661.43
Итого						92135.1	9213.51

Для осуществления исследования по тематике данной работы необходимо наличие персонального компьютера или ноутбука (таблица 3.12).

Таблица 3.12 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Персональный компьютер (ноутбук)	1	35 000	35 000
Итого:			35 000

Отчисления во внебюджетные фонды – обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется следующей формулой:

$$Z_{внб} = k_{внб}(Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (3.8)$$

где $k_{внб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$\begin{aligned} Z_{внб1} &= k_{внб} * (Z_{осн1} + Z_{доп1}) = 0.271 * (39072.88) = 10588.75 \\ Z_{внб2} &= k_{внб} * (Z_{осн2} + Z_{доп2}) = 0.271 * (62275,73) = 16876.72 \\ Z_{внб} &= Z_{внб1} + Z_{внб2} = 10588.75 + 16876.7 = 27465.47 \end{aligned} \quad (3.9)$$

Накладные расходы составляют 30 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл1}} = k_{\text{накл1}} * (Z_{\text{осн1}} + Z_{\text{доп1}}) = 0.3 * (39072.88) = 11721.86 \quad (3.10)$$

$$C_{\text{накл2}} = k_{\text{накл2}} * (Z_{\text{осн2}} + Z_{\text{доп2}}) = 0.3 * (62275,73) = 18682.72 \quad (3.11)$$

$$C_{\text{накл}} = C_{\text{накл1}} + C_{\text{накл2}} = 11721.86 + 18682.72 = 30404.58 \quad (3.12)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

3.12 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование	Сумма, руб
Отчисления во внебюджетные фонды	27465.47
Затраты по основной заработной плате	92135.1
Затраты по дополнительной заработной плате	9213.51
Затраты на специальное оборудование	35 000
Затраты на электроэнергию	635.45
Накладные расходы	30404.58
Бюджет затрат НТИ	194854.11

3.13 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация по данному разделу представлена в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Рнаст (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
Интерпретация недостаточного количества данных	Невозможность проведения необходимых исследований для научной работы	3	4	Высок.	Увеличить объем данных	Неправильное моделирование данных
Недостоверность полученных результатов	Низкая точность выводов обратной задачи	3	4	Высок.	Тщательное проведение расчетных работ	Неправильное использование программного обеспечения

3.14 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (3.13)$$

где I_{Φ}^p - интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} - стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Так как разработка имеет одно исполнение то:

$$I_{\Phi}^p = \frac{194854.11}{300000} = 0.64$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{300000}{300000} = 1$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{2900000}{300000} = 0.96$$

где I_{Φ}^{a1} -с отвечает ВаВаг; I_{Φ}^{a2} - соответствует Belle.

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^m \quad (3.14)$$

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^p \quad (3.15)$$

где I_m^a – интегральный показатель ресурсоэффективности для аналога; I_m^p – интегральный показатель ресурсоэффективности разработки; a_i – весовой коэффициент i -го параметра; b_i^a – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности пользователя труда	0.25	4	3	3
2. Удобство в эксплуатации	0.3	4	3	5
3. Энергосбережение	0.15	3	4	2
4. Надежность	0.2	5	4	3
5. Материалоемкость	0.1	5	4	4
ИТОГО	1	21	18	17

$$I_m^p = 0.25 \cdot 4 + 0.3 \cdot 4 + 0.15 \cdot 3 + 0.2 \cdot 5 + 0.1 \cdot 5 = 4.15$$

$$I_1^a = 0.25 \cdot 3 + 0.3 \cdot 3 + 0.15 \cdot 4 + 0.2 \cdot 4 + 0.1 \cdot 4 = 3.45$$

$$I_2^a = 0.25 \cdot 3 + 0.3 \cdot 5 + 0.15 \cdot 2 + 0.2 \cdot 3 + 0.1 \cdot 4 = 3.55$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{\text{финр}}^p$ и аналога $I_{\text{финр}}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p}; \quad I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a} \quad (3.16)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} \quad (3.17)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; I_m^p – интегральный показатель разработки; I_m^a – интегральный технико-экономический показатель аналога.

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{4.15}{3.45} = 1.2$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср2}} = \frac{4.15}{3.55} = 1.17$$

Сравнительная эффективность проекта приведена в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0.96	0.64
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3.45	3.55	4.15
3	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.2	1.17	

Заключение. В данном разделе был проведен расчет затрат на выполнение научно-исследовательской работы. В процессе формирования бюджета были использованы затраты по основной заработной плате исполнителей (92135.1 руб.), затратам по дополнительной заработной плате (9213.51 руб.), отчислениям на внебюджетные фонды (27465.47 руб.), затраты на специальное оборудование (35000 руб.), накладные расходы (30404.58 руб.), затраты на электроэнергию в размере 635.45 рублей. Таким образом, всего бюджет составил 194854.11 руб. Основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами. Полученные в ходе исследования результаты, могут быть использованы для дальнейших исследований на адронных ускорителях, а также возможность способствовать решению многих фундаментальных задач в изучении электрослабых переходов и *CP*-нарушений. Кроме того, трехчастичные распады *b*-адронов в конечные состояния с чармонием играют важную роль в активно развивающейся сейчас области, связанной с поиском и изучением экзотических частиц.

4. Социальная ответственность

В данной работе проводилось исследование многочастинных распадов прелестных B_s^0 – мезонов с чармонием в конечном состоянии в ускорителе заряженных частиц на встречных пучках Большого адронного коллайдера.

Был проведен физический анализ данных набранных в эксперименте ЛНСб за 2011, 2012 гг., которым соответствуют интегральные светимости 1 фб^{-1} при энергии в системе центра масс 7 ТэВ и 2 фб^{-1} при 8 ТэВ, и 2015-2017 гг. – интегральная светимость 0.32 фб^{-1} , 1.67 фб^{-1} и 1.71 фб^{-1} при энергии в системе центра масс 13 ТэВ (полная интегральная светимость составляла 6.5 фб^{-1}).

Главными преимуществами данного исследования являются большое сечение рождения b -кварков и возможность рождения всех возможных B -мезонов по сравнению с другими экспериментами и при этом большое количество набранных экспериментальных данных. Для восстановления сигнала использовались моды $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$, $\eta \rightarrow \gamma \gamma$. В результате анализа, с помощью наложения соответствующих ограничений, был изучен и впервые выделен из экспериментальных данных распад $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta' K^+ K^-$.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Режим рабочего времени, защиту персональных данных работника, оплату и нормирование труда регулирует *Трудовой кодекс РФ*, а также *Конституция РФ*.

Необходимо проводить обязательные предварительные (при устройстве на работу) и периодические медицинские осмотры (обследования) работников. Во избежание несчастных случаев следует проводить обучение и проверять знания работников. К самостоятельной работе допускаются лица, прошедшие медицинское освидетельствование, курсовое обучения по теоретическим

знаниям и практическим навыкам в работе в объёме программы, аттестацию квалификационной комиссии и инструктаж по охране труда на рабочем месте.

Согласно *Федеральному закону "О персональных данных" от 27.07.2006 N 152-ФЗ* персональными данными является любая информация, относящаяся к определенному или определяемому на основании такой информации физическому лицу (субъекту персональных данных). Согласно Трудовому кодексу обработка персональных данных работника может осуществляться исключительно в целях обеспечения соблюдения законов и иных нормативных правовых актов, содействия работникам в трудоустройстве, получении образования и продвижении по службе, обеспечения личной безопасности работников, контроля количества и качества выполняемой работы и обеспечения сохранности имущества.

Оклад – определяется предприятием (*Положением об оплате труда*). В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор. Базовый оклад определяется исходя из размеров окладов, определенных штатным расписанием предприятия. Размер окладов ППС и НС ТПУ представлен на корпоративном портале ТПУ. В ходе данных исследований месячный оклад представлял из себя стипендию студента в размере 2477,8 руб.

В соответствии с *Федеральным законом от 24.07.1998 № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»* обязательному социальному страхованию подлежат все лица, выполняющие работу в организациях на основании трудовых договоров, а также физические лица, выполняющие работу на основании гражданско-правового договора, если в соответствии с этим договором страхователь (организация) обязан уплачивать страховщику (ФСС) страховые взносы. Все страхователи (предприятия, организации) обязаны перечислять страховщику (ФСС) страховые взносы, которые определены на основании страховых тарифов к фонду оплаты труда

предприятия и устанавливаются федеральными законами по видам экономической деятельности.

Для обоснования эргономических требований используются следующие нормативно правовые документы:

- ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы"
- ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

Рабочие места должны быть спроектированы таким образом, чтобы способствовать достижению целей производственной системы, в том числе достижению оптимальной общей рабочей нагрузки на сотрудников (ГОСТ Р ИСО 6385-2016). Рабочая среда должна быть разработана и поддерживаться таким образом, чтобы минимизировать неблагоприятные физические, химические, биологические и социальные условия, влияющие на здоровье и безопасность людей, а также на их способность и готовность выполнять стоящие перед ними задачи.

В данной работе главным рабочим инструментом является персональный компьютер. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, Конструкция ПЭВМ должна обеспечивать возможность поворота корпуса в горизонтальной и вертикальной плоскости с фиксацией в заданном положении для обеспечения фронтального наблюдения экрана ВДТ. Дизайн ПЭВМ должен предусматривать окраску корпуса в спокойные мягкие тона с диффузным рассеиванием света. Корпус ПЭВМ, клавиатура и другие блоки, и устройства ПЭВМ должны иметь матовую поверхность с коэффициентом отражения 0,4-0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики.

4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. Площадь рабочего места должна быть такой, чтобы работник не делал лишних движений и не чувствовал неудобства во время работы.

Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости изображены на рисунке 4.1.

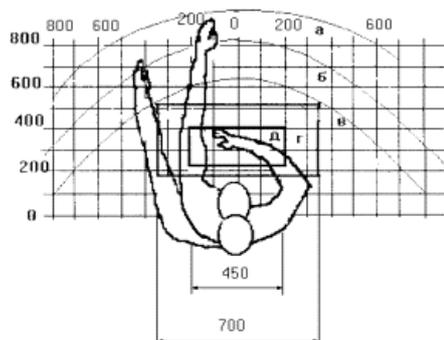


Рисунок 4.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости, где:

а – зона максимальной досягаемости рук;

б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в – зона легкой досягаемости ладони;

г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация: в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

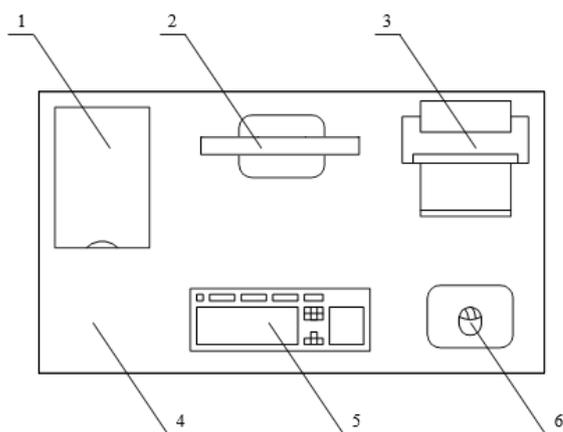


Рисунок 4.2 – Размещение основных и периферийных составляющих ПК:

1 – сканер, 2 – монитор, 3 – принтер, 4 – поверхность рабочего стола,
5 – клавиатура, 6 – манипулятор типа «мышь»

На рисунке 2 показан пример размещения основных и периферийных составляющих ПК на рабочем столе программиста.

Согласно ГОСТ Р 50923-96 для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям:

- высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680-760 мм. Высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650 мм;
- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы программист мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;
- поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения программиста;
- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцелярских принадлежностей).

Согласно ГОСТ Р 50923-96, рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Так, рекомендуемая

высота сиденья над уровнем пола находится в пределах 420-550 мм. Поверхность сиденья мягкая, передний край закругленный, а угол наклона спинки – регулируемый.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам ГОСТ Р 50923-96 угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 D к нормали экрана. Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;

- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 2,5В/м. Плотность магнитного потока должна быть не более: - в диапазоне частот 5Гц-2кГц - 250нТл;

- в диапазоне частот 2кГц – 400кГц – 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

- применение при экранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

Конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05м от экрана не более $7,7 \cdot 10^{-4}$ А/кг, что соответствует эквивалентной дозе, равной 100 мкР/час.

Большое значение также придается правильной рабочей позе пользователя. При неудобной рабочей позе могут появиться боли в мышцах, суставах и сухожилиях. Требования к рабочей позе пользователя видеотерминала следующие:

- голова не должна быть наклонена более чем на 20°,

- плечи должны быть расслаблены,

- локти – под углом 80°–100°,

– предплечья и кисти рук – в горизонтальном положении.

Причина неправильной позы пользователей обусловлена следующими факторами: нет хорошей подставки для документов, клавиатура находится слишком высоко, а документы – низко, некуда положить руки и кисти, недостаточно пространство для ног.

В целях преодоления указанных недостатков даются общие рекомендации: использование передвижной клавиатуры, специальных приспособлений для регулирования высоты стола, клавиатуры и экрана, а также наличие подставки для рук.

4.2 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории. В лаборатории, где расположены рабочие места за персональными компьютерами могут быть следующие вредные факторы, которые представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Проведение работ	Нормативные документы
1. Отклонение показателей микроклимата	+	ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении
2. Превышение уровня шума	+	ГОСТ 12.1.003-83, СН 2.2.4/2.1.8.562-96
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, СНиП 23-05-95, СИиП 23-05-95
4. Недостаточная	+	

освещенность рабочей зоны		
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	ГОСТ 12.1.009 – 2009, ГОСТ 12.1.030 – 81, ГОСТ 12.1.038-82

4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Отклонение показателей микроклимата – это сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Требования, предъявленные к воздуху, т.е. оптимальные и допустимые значения показателей микроклимата в производственных помещениях для работ разной категории тяжести и в зависимости от периода года, представлены в санитарных нормах проектирования промышленных предприятий СН 245-71 и ГОСТ 12.11.005-88 ССБТ «Общие санитарно-технические требования к воздуху рабочей зоны». В таблице 4.2 представлены оптимальные и допустимые параметры рабочей зоны.

Таблица 4.2 – Оптимальные и допустимые параметры нормы микроклимата

Период года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
	Оптимальная	Допустимая				Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная, не более	Допустимая
		Верхняя граница		Нижняя граница					
		Постоянная	Непостоянная	Постоянная	Непостоянная				
Холод	22-23	21	23	19	17	40-60	15-75	0,2	0,1-0,3
Тепл.	23-25	23	27	20	18	40-60	15-75	0,3	0,2-0,4

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения, а также необходимо установить отопительную систему. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей. К средствам коллективной защиты можно отнести установки кондиционирования воздуха, основная задача которых поддерживать параметры воздуха в установленных пределах, для обеспечения надежной работы и комфортных условий для работников.

Превышение уровня шума. Для определения допустимого уровня шума на рабочих местах используется ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ «Шум. Общие требования безопасности», СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Согласно ГОСТ 12.1.003 - 83, нормируемой шумовой характеристикой рабочих мест при шуме являются уровни звуковых давлений в децибелах в октановых полосах. В таблице 4.3 приведены допустимые уровни звукового давления на рабочем месте.

Таблица 4.3 – Допустимы уровни звукового давления на рабочем месте

Вид деятельности	Частота, Гц							
	Уровень звукового давления, дБ							
	62	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Научная деятельность, проектирование	71	61	54	49	45	42	40	38

В нашей научно-исследовательской лаборатории не находится никаких приборов и устройств, создающих шум, который может оказать влияние на здоровье. Так же в помещении отсутствует вентиляционная система, которая могла бы создавать дополнительные шумы. Лаборатория расположена среди учебных комнат, что означает, что в соседних комнатах так же отсутствует производственное оборудование.

Недостаток естественного света, освещенности рабочей зоны.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света. Естественное освещение составляет 3%, совместное 1,8 %, искусственное 200 лк (освещенность при комбинированном освещении от общего). Освещение комбинированное.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 5300$ мм, ширина $B = 4700$ мм, высота = 3500 мм. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 800$ мм. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

«Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03» определяет наименьшую освещенность рабочих поверхностей в производственных помещениях в зависимости от вида производимой деятельности. В соответствии со СНиП 23-05-95 все зрительные работы делятся на 8 разрядов и зависимости от размера объекта различения и условий зрительной работы. Принимаем четвертый разряд зрительной работы (средней точности). Допустимые значения наименьшей освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях в соответствии со СИиП 23-0595 для четвертого разряда зрительной работы приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Нормирование значения освещенности на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении

Характер Зрительно	Наименьши й размер	Подразряд зрительно	Контрас т	Характе р фона	Освещенность, лк	
					Комбинированно	Обще
Средняя точность (4 разряд зрительной)	0,5-1,0	а	Малый	Темный	750	300
			Малый	Средний	500	200
		б	Средний	Темный	500	200
			Малый	Светлый	400	200
		в	Средний	Светлый	400	200
			Большой	Темный	400	200
		г	Средний	Светлый	300	150
			Большой	Светлый	300	150
			Большой	Средний	300	150

Согласно СНиП 23-05-95 газоразрядные лампы приняты в качестве основного источника света. Основными преимуществами таких ламп перед лампами накаливания являются высокая световая отдача – 40-110 лм/Вт, большой срок службы (до 8000-12000 ч), возможность получения светового потока практически с любым спектром.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 5,3$ м, ширина $B = 4,7$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 0,8$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения: $S = A * B = 24,91 \text{ м}^2$. Где A – длина помещения, B – ширина. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3=1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$. Выбираем лампу дневного света ЛД, световой поток которой равен 2300 Лм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 300$ мм.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле: $h = H - h_p = 2400$ мм. Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле: $L = \lambda * h = 1708$ мм. Число рядов светильников в помещении: $Nb = B/L = 1,74 = 2$. Число светильников в ряду: $Na = A/L = 2,01 = 2$.

Однако помещение близко к квадратной форме, поэтому разумно добавить дополнительный светильник в середине помещения. Таким образом светильники будут расположены в шахматном порядке, т. е. общее количество светильников будет равно $N = 5$. Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле: $l = L/3 = 570$ мм.

На рисунке 4.3 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

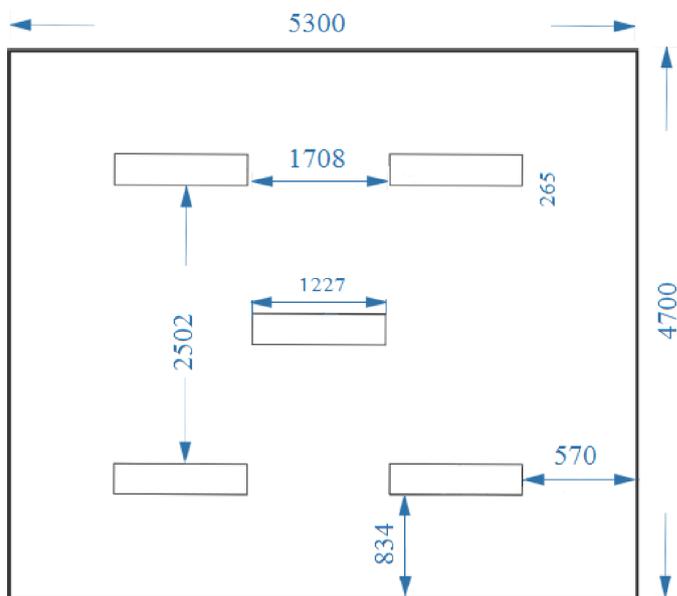


Рисунок 4.3 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A+B)} = 1,04.$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_c = 50\%$, $\rho_{\text{п}} = 70\%$ и индексе помещения $i = 10$ равен $\eta = 0,42$. Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{EABK_3Z}{N\eta} = 1957 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} = 17.5\% \leq 20\%$$

Таким образом необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. Строгое выполнение организационных и технических мероприятий при проведении работ с электроустановками, очень важно в целях предупреждения электротравматизма, кроме этого используют средства защиты, к которым относятся: электрическая изоляция токоведущих частей, защитное заземление и отключение, электрическое разделение сети. Преднамеренное соединение с землей металлических нетокведущих частей, которые могут оказываться под напряжением, называют защитным заземлением (ГОСТ 12.1.009 - 2009). Чтобы защитить человека от поражения электрическим током, защитное заземление должно удовлетворять ряду требований, изложенных в ПУЭ и ГОСТ 12.1.030 – 81 “ССВТ.

К средствам защиты относятся: электрическая изоляция токоведущих частей, защитное заземление и отключение, электрическое разделение сети. Использование этих средств позволяет обеспечить защиту людей от

прикосновения к токоведущим частям, от опасности перехода напряжения к металлическим нетоковедущим частям, от шагового напряжения.

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током (в которой отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность), поскольку – это помещение сухое, хорошо отапливаемое, с токонепроводящими полами, с температурой 18—20°, с влажностью 40—50%. Заземление металлических нетоковедущих частей обеспечивается присоединением вилки прибора к специальной розетке с заземляющим контактом. Имеется устройство защитного отключения. Наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного или 60 В постоянного тока.

Пожароопасность. Одним из условий обеспечения пожаробезопасности любого производственного процесса является ликвидация возможных источников воспламенения.

Для устранения возможности пожара в помещении должны соблюдаться следующие противопожарные меры:

- устранение возможных источников возгорания (электрических искр, нагрева оболочек оборудования);
- использование пожарной сигнализации;
- содержание электрооборудования в исправном состоянии, использование плавких предохранителей и автоматических выключателей в аппаратуре, по окончании работ все установки должны обесточиваться;
- наличие в помещении средств пожаротушения (огнетушители типа ОУ-3, пожарный инструмент, песок) и содержание их в исправном состоянии;
- содержание путей и проходов эвакуации людей в свободном состоянии.

4.3 Экологическая безопасность.

В данном разделе рассматривается воздействие на окружающую среду деятельности по данному исследованию.

Данное исследование программного обеспечения и работа за ПЭВМ не являются экологически опасными работами, поскольку результат, который выполнялся в данной работе, а также объекты, на которых было реализовано их использование относятся к предприятиям пятого класса. Непосредственно программный результат, разработанный в ходе выполнения работы, не наносит вреда окружающей среде. Однако, средства, необходимые для разработки могут наносить вред окружающей среде.

Современные ПЭВМ производят практически без использования вредных веществ, опасных для человека и окружающей среды. Однако, исключением являются аккумуляторные батареи компьютеров и мобильных устройств. В аккумуляторах содержатся тяжелые металлы, кислоты и щелочи, которые могут наносить ущерб окружающей среде, попадая в гидросферу и литосферу, если они были неправильно утилизированы. Для утилизации аккумуляторов необходимо обращаться в специальные организации, специализировано занимающиеся приемом, утилизацией и переработкой аккумуляторных батарей.

Люминесцентные лампы, применяющиеся для искусственного освещения рабочих мест, также требуют особой утилизации, т.к. в них присутствует от 10 до 70 мг ртути, которая относится к чрезвычайно-опасным химическим веществам и может стать причиной отравления живых существ, а также загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы. Сроки службы таких ламп составляют около 5-ти лет, после чего их необходимо сдавать на переработку в специальных пунктах приема. Юридические лица обязаны сдавать лампы на переработку и вести паспорт для данного вида отходов.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Лаборатория расположена в городе Томск с континентально-циклоническим климатом и природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.) в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы. Для Сибири в зимнее время года характерны морозы и метели. В результате порывов ветра могут быть обрывы линий электропитания, из-за чего возможны перебои в электроснабжении; перегрузки, которые могут стать причиной пожара. Для предотвращения подобных ситуаций необходима организация системы аварийного электропитания, по возможности проведение линии электроснабжения под землей. Низкие температуры могут привести к авариям систем теплоснабжения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Возникновение пожара является чрезвычайной ситуацией, т. к. пожар на предприятии наносит большой материальный ущерб, а также часто сопровождается травмами и несчастными случаями. Пожары приводят к полной потере информации и большим трудностям восстановления всей информации в полном объеме. Регулирование пожаробезопасности производится СНиП 21-01-97.

В помещениях с ПЭВМ повышен риск возникновения пожара из-за присутствия множества факторов: наличие большого количества электронных схем, устройств электропитания, устройств кондиционирования воздуха; возможные неисправности электрооборудования, освещения, или неправильная их эксплуатация может послужить причиной пожара.

По пожарной опасности помещения подразделяют на категории А, Б, В, Г, Д. Данная лаборатория согласно НПБ 105-03 относится к категории В, поскольку в помещении есть деревянные столы.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 21-01-97 (выполнено из кирпича, которое относится к

трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам электрического характера. Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п. Не реже одного раза в квартал необходимо производить очистку от пыли агрегатов и узлов, кабельных каналов и межпольного пространства.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 4).

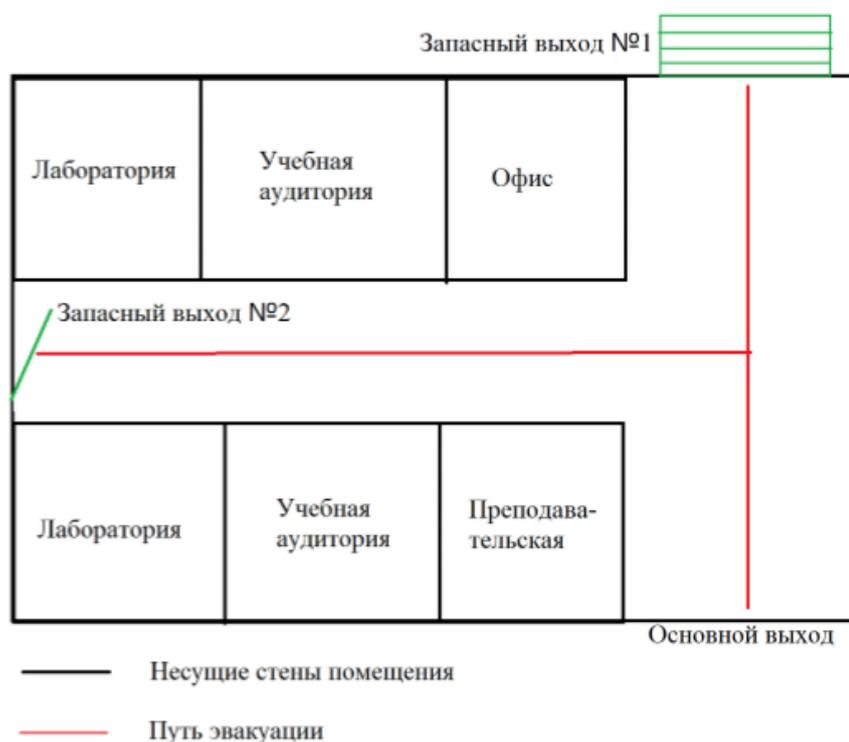


Рисунок 4.4 – План эвакуации из лаборатории

Заключение. В данной работе проводился поиск многочастинных распадов прелестных мезонов с чармонием в конечном состоянии. Во время исследования были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, а также рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них. Проведен расчет освещенности помещения, который удовлетворяет требуемым нормам общего равномерного освещения.

Также, в данном разделе перечислены законодательные и нормативные документы для обеспечения организации труда; производственной и экологической безопасности; безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Вредные производственные факторы, такие как отклонение микроклиматы от нормы, производственный шум, электромагнитные волны, недостаточная освещенность, можно контролировать и свести к минимуму, путем применения кондиционеров, специальных звукоизолирующих материалов, рациональным планированием помещений, контролем работы за ЭВМ. Для предотвращения опасных производственных факторов необходимо соблюдение правил пожарной и электрической безопасности. Для предотвращения ЧС необходимо соблюдение правил пожарной и электробезопасности.

Список литературы

1. M. Kobayashi and T. Maskawa, *CP-violation in the renormalizable theory of weak interaction*, Progress of Theoretical Physics, pp. 649-652, 1973.
2. D. Hom et al., Observation of a dimuon resonance at the 9.5 GeV in 400-GeV proton-nucleus collisions, Physical Review Letters, pp. 39-252, 1977.
3. Herb, S.W. et al., Physical Review Letters, vol. 39, 252-255, 1977.
4. B. Aubert et al., The BaBar detector, Nuclear Instruments Methods, vol. A479, pp. 1-116, 2002.
5. A. Abashian, K. Gotow, N. Morgan, L. Piilonen, S. Schrenk et al., The Belle detector, Nuclear Instruments Methods, vol. A479, pp. 1-117, 2002.
6. L. Evans and P. Bryant, LHC machine, Journal of Instrumentation, vol. 08 S08001, 2008.
7. LHCb collaboration, LHCb reoptimized detector design and performance, Technical Design Report, CERN-LHCC-2003-030, 2003.
8. LHCb collaboration, A Large Hadron Collider beauty experiment, Technical Proposal, CERN-LHCC-98-004.
9. Roel Aaij et al., LHCb Detector Performance, International Journal of Modern Physics, vol. A30 1530022, 2015.
10. LHCb Collaboration. The LHCb Detector at the LHC, Journal of Instrumentation, vol. 3 S08005, 2008.
11. G. Aad et al., Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC, Physical Review Letters, vol. B716-1, 2012.
12. S. Chatrchyan et al., Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC, Physical Review Letters, vol. B716-30, 2012.
13. ALICE: Technical proposal for a Large Ion collider Experiment at the CERN LHC, LHC Technical Proposal, Geneva: CERN, 1995.
14. O. Adriani et al., LHCf experiment: Technical Design Report, Technical Design Report LHCf, Geneva: CERN, 2006.
15. G. Ruggiero et al., The totem detector at LHC, p. 5 p, 2010.

16. LHCb Collaboration, LHCb magnet: Technical Design Report, 2000.
17. LHCb Collaboration, LHCb VELO (VERtix LOcator): Technical Design Report, 2001.
18. H. Albrecht et al., Reconstruction of B Mesons, Physical Review Letters, vol. B185, p. 218, 1987.
19. LHCb Collaboration, LHCb inner tracker: Technical Design Report, 2002.
20. LHCb Collaboration, LHCb outer tracker: Technical Design Report, 2001.
21. A. Powell et al, Particle identification at LHCb, *PoS*, vol. ICHEP2010, p. 20, 2010.
22. LHCb Collaboration, LHCb RICH: Technical Design Report, 2000.
23. L. D. Landau, E. M. Lifshitz, and L. P. Pitaevskii, *Electrodynamics of Continuous Media*, Pergamon Press, New York, 2nd ed. edition, 1984.
24. S. Amato et al, LHCb calorimeters: Technical Design Report, Technical Design Report LHCb, Geneva: CERN, 2000
25. S. N. Filippov, Y. K. Gavrilov, E. Guschin, V. Klubov, L. Kravehuk, S. V. Laptev, V. E. Postoev, and A. Sadovskii, Design and construction of the LHCb scintillator pad/preshower detector, Technical Report, LHCb-2000-042, CERN, Geneva, Oct 2000.
26. LHCb Collaboration, LHCb muon system: Technical Design Report, 2001.
27. A. A. Alves Jr et al., LHCb collaboration, Performance of the LHCb muon system, *Journal of Instrumentation*, vol. 8-P02022, 2012.
28. LHCb Collaboration, LHCb trigger system: Technical Design Report, 2003.
29. LHCb Collaboration, LHCb computing: Technical Design Report, 2005.
30. LHCb Collaboration, LHCb online system, data acquisition and experiment control: Technical Design Report, 2001.

31. M Needham, Performance of the LHCb Track Reconstruction Software, Technical Report, CERN-LHCb-2007-144, CERN, Geneva, Jan 2008.
32. Warwick Development Team [Электронный ресурс] // The gauss project – Режим доступа: <http://evtgen.warwick.ac.uk/>.
33. The gaudi project [Электронный ресурс] // GitLab Project Web Portal – Режим доступа: <http://proj-gaudi.web.cern.ch/proj-gaudi/>.
34. Torbjorn Sjostrand, Stephen Mrenna, and Peter Skands, PYTHIA 6.4 physics and manual, Journal of High Energy Physics, vol. 05 026, 2006.
35. LHCb Collaboration [Электронный ресурс] // The evtgen project – Режим доступа: <http://lhcb-release-area.web.cern.ch/LHCb-release-area/DOC/gauss/>.
36. S. Agostinelli et al, GEANT4: A Simulation toolkit, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, vol. A506, pp. 250–303, 2003.
37. R. Brun, F. Rademakers, ROOT: An object oriented data analysis framework, Nuclear Instruments and Methods, vol. A389, 1997.
38. R. Aaij et al., Evidence for Exotic Hadron Contributions to $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi K^- p \pi^-$ Decays, Physical Review Letters, vol. 082003, p. 117, 2016
39. S. Kullback and R. A. Leibler, On information and sufficiency, Annals of Mathematical Statistics, vol. 22, no. 1, pp. 79-86, 1951.
40. M. Needham, Clone Track Identification using the Kullbaek-Liebler Distance, Technical Report, LHCb-2008-002, 2008.
41. W. D. Hulsbergen, Decay chain fitting with a Kalman filter, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, vol. A552, pp. 566-575, 2005.
42. K. A. Olive et al., Particle Data Group, Review of particle physics, Chin. Phys., vol. C38-090001, 2015.
43. C. Bebek et al., Exclusive decays and masses of the B mesons, Phys.Rev., D36, p. 1289, 1987
44. J. Gaiser, Charmonium spectroscopy from radiative decays of the J/ψ and ψ' , PhD thesis, SLAC, Stanford, SLAC-R-0255, 1982.

Приложение А

Раздел 1

Эксперимент LHCb на ускорителе БАК

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0БМ71	Москвитина Полина Игоревна		

Консультант школы отделения (НОЦ) – Экспериментальной физики:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭФ ИЯТШ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н., доцент		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель ОИЯ ШБИП	Шайкина Ольга Игоревна			

Contens

1.	The LHCb experiment	103
1.1	The Large Hadron Collider	103
1.2	The LHCb detector	104
1.2.1	Tracking detectors	108
1.2.1.1	The magnet	108
1.2.1.2	The Vertex Locator	109
1.2.1.3	The Silicon Tracler	111
1.2.1.4	The Outer Tracker	113
1.2.2	Particle identification	114
1.2.2.1	The RICH system	114
1.2.2.2	The calorimeter system	116
1.2.2.3	The muon system	117
1.2.3	Data treatment	119
1.2.3.1	The trigger	119
1.2.3.2	Track reconstruction	120
1.2.3.3	Monte Carlo simulation	122
	Bibliography	123

1. The LHCb experiment

The LHCb detector [1, 2] is specifically designed for precise measurements in the heavy flavour sector. Its primary goal is to search for evidence of new physics in *CP*-violation and rare decays of hadrons containing beauty and charm quarks.

The present section contains a brief description of the experimental apparatus used to collect the data analysed in this thesis. After a quick general overview of the accelerator and the detector, the main sub-detectors and their performance are discussed. More detailed information on LHCb design and operation can be found in [3].

1.1 The Large Hadron Collider

The Large Hadron Collider (LHC) is the world's largest and most powerful particle accelerator. Located in the old LEP (Large Electron-Positron Collider) tunnel, about 100 m underground, at the European Organization for Nuclear Research (CERN) near the city of Geneva. It started operating in 2008.

The LHC consists of a 27-km double ring synchrotron in which protons travel in opposite directions and are collided in eight interaction points, four of which correspond to the positions of the four major particle detectors – ATLAS [4], CMS [5], ALICE [6] and LHCb. The other two experiments at LHC – LHCf [7] and TOTEM [8] – are located respectively near ATLAS and CMS.

Before entering the LHC rings (see Figure 1.1), protons are produced and accelerated in 4 steps: they are obtained by ionization from hydrogen atoms and injected in bunches into the initial linear accelerator (LINAC2), which brings them up to an energy of 50 MeV, then they are fed through the Proton Synchrotron Booster (BOOSTER) which accelerates them up to 26 GeV, and finally are accelerated in the Super Proton Synchrotron (SPS), at an energy of 450 GeV before being injected into the LHC complex. Here, the maximum center-of-mass energy reached in 2013 was 8 TeV (13 TeV expected in 2015).

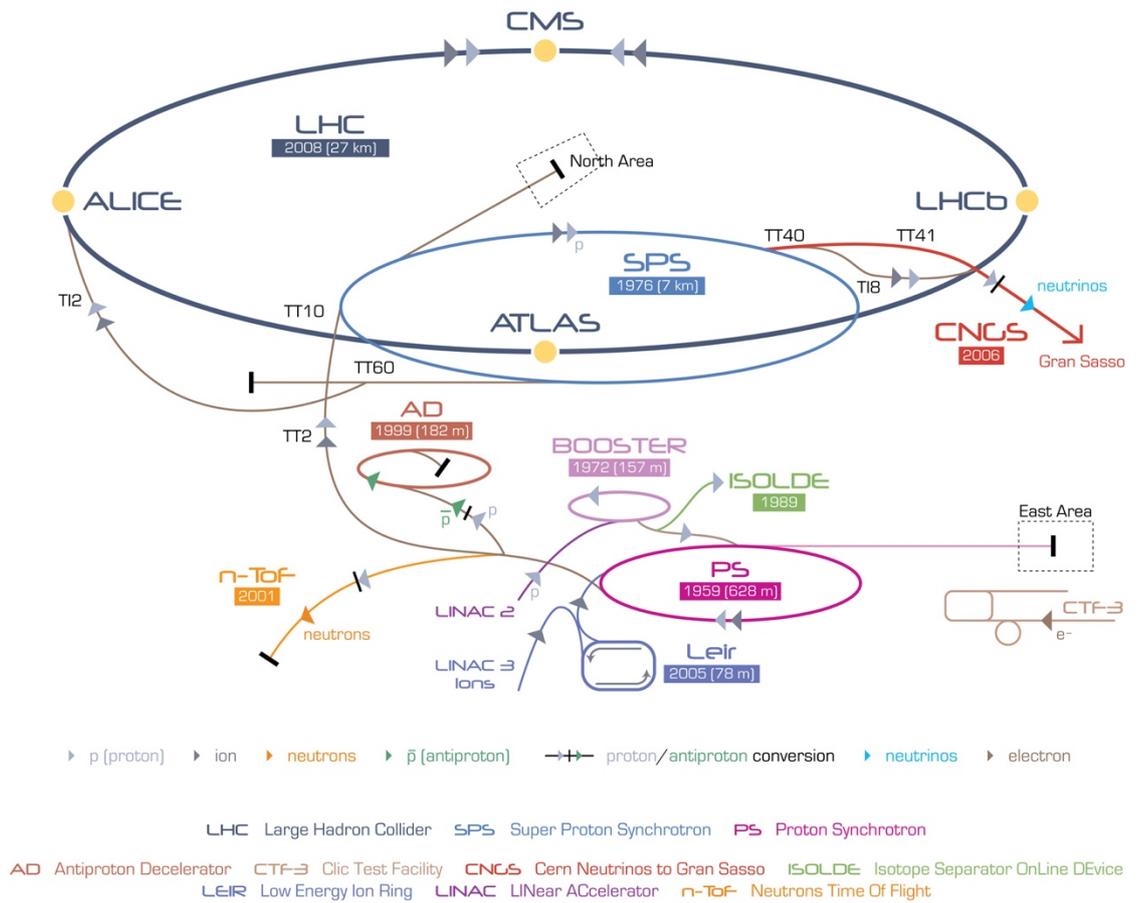


Figure 1.1 – The LHC Accelerator Complex

1.2 The LHCb detector

The production of $b\bar{b}$ couples has a large cross-section (see Figure 1.3) and its angular distribution is peaked in the forward and backward region as shown in Figure 1.2. These characteristics suggest the design for the experiment as a spectrometer in the forward region; indeed, LHCb's acceptance has an angular coverage from 15 mrad to 250 mrad vertically and 300 mrad horizontally, corresponding to the pseudo-rapidity region $1.6 < \eta < 4.9$.

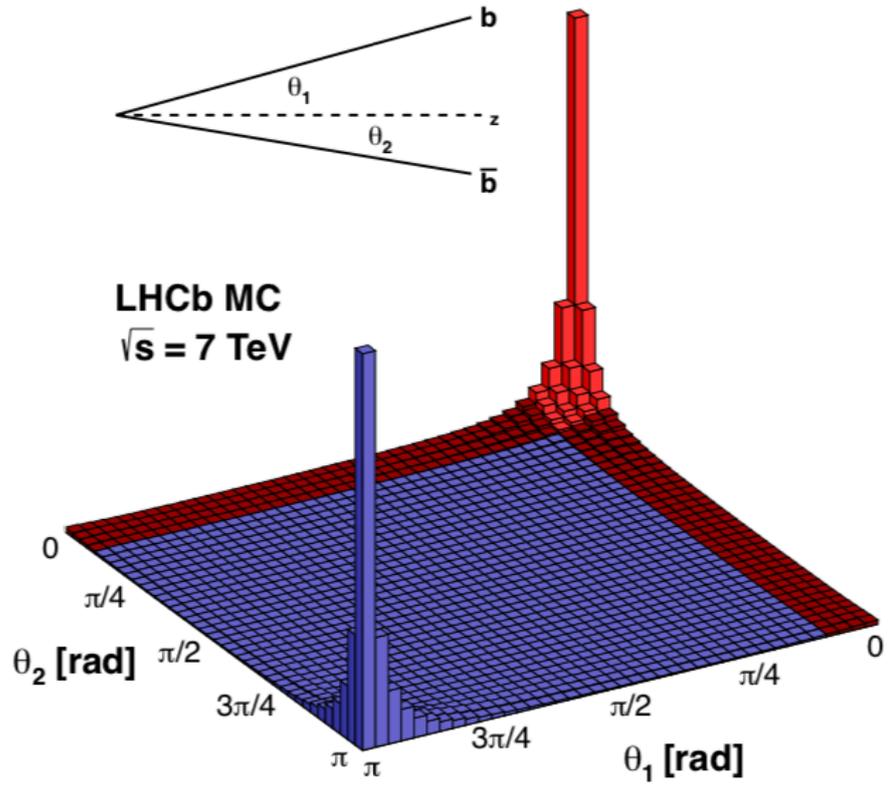


Figure 1.2 – Angular distribution of $b\bar{b}$ couples produced in pp -collisions at LHC at $\sqrt{S} = 7$ TeV. θ_b and $\theta_{\bar{b}}$ are the angles of the quarks momentum with respect to the beam axis

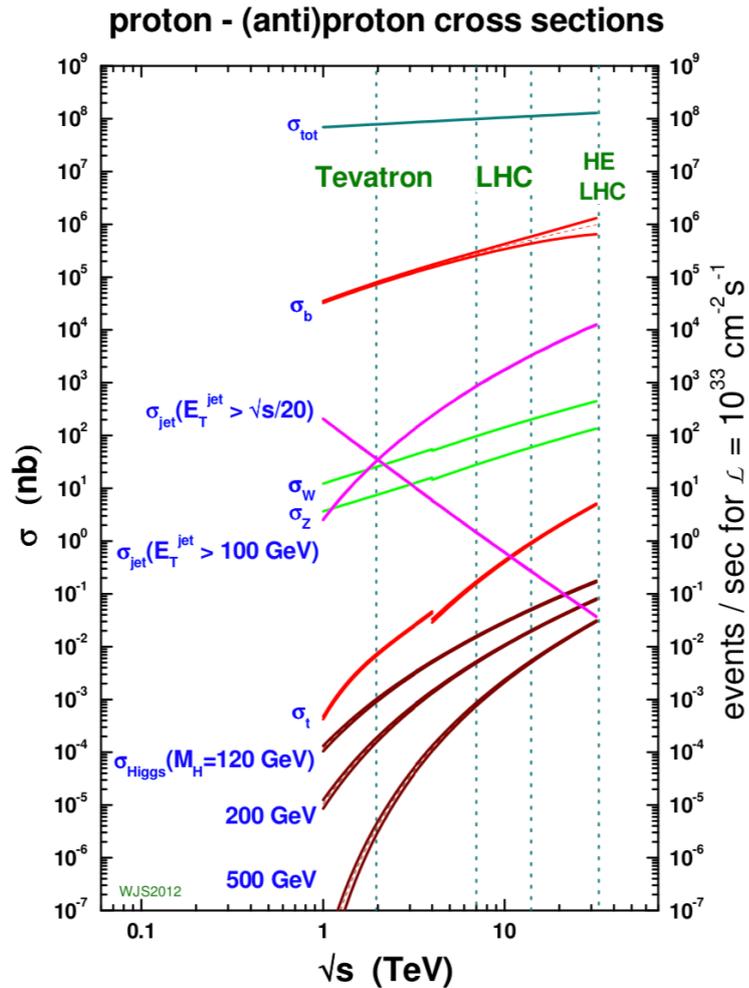


Figure 1.3 – Standard model cross sections as a function of collider energy.

These cross sections are calculated either at NLO or NNLO pQCD, using MSTW2008 (NLO or NNLO) parton distributions, with the exception of the total hadronic cross section which is based on a parametrisation of the Particle Data Group. The discontinuity in some of the cross sections at 4 TeV is due to the switch from proton-antiproton to proton-proton collisions at that energy

LHCb (see Figure 1.4) does not run at the maximum LHC design luminosity: it works instead at the reduced luminosity of $2 \div 5 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. This is achieved acting on the focusing and on the beam crossing area.

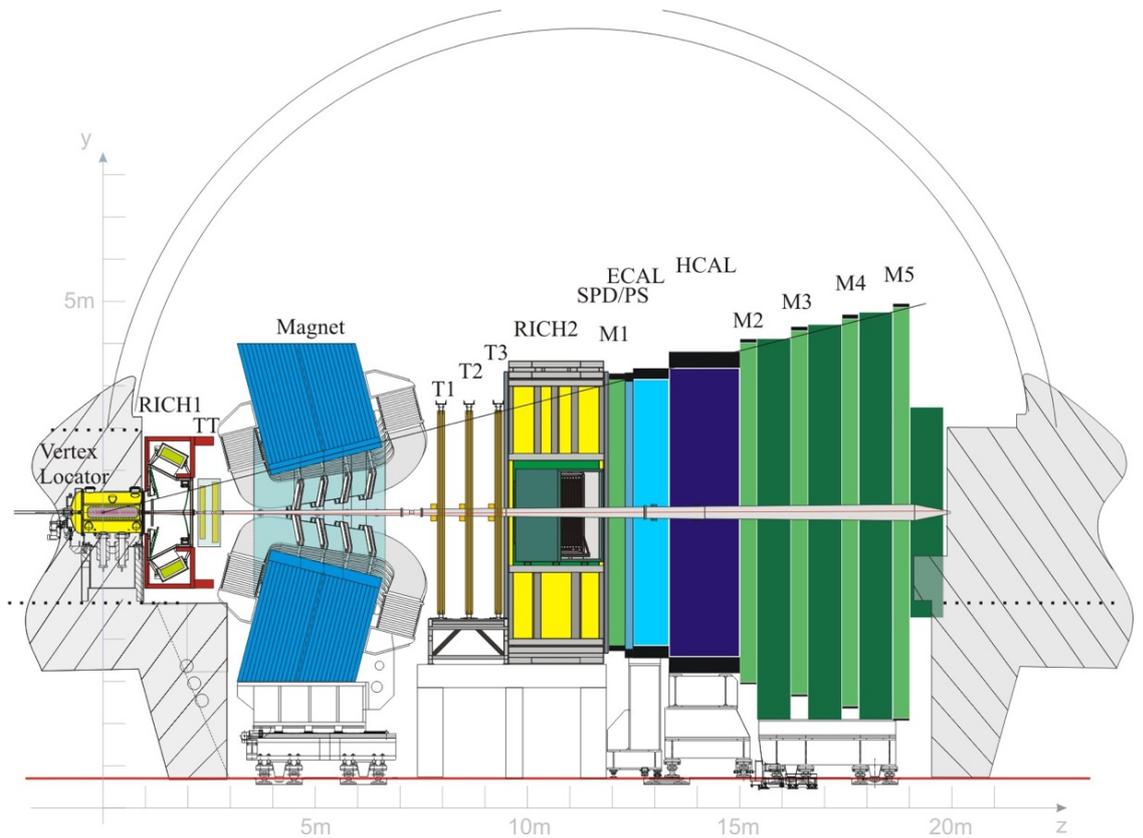


Figure 1.4 – View of the LHCb with its sub-detectors

This choice is due to the crucial need for a precise vertex resolution. Indeed, the reconstruction of the point where the pp -collision took place, the *primary vertex*, and of the point where the produced particle decayed, the *secondary vertex* or *decay vertex*, is used to separate b decay products from particles produced directly at the pp -collision point and to reduce large prompt background. The possibility of detecting a B decay vertex would be negatively affected by the presence of multiple pp -interactions in the same bunch crossing (*in-time pile-up*). At the LHC design luminosity, on average 25 pp -collisions happen during each bunch crossing, on the contrary, at the LHCb reduced luminosity, collisions are dominated by a single or a few interactions; furthermore, the occupancy in the detector remains low and radiation damage is reduced.

1.2.1 Tracking detectors

The tracking system, for the above mentioned reasons is a crucial part of LHCb. It consists of a dipole magnet, a vertex locator system (VELO) and four planar tracking stations: The Tracker Turicensis (TT) upstream of the dipole magnet and three tracking stations T1, T2 and T3 downstream of the magnet, covering the entire spectrometer acceptance. VELO and TT use silicon microstrip detectors. In T1-T3, silicon microstrips are used in the region close to the beam pipe (Inner Tracker, IT) whereas straw-tubes are employed in the outer region of the stations (Outer Tracker, OT).

1.2.1.1 The magnet

A dipole magnet is used in LHCb to bend the tracks of charged particles, in order to measure their momentum.

It is a warm magnet, with saddle-shaped coils, placed mirror-symmetrically to each other in a window-frame yoke with sloping poles in order to match the required detector acceptance. The choice of this kind of magnet arises out of the need of balancing costs and performance [9].

With an integrated magnetic field of 4 Tm for tracks of 10 m length (i.e. tracks passing through the entire tracking system), it is possible for tracking detectors to perform momentum measurements for charged particles with a precision of about 0.4% for low momenta and 0.6% up to 200 GeV/c.

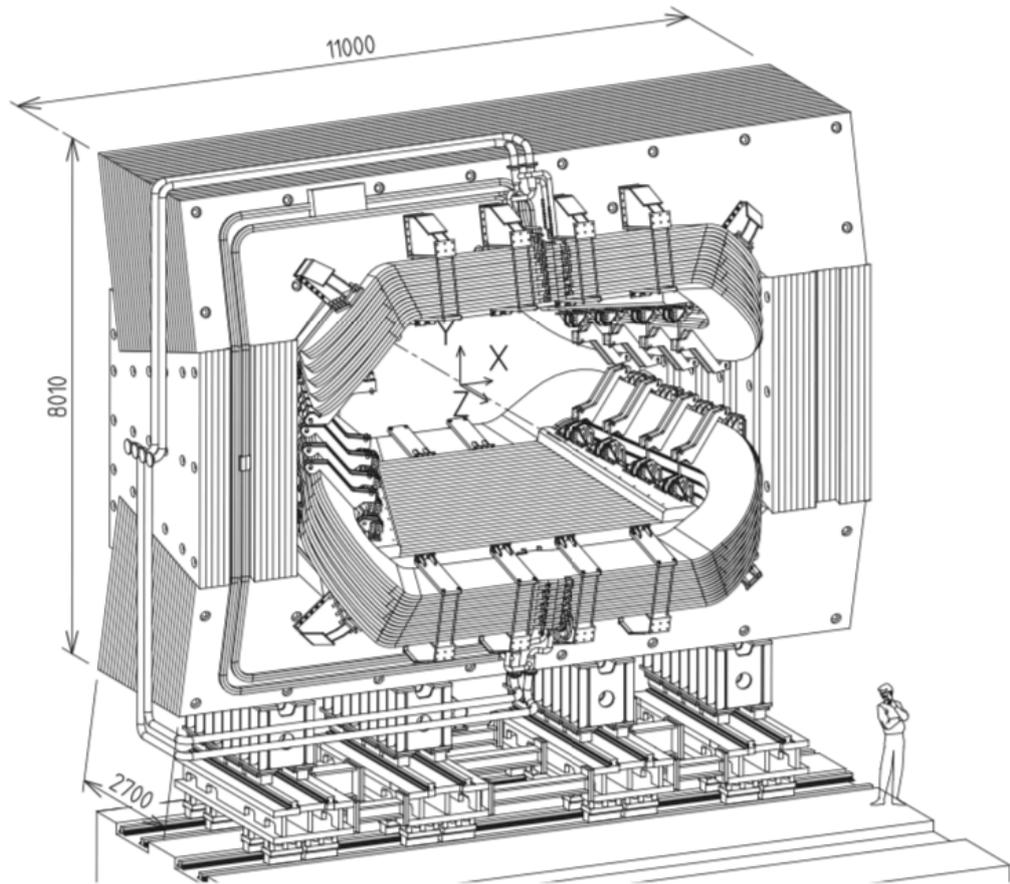


Figure 1.5 – Perspective view of the LHCb dipole magnet. The interaction point lies behind the magnet

1.2.1.2 The Vertex Locator

To the purpose of identifying the displaced secondary vertices, the Vertex Locator (VELO) [10] provides precise measurements of track coordinates close to the interaction region [11]; it consists of a series of circular silicon modules arranged along the beam direction as shown in Figure 1.6.

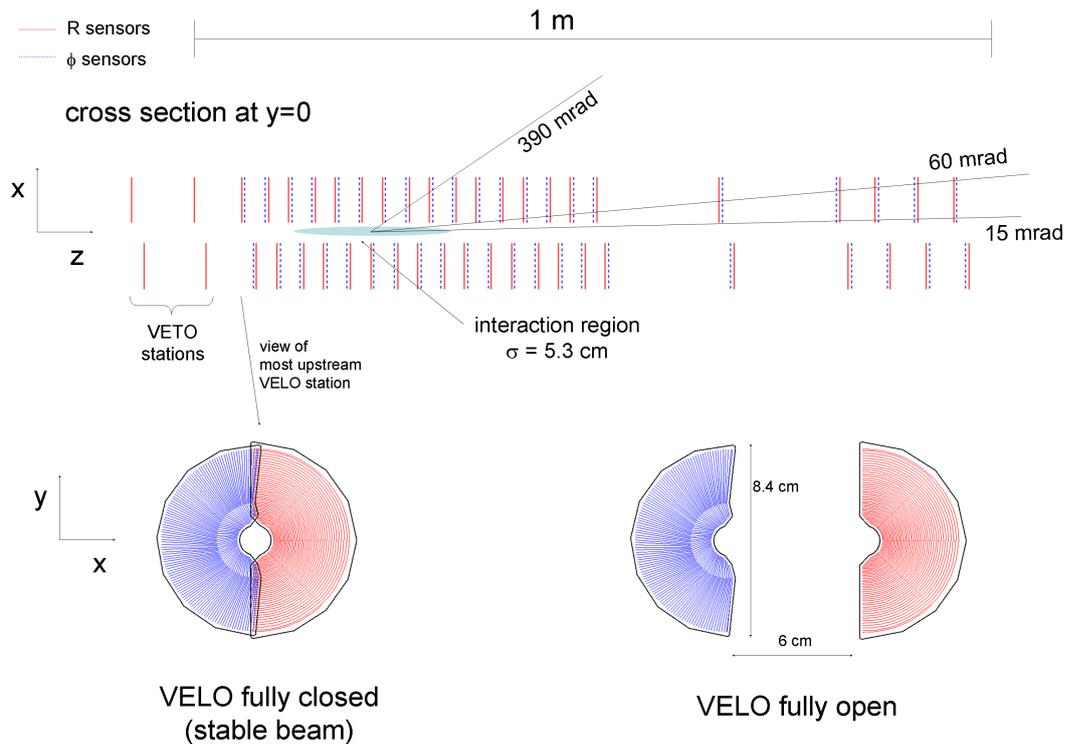


Figure 1.6 – The setup of the VELO silicon modules along the beam direction. The indicated angles are: crossing angle for minimum bias events (60 mrad), minimal (15 mrad) and maximal (390 mrad) angle for which at least 3 VELO stations are crossed. 390 mrad is the opening angle of a circle that encloses a rectangular opening angle of 250×300 mrad. The front face of the first modules is also illustrated in both the closed and open positions

Each module is composed of two parts, providing respectively a measure of the r and ϕ coordinates. R sensors are segmented in concentric semi-circles, thanks to which it is possible to measure the distance from the z axis, while the ϕ sensors are segmented radially, for measuring the azimuthal angle. The third coordinate is provided by knowledge of the position of each sensor plane within the experiment.

Besides covering the entire forward acceptance of LHCb, the VELO does also partially cover the back hemisphere, in order to improve the identification of the primary vertex, while the first two R modules on the left form the pile-up veto system. To provide accurate measurements of the position of the vertices, the sensors are placed at a radial distance of about 8 mm from the beam axis, smaller than the

aperture required by the LHC during injection and are therefore retractable. When closed, they slightly overlap; this is necessary for covering the full azimuthal acceptance and allows the reciprocal alignment.

The detectors are mounted in a vessel that maintains vacuum around the sensors, separated from the machine vacuum. It allows them to minimize the material traversed by travelling particles. In order to evacuate the heat generated in the sensor electronics (in vacuum) and to minimize radiation-induced effects, the VELO is maintained at a temperature between -10 and 0°C .

The sensors ($300\ \mu\text{m}$ thick) are resistant to radiation and built using n-implants in n-bulk technology. To reduce the strip occupancy and pitch at the outer edge of the φ -sensors, the latter is divided in two parts: the outer region starts at a radius of $17.25\ \text{mm}$ and has approximately twice the number of strips as the inner region.

The errors on the primary vertex position measurement arise mainly from the number of tracks produced in a pp -collision. For an average event, the resolution in the z -direction is $42\ \mu\text{m}$ and $10\ \mu\text{m}$ perpendicular to the beam.

1.2.1.3 The Silicon Tracker

The Silicon Tracker (ST) [12] comprises two detectors: The Tracker Turicensis (TT) and The Inner Tracker (IT). Both TT and IT use silicon microstrip sensors with a strip pitch of about $200\ \mu\text{m}$.

Tracker Turicensis Formerly known as the Trigger Tracker, the TT is a $150\ \text{cm}$ wide and $130\ \text{cm}$ high planar tracking station located upstream of the LHCb dipole magnet, covering the full acceptance of the experiment. It offers information for the HLT trigger and is used for track reconstruction.

Particles in the TT are bent by a magnetic field of about $0.15\ \text{T}$; that will allow improving the momentum estimation for the charged particles and provides tracking information for long-lived neutral particles which may decay outside the VELO.

The TT is composed of four layers covering the entire acceptance of the experiment, arranged in two pairs in an x - u - v - x configuration. The layout of the detector layers is illustrated in Figure 1.7

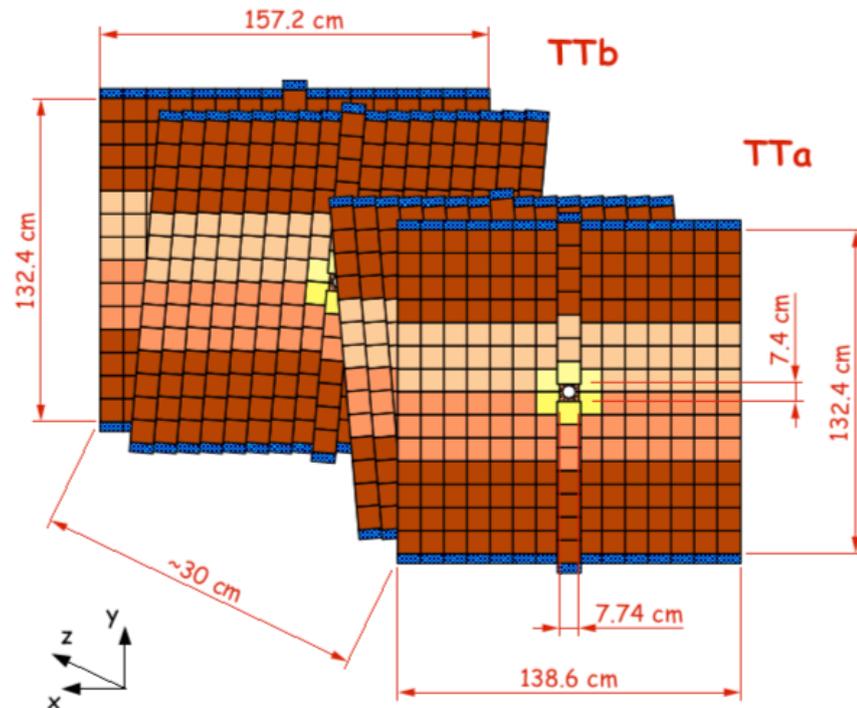


Figure 1.7 – Layout of TT layers

The u and v layers are rotated around the z -axis to give the strips a stereo angle of $\pm 5^\circ$ respectively. This arrangement provides sensitivity in the vertical (y) direction of the particle trajectories and helps improve track reconstructions.

Inner Tracker The Inner Tracker (IT) is a 120 cm wide and 40 cm high silicon microstrip detector installed in the center of the tracking stations, close to the beam pipe. It performs accurate momentum estimates of the particles downstream of the magnet. The choice of silicon microstrip technology is due to the need of a fine detector granularity, necessary for managing the high track density in the region around the beam pipe. The IT is composed of 3 stations (T1, T2, T3), for each of which there are four detection layers in a similar x - u - v - x arrangement as for the TT. In order to obtain precise measurements in the bending (horizontal) plane and a sufficient resolution for tracks reconstruction in the vertical plane, a single $320 \mu\text{m}$

thick sensor is installed above and below the beam pipe, while double sensors of $410\ \mu\text{m}$ are positioned along the sides of the beam pipe.

Figure 1.8 shows the layout of one of the IT layers.

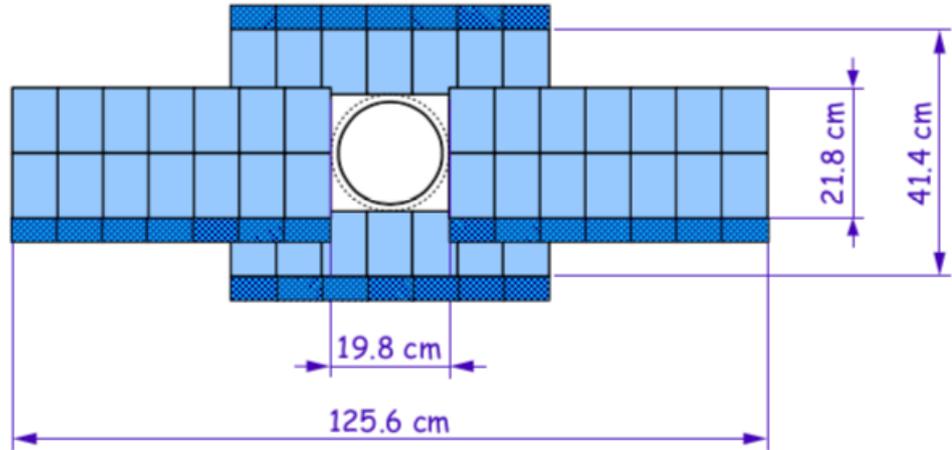


Figure 1.8 – Layout of IT layers

1.2.1.4 The Outer Tracker

The Outer Tracker [13] covers the outer region of the three tracking stations T1-T3, surrounding the Inner Tracker; it performs track measurements downstream of the magnet, allowing to determine the momenta of charged particles.

Since the particle flux in this region is lower than in the IT, straw-tube detector technology is employed here. The Outer Tracker is indeed designed as an array of individual, gas-tight straw-tube modules, each containing two drift tubes. A combination of Argon (70%) and CO_2 (30%) is used. The front-end (FE) electronics measures the drift time of the ionization clusters produced by charged particles transversing the straw tubes and ionizing the gas.

The layout of the Outer Tracker is similar to that of the Inner Tracker and the Tracker Turicensis, arranged within the three tracking stations and consisting of four layers in the x - u - v - x arrangement, as shown in Figure 1.9. The external edge of the OT corresponds to an acceptance of 300 mrad horizontally and 250 mrad vertically.

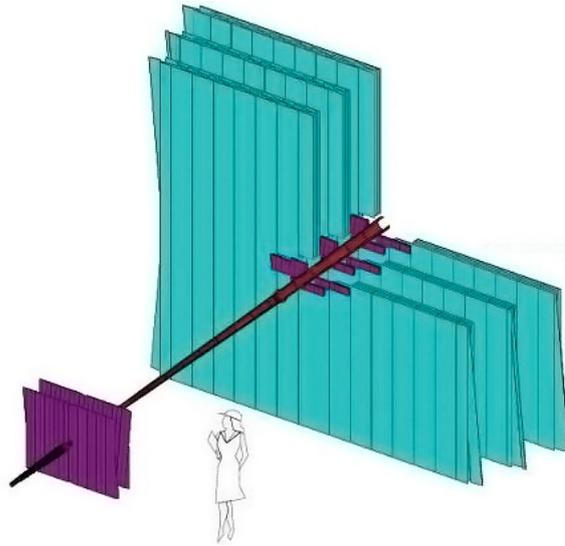


Figure 1.9 – Configuration of the stations of the OT surrounding the IT (in purple)

1.2.2 Particle identification

Different types of charged particles (e , μ , π , K , p) travel through the detector, and must be distinguished [14]. The information collected from the two RICH detectors, the calorimeters and the muon system collectively help to identify these particles.

Neutral particles such as photons and neutral pions, on the other hand, are identified using the electromagnetic calorimeter, where the $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ can be detected as either two separate electromagnetic clusters (*resolved* π^0) or as a single one, resulting from the overlapping of the two clusters (*merged* π^0).

1.2.2.1 The RICH system

As in most particle physics experiments, K - π discrimination is a crucial task in LHCb. This task is performed by two **R**ing **I**maging **C**herenkov (RICH) detectors [15].

The upstream detector, RICH1, covers the low momentum charged particle range (~ 1 – 60 GeV/c) using aerogel and C_4F_{10} radiators, while the downstream detector, RICH2, covers the high momentum range from ~ 15 GeV/c up to and beyond 100 GeV/c using a CF_4 radiator.

The procedure used for discrimination is as follows: the opening angle of the Cherenkov radiation cone allows to calculate the speed v of the particle as [16]

$$\cos \theta_c = \frac{1}{n\beta}, \quad (1.1)$$

where $\beta = v/c$, c being the speed of light in vacuum, and n is the refractive index of the medium.

Knowing the particle's momentum (from the tracking detectors) and its speed, it is then possible to determine its mass and use it to identify the particle. The relationship between θ_c and the momentum for different particles is shown in Figure 1.10. RICH1 is situated between the VELO and the TT system, before the magnet and covers the full LHCb acceptance, while RICH2 is located between the T3 station and the first muon station and has a more limited angular acceptance of ± 15 mrad to ± 120 mrad (horizontally) and ± 100 mrad (vertically). Their layout is shown in Figure 1.11.

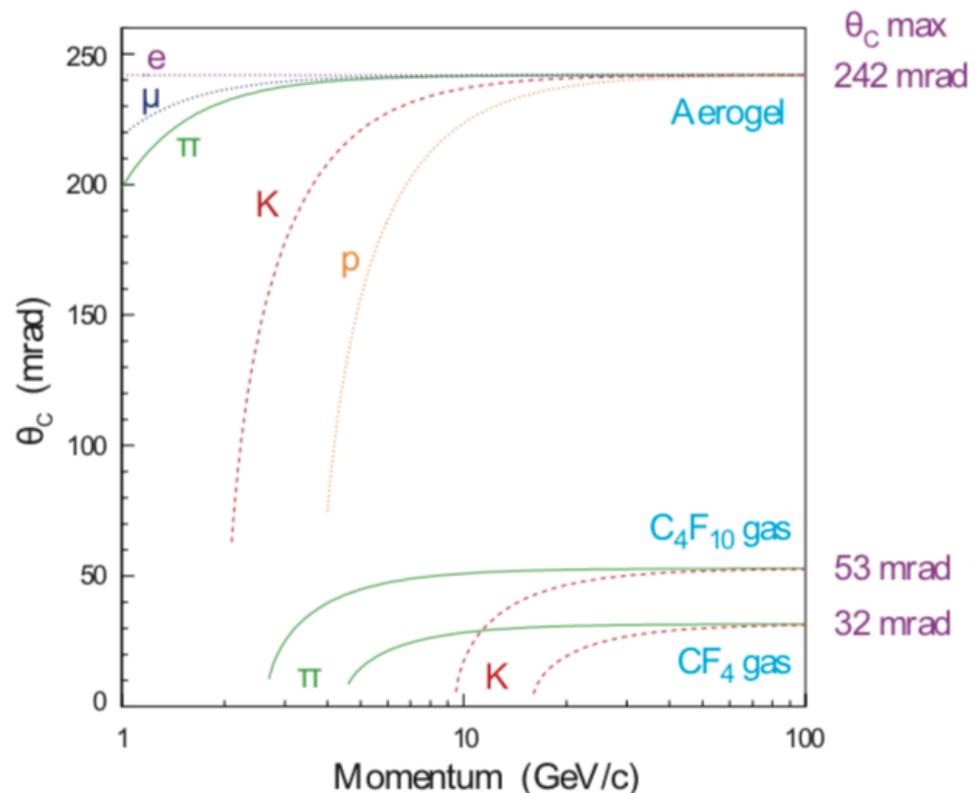


Figure 1.10 – Relationship between θ_c and the momentum for different particles for the three media in the RICH



Figure 1.11 – RICH1 (left) and RICH2 (right) detectors layout

1.2.2.2 The calorimeter system

Located between the muon stations M1 and M2, the Electromagnetic Calorimeter (ECAL) and the Hadronic Calorimeter (HCAL) perform several functions. They select transverse energy hadron, electron and photon candidates for the first trigger level (L0), which responds $4\mu s$ after the interaction. Furthermore, they provide the identification of electrons, photons and hadrons as well as the measurement of their energies and positions. Reconstructing π^0 s and prompt photons with good accuracy is essential for flavour tagging and for the study of B -meson decays.

Part of the calorimeter system [17, 18] are also a Preshower detector (PS) and a Scintillator Pad Detector (SPD) plane, placed before the ECAL and separated from each other by a 15 mm thick lead layer. They are mainly used for correctly identifying the electrons: the presence of the PS before the ECAL provides a longitudinal segmentation, necessary for discriminating charged pions, while the SPD allows them to reject the background from high- E_T neutral pions.

The incident particles interact with the lead (in ECAL) or iron (in HCAL), creating a cascade of secondary particles. These particles hit the scintillators, which

emit photons that are collected by photomultiplier tubes. The amount of light collected is proportional to the energy of the original incident particle.

Figure 1.12 shows the lateral segmentation for the different parts of the calorimeter system. The hit density varies with the distance from the bin, and thus the segmentation is not uniform.

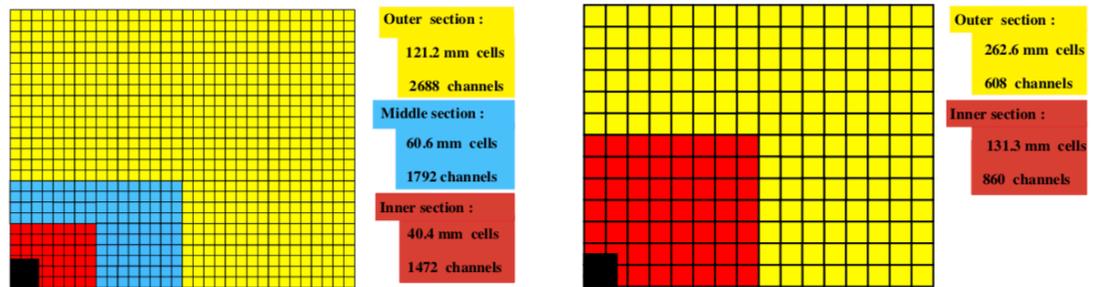


Figure 1.12 – Lateral segmentation of the SPD/PS and ECAL (left) and of the HCAL (right). One quarter of the detector front face is shown. The cells dimensions in the left picture are given for ECAL and reduce by $\sim 1.5\%$ for SPD/PS

1.2.2.3 The muon system

The muon system of the LHCb experiment [19] consists of five rectangular tracking stations placed along the beam axis. The first station (M1) is placed upstream of the calorimeter preshower, while the remaining four stations (M2, M3, M4 and M5) are located downstream of the calorimeter, interleaved with iron absorbers to select penetrating muons. Figure 1.13 shows a side view of the system.

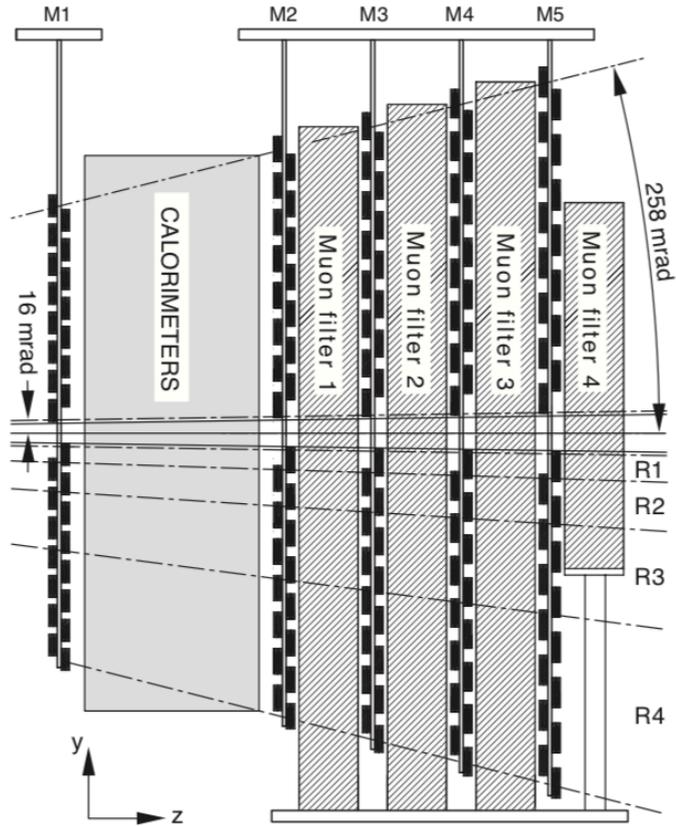


Figure 1.13 – Side view of the muon system

The inner and outer angular acceptances of the muon system are 20 (16) mrad and 306 (258) mrad in the bending (non-bending) plane respectively. This results in an acceptance of about 20% for muons from inclusive b semileptonic decays.

Stations M1–M3 have a high spatial resolution along the x coordinate (bending plane). They are used to define the track direction and to calculate the p_T of the candidate muon, while stations M4 and M5 have a limited spatial resolution, their main purpose being the identification of penetrating particles.

Each station is subdivided in four regions with dimensions and segmentation scaling as 1:2:4:8, so that the particle flux and channel occupancy are roughly the same.

In the muon stations multi wire proportional chambers are used, operating with a gas mixture of Ar (45%), CO₂ (15%) and CF₄ (40%), with the exception of the inner part of the most upstream station where GEM (Gas Electron Multiplier) chambers are installed.

1.2.3 Data treatment

The LHCb trigger system [20] is subdivided in a low level pure hardware part and a high level software part.

The events surviving to the triggering are submitted to a preliminary reconstruction that classifies the events, through a flag assignment, according to their specific characteristics as, for example, the presence of a couple of muons forming the J/ψ , or being compatible with specific b or c quark decays of interest. This procedure is called *stripping*.

The numerous LHCb computing tools used for offline analysis and simulation are described in details in [21].

1.2.3.1 The trigger

Due to the LHC bunch structure and low luminosity, the crossing frequency with interactions visible by the spectrometer is about 10 MHz, which has to be reduced by the trigger to about 2 kHz for being written to storage for further offline analysis. An interaction is defined to be visible if it produces at least two charged particles with sufficient hits in the VELO and T1–T3 to allow them to be reconstructible. The LHCb trigger is divided in two different levels (see Figure 1.14):

- the first level, called Level-0 (L0), is a hardware trigger, implemented using custom made electronics synchronously operating with the 40 MHz bunch crossing frequency, to reduce the input rate to a maximum of ~ 1 MHz. At this rate, the whole detector can be read out.

The L0 trigger receives information from three subsystems: the calorimeter trigger, the muon trigger and the pile-up trigger and it identifies the highest ET hadron, electron and photon clusters in the calorimeters and the two highest p_T muons in the muon chambers;

- the High Level Trigger (HLT) is a C++ application running on an Event Filter Farm composed of several thousands CPU nodes [22]. It receives the L0 output and reduces the rate to a maximum of about 3 kHz, sending its output directly to storage. The HLT is subdivided in two stages, HLT1 and HLT2.

HLT1 performs the so-called *Level-0 confirmation*. Namely, it reconstructs particles in the VELO and T-stations corresponding to the L0 objects, or in the case of γ and π^0 candidates, it checks the absence of a charged particle which could be associated to these objects. At the HLT2 level, events are reconstructed and selected by a set of inclusive and exclusive algorithms.

At this stage, selection cuts are relaxed compared to the offline analysis. This is done in order to be able to perform later sensitivity studies and to profit from refinements due to improvements in the calibration. A large fraction of the output bandwidth is devoted to calibration and monitoring.

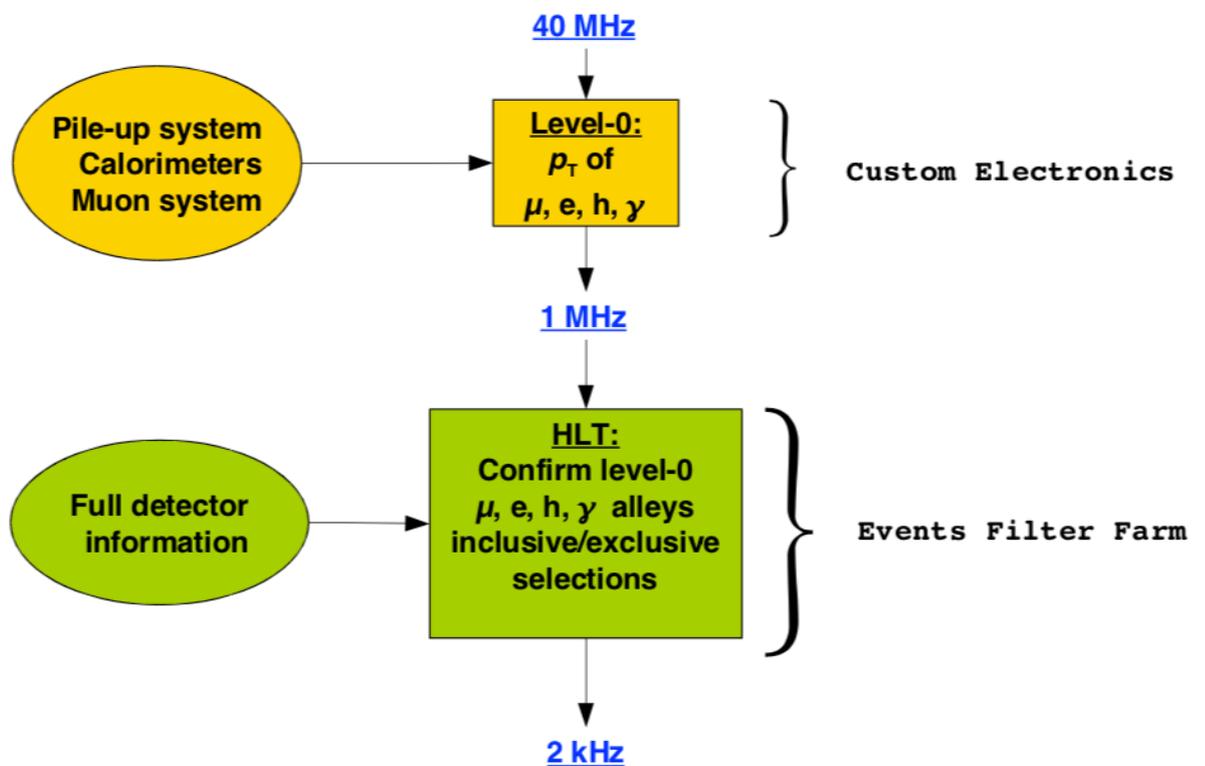


Figure 1.14 – A sketch of the trigger system

In order to monitor efficiencies and systematic uncertainties both trigger levels can be emulated fully on stored data.

1.2.3.2 Track reconstruction

The hits in the VELO, the TT, the IT and the OT detectors are combined by the track reconstruction software to form particle trajectories from the VELO to the

calorimeters. The reconstruction algorithm aims at finding all tracks in the event which leave sufficient detector hits.

Depending on their trajectories inside the spectrometer, the tracks are classified in the following categories, as illustrated in Figure 2.15:

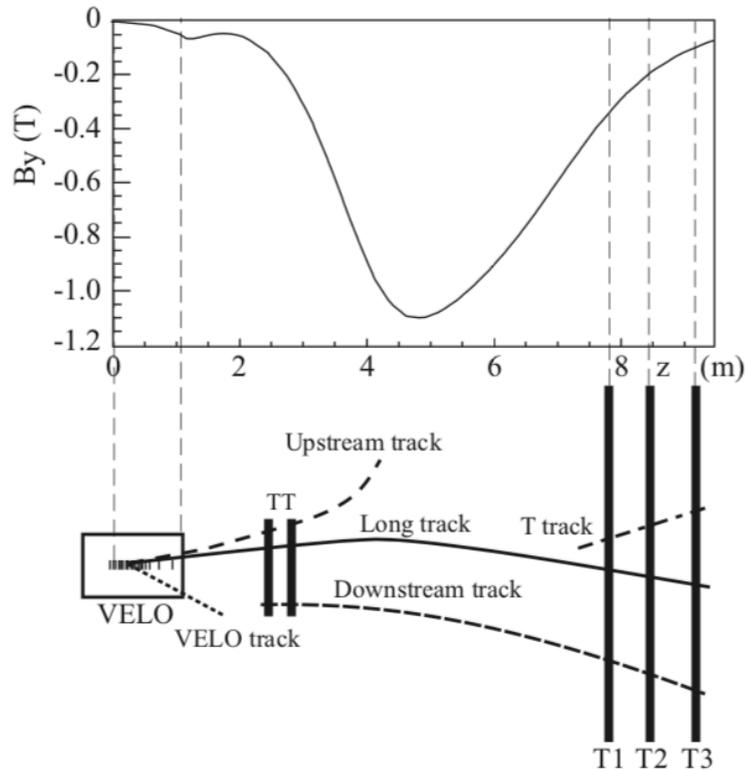


Figure 1.15 – A schematic illustration of the various track types: long, upstream, downstream, VELO and T tracks. The main B-field component (B_y) is plotted above as a function of the z coordinate

- **long tracks:** these are the tracks that go through the entire tracking set-up from the VELO to the T stations. These are the most important set of tracks for b -hadron decay reconstruction, having the most precise momentum determination;
- **upstream tracks:** these tracks traverse only the VELO and the TT stations. Upstream tracks have in general lower momentum and are bent out of the detector acceptance by the magnetic field;
- **downstream tracks:** transversing only the TT and T stations, these tracks are not seen in the VELO. They are mostly originated from products of K_S^0 and Λ decaying outside the VELO acceptance;

- **VELO tracks:** as against to the latter, these tracks are only seen in the VELO. They are typically large angle or backward tracks, useful for the primary vertex reconstruction;
- **T tracks:** only measured in the T stations, these tracks are typically produced in secondary interactions, but are useful for the global pattern recognition in RICH2.

Further information on track reconstruction can be find in [3] and [23].

1.2.3.3 Monte Carlo simulation

A key ingredient of data analysis in particle physics is the study of data simulated with the Monte Carlo (MC) method.

It will allow improving the knowledge of what one should expect from an experiment. In particular it is often used for studying the background of a given signal, for calculating properties of the selection chain such as efficiency and purity and for *training* some software tools that are later used on data.

In LHCb, MC simulations are generated by the application Gauss [24], which consists of a collection of libraries for physics simulation based on the Gaudi framework [25]. It generates the physical process of interest through the PYTHIA [26] generator package, that simulates the physics inherent the pp -interaction and the hadronization process. PYTHIA has been specifically tuned to reproduce the correct track multiplicities in the LHCb acceptance. The physics of b decays is handled by a specific package, called EvtGen, originally developed for the experiments BaBar and Cleo. EvtGen is able to simulate many different types of decays [27].

The detector response is simulated in a second stage with the GEANT4 [28] package, taking into account a very precise description of the detector geometry and the detail of the physic processes behind the operation of each subdetector.

Bibliography

1. LHCb collaboration, A Large Hadron Collider beauty experiment, Technical Proposal, CERN-LHCC-98-004.
2. Roel Aaij et al., LHCb Detector Performance, International Journal of Modern Physics A30, p. 1530022, 2015.
3. LHCb Collaboration. The LHCb Detector at the LHC, Journal of Instrumentation, vol. 3:S08005, 2008.
4. G. Aad et al., Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC, Physical Review Letters, vol. B716-1, 2012.
5. S. Chatrchyan et al., Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC, Physical Review Letters, vol. B716-30, 2012.
6. ALICE: Technical proposal for a Large Ion collider Experiment at the CERN LHC. LHC Technical Proposal, Geneva: CERN, 1995.
7. O. Adriani et al., LHCf experiment: Technical Design Report, Technical Design Report LHCf, Geneva: CERN, 2006.
8. G. Ruggiero et al., The totem detector at LHC, p. 5, 2010.
9. LHCb Collaboration, LHCb magnet: Technical Design Report, 2000.
10. LHCb Collaboration, LHCb VELO (Vertex Locator): Technical Design Report, 2001.
11. H. Albrecht et al., Reconstruction of B Mesons, Physical Review Letters, B185, 218, 1987.
12. LHCb Collaboration, LHCb inner tracker: Technical Design Report, 2002.
13. LHCb Collaboration, LHCb outer tracker: Technical Design Report, 2001.
14. A.Powell et al, Particle identification at LHCb, *PoS*, vol. ICHEP2010, p. 20, 2010.
15. LHCb Collaboration, LHCb RICH: Technical Design Report, 2000.

16. L. D. Landau, E. M. Lifshitz, and L. P. Pitaevskii, *Electrodynamics of Continuous Media*, Pergamon Press, New York, 2nd ed. edition, 1984.
17. S. Amato et al, *LHCb calorimeters: Technical Design Report*, Technical Design Report LHCb, Geneva: CERN, 2000
18. S. N. Filippov, Y. K. Gavrilov, E. Guschin, V. Klubov, L. Kravehuk, S. V. Laptev, V. E. Postoev, and A. Sadovskii, *Design and construction of the LHCb scintillator pad/preshower detector*, Technical Report, LHCb-2000-042, CERN, Geneva, Oct 2000.
19. LHCb Collaboration, *LHCb muon system: Technical Design Report*, 2001.
20. LHCb Collaboration, *LHCb trigger system: Technical Design Report*, 2003.
21. LHCb Collaboration, *LHCb computing: Technical Design Report*, 2005.
22. LHCb Collaboration, *LHCb online system, data acquisition and experiment control: Technical Design Report*, 2001.
23. M Needham, *Performance of the LHCb Track Reconstruction Software*, Technical Report, CERN-LHCb-2007-144, CERN, Geneva, Jan 2008.
24. Warwick Development Team [Электронный ресурс] // The gauss project – Режим доступа: <http://evtgen.warwick.ac.uk/>.
25. The gaudi project [Электронный ресурс] // GitLab Project Web Portal – Режим доступа: <http://proj-gaudi.web.cern.ch/proj-gaudi/>.
26. Torbjorn Sjostrand, Stephen Mrenna, and Peter Skands, *PYTHIA 6.4 physics and manual*, *Journal of High Energy Physics*, vol. 05 026, 2006.
27. LHCb Collaboration [Электронный ресурс] // The evtgen project – Режим доступа: <http://lhcb-release-area.web.cern.ch/LHCb-release-area/DOC/gauss/>.
28. S. Agostinelli et al, *GEANT4: A Simulation toolkit*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, vol. A506, pp. 250–303, 2003.