

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

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки – 16.04.01 Техническая физика
 Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Изучение адронно-струйных корреляций в О-О и р-О столкновениях

УДК 539.125/.126:539.186

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ01	Чумаков Даниил Камбарбекович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Д.В.	к.т.н.		

Руководитель практической части ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель группы эксперимента ALICE в ИЯФ АН ЧР	Филип Крижек	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

Консультант – лингвист НОЦ Б.П. Вейнберга ИЯТШ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст.преп. ОИЯ	Кабрышева О.П.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Д.В.	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способность организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способность анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способность определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы её совершенствования на основе самооценки
ОПК(У)-1	Способность к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов, предназначенных для использования в области технической физики
ОПК(У)-2	Способность демонстрировать и использовать углублённые теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе из области технической физики
ОПК(У)-3	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-4	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности в области технической физики
ОПК(У)-5	Способность осуществлять научный поиск и разработку новых перспективных подходов и методов к решению профессиональных задач, готовность к профессиональному росту, к активному участию в научной деятельности, конференциях, выставках и презентациях
ПК(У)-1	Способность критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-2	Способность самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств
ПК(У)-3	Готовность осваивать и применять современные физико-математические методы для решения профессиональных задач в области технической физики, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов
ПК(У)-4	Способность представлять результаты исследования в формах отчётов, рефератов, публикаций и презентаций
ПК(У)-5	Готовность принимать непосредственное участие в учебной и учебно-методической работе по направлению «Техническая физика», участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов
ПК(У)-6	Способность проводить учебные занятия, лабораторные работы, обеспечивать практическую и научно-исследовательскую работу обучающихся
ПК(У)-7	Способность применять и разрабатывать новые образовательные технологии
ПК(У)-8	Способность разрабатывать и оптимизировать современные наукоемкие технологии в областях технической физики, связанных с применением пучковых и плазменных технологий, с учетом экономических и экологических требований
ПК(У)-9	Способность разрабатывать, проводить наладку и испытания, эксплуатировать наукоемкое технологическое и аналитическое оборудование
ПК(У)-10	Готовность решать прикладные инженерно-технические и технико-экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ

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

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки – 16.04.01 Техническая физика
 Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Сиделёв Д.В.
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ01	Чумакову Даниилу Камбарбековичу

Тема работы:

Изучение адронно-струйных корреляций в О-О и р-О столкновениях	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №47-1/с от 16.02.2022 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2022 г.
--	---------------

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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Смоделированные в генераторе PYTHIA8 события pp-столкновений с энергией в с.ц.м 5.02 ТэВ; 2. Библиотека функций FastJet для реконструкции струй; 3. СПО CERN ROOT для обработки данных; 4. События, зарегистрированные детектором ALICE, полученные из pp-столкновений с энергией в с.ц.м 5.02 ТэВ; 5. Программный код RooUnfold.
---	--

<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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор литературных источников с целью исследования глобальных научных и технологических достижений в области исследования; 2. Формулирование цели исследования; 3. Описание объекта исследования; 4. Разработка программного кода для моделирования событий pp-столкновения; 5. Разработка программного кода для обработки результатов; 6. Разработка программного кода для деконволюции спектров; 7. Обсуждение полученных результатов; 8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 9. Социальная ответственность; 10. Заключение.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введение; 2. Актуальность исследования; 3. Цели и задачи исследования; 4. Положения, выносимые на защиту; 5. Метод адрон-струйных корреляций; 6. Измерение эффекта гашения струй; 7. Определение точности изменения энергетического смещения в p-O столкновениях; 8. Определение точности изменения энергетического смещения в O-O столкновениях; 9. Деконволюция спектров; 10. Вводные данные; 11. Результаты проверки на соответствие алгоритма деконволюции; 12. Вводные экспериментальные данные; 13. Результаты деконволюции экспериментального спектра; 14. Оценка систематической погрешности; 15. Обсуждение результатов; 16. Заключение.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Практический раздел	Филип Крижек
Разделы на английском языке	Кабрышева О.П.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т.Б.
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М.
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Физика столкновений ультррелятивистских тяжелых ионов (на английском языке)</p>	
<p>Экспериментальная установка (на английском языке)</p>	

Моделирование и анализ p_T спектров инклюзивных заряженных струй, полученных при моделировании (на английском языке)
Анализ p_T спектров инклюзивных заряженных струй, возникших в ходе pp-столкновений (на английском языке)
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение (на русском языке)
Социальная ответственность (на русском языке)

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	07.02.2022 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Д.В.	к.т.н.		07.02.22 г.
Руководитель группы эксперимента ALICE в ИЯФ АН ЧР	Филип Крижек	д.ф.-м.н.		07.02.22 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ01	Чумаков Д.К.		07.02.22 г.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ01	Чумакову Даниилу Камбарбековичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Б.П. Вейнберга
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	16.04.01 Техническая физика/ Пучковые и плазменные технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НТИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы амортизационных отчислений на специальное оборудование Премияльный коэффициент 30% Районный коэффициент 30% Коэффициент доплат и надбавок 20%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений	Отчисления во внебюджетные фонды 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Анализ и оценка конкурентоспособности НТИ; SWOT-анализ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	1. Цели и результат проекта. 2. Организационная структура проекта. 3. Ограничения и допущения проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Формирование плана и графика разработки. Формирование бюджета затрат на научное исследование
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	1. Определение интегрального финансового показателя разработки; 2. Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3. Определение интегрального показателя эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НТИ
5. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.02.2022
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		22.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ01	Чумаков Даниил Камбарбекович		22.02.2022

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ01	Чумакову Даниилу Камбарбековичу

ШКОЛА	иятш	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Б.П. Вейнберга
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	16.04.01 Техническая физика/ Пучковые и плазменные технологии

Тема выпускной квалификационной работы: «Изучение адронно-струйных корреляций в О-О и р-О столкновениях»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Математическая модель столкновения высокоэнергетических частиц, разработанная на ПЭВМ исполнителя. Работы проводились на базе Института ядерной физики Академии наук Чешской Республики, г. Ржеж. Рабочее место представляет собой офисный кабинет со столами для работы за ПЭВМ.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов <ul style="list-style-type: none"> • Природа воздействия • Действие на организм человека • Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) • СИЗ коллективные и индивидуальные 1.2. Анализ выявленных опасных факторов: <ul style="list-style-type: none"> • Термические источники опасности • Электробезопасность • Пожаробезопасности 	1. Вредные факторы: 1.1 Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; 1.2 Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ; 1.3 Недостаточная освещенность; 1.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; 2. Опасные факторы: 2.1 Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R _{заземления} , СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ; 2.2 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> • Выбросы в окружающую среду • Решения по обеспечению экологической безопасности 	Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника) и способы их утилизации;
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Рассмотрены 2 ситуации ЧС:

<ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте);</p> <p>2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.</p>
4. Перечень нормативно-технической документации.	– ГОСТы, СанПиНы, СНиПы

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.02.2022 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		13.05.2022 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ01	Чумаков Даниил Камбарбекович		13.05.2022 г.

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

School of Nuclear Science & Engineering
 Field of training: 16.04.01 Technical Physics
 Weinberg Research Center

MASTER THESIS

Topic of thesis
Study of hadron-jet correlations in O-O and p-O collisions

UDC 539.125/.126:539.186

Student

Group	Full name	Signature	Date
0DM01	Daniil Kambarbekovich Chumakov		

Scientific supervisor

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor at the Weinberg Research Center	Dmitrii V. Sidelev	Candidate of Engineering Sciences		

Practical section supervisor

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
ALICE Group Leader in NPI	Filip Křížek	PhD		

ADVISERS:

Section “Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving”

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor	Tatiana B. Yakimova	Candidate of Economic Sciences		

Section «Social Responsibility»

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Full Professor	Yuriy M. Fedorchuk	PhD		

Linguist adviser of the Weinberg Research Center of ESNT:

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Senior lecturer of DFL	Oksana P. Kabrysheva	-		

ADMITTED TO DEFENSE:

Programme Director	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor at the Weinberg Research Center	Dmitrii V. Sidelev	Candidate of Engineering Sciences		

LEARNING OUTCOMES

Competence code	Competence name
UC(U)-1	Ability to make critical analysis of problem-based situations using the systems analysis approach and generate decisions and action plans.
UC(U)-2	Ability to run a project at all life-cycle stages.
UC(U)-3	Ability to organize and lead the teamwork and generate a team strategy to achieve the target goal.
UC(U)-4	Ability to use modern communication technologies to realize academic and professional interaction
UC(U)-5	Ability to analyze and account for cultural diversity in the process of intercultural interaction.
UC(U)-6	Ability to set and pursue individual and professional activity priorities and ways to modify professional activity based on the self-esteem.
GPC(U)-1	Ability to professionally operate modern scientific and technological equipment and instruments intended for use in the field of Technical Physics.
GPC(U)-2	Ability to demonstrate and use in-depth theoretical and practical knowledge of fundamental and applied sciences, including from the field of Technical Physics.
GPC(U)-3	Willingness to lead a team in the field of their professional activity, tolerantly perceiving social, ethnic, confessional and cultural differences.
GPC(U)-4	Willingness to communicate in oral and written forms in Russian and foreign languages to solve the problems of professional activity in the field of Technical Physics.
GPC(U)-5	Ability to carry out scientific search and development of new promising approaches and methods for solving professional problems, readiness for professional growth, active participation in scientific activities, conferences, exhibitions and presentations.
PC(U)-1	Ability to critically analyze modern problems of technical physics, set tasks and develop a research program, choose adequate methods and methods for solving experimental and theoretical problems, interpret, present and apply the results obtained.
PC(U)-2	Ability to independently perform physical and technical scientific research to optimize the parameters of objects and processes using standard and specially developed tools and software.
PC(U)-3	Willingness to master and apply modern physical and mathematical methods to solve professional problems in the field of Technical Physics, to draw up practical recommendations on the use of the results obtained

Competence code	Competence name
PC(U)-4	Ability to present research results in the form of reports, abstracts, publications, and presentations
PC(U)-5	Willingness to take a direct part in educational and educational-methodical work in the field of Technical Physics, to participate in the development of programs of academic disciplines and courses
PC(U)-6	Ability to conduct training sessions, laboratory work, provide practical and research work for students
PC(U)-7	Ability to apply and develop new educational technologies
PC(U)-8	Ability to develop and optimize modern science-intensive technologies in the fields of Technical Physics associated with the use of beam and plasma technologies, taking into account economic and environmental requirements
PC(U)-9	Ability to develop, carry out adjustment and testing, operate high-tech technological and analytical equipment
PC(U)-10	Willingness to solve applied engineering and technical and economic problems with the help of application software packages

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

School of Nuclear Science & Engineering
 Field of training: 16.04.01 Technical Physics
 Weinberg Research Center

APPROVED BY:
 Program Director
 _____ Sidelev D.V.
 (Signature) (Date)

**ASSIGNMENT
for Graduation Thesis completion**

in the form of:

Master Thesis

To the student:

Group	Full name
ОДМ01	Daniil Kambarbekovich Chumakov

Topic of research work:

Study of hadron-jet correlations in O-O and p-O collisions	
Approved by the order of the Director of School of Nuclear Science & Engineering (date, number):	Order №47-1/c dated February 16, 2022

Deadline for completion of Master's Degree Thesis:	15.06.2022
--	------------

TERMS OF REFERENCE:

<p>Initial data for research work</p> <p><i>(the name of the object of research or design; performance or load; mode of operation (continuous, periodic, cyclic, etc.); type of raw material or material of the product; requirements for the product, product or process; special requirements to the features of the operation of the object or product in terms of operational safety, environmental impact, energy costs; economic analysis, etc.)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Simulated in PYTHIA8 generator pp collision events with center-of-mass energy of 5.02 TeV; 2. FastJet jet reconstruction library; 3. CERN ROOT data processing toolkit; 4. events registered by ALICE detector obtained from pp collisions with center-of-mass energy of 5.02 TeV; 5. RooUnfold package.
---	---

<p>List of the issues to be investigated, designed and developed</p> <p><i>(analytical review of literary sources with the purpose to study global scientific and technological achievements in the target field, formulation of the research purpose, design, construction, determination of the procedure for research, design, and construction, discussion of the research work results, formulation of additional sections to be developed; conclusions).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analytical review of sources with the purpose to study global scientific and technological achievements in the target field; 2. Formation of the research goal; 3. Determination of the study object; 4. Development of the code for events simulation; 5. Development of the code for the processing of results; 6. Development of the code for the unfolding of data; 7. Discussion of the research work results; 8. Conclusion.
<p>List of graphic material</p> <p><i>(with an exact indication of mandatory drawings)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introduction; 2. Relevance of the study; 3. Goal and tasks; 4. Defense clauses; 5. Hadron-jet correlations; 6. Jet quenching effect measurements; 7. Energy shift measurement precision estimation for p-O; 8. Energy shift measurement precision estimation for O-O; 9. Spectra unfolding; 10. Input data; 11. Closure test results; 12. Raw experimental data; 13. Raw spectrum unfolding results; 14. Extracted systematic uncertainties; 15. Discussion of results; 16. Conclusion.
<p>Advisers to the sections of the Master's Degree Thesis</p>	
<p style="text-align: center;">Section</p>	<p style="text-align: center;">Adviser</p>
<p>Practical part</p>	<p>Filip Křížek</p>
<p>Sections written in English</p>	<p>Oksana P. Kabrysheva</p>
<p>Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving</p>	<p>Tatiana B. Yakimova</p>
<p>Social Responsibility</p>	<p>Yuriy M. Fedorchuk</p>
<p>The names of chapters that should be written in Russian and foreign languages:</p>	
<p>Physics of ultrarelativistic heavy-ion collisions (in English)</p>	
<p>Experimental setup (in English)</p>	
<p>The generation and analysis of p_T spectra of inclusive charged jets from simulations (in English)</p>	
<p>The analysis of p_T spectra of inclusive charged jets in pp collisions (in English)</p>	
<p>Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving (in Russian)</p>	
<p>Social Responsibility (in Russian)</p>	
<p>Date of issuance of the assignment for Master's Degree Thesis completion according to the schedule</p>	<p>07.02.2022</p>

Assignment issued by a scientific supervisor:

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor at the Weinberg Research Center	Dmitrii V. Sidelev	Candidate of Engineering Sciences		07.02.2022
ALICE Group Leader in NPI	Filip Křížek	PhD		07.02.2022

Assignment accepted for execution by a student:

Group	Full name	Signature	Date
0DM01	Daniil Kambarbekovich Chumakov		07.02.2022

**ASSIGNMENT FOR THE THESIS SECTION
“FINANCIAL MANAGEMENT, RESOURCE EFFICIENCY AND RESOURCE SAVING”**

To the student:

Group	Full name
ОДМ01	Daniil Kambarbekovich Chumakov

School	Nuclear Science and Engineering	Department	Weinberg Research Center
Degree	Master's degree	Specialization	16.04.01 Technical Physics/ Beam and Plasma Technologies

Initial data for the section “Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving”:

1. <i>The cost of scientific research resources: material, technical, energy, financial, informational and human</i>	The cost of material resources and special equipment is determined in accordance with the market prices of the city of Tomsk. Tariff rates of performers are determined by the staffing table of STI TPU
2. <i>Norms and standards for spending resources</i>	Depreciation allowances for special equipment Premium coefficient is 30% District coefficient is 30% Coefficient of additional payments and allowances is 20%
3. <i>The system of taxation used, tax rates, volumes of payments, discounts and loans</i>	Deductions to off-budget funds is 30%

Problems to research, design and develop:

1. <i>Assessment of the commercial potential of the scientific and technical investigation (STI)</i>	Analysis and evaluation of STI competitiveness; SWOT matrix analysis.
2. <i>Development of the charter of the STI</i>	1. Goals and results of the project. 2. Organizational structure of the project. 3. Constraints and assumptions of the project.
3. <i>Planning the STI management process: structure and schedule, budget, risks and organization of procurement</i>	Formation of a development plan and schedule. Formation of the budget for research costs
4. <i>Determination of resource, financial, economic efficiency</i>	1. Determination of the integral financial characteristics of development; 2. Determination of the integral characteristics of the development resource efficiency; 3. Determination of the integral characteristics of efficiency.

A list of graphic material:

1. *Market segmentation*
2. *Assessment of the competitiveness of technical solutions*
3. *SWOT matrix*
4. *Schedule and budget for STI*
5. *Potential risks*

Date of issue of the task for the section according to the schedule	22.02.2022
--	------------

Task issued by adviser:

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor	Tatiana B. Yakimova	Candidate of Economic Sciences		22.02.2022

The task was accepted by the student:

Group	Full name	Signature	Date
ОДМ01	Daniil Kambarbekovich Chumakov		22.02.2022

**ASSIGNMENT FOR THE THESIS SECTION
“SOCIAL RESPONSIBILITY”**

To the student:

Group	Full name
OJM01	Daniil Kambarbekovich Chumakov

School	Nuclear Science and Engineering	Department	Weinberg Research Center
Degree	Master's degree	Specialization	16.04.01 Technical Physics/ Beam and Plasma Technologies

Topic of Master Thesis: “Study of hadron-jet correlations in O-O and p-O collisions”

Initial data for the section “Social Responsibility”	
1. Information about object of investigation (matter, material, device, algorithm, procedure, workplace) and area of its application	Mathematical model of ultrarelativistic particles collision developed on the performer's PC. The work was carried out on the basis of the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, Řež. The workplace is an office room with tables for working at a PC.
Problems to research, design and develop:	
1. Industrial safety 1.1. Analysis of identified harmful factors <ul style="list-style-type: none"> • Nature of impact • Action on the human body • Exposure standards and regulations (for harmful factors) • PPE, collective and individual 1.2. Analysis of identified hazardous factors: <ul style="list-style-type: none"> • Thermal hazard • Electrical hazard • Fire hazard 	1. Harmful factors: 1.1 Violations of the microclimate, optimal and permissible parameters; 1.2 Noise, maximum permissible levels, CPE, PPE; 1.3 Insufficient lighting; 1.4 Increased level of electromagnetic radiation, maximum permissible levels, CPE, PPE; 2. Hazardous factors: 2.1 Electrical hazard; electrical hazard class of the room, safe ratings of I, U, $R_{\text{grounding}}$, CPE, PPE; Calculation of illumination of a workplace is carried out; a drawing of the placement of fixtures on the ceiling with dimensions in the SI is presented; 2.2 Fire hazard, fire hazard category of the room, brands of fire extinguishers, their purpose and limitation of use; The evacuation scheme is given.
2. Ecological safety: <ul style="list-style-type: none"> • Emissions to the environment • Solutions to ensure environmental safety 	The presence of industrial waste (draft paper, recyclable non-ferrous and ferrous metals, plastic, burnt out fluorescent lamps, office equipment) and methods for their disposal;
3. Safety in emergency situations: <ul style="list-style-type: none"> • a list of possible emergencies during the development and operation of the projected solution; • development of preventive measures to prevent emergencies; • development of actions as a result of emergencies and measures to eliminate its consequences. 	2 emergency situations are considered: 1) natural - severe frosts in winter, (accidents on electricity, heat communications, water utilities, transport); 2) technogenic - unauthorized entry into the workplace (manifestations of vandalism, sabotage, industrial espionage are possible),

	measures are presented to ensure the sustainable operation of production in both cases.
4. List of normative-technical documentation.	– GOST, SanPiN, SNIIP state standards and regulations

Date of issue of the task for the section according to the schedule	14.02.2022
--	------------

Task issued by adviser:

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Full Professor	Yuriy M. Fedorchuk	PhD		13.05.2022

The task was accepted by the student:

Group	Full name	Signature	Date
0DM01	Daniil Kambarbekovich Chumakov		13.05.2022

Abstract

Master's thesis contains 158 pages, 33 figures, 4 tables, 74 references, 0 appendices.

Key words: hadron-jet correlations, energy shift, ALICE, PYTHIA, ultrarelativistic heavy-ion collisions, jet quenching, SVD unfolding, Bayes unfolding.

The object of the study are hadron jets emerging from the ultrarelativistic heavy-ions collisions recoiling from the hadron track with high transverse momentum.

The goal of research is to perform the projection on the minimum detectable energy shift due to jet quenching for transverse momentum spectra (p_T) of jets which recoil from a high- p_T hadron track.

During the investigation, the Monte Carlo simulation of ultrarelativistic heavy-ions collision was created. Glauber model was used to make projections on the minimum detectable energy shift value due to the statistical and systematic uncertainties. The raw experimental data from pp collisions were processed via SVD unfolding used to suppress the detector effects. The unfolding was performed with the variable parameters. As a result of the investigation, the minimum detectable energy shift value was estimated for O-O and p-O collisions, and the uncertainty value due to unfolding was calculated.

The implementation of the obtained results means the direct use of information about the minimum detectable energy shift due to evaluated uncertainty in ALICE Run 3. These results may be used for the fine-tuning of the experimental equipment considering the influence of specified uncertainty sources. Fields of application are particle physics, heavy-ion collisions physics, experimental nuclear physics.

The economical efficiency and significance of this work lies in the development of preliminary physical experiment simulation that allows to perform fine-tuning of the experimental equipment before its start.

Contents

Introduction	15
1 Physics of ultrarelativistic heavy-ion collisions	17
1.1 Kinematic quantities	18
1.2 Key concepts	19
1.3 Quantum chromodynamics	24
1.3.1 History of development.....	24
1.3.2 Calculation of the hard processes cross-sections.....	26
1.3.3 The QCD Lagrangian.....	26
1.3.3 Asymptotic freedom.....	27
1.3.4 Confinement.....	28
1.4 Glauber model.....	31
1.4.1 History of Glauber model	32
1.4.2 Inputs for Glauber model	33
1.4.3 Optical limit Glauber model	33
1.4.4 Glauber Monte Carlo simulations.....	36
1.4.5 Systematic effects in Glauber model	37
1.4.6 Relating Glauber model to experimental data	38
1.4.6 Nuclear overlap function scaling	41
1.5 Hadron jets and jet clustering algorithms	44
1.6 Jet quenching.....	51
2 Experimental setup.....	55
2.1 The Large Hadron Collider.....	55
2.2 A Large Ion Colliding Experiment (ALICE).....	56
2.3 Inner Tracking System (ITS)	57
2.4 Time Projection Chamber (TPC).....	58
2.5 VZERO (V0) detector system.....	59

3	The generation and analysis of pT spectra of inclusive charged jets from simulations.....	60
3.1	Hadron-jet correlations technique.....	60
3.2	PYTHIA8 Monte Carlo generator	64
3.3	Multithreaded implementation of PYTHIA8.....	66
3.4	Code workflow algorithm	69
3.5	Monte-Carlo projections of semi-inclusive recoil jet yields for O-O and p-O collisions	72
4	The analysis of pT spectra of inclusive charged jets in pp collisions	82
4.1	Raw data.....	82
4.2	Response matrix.....	83
4.3	Unfolding procedure	84
4.3.1	Singular Value Decomposition	85
4.3.2	Bayesian unfolding	87
4.3.3	Unfolding of raw spectrum	90
4.4	Closure test.....	94
4.5	Systematic uncertainties.....	96
5	Final results	98
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	99
6.1	Предпроектный анализ.....	100
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	100
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	100
6.1.3	SWOT-анализ.....	102
6.2	Инициация проекта.....	103
6.2.1	Цели и результат проекта.....	103
6.2.2	Организационная структура проекта.....	105

6.2.3 Ограничения и допущения проекта	106
6.3 Планирование управления научно-техническим проектом	106
6.3.1 План проекта	106
6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	107
6.4 Бюджет НТИ.....	108
6.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)	108
6.4.2 Специальное оборудование для научных работ	109
6.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	111
6.4.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.....	113
6.4.5 Научные и производственные командировки.....	115
6.4.6 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	116
6.4.7 Накладные расходы	117
6.5 Реестр рисков.....	118
6.6 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	119
6.7 Выводы по разделу	122
7 Социальная ответственность	124
7.1 Введение.....	124
7.2 Анализ выявленных вредных и опасных факторов.....	125
7.3 Вредные факторы.....	126
7.3.1 Отклонение показателей микроклимата.....	126
7.3.2 Превышение уровня шума на рабочем месте	126
7.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	127
7.3.4 Расчет искусственного освещения	129

7.3.5 Электромагнитные поля в производственных помещениях	132
7.4 Опасные факторы.....	134
7.4.1 Электрический ток.....	134
7.4.2 Пожарная безопасность.....	136
7.5 Экологичность.....	138
7.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	139
7.7 Перечень нормативных документов	140
Summary	142
List of sources	144

Introduction

Nuclear matter under extreme energy densities and temperatures undergoes a phase transition into the Quark Gluon Plasma (QGP), in which quarks and gluons are deconfined from hadrons [1]. Collisions of ultrarelativistic heavy nuclei are used to study QGP properties, as in such collisions it is possible to achieve high energy density and temperature in a finite volume. The QGP which is created in the collisions lives on a time scale of $10 \frac{\text{fm}}{c}$. During its live time it expands and cools and finally undergoes a transition to the hadron gas phase. Properties of the QGP medium can be investigated by means of rare scattering processes with large four-momentum transfer which take place at the beginning of the collision process. These processes produce collimated sprays of particles – the so-called jets. Current understanding of the properties of the QGP is based primarily on two phenomena observed in high energy nuclear collisions and their comparison to theoretical calculations: strong collective flow [2], and jet quenching, which arises from interaction of energetic jets with the medium [3].

The jet quenching phenomenon is observed as a significant decrease in energy of high- p_T hadrons and jets energy which traversed through the QGP medium. Their yield measured in ultrarelativistic heavy-ions collisions is suppressed in comparison to the yield expected from the superposition of corresponding the number of pp collisions. Although the jet quenching phenomenon has not been observed in pp and proton-nucleus collisions, such as p-Pb [4], it is of special interest to determine the smallest collision system size exhibiting jet quenching. In LHC Run 3 it is planned to perform a short oxygen-beam run with O-O and p-O collisions [5]. Before the oxygen run takes place it is desired to estimate both statistical and systematic uncertainties of the experimental jet quenching observables. This can be done using Monte Carlo simulations and data previously obtained from LHC.

The goal of this thesis is to perform such projection for transverse momentum spectra (p_T) of jets which recoil from a high- p_T hadron track, so called trigger track. This technique allows for subtraction of jet yield uncorrelated to the trigger track

using statistical data driven approach. To achieve this goal, it is necessary to perform the following tasks:

- to learn the basic concepts of ultrarelativistic heavy ions collisions physics and QCD;
- to get familiar with the Glauber model;
- to describe jets and their reconstruction in the experiment;
- to study the hadron-jet correlation technique;
- to generate pp events using PYTHIA8 MC generator and study them using hadron-jet correlation technique;
- to estimate the statistical and systematic uncertainties for the observables in future LHC O-O and p-O runs;
- to use hadron-jet correlation technique to analyze data from pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV measured by ALICE;
- to make the closure test of the unfolding procedure and the unfolding of the real data;
- to estimate the systematic uncertainties for the unfolded spectra;
- to discuss the achieved results.

1 Physics of ultrarelativistic heavy-ion collisions

The physics of ultrarelativistic heavy-ion collisions lies at the intersection of several areas of science, such as elementary particle physics at high energies, nuclear physics, as well as cosmology and astrophysics. Ultrarelativistic heavy ions are nuclei with large number of nucleons for which kinetic energy per nucleon significantly exceeds the rest energy of the nucleon [6]:

$$\frac{E_{lab}}{A} \gg m_N c^2; m_N \approx 1 \frac{\text{GeV}}{c^2}. \quad (1.1)$$

One of the principal goals of the heavy-ion physics program is to map phase diagram of the strongly interacting matter. The high energy density and temperature frontier of this diagram is investigated with the help of collider accelerators. Colliding beams can exploit most of the energy for particle production. In the ultrarelativistic regime the center of mass energy per nucleon-nucleon collision is:

$$\sqrt{s_{NN}} \gg m_N c^2. \quad (1.2)$$

Ultrarelativistic heavy-ion collisions provide a unique opportunity to study the properties of quark-gluon plasma since they create finite volume of this phase (see Fig. 1). The quark-gluon plasma is a phase in which quarks and gluons escape their confinement in hadrons. When created in a heavy-ion collision, it exists on very short time scale of order of $10 \frac{\text{fm}}{c}$ [1].

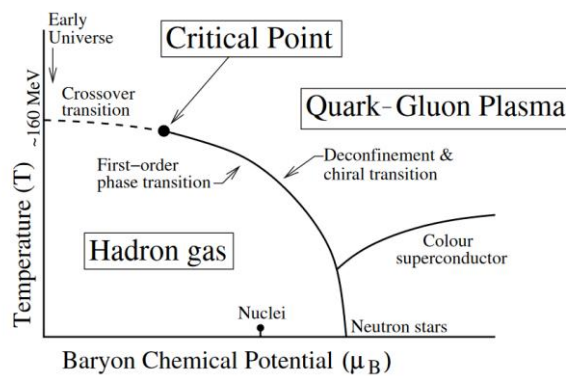


Figure 1 – Phase diagram of QCD matter [7]

The system then undergoes rapid evolution results in a final state having high multiplicity of produced particles. These experiments are therefore demanding from the perspective of detector design as well as data processing, since large data

volumes have to be recorded and processed. At the Large Hadron Collider at CERN, such considerations start to play role also for proton-proton collisions.

1.1 Kinematic quantities

In high-energy physics, relativistic effects cannot be neglected. It is more advantageous to make calculations in the natural system of units, in what follows we will adopt the system of units where $c = \hbar = k_B = 1$.

The common notations for the components of a vector quantity \mathbf{A} relative to the beam axis (z) are as follows: $A_{\parallel} \equiv A_L$ is the component parallel to the z axis, $A_{\perp} \equiv A_T$ is the perpendicular one.

It is important to use quantities that are invariant and additive with respect to the Lorentz transformation - such that they do not depend on the choice of reference frame when working with relativistic particles. In this case, it turns out to be inconvenient to operate with linear velocity of the particle when performing kinematic calculations, as the simple addition of relativistic velocities ($v_1 + v_2$) does not provide realistic result. Instead of velocity, the quantity called rapidity y is used in calculations. This quantity is additive with respect to the Lorentz transformations [6]:

$$y = \frac{1}{2} \ln \frac{E+p_{\parallel}}{E-p_{\parallel}} = \operatorname{arctanh}\left(\frac{p_{\parallel}}{E}\right) = \operatorname{arctanh}(v_{\parallel}), \quad (1.3)$$

where $E = \sqrt{m^2 + p^2}$ is the total energy of particle, $v_{\parallel} = \frac{p_{\parallel}}{E}$ is the longitudinal component of speed parallel to the beam axis.

One can calculate energy and longitudinal momentum of particle using transverse mass and y :

$$E = m_{\perp} \cosh y, \quad (1.4)$$

$$p_{\parallel} = m_{\perp} \sinh y. \quad (1.5)$$

where m_{\perp} is so-called transverse mass which can be defined in the system of natural units as:

$$m_{\perp} = \sqrt{m^2 + p_{\perp}^2} \quad (1.6)$$

Scattering angle θ is not additive with respect to Lorentz transformation. Instead, one should use the quantity called pseudorapidity η [6]:

$$\eta = \frac{1}{2} \ln \frac{(|\mathbf{p}| + p_{\parallel})}{(|\mathbf{p}| - p_{\parallel})} = \ln(\operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}) = -\ln(\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}). \quad (1.7)$$

Using pseudorapidity, one can calculate the absolute value of particle 4-momentum and its longitudinal component:

$$|\mathbf{p}| = p_{\perp} \cosh \eta, \quad (1.8)$$

$$p_{\parallel} = p_{\perp} \sinh \eta. \quad (1.9)$$

For the massless particles (with $m \rightarrow 0$) rapidity y and pseudorapidity η are equal, but for the particles with finite masses they are related with the following equations which can be used to recalculate one quantity from another [6]:

$$y = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{\sqrt{p_{\perp}^2 \cosh^2 \eta + m^2} + p_{\perp} \sinh \eta}{\sqrt{p_{\perp}^2 \cosh^2 \eta + m^2} - p_{\perp} \sinh \eta} \right], \quad (1.10)$$

$$\eta = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{\sqrt{m_{\perp}^2 \cosh^2 y - m^2} + m_{\perp} \sinh y}{\sqrt{m_{\perp}^2 \cosh^2 y - m^2} - m_{\perp} \sinh y} \right]. \quad (1.11)$$

The equation showing the connection between the rapidity distribution of particles and pseudorapidity distribution is presented in [6].

In the center-of-momentum frame, the region of phase space where $y = \eta = 0$, is called the central rapidity region or the midrapidity region. The regions corresponding to the initial rapidities of the projectile and target are called the projectile and target fragmentation regions.

1.2 Key concepts

In the study of nucleus-nucleus and nucleon-nucleus collisions, several concepts are introduced to characterize the collision. The first to be mentioned is the concept of spectators and participants. Let us assume that during an ultrarelativistic nucleus-nucleus collision, all nucleons of the nuclei move along mutually parallel trajectories. Those that do not meet on their way a single nucleon of the other nucleus and do not participate in any collision event are called spectators. The rest nucleons which have undergone at least one collision are called participants (see Fig. 2). The

participants which have suffered at least one inelastic collision are called the wounded nucleons.

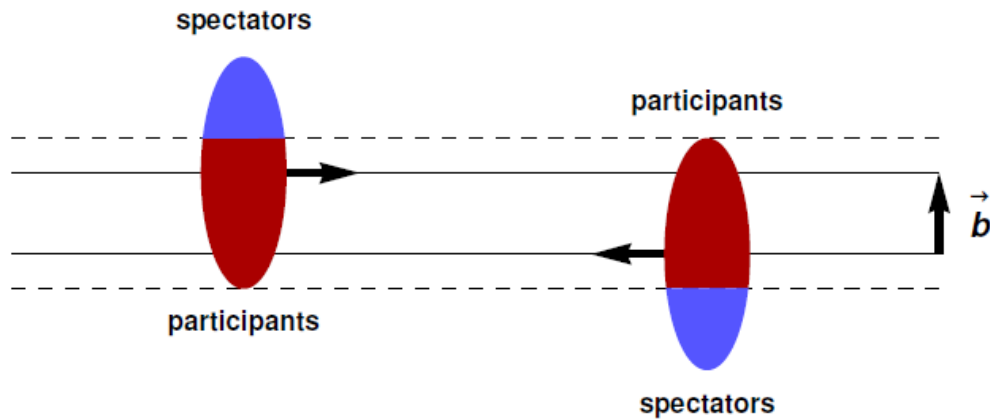


Figure 2 – Scheme of ultrarelativistic nuclei collision [6]

An impact vector is a two-dimensional vector connecting the centers of the colliding nuclei in a plane transverse to the trajectories of the nuclei. The length of impact vector is called the impact parameter.

The value of impact parameter allows to determine the number of participant nucleons N_{part} and spectator ones N_{spec} . N_{spec} value is experimentally determined by counting the number of particles in the zero-degree detectors, as well as the energy absorbed in the zero-degree calorimeters. This name of the detectors is associated with their location and the type of particles they register, as they typically register neutral particles, such as spectator neutrons. Zero-degree detectors are located along the beam axis behind the deflecting magnets of an accelerator. Charged particles are deflected by these magnets, and thus do not induce signal in the zero-degree detectors. Neutral particles that did not participate in hard interaction processes have a large momentum along the direction of the beam. They are not deflected by magnets, so they are registered by zero-angle detectors.

The number of binary nucleon-nucleon collisions N_{coll} is determined by the number of any interaction acts between two particles. Typically, $N_{part} < N_{coll}$, since at ultrarelativistic energies in a collision process, both elastic and inelastic multiple scattering of intranuclear particles play an important role [8].

When considering a collision of particles, a rectangular coordinate system is introduced in such a way that the z axis is parallel to the beam axis, and the x axis is directed along the impact vector. These two axes define the reaction plane for the collision in question [6].

Relativistic heavy ions collisions can proceed in different ways. In case when a collision with a high energy loss (with a high stopping power) occurs, most of the particles from the colliding nuclei stop in the midrapidity region, and a high particle density is achieved in it. In the so-called transparent collisions, the energy losses of particles turn out to be negligible compared to their energies, and two nuclei fly through each other. In such collisions, inelastic processes are not observed [6].

Collisions with impact parameter close to zero are called central (in practice, these are the ones with an impact parameter less than a given threshold). The need to characterize the collisions leads us to the concept of centrality c , the fraction of particles directly involved in the interaction.

An inclusive process is a process in which it is impossible to measure the kinematic characteristics of all interaction products, and therefore the process is described only for a certain set of particles.

The minimum bias mode includes measurements or simulations without special constraints, in which the results are averaged over different impact parameters. Collisions in the minimum bias mode include not only "hard" processes with a significant change in momentum, but also "soft" ones, not related to the interaction of partons.

Commonly, charged particles are used to describe inclusive processes, since they are unambiguously registered by detectors, and it is possible to determine the trajectory, energy, momentum, and charge for them. In this case, neutral particles are excluded from consideration since they cannot be registered by detectors directly, but only by the products of their decay or interaction with other particles. Accordingly, the cross sections of processes which lead to the production of inclusive particles, as well as the combinations of such particles (for example, jets) are also called inclusive.

The opposite of an inclusive process is called an exclusive process. In such process the characteristics of all particles produced and processes occurring are well measured or known.

A soft process is a common name for interaction of particles, which cannot be described in terms of perturbation theory for instance perturbative quantum chromodynamics. Such interactions lead to the production of low-energy particles having their energies compatible or lower than Λ_{QCD} .

Particles which are having their transverse momentum or mass larger than couple of $\frac{\text{GeV}}{c}$ were likely to be created in the so-called hard process associated with interparton interactions and significant momentum transfer during the interaction. Such interactions can be explained in terms of perturbation theory in the framework of quantum chromodynamics, since in this case the strong interaction constant decreases, and nonperturbative effects can be accounted for by phenomenological functions describing initial parton distribution and hadronization.

The difference in the nature of such collisions delimits the scaling methods for finding the relationship between the number of produced particle yield N_{evt} and the number of binary collisions during the interaction of nuclei N_{coll} . For hard processes, a proportional character is established between these quantities: each hard collision process is well localized, and the interference effects between different collision processes can be neglected due to significant momentum transfer.

For soft processes, the wounded nucleon model is used, which makes it possible to establish a relationship between the number of binary collisions and interaction products [8,9]. According to this model, the average multiplicity of produced particles for the collision of two nuclei A and B will be:

$$\langle N_{AB} \rangle = \frac{1}{2} \langle w_{AB} \rangle \langle N_{pp} \rangle, \quad (1.12)$$

where $\langle N_{pp} \rangle$ is the average multiplicity in pp collisions, $\langle w_{AB} \rangle$ is the average number of wounded nucleons calculated according to the Glauber model.

Multiplicity is characteristics of a collision equal to the number of registered particles per one pair of colliding nuclei. For example, in the collision of gold nuclei

at the RHIC accelerator at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV, the total multiplicity was about 5000 particles, i.e. the number of formed particles is approximately 10 times higher than the number of nucleons in the colliding nuclei [6].

Nuclear modification factor $R_{AB}(p_T)$ is used to compare the distributions of observed quantities (for example, the number of reaction products as a function of transverse momentum) in nucleus-nucleus and proton-proton collisions. It is defined as follows [8]:

$$R_{AB}(p_T) = \frac{1}{\langle N_{coll} \rangle} \cdot \frac{d^2 \langle N_{evt} \rangle}{dp_T d\eta} / \frac{1}{\sigma_{tot}^{pp}} \cdot \frac{d^2 \sigma_{incl}^{pp}}{dp_T d\eta}, \quad (1.13)$$

where $\langle N_{coll} \rangle$ is the average number of binary nucleon-nucleon collisions, $\langle N_{evt} \rangle$ is the average number of interaction products per one interaction between nuclei, σ_{tot}^{pp} is the total cross section of pp interactions, σ_{incl}^{pp} is the cross section of the inclusive processes in pp interactions. The quantity $\frac{d^2 N_{pp}}{dp_T d\eta} = \frac{1}{\sigma_{tot}^{pp}} \cdot \frac{d^2 \sigma_{incl}^{pp}}{dp_T d\eta}$ represents an average to the transverse momentum distribution of particles produced in pp collisions in a given region of the phase space integrated over azimuth.

The nuclear modification factor can be also expressed as [10]:

$$R_{AB}(p_T) = \frac{(N_{in}^{AB})^{-1} \cdot dN_{hard,x}^{A+B}/dp_T}{\langle T_{AB} \rangle \cdot d\sigma_{hard,x}^{pp}/dp_T}, \quad (1.14)$$

where $\langle T_{AB} \rangle = \frac{\langle N_{coll} \rangle}{\sigma_{in}^{NN}}$ is the nuclear overlap factor from Glauber model, $N_{in}^{AB} \equiv N_{coll}$ is the mean number of inelastic nucleon-nucleon collisions of A+B nuclei, $N_{hard,x}^{A+B}$ is the multiplicity of x -type particles produced in hard processes, $\sigma_{hard,x}^{pp}$ is the cross section of the same kind of particles production in hard processes for pp collisions. For simplicity, in the formula we have suppressed explicit writing of dy . The above mentioned dy usually represents the range in pseudorapidity in which the spectrum was measured. The description of Glauber model is provided in Section 1.4.

The underlying events are the processes and their products, accompanying the considered inclusive processes and their products. For hard processes, the

underlying events result from all processes which are not related to hard parton-parton interactions.

A hadron jet is a collimated spray of high-energy hadrons resulting from hadronization of scattered partons. The hadrons inside the jet move predominantly in the direction close to the total jet momentum given by the initial momentum of the released parton. The very definition of a jet follows from a clustering algorithm that combines particles into jets and sums the 4-momenta of the jet particles according to a given set of rules. More thorough description of jet clustering algorithms is provided in Section 1.5.

Production of high p_T particles or jets is very rare process. Some Monte Carlo event generators therefore offer possibility to constrain momentum transfer in simulated collisions. This allows to populate with sufficient statistics otherwise sparsely populated regions of phase space. This mode of operation is called hard bins. Authors of the generator then offer prescription how to perform weighted sum of contribution of different hard bins in order to obtain unbiased distribution.

1.3 Quantum chromodynamics

1.3.1 History of development

In ultrarelativistic nuclei collision processes, a multiparticle system of strongly interacting particles is formed. The properties of the strong force are explained within the framework of quantum chromodynamics, a branch of physics that studies the theory of quarks and gluons confined in hadrons.

In 1964, Gell-Mann and Zweig proposed the idea that hadrons could also be made up of smaller particles called quarks [11]. Further, it was realized that quarks have an additional degree of freedom (quantum number), which determines their interaction with each other - this is the so-called color charge. The interaction of quarks is carried out with the help of color charge carriers - gluons. Both gluons and quarks determine the internal composition of hadrons. A common name for quarks and gluons is partons.

Feynman [12] and Bjorken [13] argued that the existence of partons could be proven in experiments of deep inelastic scattering of high-energy electrons on protons. Such an experiment was carried out in 1969 at the SLAC accelerator, and the results provided unambiguous evidence that electron scatters incoherently on charged partons within the proton [14]. Charges of these partons were found to be compatible with the quark charges predicted by the Gell-Mann quark model.

The absence of free quarks and gluons is explained by the asymptotic freedom of the strong interaction. This phenomenon is observed as the reduction of interaction intensity between quarks with a decrease in the distance between them. This means that at large distances the quarks will tend to reduce the distance between themselves, and in the asymptotic limit $r \rightarrow 0$ they stop interacting with each other. Another consequence of asymptotic freedom phenomenon of the strong interaction is the confinement of particles that carry a color charge. Such particles (quarks and gluons) cannot be isolated as a separate object and, accordingly, they cannot be observed directly.

In other words, it is preferable for quarks and gluons to remain in a compact bound state inside hadrons. This exact phenomenon is called the quark confinement effect. If, for example, a sufficiently large energy is applied to a particle meson, which is a system of two quarks, so that this energy is enough to separate quarks, the excess energy will be spent on the formation of new quarks. These new quarks will accordingly combine with the separated quarks, and the hadronization of the separated quarks will occur, resulting to the formation of several new hadrons.

In 1975, Collins and Perry suggested that superdense matter (for example, present in the early Universe, in the explosion of black holes, and in the cores of neutron stars) should consist of quarks and gluons, not hadrons [15]. Under usual conditions, quarks and gluons are confined inside hadrons. However, with an increase in temperature and simultaneous compression of matter, a phase transition should occur to a state in which hadrons do not exist. In this case, the deconfinement of quarks and gluons from hadronic matter occurs, and so-called quark-gluon plasma (QGP) is formed. According to Collins and Perry, QGP should be a weakly

interacting gas of quarks and gluons. The predominant influence of the weak interaction in QGP is due to the property of asymptotic freedom of the strong interaction since quarks and gluons in the QGP are arranged compactly. Therefore, it is possible for them to exist in a free state in such matter.

One of the key tasks in the study of ultrarelativistic heavy ions collisions is to investigate structure of the QCD matter phase diagram and the study of the state and properties of matter at the moment of deconfinement.

1.3.2 Calculation of the hard processes cross-sections

It is not possible to calculate the cross-sections of hard interaction processes of hadrons from basic principles, but only phenomenologically. The interaction process can be divided into three parts. The initial internal structure of colliding composite particles is described by parton distribution functions. These functions determine the distribution of quarks and gluons inside the proton before the collision. The next part is the cross section of the collision process on partonic level which is calculable using QCD Lagrangian [16]. The last part is fragmentation function which describes hadronization that occurs after the interaction. The factorization theorem equation can be written as follows:

$$\sigma_{A+B \rightarrow h+X} = \sum_{a,b,c,d} \int_{x_1, \min}^1 \int_{x_2, \min}^1 dx_1 dx_2 f_{\frac{a}{A}} \cdot f_{\frac{b}{B}} \cdot \sigma_{a+b \rightarrow c+d} \cdot D_{\frac{h}{c}}, \quad (1.15)$$

where $\sigma_{A+B \rightarrow h+X}$ is the cross section of the interaction of two hadrons A and B containing partons a and b , respectively, $f_{\frac{i}{I}}(x, Q^2)$ are parton distribution functions of the parton i in particle I dependent on the fraction of momentum carried by the parton x and energy scale Q^2 , $\sigma_{a+b \rightarrow c+d}$ is the elementary cross section of corresponding partons, $D_{\frac{h}{c}}(z, p_T)$ is the fragmentation function of parton c that yields the hadron h carrying the fraction z of the original parton energy and the transverse momentum p_T [16].

1.3.3 The QCD Lagrangian

In QCD, Lagrangian density is described as [17]:

$$\mathcal{L}_{QCD} = \sum_{a=1}^3 \bar{\psi}_{j,a} (i\gamma^\mu D_{\mu,ab} - m\delta_{ab}) \psi_{j,b} - \frac{1}{4} \sum_{A=1}^8 G_{\mu\nu}^A G_A^{\mu\nu}, \quad (1.16)$$

which is invariant under $SU(3)$ color gauge transformations. The upper-case indices $A = 1 \dots 8$ denote adjoint indices while lower-case indices $a = 1, 2, 3$ denote the fundamental indices of the $SU(3)$ corresponding to three color indices. Here the spinors $\bar{\psi}_{j,a}$ and $\psi_{j,b}$ correspond to the quark and antiquark fields, m is the quark mass, g_{QCD} is the coupling constant of the strong interaction, $D_{\mu,ab}$ is the covariant derivative of QCD acting on the triplet fields:

$$D_{\mu,ab} = \partial_{\mu}\delta_{ab} - ig_{QCD} \sum_C (t^C \mathcal{A}_{\mu}^C)_{ab}, \quad (1.17)$$

where t^C are the fundamental generators of $SU(3)$ represented by the Gell-Mann matrices λ^A , $t^A = \lambda^A/2$, which are eight traceless hermitian matrices. The field strength tensor is:

$$G_{\mu\nu}^A = \partial_{\mu}\mathcal{A}_{\nu}^A - \partial_{\nu}\mathcal{A}_{\mu}^A - g_{QCD}f^{ABC}\mathcal{A}_{\mu}^B\mathcal{A}_{\nu}^C, \quad (1.18)$$

where \mathcal{A}_{μ}^A represents the gluon field.

The specific nature of QCD can be demonstrated by a comparison with QED using QED Lagrangian density [18]:

$$\mathcal{L}_{QED} = \bar{\psi}(i\gamma^{\mu}D_{\mu} - m)\psi - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}, \quad (1.19)$$

where $F_{\mu\nu} = \partial_{\mu}A_{\nu} - \partial_{\nu}A_{\mu}$ is the electromagnetic field strength tensor, A_{μ} is the electromagnetic 4-potential. The electromagnetic field strength tensor and the gluon field strength tensor have similar role and describe dynamics of the gauge fields. Since gluons carry color degrees of freedom, in contrast to photons that do not possess the electromagnetic charge, the term $g_{QCD}f^{abc}A_{\mu}^bA_{\nu}^c$ allows gluon self-interactions. Photons are not allowed to self-interact in the leading order of QED, but in higher orders of perturbation photons can interact via a fermion loop.

1.3.3 Asymptotic freedom

Value of the coupling in QCD, $g_{QCD} = \sqrt{4\pi\alpha_S}$ depends on the transferred 4-momentum. For large momentum transfers the QCD coupling decreases to zero. This phenomenon is known as asymptotic freedom [19]. For small momentum transfers the coupling diverges. This behaviour of the coupling can be explained as follows. In QED, free charges are surrounded by a cloud of virtual fermion anti-

fermion pairs arising from vacuum. This is known as vacuum polarisation and these virtual pairs screen the central bare charge [19]. This leads to a notion of an effective charge which constitutes the net charge of the particle and its surrounding cloud of particle anti-particle pairs.

The screening effect is also present in QCD. However, the fact that gluons possess color degrees of freedom introduces a new phenomenon—anti-screening. Virtual gluons can be created from vacuum and enhance the net colour charge and therefore affect the coupling strength. The change in the coupling strength due to screening effects is known as the running of the coupling constant [19]. The running of the coupling constant with Q^2 is shown in Fig. 3.

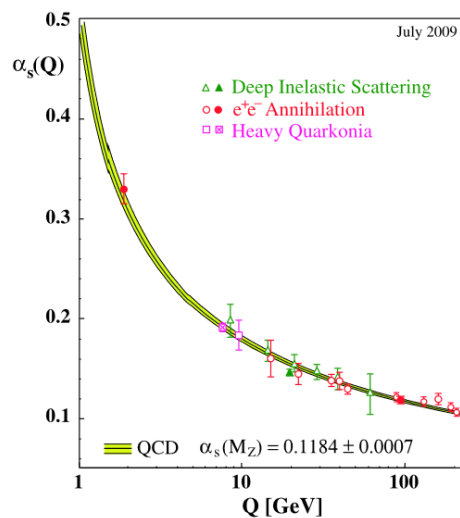


Figure 3 – Summary of the strong coupling constant α_s measurement as a function of the respective energy scale Q [20]

The fact that $\lim_{Q^2 \rightarrow \infty} \alpha_s(Q^2) = 0$ represents the asymptotic freedom: the higher the energy, the smaller is the strong coupling.

1.3.4 Confinement

Fragmentation functions give the probability that after an interaction quark q ends up in hadron h with transverse momentum p_T and carries the fraction z of its energy. These functions phenomenologically describe the probability of the transition of an object with color a charge to a color-neutral state and reflect color charge confinement [16].

The color charge confinement is a feature of QCD postulating that no color charge can exist in an isolated state. Although the detailed quantitative understanding of color confinement is still an open question, it is supported by the extensive lack of observations of any isolated color charges.

Historically various phenomenological models that describe confinement of quarks in hadrons have been developed. The MIT Bag model [21] is used to describe quarks in stationary hadrons. It assumes that the quarks are massless objects in a bag. Confinement arises with the introduction of the inward bag pressure B which is balanced by the kinetic energy of the quarks inside the bag. It can be shown [21] that the bag pressure is related to the number of particles in the bag N and the size of the bag R as:

$$B^{\frac{1}{4}} = \left(\frac{2.04N}{4\pi} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \frac{1}{R}. \quad (1.20)$$

The confinement radius for a 3 quark system can be taken as $R = 0.8$ fm to yield the value of the bag pressure $B^{\frac{1}{4}} = 206$ MeV, which is consistent with the experimental limits $145 < B^{\frac{1}{4}} < 235$ MeV [22].

A simple Bag model, however, is not suitable for the description of the dynamics of the color confinement during hadronization. A more suitable model [22] envisions the field between quarks as a color string. The gluon self-interaction restricts the color field into strings between individual quarks in a hadron. To model the color string between quarks, the effective QCD potential can be introduced in the form [22]:

$$V_{QCD}^{eff} = -\frac{4}{3} \cdot \frac{\alpha_S}{r} + kr, \quad (1.21)$$

where r is the distance and $k \approx 1 \frac{\text{GeV}}{\text{fm}}$ is the string tension.

Consider a particle – anti-particle pair connected by a color string. The pair of bound particles oscillates in a so-called yo-yo mode. When trying to separate these two bound quarks by transferring energy to them, the potential energy in the hypothetical string grows with increasing distance until it prompts creation of a particle – anti-particle pair from vacuum as depicted in Fig. 4. Thus, two strings are

formed which leads to production of hadrons and restoration of the color neutrality giving rise to the confinement of the color charge.

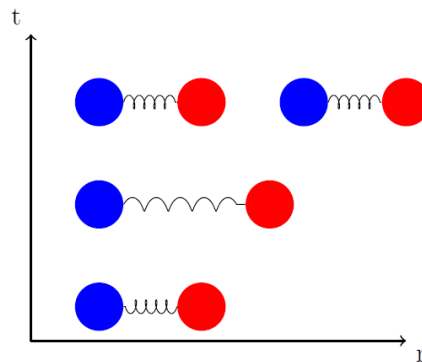


Figure 4 – QCD color confinement in the string model. Two quarks with a string are pulled apart. The potential energy in the string increases until a pair of virtual particles is created from vacuum which restores the color neutrality of the original object.

The Lund model [23] gives the probability distribution of the locations of the vertices at which the string is broken. The vertices lie approximately on the constant proper time world line. The worldlines of the interacting particles and the subsequent breaking of the string into new particles with their worldlines are illustrated in Fig. 5.

When two partons interact via a hard process the phenomenon of confinement leads to the production of new particles – fragmentation. It is the result of the restoration of the color neutrality of the interacting partons. Therefore, hard processes with quarks and gluons in the final state are characteristic by the production of showers of particles in the form of jets. Gluons carry more color charge than quarks and therefore generally fragment to more particles than quarks [24].

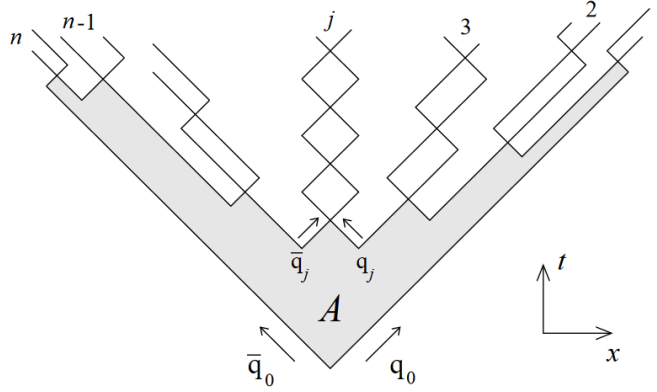


Figure 5 – The break-up in space–time of a Lund color string into n hadrons. The fragmentation area is denoted by A [25].

1.4 Glauber model

Evolution of the system created by a nucleus-nucleus collision is largely driven by the initial geometry of the collision. The collision process is determined by its centrality c , which, in turn, is determined by the impact parameter b , the number of participant nucleons N_{part} , and the number of binary nucleon-nucleon collisions N_{coll} [10].

All these quantities cannot be exactly measured in experiment for each single colliding nucleus-nucleus system. However, there are several theoretical methods such as Glauber model [26], which make it possible to estimate these quantities from experimental results using quantum mechanical scattering theory for composite systems. They consider the multiple scattering of nucleons in nuclear targets during collision both for proton-nucleus (p+A) and nucleus-nucleus (A+B) systems [27].

In addition, with the development of accelerators technology, detectors were also improved. For example, at a distance from the collision point, zero-degree calorimeters are installed. These detectors register the spectator nucleons. Spectator nucleons do not directly collide with other nucleons or participate only in soft interactions, which means that the centrality of the collision can be estimated from their number. Nuclei in the LHC are accelerated up to units of TeV per nucleon in c.m.s. [28], therefore only those particles that directly participated in the inelastic

nucleon-nucleon interaction and scattered through a large angle will undergo a significant change in momentum, and the products of their reaction will be registered by midrapidity detectors.

For a peripheral collision, the number of spectator nucleons will be maximal, since only a small fraction of nucleons participated in the direct inelastic interaction. Accordingly, for a central collision, in which most of the nucleons interacted with each other, the number of spectator nucleons will be minimal. Thus, data from zero-degree calorimeters are used to approve Glauber model calculations with the reference to experimental results.

1.4.1 History of Glauber model

The development of a model for describing the characteristics of the colliding nuclei interactions was a response to the development of charged particle accelerators, which enabled to collide nuclei both with a fixed target and with each other at energies significantly exceeding a few MeV. The first works were devoted to calculations of total and differential interaction cross sections and were based on the work of Molière. Later, Glauber generalized the experimental results and brought them into accordance with quantum mechanical collision theory for protons colliding with deuterium nuclei and heavier particles.

In the 1970s Glauber theory was further developed due to the introduction of new accelerator technology [9]. The Glauber model was used to describe proton-nucleus and nucleus-nucleus elastic and inelastic scattering. In turn, the increase in computing power of computers made it possible to develop Glauber Monte Carlo simulation methods, in which nuclei were represented as a set of nucleons uncorrelated with each other, randomly located in simulated volume in accordance with the experimentally obtained nuclear charge distribution functions. In such models, two colliding nuclei are located in space with a random impact parameter, projected onto the XY plane, and interaction probabilities were assigned to each pair of nucleons in accordance with the relative distance between their centroids.

1.4.2 Inputs for Glauber model

As with any computational model, Glauber simulations of particle collision require initial input data, usually obtained in experiments. These are the distribution function of the nuclear charge density $\rho(r)$, measured in experiments that scatter low-energy electrons on nuclei, and the dependence of the inelastic nucleon-nucleon scattering cross section on the collision energy σ_{in}^{NN} [10].

The nuclear charge density distribution is given by the Fermi distribution:

$$\rho(r) = \rho_0 \cdot \frac{1 + \omega \left(\frac{r}{R}\right)^2}{1 + \exp\left(\frac{r-R}{a}\right)}, \quad (1.22)$$

where ρ_0 is the nuclear saturation density or, in other words, the density of nucleons in the center of the nucleus, R is the radius of nucleus, a is the “skin depth” of nucleus in which the nuclear density changes with the respect to the nuclear saturation density, ω is the sphericity parameter (for the spherical nuclei $\omega = 0$).

One of common nucleon density distributions for heavy nuclei is Woods-Saxon one, which is the particle density distribution of a single nucleon inside a nucleus:

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{A \cdot (1 + \exp\left[\frac{r-R}{a}\right])}, \quad (1.23)$$

where A is the number of nucleons,

$$\rho_0 = 0.17 \text{ fm}^{-3},$$

$$R = \left(1.12 \cdot A^{\frac{1}{3}} - 0.86 \cdot A^{-\frac{1}{3}}\right) \text{ fm},$$

$$a = 0.54 \text{ fm} [8].$$

1.4.3 Optical limit Glauber model

In the case of using the Glauber model with an optical limit, the diffraction scattering model is used. In this case, for the wave function of a particle incident to a nucleus with an impact parameter b , the total phase shift $\chi(b)$ is equal to the sum over all possible phase shifts in individual collisions of this particle with each nucleon of the nucleus:

$$\chi(b) = \chi(b; s_1, \dots, s_A) = \sum_{j=1}^A \chi(b - s_j), \quad (1.23)$$

where b is the incident particle impact parameter, s_j is the coordinate of each j^{th} nucleon with respect to the impact parameter axis in coordinate space $\mathbf{r}_j = \{s_j, z_j\}$ [10].

The model assumes that at high energies the nucleons have sufficient momentum not to deflect significantly from the direction of the initial momentum during the elastic scattering, while inelastic scattering of nucleons will lead to the significant deflection. Moreover, each nucleon moves independently of the other nucleons in the nucleus, and the nucleus is large compared to the reach of nucleon-nucleon forces. Thus, in the approximation of independent linear trajectories, it is possible to obtain expressions for calculating the cross sections for nucleus-nucleus interactions, as well as for the number of participant nucleons N_{part} and the number of binary collisions N_{coll} [10].

For two interacting ions, namely, target A and projectile B, colliding at relativistic velocities with an impact parameter \mathbf{b} , one can single out two regions shifted by a distance s from the center of the target ion and by $\mathbf{s} - \mathbf{b}$ from the center of the projectile ion, respectively (see Fig. 6). In a collision, these regions will overlap, and the normalized per unit area probability of finding a certain nucleon in the given region $\{s, z\}$ of the target ion will be equal to

$$\widehat{T}_A(\mathbf{s}) = \int \widehat{\rho}_A(\mathbf{s}, z_A) dz_A, \quad (1.24)$$

where $\widehat{\rho}_A(\mathbf{s}, z_A)$ is the density of probability to find a certain nucleon in the $\{s, z_A\}$ region. Analogous expression is valid for the probability to find incident nucleon $\widehat{T}_B(\mathbf{s} - \mathbf{b})$. The product of these probabilities will then give the overall probability of finding a particular incident nucleon and a target nucleon in the overlapping collision region. The integral over all values of s defines the thickness function $\widehat{T}_{AB}(\mathbf{b})$ as the effective overlap area in which a given nucleon in the target nucleus A can potentially interact with a given nucleon in the projectile B [10]:

$$\widehat{T}_{AB}(\mathbf{b}) = \int \widehat{T}_A(\mathbf{s}) \widehat{T}_B(\mathbf{s} - \mathbf{b}) d^2 \mathbf{s}. \quad (1.25)$$

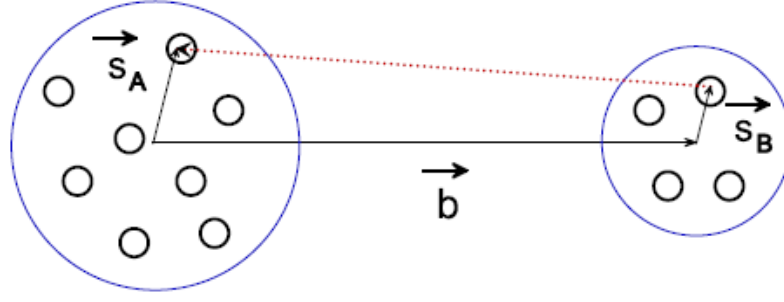


Figure 6 – Scheme showing the relative position of colliding nucleons in incident and target nuclei [8]

The probability of a single interaction between two given nucleons is determined using the thickness function $\widehat{T}_{AB}(\mathbf{b})$ and the inelastic interaction cross section σ_{in}^{NN} as $\widehat{T}_{AB}(\mathbf{b})\sigma_{in}^{NN}$. The probability of passing n such interactions between the nucleus A (with A nucleons) and B (with B nucleons) is given by the binomial distribution:

$$P(n, b) = \binom{AB}{n} \cdot [\widehat{T}_{AB}(\mathbf{b})\sigma_{in}^{NN}]^n \cdot [1 - \widehat{T}_{AB}(\mathbf{b})\sigma_{in}^{NN}]^{AB-n}, \quad (1.26)$$

where $\binom{AB}{n}$ determines the number of combinations to obtain n collisions from AB potential nucleon-nucleon interactions, $[\widehat{T}_{AB}(\mathbf{b})\sigma_{in}^{NN}]^n$ is the probability to get n collisions, $[1 - \widehat{T}_{AB}(\mathbf{b})\sigma_{in}^{NN}]^{AB-n}$ is the probability of absence of $AB - n$ collisions. Then the total probability of interaction between the nuclei A and B is equal to:

$$\frac{d^2\sigma_{in}^{A+B}}{db^2} \equiv p_{in}^{A+B}(\mathbf{b}) = \sum_{n=1}^{AB} P(n, \mathbf{b}) = 1 - [1 - \widehat{T}_{AB}(\mathbf{b})\sigma_{in}^{NN}]^{AB}, \quad (1.27)$$

and for unpolarized nuclei, the vector impact parameter can be replaced by a scalar distance, and then the total interaction cross section will be equal to:

$$\sigma_{in}^{A+B} = \int_0^\infty 2\pi b db (1 - [1 - \widehat{T}_{AB}(b)\sigma_{in}^{NN}]^{AB}), \quad (1.28)$$

so the total number of nucleon-nucleon collisions for a system of nucleus A and nucleus B:

$$N_{coll}(b) = \sum_{n=1}^{AB} nP(n, b) = AB \cdot \widehat{T}_{AB}(b)\sigma_{in}^{NN}. \quad (1.29)$$

The total number of nucleons participating in at least one collision can be defined as:

$$\begin{aligned}
N_{part}(b) = & A \cdot \int \widehat{T}_A(s) \left(1 - [1 - \widehat{T}_B(s-b)\sigma_{in}^{NN}]^B\right) d^2s + \\
& + B \cdot \int \widehat{T}_B(s-b) \left(1 - [1 - \widehat{T}_A(s)\sigma_{in}^{NN}]^A\right) d^2s, \quad (1.30)
\end{aligned}$$

with $\sigma_{in}^{A(B)} = \int d^2s \left(1 - [1 - \sigma_{in}^{NN} \cdot \widehat{T}_{A(B)}(s)]^{A(B)}\right)$ as corresponding inelastic scattering cross section for nucleon-nucleus collisions [10].

Optical limit Glauber model cannot be used to find nucleons at certain spatial coordinates, as it uses continuous nucleon density distributions, in contrast to Glauber Monte Carlo simulation.

1.4.4 Glauber Monte Carlo simulations

The main advantage of this simulation method is the ability to directly determine collision characteristics such as $\langle N_{part} \rangle$ and $\langle N_{coll} \rangle$ through multiple simulation runs. In addition, with Monte Carlo simulations it is possible to find experimentally determined quantities such as the collision multiplicity for a charged particle, utilize the results obtained to analyze the experimental results and determine the centrality of collisions.

In the simulation, two colliding nuclei are defined as follows: both A nucleons in the nucleus A and B nucleons in the nucleus B are distributed in a three-dimensional coordinate system according to their nuclear density distribution function. Then a random impact parameter is set from the distribution $\frac{d\sigma}{db} = 2\pi b$. The process of a nucleus-nucleus collision is carried out as a sequence of independent binary nucleon-nucleon collisions. The nucleons move along linear trajectories, and the cross section σ_{in}^{NN} is assumed to be independent of the number of collisions that the nucleon has undergone earlier. A collision between nucleons is considered to have occurred if the distance between the projections of nucleons on a plane perpendicular to the collision axis satisfies the following condition [10]:

$$d \leq \sqrt{\sigma_{in}^{NN} / \pi}. \quad (1.31)$$

Sequential computer simulation of nucleon-nucleon collisions allows to derive both the number of binary collisions N_{coll} and the total number of participant

nucleons N_{part} for each pair of nuclei with a given impact parameter directly. Therefore, Monte Carlo simulation is preferable for carrying out preliminary calculations of nucleus-nucleus collisions characteristics without introducing additional constraints and side effects.

1.4.5 Systematic effects in Glauber model

The Glauber model takes as input the nucleon-nucleon inelastic cross section σ_{in}^{NN} and the nuclear collision geometry. The collision geometry is determined by the impact parameter b and the number of nucleons in the colliding nuclei, and σ_{in}^{NN} depends on the energy in the c.m.s. as shown in Fig. 7.

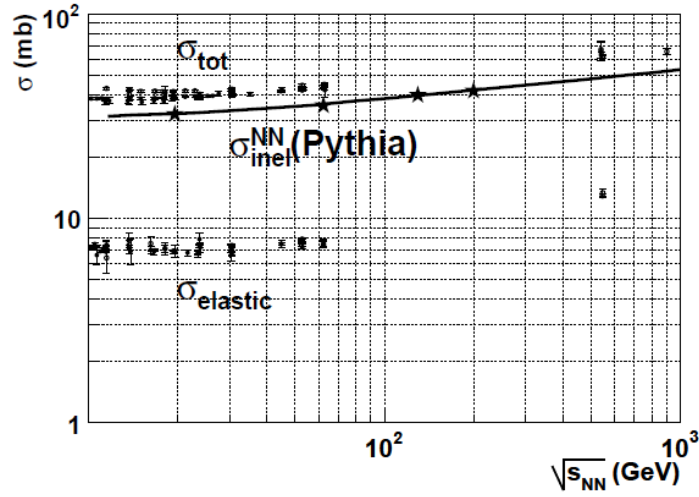


Figure 7 – Inelastic nucleon-nucleon cross section σ_{inel}^{NN} as parametrized by Pythia (solid line) along with data on total and elastic nucleon-nucleon cross sections as function of \sqrt{s} [10]

In turn, the number of participant nucleons and the number of binary collisions also depend on the cross section of the inelastic nucleon-nucleon interaction. However, within the framework of Glauber-Gribov model [29], the so-called nuclear shadowing effect is present [30], which is observed as the fact that the nuclear structure function per number of constituent nucleons is smaller than the structure function of a single nucleon. As a result, the size of σ_{inel}^{NN} fluctuates.

1.4.6 Relating Glauber model to experimental data

The collisions characteristics N_{part} and N_{coll} cannot be directly evaluated from the experimental data. The data typically include measured values, such as the number of final state charged particles registered by some detectors N_{ch} and the number of events N_{evt} . To determine the characteristics of collisions, the concept of “centrality classes” is introduced. To determine centrality classes, the experimental and simulated distributions are divided into segments, which correspond to collisions with different centrality classes, as shown in Fig. 8. For example, these may be the distributions of the events as a function of charged particle multiplicity

$$\frac{dN_{evt}}{dN_{ch}} \text{ OR } \frac{d\sigma}{dN_{ch}}$$

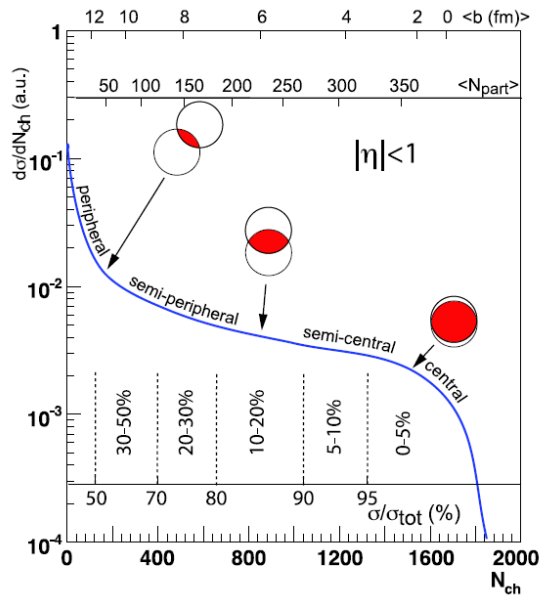


Figure 8 – A cartoon example of the correlation of N_{ch} with Glauber calculated quantities (b, N_{part}) [10]

The division of the distributions into centrality classes is based on the assumption that the multiplicity of particles in collisions depends monotonically on the impact parameter b . For peripheral events with large b it is expected that a small number of nucleons participate in the collision, and a large number of spectator nucleons do not participate in the inelastic interaction. When registering events, such

a situation corresponds to a small number of hits in midrapidity detectors and a large number of hits in zero-degree calorimeters.

The opposite situation is expected in the case of a central collision, when a large fraction of nucleons in colliding nuclei is involved in the process of inelastic interaction, and a large number of hits are recorded in midrapidity detectors, while a small number is recorded in zero-degree calorimeters.

One should integrate the resulting spectra, find the area under the distribution, and then divide spectra into several sections corresponding in range to the proportion of the area under the distribution (0–5%, 5–10%, ..., 50–90%). The partition of the spectra is performed starting from large values of N_{ch} to small ones. Each range is assigned to a certain centrality class. For example, in Fig. 8 the segment 0–5% corresponds to the most central collisions with the largest number of N_{ch} and 50 – 90% to peripheral ones with the inverse situation. Range boundaries in ideal case can be set as follows (using as an example a 5–10% section for central collisions with boundaries n_5 and n_{10}):

$$\frac{\int_{\infty}^{n_5} \frac{dN_{evt}}{dN_{ch}} dN_{ch}}{\int_{\infty}^0 \frac{dN_{evt}}{dN_{ch}} dN_{ch}} = 0.05; \quad \frac{\int_{\infty}^{n_{10}} \frac{dN_{evt}}{dN_{ch}} dN_{ch}}{\int_{\infty}^0 \frac{dN_{evt}}{dN_{ch}} dN_{ch}} = 0.1. \quad (1.32)$$

The partition boundaries of the ranges for the experimental and calculated spectra do not have to be the same. However, in the real experiment the situation is more complicated due to the presence of ultraperipheral electromagnetic interactions, which obscure hadronic part of the cross section for the ultraperipheral events. In that case the integration does not go to infinity, but to the anchor point for which the hadronic interaction dominates.

For calculated distributions, mean values $\langle N_{part} \rangle$ and $\langle N_{coll} \rangle$ are calculated within each centrality class. At the same time, for the calculated distributions, the geometric characteristics and centrality of the collision are known. Therefore, the calculated distributions partitioned by centrality classes can be compared with the experimental data. According to the results of centrality classes comparison for the

calculated and experimental distributions, information about the average values of $\langle N_{part} \rangle$ and $\langle N_{coll} \rangle$ is extracted for the experimental spectrum.

It should be noted that this situation is true for the registration of particles in minimum bias mode, when most of the events are determined by soft processes. In this case, most of the particles formed by such processes continue to move along the beam axis or slightly deflect from it and are recorded by zero-degree detectors. Midrapidity detectors of charged particles detect a small number of particles, which means that $\frac{d\sigma}{dN_{ch}}$ turns out to be large enough for peripheral collisions due to the small number of N_{ch} and decreases with increasing centrality due to an increase in N_{ch} and a decrease in the number of spectator nucleons.

The distribution $\frac{d\sigma}{dN_{ch}}$ obtained in minimum bias mode is well approximated by the negative binomial distribution (NBD). It is worth noting that multiplicity in pp collisions is well described by the NBD as well. This distribution has the property that when folding two NBD, one gets NBD again.

However, in addition to centrality, the multiplicity of the process is affected by its rigidity which quantifies the change in particle 4-momentum Q^2 . With increasing rigidity, the multiplicity of the process increases. For example, in hard processes with parton-parton interaction, deconfinement of quarks and their subsequent hadronization, a large number of particles is emitted in the form of hadrons jet. Such processes are characterized by a significant change in the momentum of the particles with respect to the initial momentum of the colliding nuclei, and the hadrons in the jets are emitted with a large transverse momentum (more than a few GeV/c) with respect to the beam axis.

These collision products are registered by detectors, and the multiplicity of such processes turns out to be higher than in minimum bias collisions on average. However, hard interaction processes occur less often than soft ones, and their contribution to the final distribution turns out to be small compared to the multiplicity distribution from soft processes.

Thus, in heavy-ion collisions, most multiplicity spectra are similar to those for proton-proton collisions in minimum bias mode with a small contribution from rare hard processes. The resulting multiplicity distribution is roughly defined as the superposition of a large number of negative binomial distributions.

Experimental determination of the number of charged particles includes determination of charged tracks number in detectors with the possibility of spatial registration of particle tracks.

To compare the observed quantities related to hard processes in nucleus-nucleus and proton-proton collisions, the nuclear overlap function $\langle T_{AB} \rangle_f$ for a given centrality class f is used:

$$\langle T_{AB} \rangle_f = \langle N_{coll} \rangle_f / \sigma_{in}^{NN}. \quad (1.33)$$

1.4.6 Nuclear overlap function scaling

The number of hard processes occurring in a nucleus-nucleus collision is proportional to the function of the nuclear overlap thickness $T_{AB}(b)$. In a hard process with a cross section σ_{hard}^{pp} given for proton-proton collisions, the calculation of the average particle yield per one collision event of two nuclei A and B with impact parameter b is given by the following relation [10]:

$$N_{hard}^{A+B, coll}(b) = T_{AB}(b) \cdot \sigma_{hard}^{pp}, \quad (1.34)$$

where $T_{AB}(b)$ is normalized in such way that $\int T_{AB}(b) d^2b = AB$.

Nevertheless, at large values of the impact parameter (ultraperipheral and peripheral collisions), the collision of nuclei A and B does not always guarantee the occurrence of inelastic scattering. Then the average number of hard processes per one inelastic collision of nuclei A + B [10]:

$$N_{hard}^{A+B}(b) = \frac{T_{AB}(b)}{p_{in}^{A+B}(b)} \cdot \sigma_{hard}, \quad (1.35)$$

where $p_{in}^{A+B}(b)$ is the probability of inclusive inelastic scattering of A+B nuclei. Typically, the particle yield is represented as a distribution function depending on the transverse momentum p_T . Let the distribution $\frac{d\sigma^{pp}}{dp_T}$ be measured for the case of

a hard proton-proton interaction that led to the formation of particle x . Then, for an

inelastic collision of nuclei A + B, the multiplicity of x particle production will be given as follows:

$$\frac{1}{N_{in}^{AB}} \cdot \frac{dN_{hard,x}^{A+B}}{dp_T} = \frac{T_{AB}(b)}{p_{in}^{A+B}(b)} \cdot \frac{d\sigma_{hard,x}^{pp}}{dp_T}. \quad (1.36)$$

This distribution must be averaged over the impact parameter function:

$$\frac{d\sigma^{AB}}{db} = 2\pi b \cdot p_{in}^{A+B}(b).$$

For the centrality class f in the range of impact parameters $b_1 \leq b \leq b_2$ the distribution of x particle production is [10]:

$$\frac{1}{N_{in}^{AB}} \cdot \frac{dN_{hard,x}^{A+B}}{dp_T} \Big|_f = \langle T_{AB} \rangle_f \cdot \frac{d\sigma_{hard,x}^{pp}}{dp_T}, \quad (1.37)$$

$$\text{where } \langle T_{AB} \rangle_f = \frac{\int_f d^2b T_{AB}(b)}{\int_f d^2b p_{in}^{A+B}(b)} = \frac{\int_{b_1}^{b_2} db 2\pi b T_{AB}(b)}{\int_{b_1}^{b_2} db 2\pi b p_{in}^{A+B}(b)}.$$

For the Glauber Monte Carlo simulation, the nuclear overlap function is $\langle T_{AB} \rangle_f = \frac{\langle N_{coll} \rangle_f}{\sigma_{in}^{NN}}$ for the chosen centrality class with averaging over all collision processes of nuclei, and in collisions where at least one inelastic nucleon-nucleon collision occurred. For the full range of impact parameters $\langle T_{AB} \rangle = \frac{AB}{\sigma_{geom}^{A+B}}$. We can approximately assume $\langle T_{AB} \rangle = AB$. Then the x particle multiplicity distribution function as a function of p_T is given as a set of A·B distribution functions for pp collisions [10]:

$$\frac{1}{N_{in}^{AB}} \cdot \frac{dN_{hard,x}^{A+B}}{dp_T} = AB \cdot \frac{d\sigma_{hard,x}^{pp}}{dp_T}. \quad (1.38)$$

To quantitatively determine the influence of nuclear effects on the formation of particles in the processes of hard interaction, the nuclear modification factor $R_{AB}(p_T)$ is introduced, which is defined as follows [10]:

$$R_{AB}(p_T) = \frac{(N_{in}^{AB})^{-1} \cdot dN_{hard,x}^{A+B}/dp_T}{\langle T_{AB} \rangle_f \cdot d\sigma_{hard,x}^{pp}/dp_T}, \quad (1.39)$$

This modification factor shows the difference between the distributions of the x particle production yield in the collision of nuclei A + B and in the set of independent proton-proton collisions corresponding to such a collision.

The high values of the transverse momentum $p_T \geq 5$ GeV/c for hadrons, can signal the formation of particles due to hard processes. Hence, in the absence of unaccounted nuclear effects R_{AB} should be equal to 1. Nevertheless, for the formation of charged particles in hard processes during nucleus-nucleus collisions, with an increase in the number of participating nucleons, the measured particle yield in (A + B) is suppressed compared to the yield that would be expected from independent superposition of the corresponding number of pp collisions. Thus, $R_{AB} < 1$ is observed.

This effect can be explained by a suppression in the yield of charged particles with high p_T due to the phenomenon of jet quenching which occurs in QGP. This effect can be described as follows. Highly virtual partons which emerge after hard scattering process fragment to a partonic shower. This shower interacts with the ambient QGP medium by collisional and radiative processes, which dissipate energy of the shower. After the hadronization we thus observe smaller number of high- p_T hadrons and high- p_T jets.

The validity of T_{AB} scaling is confirmed by the results of experiments where one measures yield of produced direct photons or the heavy weak intermediate bosons. Due to their electromagnetic nature, photons are not affected by the presence of the QGP, which means that unlike for hadrons, the suppression should not be observed for them. In addition, for the high- p_T direct photons the scaling condition must be satisfied in accordance with the value of the nuclear overlap function T_{AB} . Indeed, the behavior of the nuclear modification factor for direct photons corresponds to the T_{AB} scaling according to Fig. 9.

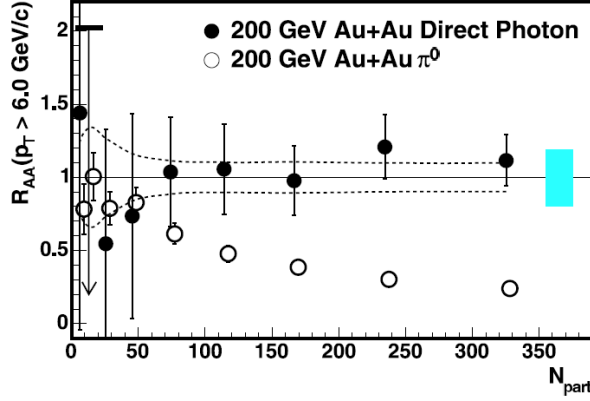


Figure 9 – Nuclear modification factor R_{AA} in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV for direct-photon and neutral-pion yields integrated above

$$p_T = 6 \frac{\text{GeV}}{c}.$$

1.5 Hadron jets and jet clustering algorithms

As noted earlier, a hadron jet is a collimated spray of high-energy hadrons resulting from the hadronization of deconfined partons. The deconfinement of partons occurs as a result of a hard process of deep inelastic scattering. Since one cannot assign particles to a jet in unambiguous way one uses phenomenological jet definition which is based on algorithm. The algorithm is designed to combine particle to a jet if they are close to each other in given metric and sums their 4-momenta according to a given set of rules.

There are several requirements which jet clustering algorithms have to fulfill. The requirements crucial to establish a correspondence between the jets in real experiment and parton level QCD jets are the infrared and collinear safety requirements (IRC-safety) [31]. The infrared safety requires that the emission of a low-energy particle does not change the configuration of final state jets (see Fig. 10).

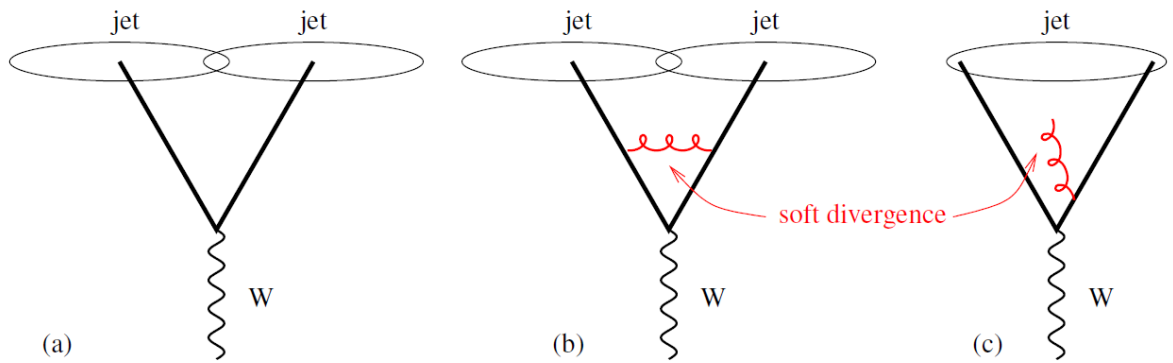


Figure 10 – Configurations illustrating infrared unsafety of jet clustering algorithms. Picture a) shows the initial definition of jets. In case of IR-unsafe algorithm, the emission of a soft gluon has converted the event from having two jets to only one [31]

The collinear safety requires the conservation of the jet configuration during collinear splitting of particles (see Fig. 11). In order to obtain finite cross sections of the processes which involve jet production, the clustering algorithm must meet both requirements.

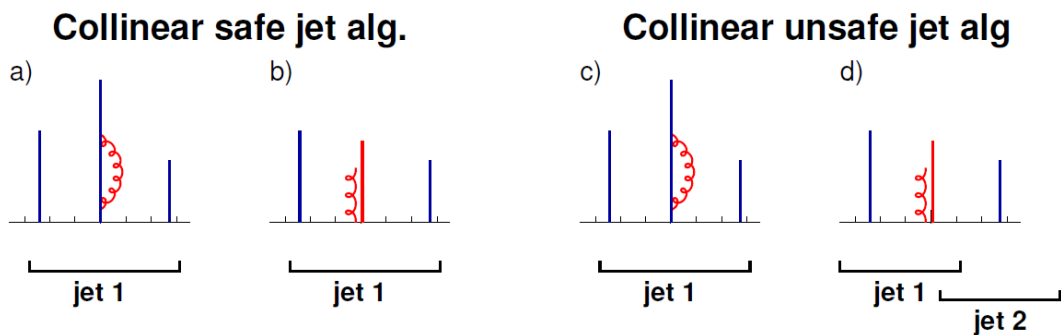


Figure 11 – Illustration of collinear safety (left) and collinear unsafety in jet clustering algorithms. Pictures a) and b) illustrate collinearly safe algorithms where the emission of a collinear gluon does not change the definition of a jet whereas pictures c) and d) illustrate collinearly unsafe algorithms [31]

There are two main types of jet clustering algorithms: cone and sequential recombination ones. In this thesis only the sequential recombination algorithms were

used. The detailed information about other types of clustering algorithms is provided in [31].

The sequential recombination algorithms have first been used in the experiments with e^+e^- collision showers. The first sequential recombination algorithm is JADE, developed in 1980s in JADE collaboration [32]. The sequence of the algorithm work is as follows:

1. For each pair of particles i, j one should calculate the distance:

$$y_{ij} = \frac{2E_i E_j (1 - \cos \theta_{ij})}{Q^2}, \quad (1.40)$$

where Q is the event total energy, E_i is the energy of given particle i , θ_{ij} is the angle between pair of particles i, j . For massless particles y_{ij} is equal to the normalized squared invariant mass of the pair.

2. From all y_{ij} one should select the minimal distance y_{min} .
3. If y_{min} is less than threshold resolution distance y_{cut} , then one should recombine i, j into a single new particle, a “pseudojet” and repeat from step 1.
4. Else one should declare all remaining particles to be jets and terminate the iteration.

This algorithm is infrared and collinear safe.

The next sequential recombination algorithm is k_T . Its implementation for e^+e^- interactions is equal to JADE algorithm, but the distance between particles is declared in other way [33]:

$$y_{ij} = \frac{2 \min(E_i^2, E_j^2) (1 - \cos \theta_{ij})}{Q^2}. \quad (1.41)$$

It means that k_T algorithm starts clusterization from the softest particles.

In experiments on the collision of both individual hadrons and nuclei consisting of them, several problems arise using the above algorithms. For example, the total event energy Q cannot be accurately determined from experimental data as mainly the inclusive processes and events are under study. Then, instead of the dimensionless distance, it is necessary to calculate the dimensionful distance:

$$d_{ij} = 2 \min(E_i^2, E_j^2) (1 - \cos\theta_{ij}), \quad (1.42)$$

together with the dimensionful jet resolution parameter d_{cut} , which determines the maximal distance between the particles to be clusterized. In addition, it is necessary to consider the distance not only between the particles in the selected pairs, but also between the particle and the beamline direction. This need relates to the discrepancies in the branching coefficients of QCD processes both for particle pairs and for a particle-beam pair during clustering by the k_T algorithm for interacting particles.

Initially the distance between beam and particle was introduced as:

$$d_{iB} = 2E_i^2(1 - \cos\theta_{iB}), \quad (1.43)$$

where B refers to the values related with the beam. The whole algorithm contains the same steps, but if the distance $d_{iB} < d_{ij}$, the particle merges with the beam.

In case of collisions of ultrarelativistic particles, clustering algorithms have to be defined via quantities that are invariant under Lorentz transformations, since quantities that do not meet this requirement are not additive in the relativistic case. Therefore, the distance between particles for relativistic particles is determined using Lorentz-invariant quantities such as transverse momentum and rapidity [34]:

$$d_{ij} = \min(p_{Ti}^2, p_{Tj}^2) \Delta R_{ij}^2, \quad (1.44)$$

$$d_{iB} = p_{Ti}^2, \quad (1.45)$$

$$\Delta R_{ij}^2 = (y_i - y_j)^2 + (\phi_i - \phi_j)^2, \quad (1.46)$$

These distances are used in an exclusive version of the k_T algorithm, in which the characteristics of each particle are known. In this case each particle will be associated with either a final state jet or a beam jet.

In reality, when studying hard processes, the characteristics of neutral particles are not monitored. That is why it is necessary to operate with inclusive quantities and consider inclusive processes. Then for the inclusive algorithm k_T the distances are given as follows [35]:

$$d_{ij} = \min(p_{Ti}^2, p_{Tj}^2) \cdot \frac{\Delta R_{ij}^2}{R^2}, \quad (1.47)$$

$$d_{iB} = p_{Ti}^2, \quad (1.48)$$

where R is jet resolution parameter for the algorithm of clusterization.

The full sequence of steps for k_T algorithm is the following:

1. One should calculate all the distances d_{ij}, d_{iB} .
2. One should find the minimal distance d_{ij} or d_{iB}
3. If d_{ij} is minimal, one should merge particles i, j into a single new particle and return to step 1.
4. Else, if d_{iB} is the minimal distance, one should declare particle i as jet in final state and delete it from the list of particles.
5. After all particles will be merged or excluded from the list, one should terminate the execution of the algorithm.

In this version of the algorithm, the jet is determined only by the resolution parameter R : if for a particle i there is no particles within the region at a distance R , then $d_{iB} < d_{ij}$ for any j , and the particle (or collection of particles) i becomes a jet in the final state and is excluded from further clustering. An important consequence is the fact that soft particles can become jets themselves, and therefore, for the inclusive k_T algorithm, it is necessary to set a threshold value for the minimum transverse momentum of the jet, starting from which the results obtained are subjected to further analysis.

A common algorithm for studying hard processes in collisions of relativistic nuclei is the anti- k_T algorithm, which is a generalization of the approaches used in the sequential Cambridge/Aachen [36] and inclusive k_T [35] algorithms. The distances for the algorithm are defined as follows [37]:

$$d_{ij} = \min(p_{Ti}^{2p}, p_{Tj}^{2p}) \cdot \frac{\Delta R_{ij}^2}{R^2}, \quad (1.49)$$

$$d_{iB} = p_{Ti}^{2p}, \quad (1.50)$$

where $p = 1$ for k_T algorithm, 0 for C/A, -1 for anti- k_T . Thus, for the anti- k_T algorithm, the distance between particles is determined starting from the hardest particles (with the largest transverse momentum p_T) [37]:

$$d_{ij} = \min(p_{Ti}^{-2}, p_{Tj}^{-2}) \cdot \frac{\Delta R_{ij}^2}{R^2}, \quad (1.51)$$

$$d_{iB} = p_{Ti}^{-2}, \quad (1.52)$$

The formation of a jet in the process of clustering occurs around the “seed”, which is a particle with the largest transverse momentum. Such an algorithm is less sensitive to the influence of background events formed due to accompanying processes and is well suited for particle clustering in the study of parton-parton interactions in the collision of ultrarelativistic nuclei.

Collisions of ultrarelativistic heavy ions have typically large number of particles in final state. After running jet reconstruction algorithm, each of the particles will be associated to some jet. Jets which emerge from hard scattering process are typically rare. Most of the reconstructed jets are so called combinatorial background jets emerging from the underlying event particles. Production of these background jets cannot be calculated from perturbative QCD and hence it is required to mitigate their contribution to the resulting spectrum of jets.

In this thesis the k_T and anti- k_T algorithms as implemented in the FastJet open-source software [38] were used. The preliminary clustering using k_T algorithm was used to estimate the underlying event density in the simulated events. Next, using the anti- k_T algorithm, clustering of particles into jets was performed. Transverse momentum of the anti- k_T jet was further corrected for contribution of the underlying event by equation [39]:

$$p_{T,jet}^{corr} = p_{T,jet}^{raw,anti-k_T} - \rho \cdot A_{jet}^{anti-k_T}, \quad (1.53)$$

where A is the area of the jet and ρ is the estimated underlying event density.

The intensity of underlying event is determined by clustering the jets using the k_T algorithm with a given resolution parameter R simultaneously with determining the area of the jets in the phase space. To accurately determine the jet area during clustering, a grid is introduced over the entire phase space with a uniform

distribution of “ghost” particles with an infinitely small p_T (of the order of $10^{-100} \frac{\text{GeV}}{c}$) [39]. Since the k_T and anti- k_T algorithms are IRC safe, such particles do not affect the shape and p_T distribution of the jets obtained by clustering. Then the area of the jet is equal to:

$$A_{jet} = \frac{N_{jet}^{ghost}}{\rho_{jet}^{ghost}} = \frac{N_{jet}^{ghost}}{N_{tot}^{ghost}} \cdot A_{tot}, \quad (1.54)$$

where $\rho_{jet}^{ghost} = \frac{A_{tot}}{N_{tot}^{ghost}}$ is the density of ghost particles in $\{\eta, \phi\}$ phase space, equal to the ratio of the total acceptance area of detectors in phase space to the total number of ghost particles, N_{jet}^{ghost} is the number of ghost particles within certain jet.

During clustering, there may be regions not covered by jets that include true particles. In such regions, only ghost particles are located, and they constitute the so-called ghost jets, for which the area is determined, but their transverse moment turns out to be infinitely small [39].

After determining the area of the jets, it becomes possible to estimate the distribution density of the jets p_T . For each clustered jet, the k_T algorithm determines the ratio of jet p_T to its area, after which the median value of ratio is selected from the entire set as the underlying events density ρ [39]:

$$\rho = \text{median}_{k_T jets} \left\{ \frac{p_T^{jet}}{A_{jet}} \right\}. \quad (1.55)$$

The underlying event is dominated by soft particles. This motivates the usage of the k_T algorithm, which starts clusterization procedure from the softest particles in the event. Since events corresponding to hard events are rare compared to the frequency of soft events, it seems reasonable in the analysis to use the median value rather than the mean in order to suppress contribution of "real perturbative QCD" jets which are known to have on average larger p_T when compared to combinatorial background jets. Often one also excludes two leading k_T jets to suppress contribution of the perturbative QCD jets.

The resulting spectrum given by Eq. 1.53 includes jets with negative p_T . These are the jets that include mostly particles from the underlying event, so-called combinatorial background jets.

1.6 Jet quenching

When partons propagate through the medium, they are expected to interact and lose energy via both elastic collisional energy loss with the medium constituents and radiative energy loss induced by the medium [40]. Those two interactions are illustrated in Fig. 12. For high- p_T partons the radiative energy loss is expected to be the dominant mechanism. As a result, we observe suppression of yield of high- p_T hadrons and jets. This phenomenon is known as jet quenching [40]. There are a variety of theoretical approaches to jet quenching [41]. These models can be characterized by \hat{q} , which describes the average transverse momentum squared per mean interaction path length, L , that is transferred to a jet moving through the medium.

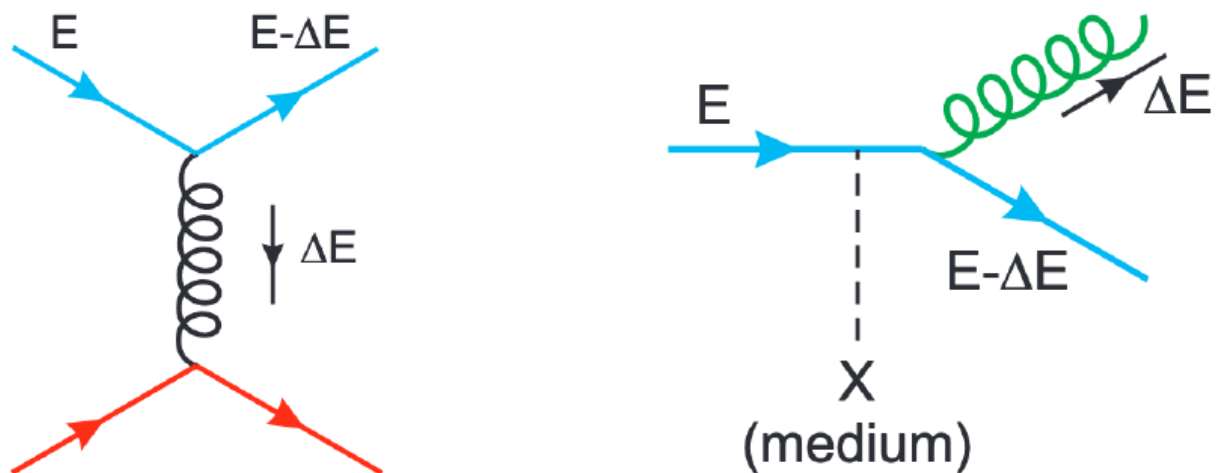


Figure 12 – Diagrams for collisional (left) and radiative (right) energy losses of a quark of energy E traversing a quark-gluon plasma medium [40]

There are a number of perturbative QCD based models which make a variety of different assumptions about how to describe the interaction, but all of them are mostly developed to calculate the rate of gluon emissions by the jet [40]. These models assume that the effects of energy loss are largely expected in modifications

of fragmentation functions in the medium. For these models, collision energy loss is expected to be proportional to L , while radiative it is expected to be proportional to L^2 . An alternative to this perturbative QCD approach is available through anti-de Sitter/conformal field theory correspondence (AdS/CFT) [42]. This approach calculates energy loss as equivalent to drag of the jet propagating through a medium, with energy loss proportional to L^3 .

One can expect to observe the impact of the jet-medium interactions as modification of jets, in the form depending on chosen observable. It is expected that quenching will reduce the p_T and modify the internal jet structure. Such a measurement requires a reference, typically this is the same measurement for pp collisions. For instance, suppression of jet yield is commonly quantified by means of the nuclear modification factor R_{AA} . Another option is to employ a two particle correlation technique, which quantifies the yield of hadron-hadron pairs as a function of their azimuthal distance $\Delta\phi$. Historically, one of the first measurements of jet quenching was done by measuring the yield of these $\Delta\phi$ correlations, as this observable allows to examine on statistical basis how jet fragment yield gets modified [43]. The angular distance is calculated as $\Delta\phi = \phi_{trigger} - \phi_{assoc}$ for each trigger – associated hadron pair, and then normalized per number of triggers. These correlations are shown in the Fig. 13 for Au-Au, pp and d-Au collisions. The suppression of azimuthal two-particle correlation yield in Au-Au collisions due to the quenching of the recoil jet in QGP is observed, as it is shown in Fig. 13 for the corresponding recoil jet peak around $\Delta\phi = \pi$. Since the suppression of the back-to-back correlation is not observed for d-Au, it was inferred that the jet quenching phenomenon is not due to cold nuclear matter effects in the initial state.

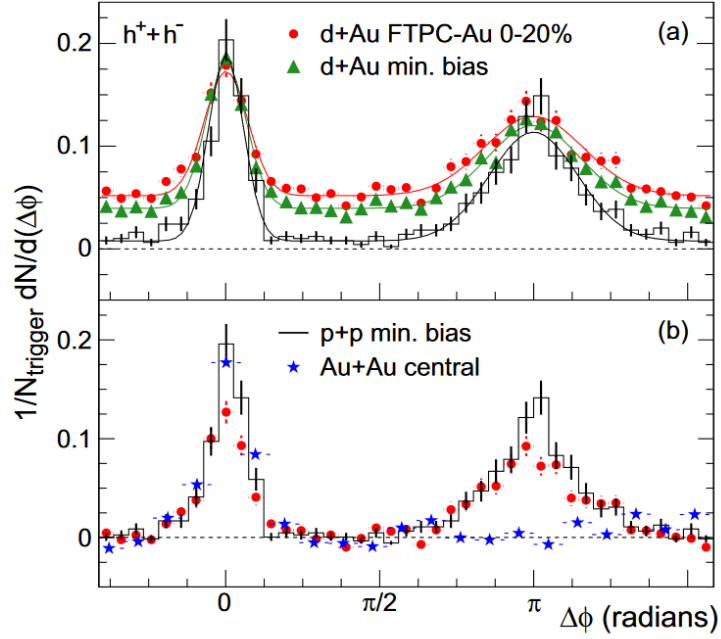


Figure 13 – (a) Efficiency corrected two-particle azimuthal distributions for minimum bias and central d+Au collisions, and for p+p collisions. (b) Comparison of two-particle azimuthal distributions for central d+Au collisions to those seen in p+p and central Au+Au collisions [43]

The observation of jet quenching through the nuclear modification factor R_{AA} can be achieved by comparison of spectra measured in different collision systems by taking the ratio of spectrum measured in nucleus-nucleus collision to the spectrum measured in pp, which is multiplied by the number of binary collisions in nucleus-nucleus according to the Glauber model (see Fig. 14). In case of small collisions systems with few interacting nucleons, such as d-Au or p-Pb or O-O, it is expected that jet quenching effects should be small.

For centrality biased collisions, the Glauber model provides only limited precision of T_{AA} . Therefore, it is convenient to search for jet quenching using other techniques based on semi-inclusive hadron-jet correlations [44]. These observables are suitable even for jet quenching searches in high-multiplicity pp collisions where the Glauber model scaling is not defined.

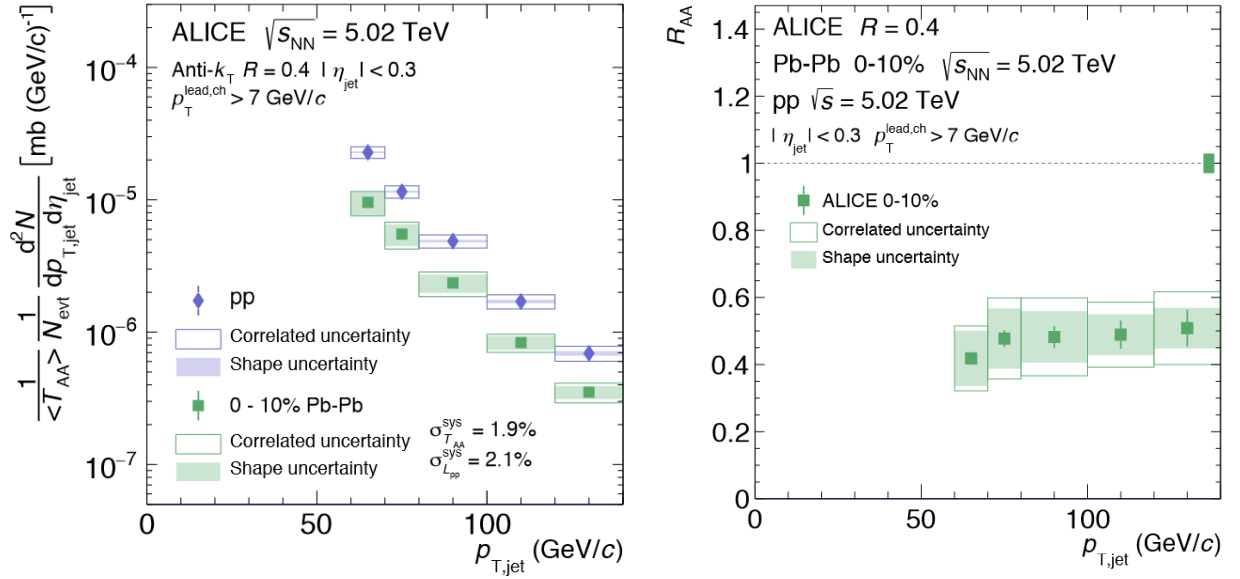


Figure 14 – Left: Unfolded pp and Pb-Pb full jet spectra comparison at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV for $R = 0.4$ with $7 \frac{\text{GeV}}{c}$ leading track requirement. Right: Jet nuclear modification factor at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV for $R = 0.4$ [44]

2 Experimental setup

2.1 The Large Hadron Collider

The Large Hadron Collider is a particle accelerator located at the European Organisation for Nuclear Research (CERN) in Geneva, Switzerland. The LHC is the world's largest circular accelerator. It accelerates protons and heavier nuclei in ultrahigh vacuum (up to 10^{-8} Pa) in two beams in opposite directions. These beams cross at four locations around the accelerator ring at the positions of four particle detectors ATLAS, ALICE, CMS, LHCb. Particles are guided through the ring using superconducting electromagnets cooled by superfluid helium to 1.9 K [28].

The LHC was built for better understanding open questions in high energy physics by colliding particles at high energies and luminosities. The acceleration of particles in the LHC is a multi-step process consisting of several stages. When it is necessary to accelerate protons, the first step is to ionize hydrogen molecule by an electric discharge which removes the electron from hydrogen atoms leaving only hydrogen nuclei – protons. These are then accelerated in a linear accelerator Linac 2 which accelerates them to 50 MeV. The protons are then injected into the Proton Synchrotron Booster – a circular accelerator that accelerates them to 1.4 GeV. The chain continues with the Proton Synchrotron (PS) and the Super Proton Synchrotron (SPS) which accelerate the protons to 25 GeV and 450 GeV respectively. The Super Proton Synchrotron then injects the particles into the LHC which accelerates protons to a maximum energy of 6.5 TeV [28].

The accelerator complex can also accelerate ions, for example, Pb. Lead ions emerge from lead vapor heated to a temperature of about 800°C. The lead vapor is ionized by an electron current. Many different charge states are produced with a maximum around Pb^{29+} . These ions are selected and accelerated to 4.2 MeV per nucleon before passing through a carbon foil, which strips most of them to Pb^{54+} . The Pb^{54+} beam is accumulated, then accelerated to 72 MeV per nucleon in the Low Energy Ion Ring (LEIR), which transfers them to the PS. The PS accelerates the beam to 5.9 GeV per nucleon and sends it to the SPS after first passing it through a

second foil where it is fully stripped to Pb^{82+} . The SPS accelerates it to 177 GeV per nucleon, then sends it to the LHC, which accelerates it to 2.56 TeV per nucleon [28]. The full accelerator chain is depicted in Fig. 15.

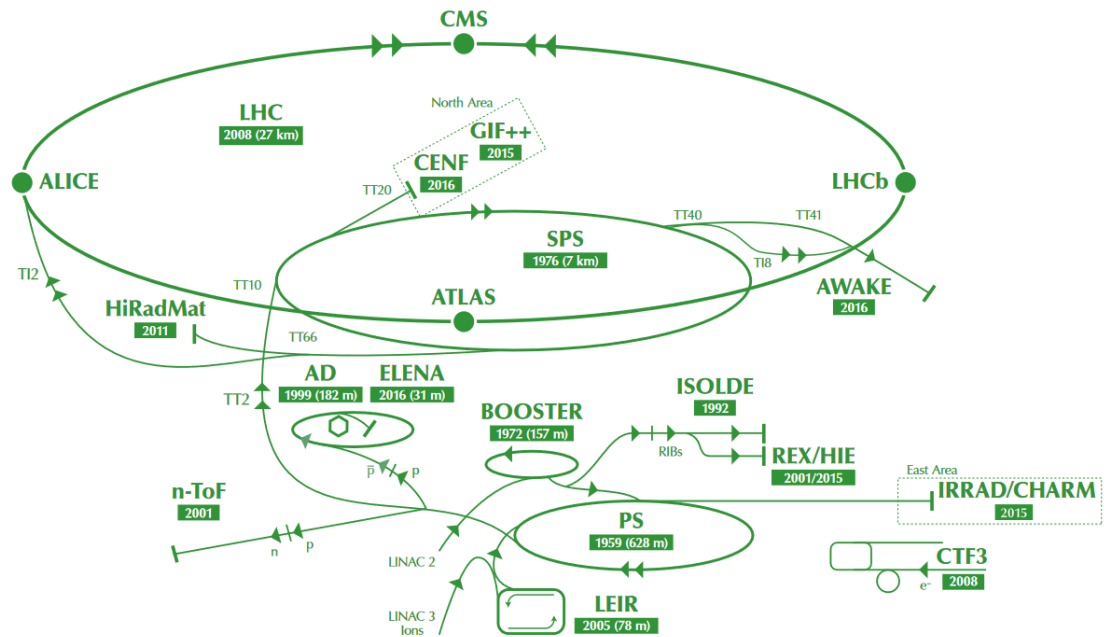


Figure 15 – The accelerator chain [28]

2.2 A Large Ion Colliding Experiment (ALICE)

A Large Ion Colliding Experiment (ALICE) [45] is an experiment with the detector of the same name specialized in measuring and analyzing proton-proton, lead-lead and proton-lead collisions. Proton-proton and proton-lead collisions are used as a reference data taken during the heavy-ion runs. The main goal of the ALICE experiment is to study Quark Gluon Plasma— a state of matter created in high energy heavy ion collisions. Besides the heavy-ion program, ALICE has a rich pp physics program as well.

ALICE consists of a central barrel and a forward muon arm. The central barrel is placed in the $L3$ magnet which supplies a 0.5 T magnetic field. The interaction point is located in the centre of the central barrel. The detectors surrounding the interaction point are dedicated to track reconstruction and identify the outgoing particles. The three detectors, ITS, TPC and V0 are of importance to the analysis of

jets production and event selection, and they shall be discussed further. The schematic depiction of ALICE is presented in Figure 16.

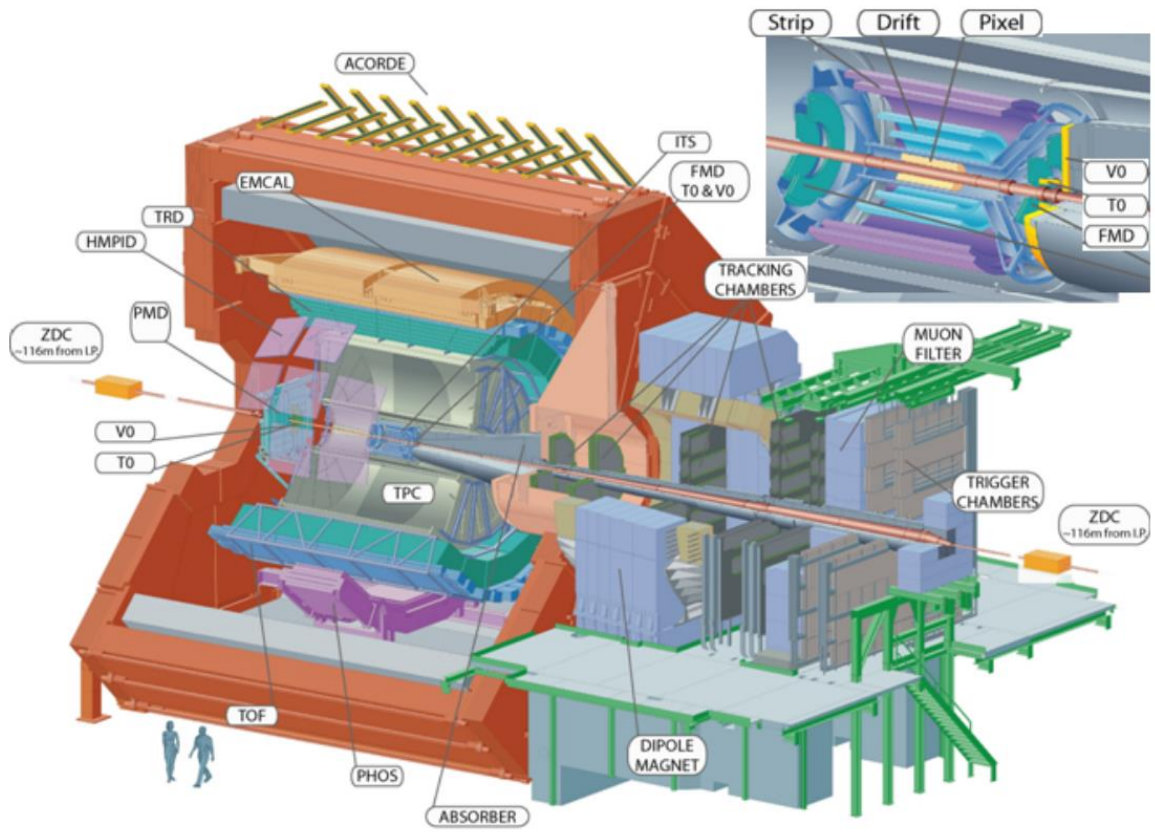


Figure 16 – Schematic view of the ALICE experiment. The zoomed view on the vicinity of the interaction point with the Inner Tracking System detectors and forward detectors is shown in the upper-right inset [46]

2.3 Inner Tracking System (ITS)

The Inner Tracking System (ITS) detector [45] is designed to determine the position of the primary and secondary vertices in a collision and to aid tracking and particle identification. It consists of six layers of silicon detectors. Silicon Pixel Detectors are the two innermost layers. The middle two layers consist of Silicon Drift Detectors. The two outermost layers are Silicon Strip Detectors. Each of the six layers is centered around the vertex diamond and the beam goes through the axis. The ITS covers the pseudorapidity range of $\eta \in (-0.9, 0.9)$. The first layer has a more extended pseudorapidity coverage $|\eta| < 1.98$ to provide, together with the

Forward Multiplicity Detectors (FMD), continuous coverage for the measurement of charged particle multiplicity. The ITS is illustrated in Figure 17.

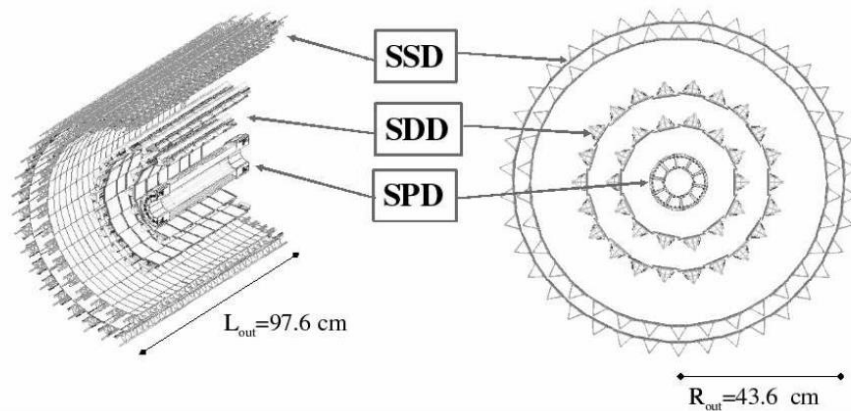


Figure 17 – Layout of the ITS [45]

2.4 Time Projection Chamber (TPC)

The Time Projection Chamber (TPC) [45] is the main detector in ALICE that provides tracking and particle identification based on $\frac{dE}{dx}$. It is a cylinder with an inner radius of 85 cm, an outer radius of 250 cm and a length of 500 cm filled with a mixture of Ne and CO₂. The pseudorapidity range covered by the TPC is $|\eta| < 0.9$ for the tracks with full radial length, and for reduced track length an acceptance up to $|\eta| = 1.5$ is accessible. The TPC covers the full azimuth.

The electromagnetic field in the TPC is generated by a central cathode and end plate cap anodes and has the potential gradient $400 \frac{V}{cm}$. The electric field of the TPC is collinear with the magnetic field of the ALICE L3 solenoid. A particle propagating through the chamber ionizes the gas which produces electron-ion pairs. Ions drift to the central electrodes and electrons drift in the electromagnetic field to the multi-wire proportional chambers at the end caps of the TPC. These electrons provide the x and y coordinates in the transverse plane to the beam axis of the vertex where the ionization occurred. The z coordinate is obtained from the drift time.

2.5 VZERO (V0) detector system

The V0 detector [45,47] consists of two rings of plastic scintillators V0A and V0C. The V0A is located at forward, $2.8 < \eta < 5.1$, and V0C at backward, $-3.7 < \eta < -1.7$ pseudorapidities. V0A is 340 cm away from the center of the detector and V0C is 90 cm away. This asymmetry is caused by an absorber in the muon arm. Both disks are segmented into 32 individual scintillators placed in 4 concentric rings. The V0 detector is used for triggering and measurement of centrality and reaction plane angle.

5 Final results

The projections of statistical and systematic precision for jet quenching measurements in LHC Run3 O-O and p-O collisions are made for the different values of an integrated luminosity scenarios. We found out that the minimum energy shift which would be detectable at the 90% CL in O-O would be 740 MeV, with the significant impact of the uncertainty introduced by pp reference spectrum extrapolation in energy. For the minimum energy shift limit from event activity biased OO collisions ($\frac{0-20\%}{50-100\%}$), we obtained stricter limit on the minimal shift of 230 MeV for the basic luminosity scenario 0.5 nb^{-1} . The minimum detectable energy shift for p-O collisions was found to be about 670 MeV. This value is also dominated by the uncertainty introduced by systematic uncertainty due to pp reference spectrum extrapolation.

The thesis was further dealing with analysis of hadron-jet correlations in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02 \text{ TeV}$. The input data were measured by ALICE in 2017. The measured Δ_{recoil} spectrum was corrected for instrumental effects introduced by the reconstruction procedure using unfolding. The analysis steps were cross checked by means of a closure test. The search for the sources of uncertainty and estimation of the corresponding systematic uncertainties was performed. The relative value of the total systematic uncertainty varies between 2 and 15%. The fully corrected spectrum is within uncertainties compatible with calculation performed by PYTHIA8 Monash.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

При проведении научных исследований одним из важных условий является оценка перспективности и коммерческой ценности разработки. Такая оценка позволяет не только установить потенциальные источники финансирования исследований, но и определить степень готовности и перспективности проекта. Благодаря анализу перспективности и коммерческой ценности можно привлечь новых партнеров или коммерциализировать разработку.

Целью данного раздела является определение перспективности научного исследования, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Определить потенциальных потребителей результатов исследования;
- Провести анализ конкурентных технических решений;
- Выполнить SWOT-анализ: описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта;
- Построить календарный план-график проведения работ в рамках научно-исследовательской работы;
- Рассчитать бюджет научно-исследовательской работы;
- Определить ресурсную, финансовую, бюджетную эффективность исследования.

Эта магистерская диссертация посвящена исследованию возможности образования кварк-глюонной плазмы в малонуклонных сталкивающихся системах, таких как $p+p$ или $O+O$, с помощью метода адрон-струйных корреляций. Основным инструментом исследования является симуляция событий в генераторе PYTHIA8.

6.1 Предпроектный анализ

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Целевой рынок включает в себя сегменты рынка, на котором будут использоваться в дальнейшем результаты исследования. Сегмент рынка – группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. Сегментирование – разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар или услуга.

Объектом текущего исследования является математическая модель процесса формирования кварк-глюонной плазмы в ходе столкновений высокоэнергетических частиц на ускорителях. Тематика исследования связана исключительно с фундаментальной наукой и не имеет массового практического применения. Предполагается, что результаты исследования будут востребованы только среди узкого круга специалистов, занимающихся исследованиями в области физики высокоэнергетических процессов. В связи с этим, сегментирование рынка не представляется возможным.

Таблица 6.1 – Карта сегментирования рынка услуг

		Организация
		Исследовательские центры
Область применения	Калибровка детекторов ускорителя с помощью модели	
	Научно-исследовательская работа	
	Точная настройка алгоритмов обработки данных с датчиков на ускорителе с помощью модели	

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Получение набора данных для исследования образования адрон-струйных корреляций в настоящее время может быть осуществлено только с помощью моделирования предстоящего эксперимента. Существует несколько вариантов ПО, способного производить симуляцию столкновений частиц сверхвысоких энергий:

Вариант 1 – моделирование ускорительного эксперимента в СПО RYTHIA8, разработанном в Лундском университете, Швеция.

Вариант 2 – моделирование ускорительного эксперимента в СПО SHERPA, разработанном в Гарвардском университете, США

Вариант 3 – моделирование ускорительного эксперимента в СПО Herwig7, разработанном в научно-исследовательской коллаборации Herwig.

Все варианты ПО бесплатны, распространяются в соответствии с лицензией GNU GPL как свободно распространяемое ПО и доступны любому желающему пользователю.

В оценочной карте сравнены сильные и слабые стороны конкурирующих технических решений.

Сравнительный анализ осуществляется по наиболее важным показателям с помощью экспертной оценки по пятибалльной шкале, где 1 – наихудшая оценка, а 5 – наилучшая оценка соответствия технического решения показателю. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 6.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Погрешность результатов	0,3	5	3	4	1,5	0,9	1,2
2. Простота использования	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
3. Скорость выполнения расчета	0,2	4	5	5	0,8	1	1
4. Универсальность	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
5. Возможность тонкой настройки	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
5. Требовательность к ресурсам ЭВМ	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
Итого	1	27	24	25	4,6	3,85	4,15

Результаты конкурентного анализа, представленные в таблице 6.2, позволяют заключить, что наиболее предпочтительный и конкурентоспособный вариант моделирования для текущего исследования заключается в использовании генератора PYTHIA8. Этот генератор был разработан с учетом последних экспериментальных данных в физике высоких энергий. Кроме того, он позволяет проводить расчеты столкновений частиц разных типов и осуществлять настройку режимов работы генератора. В связи с этим, выполнять расчеты с использованием генератора PYTHIA8 рекомендуется на многоядерных или многопроцессорных системах – «суперкомпьютерах», однако простые расчеты могут выполняться и на ЭВМ исследователя.

Генераторы SHERPA и Herwig7 представляют собой предыдущее поколение ПО для моделирования столкновений частиц и потому оказываются менее точными при получении результатов. Кроме того, они менее универсальны и сопровождаются недостаточно подробной документацией.

6.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – комплексный анализ научно-исследовательского проекта, проводящийся в несколько этапов. Для составления матрицы SWOT необходимо определить сильные и слабые стороны проекта, угрозы и возможности, связанные с проектом, а также взаимосвязь между ними. Результаты SWOT анализа приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Матрица SWOT-анализа

	Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
	S1. Актуальность работы, связанная с главной задачей детектора ALICE на ускорителе БАК; S2. Бесплатное и легко устанавливаемое ПО; S3. Работа может выполняться удаленно; S4. Доступ к серверам с высокой производительностью для расчета.	W1. Для работы требуются навыки программирования; W2. Большое количество времени, необходимое для моделирования; W3. Узкая направленность работы; W4. Отсутствие опыта работы в сфере.

<p>Opportunities (возможности) O1. Использование новых вычислительных мощностей; O2. Использование данных детектора ALICE с предыдущих экспериментов; O3. Проведение обработки результатов параллельно с вычислениями; O4. Программный код может быть использован для моделирования других экспериментов на ускорителе БАК.</p>	<p>Направления развития: O1S3. Моделирование на удаленных серверах позволяет осуществлять непрерывную обработку результатов по мере их генерации. O2S1. Данные детектора ALICE могут быть использованы для верификации результатов. O3S4. Использование серверов позволяет получать и обрабатывать результаты быстро. O4S2. Программный код может быть переписан для условий другого эксперимента.</p>	<p>Сдерживающие факторы: O1O3W2. Процесс вычислений и обработки можно организовать параллельно с использованием нескольких серверов, что позволяет увеличить объем статистически значимых результатов. O4W3. Используемый программный код может представлять интерес для исследователей из других групп.</p>
<p>Threats (угрозы) T1. Большой объем данных, что может привести к нехватке памяти на серверах; T2. Необходимость интернет-подключения; T3. Неправильная настройка генератора может привести к физически необоснованным результатам.</p>	<p>Угрозы развития: T1S3S4. Несмотря на ограниченные ресурсы исполнителя, CERN предоставляет доступ к высокопроизводительным серверам. T2S3S4. При возникновении проблем с интернет-соединением работа может быть продолжена в любом другом месте.</p>	<p>Уязвимости: T1T3W1W4. На первоначальном этапе проекта возможно допущение ошибок со стороны исполнителя из-за отсутствия опыта работы, что компенсируется контролем со стороны научного руководителя.</p>

По итогам SWOT-анализа было установлено, что работа является перспективной, несмотря на наличие слабостей и угроз, так как существуют пути развития проекта, уменьшающие влияние установленных негативных факторов на процесс выполнения работ в рамках проекта. Кроме того, выявленные сильные стороны и возможности позволяют разработать стратегии по увеличению научной ценности проекта.

6.2 Инициация проекта

6.2.1 Цели и результат проекта

В этом 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. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.д. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Институт ядерной физики АН ЧР	Получение результатов исследования процесса формирования кварк-глюонной плазмы путем моделирования столкновений высокоэнергетических частиц на ускорителях
Научная коллаборация ALICE	

В таблице 6.5 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 6.5 – Цели и результат проекта

Цели проекта	Исследование процесса формирования кварк-глюонной плазмы путем моделирования столкновений высокоэнергетических частиц на ускорителях
Ожидаемые результаты	Спектры продуктов столкновения высокоэнергетических заряженных частиц
Критерии приемки результата проекта	Сравнительный анализ спектров продуктов столкновения высокоэнергетических заряженных частиц ($O+O$, $p+O$) с эталонными спектрами $p+p$ столкновений
Требования к результату проекта	Требование
	Аналогичная эталонной форма спектра поперечного импульса частиц
	Большая по сравнению с эталонной статистическая неопределенность поперечного импульса частиц
	Рассчитана в абсолютных единицах поперечного импульса частиц систематическая неопределенность для генератора в зависимости от выбора настроек
	Существует смещение в низкоэнергетическую область спектра поперечного импульса частиц по сравнению с эталонным
	На смоделированных спектрах отсутствуют выбросы

6.2.2 Организационная структура проекта

В таблице 6.6 приведена информация о рабочей группе проекта, в том числе описаны роли, функции и трудозатраты каждого участника группы.

Таблица 6.6 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
1	Крижек Ф., ИЯФ АН ЧР, руководитель группы ALICE в ИЯФ	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта	168
2	Чумаков Д.К., ТПУ, магистрант	Исполнитель по проекту	Выполнение отдельных работ по проекту.	1056
Итого				1224

В реализации научного проекта задействованы следующие специалисты: руководитель проекта, исполнитель проекта. Руководитель отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта. В большинстве случаев эту роль выполняет руководитель магистерской диссертации. Исполнитель проекта – специалист, выполняющий отдельные работы по проекту. В случае, если магистерская работа является законченным научным исследованием, исполнителем проекта является магистрант. В случае, если магистерская работа является частью научного проекта, исполнителей может быть несколько.

Текущая работа предназначена для выполнения одним исполнителем под контролем руководителя.

6.2.3 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 реализованными в рамках данного проекта. В таблице 6.7 показаны значения ограничений проекта.

Таблица 6.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта, руб	не выше 500 тыс. руб.
Источник финансирования	ИЯФ АН ЧР
Сроки проекта	4 месяца
Дата утверждения плана управления проектом	11.01.2022
Дата завершения проекта	23.05.2022

6.3 Планирование управления научно-техническим проектом

6.3.1 План проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ (НР – научный руководитель, НС – научный сотрудник, он же студент магистратуры) приведен в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – План проекта с этапами работ и распределением исполнителей по их видам

Номер работы	Название	Длительность, дни	Дата начало работ	Дата окончания работ	Должность исполнителя
--------------	----------	-------------------	-------------------	----------------------	-----------------------

1	Составление и утверждение технического задания	2	11.01.2022	13.01.2022	НР
2	Согласование тематики исследования	3	13.01.2022	16.01.2022	НР
3	Разработка методики проведения исследования	7 7	16.01.2022	23.01.2022	НР НС
4	Календарное планирование работ	2 2	23.01.2022	25.01.2022	НР НС
5	Подбор и изучение литературы по теме исследования	21	25.01.2022	15.02.2022	НС
6	Написание программного кода	28	15.02.2022	15.03.2022	НС
7	Генерация данных	15	15.05.2022	30.05.2022	НС
8	Обработка полученных данных	14	30.03.2022	13.04.2022	НС
9	Анализ полученных результатов	7 21	13.04.2022	04.05.2022	НР НС
10	Составление пояснительной записки	19	04.05.2022	23.05.2022	НС
Итого		132			

6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Календарный план-график представлен в виде диаграммы Ганта с разбивкой по месяцам и декадам за период выполнения научного исследования. Для каждого исполнителя столбец со временем выполнения определенной работы штрихуется в соответствии с легендой диаграммы.

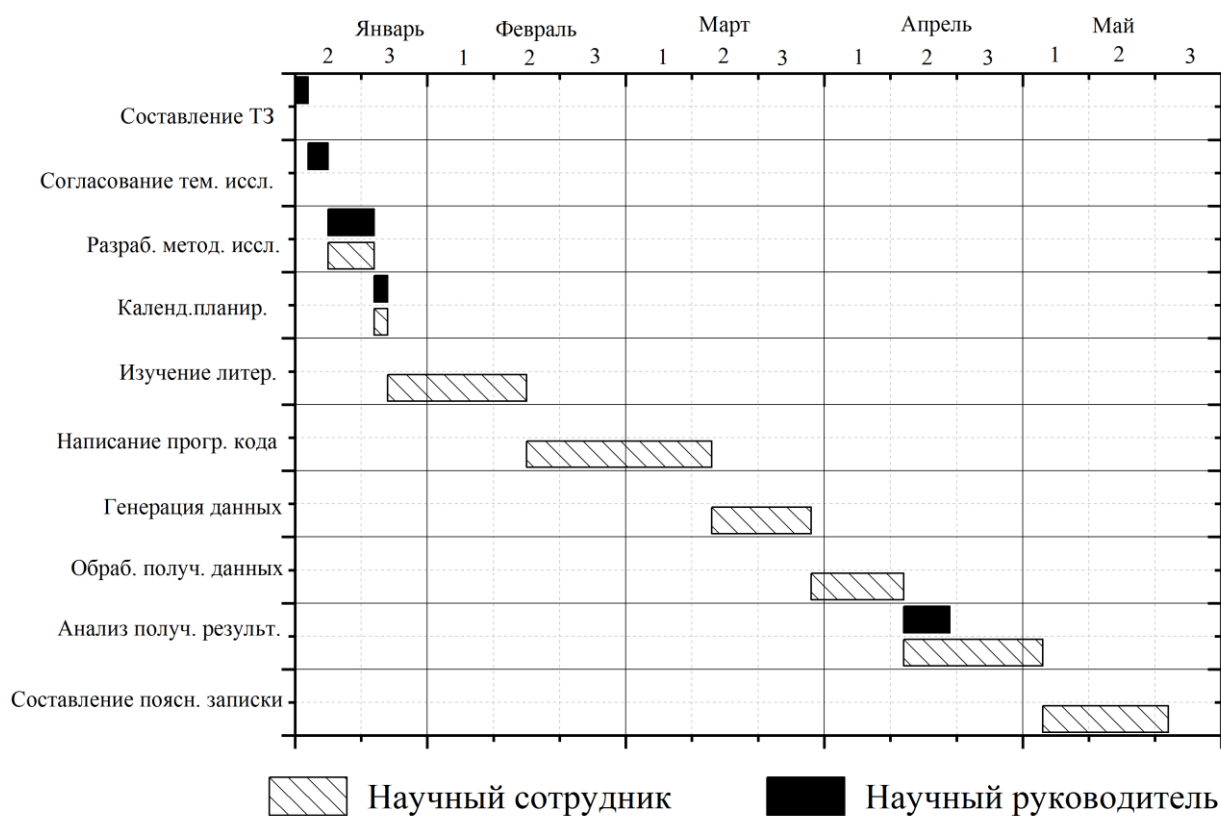


Рисунок 31 - Диаграмма Гантта

6.4 Бюджет НТИ

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета планируемые затраты были сгруппированы по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- научные затраты и производственные командировки;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

6.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для

выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Текущее научное исследование полностью связано с моделированием и теоретическими расчетами, оно не требует затрат на производство конечного продукта. Источником материальных затрат являются только канцелярские принадлежности и расходники для печати отчетов и графических результатов. Результаты расчета затрат сведены в таблицу 6.9.

Таблица 6.9 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Комплект канцелярских принадлежностей	Erich Krause	4	350	1400
Картридж для лазерного принтера	Canon 725	1	3390	3390
Всего за материалы				4790
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				239,5
Итого по статье C_m				5029,5

6.4.2 Специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в виде

амортизационных отчислений. Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для выполнения конкретной темы, сводятся в табл. 6.10.

При выполнении работ, связанных с моделированием, было использовано оборудование, имеющееся в научно-технической организации и принадлежащее исполнителю проекта. Поэтому по статье расходов, связанных с приобретением специального оборудования, будут учитываться только амортизационные расходы.

Рассчитаем амортизационные расходы на примере лазерного принтера Canon i-SENSYS LBP6030B. Срок полезного использования этой единицы оборудования составляет 3 года, тогда норма амортизации будет составлять:

$$N_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0.333, \quad (6.1)$$

где n – срок полезного использования, измеряемый в годах

Тогда амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{N_A \cdot M}{365} d, \quad (6.2)$$

где N_A – норма амортизации оборудования, $d = 127$ дн – срок использования оборудования исполнителем, M – цена за единицу оборудования. Для лазерного принтера Canon i-SENSYS LBP6030B амортизация будет равна:

$$A = \frac{N_A \cdot M}{365} d = \frac{0,333 \cdot 15000}{365} \cdot 127 = 1739,73 \text{ руб.}$$

Таблица 6.10 – Амортизационные отчисления

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Срок полезного пользования, лет	Амортизация, руб.
ПЭВМ	Lenovo Thinkbook 15 G2 ITL	1	72000	5	5010,41
Операционная система	Windows 10 Home	1	13500	5	939,45
Пакет текстовой верстки	Microsoft Office	1	4500	5	313,15

Лазерный принтер	Canon i-SENSYS LBP6030B	1	15000	3	1739,73
Всего амортизационных отчислений, руб					8002,74

6.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6.3)$$

где, $Z_{осн}$ – основная заработная плата, $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, инженера) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (6.4)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника, $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн., $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}, \quad (6.5)$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года; при отпуске в 48 раб. дней $M =$

10.4 месяца для 6-дневной недели; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 6.11).

Таблица 6.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Научный сотрудник (студент магистратуры)
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней -выходные дни -праздничные дни	52 14	52 14
Потери рабочего времени -отпуск Невыходы по болезни	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Для определения рабочих дней (T_p) можно воспользоваться формулой:

$$T_{pi} = \frac{T_{ki}}{K_{\text{кал}}}, \quad (6.6)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -той работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -той работы в рабочих днях;

$K_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = \frac{365}{299} = 1,22 \quad (6.7)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_D) \cdot k_p, \quad (6.8)$$

где $Z_{\text{ТС}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{ТС}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томской области).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 6.12.

Приведем расчет заработной платы для научного руководителя с базовым окладом в 41300 руб, соответствующим должности ведущего научного сотрудника (доктора наук) с числом календарных дней $T_k = 21$ дн.:

$$Z_m = 41300 \cdot (1 + 0.3 + 0.2) \cdot 1.3 = 80535 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{118300 \cdot 10.4}{251} = 3336,91 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 3336,91 \cdot 21 = 70075,08 \text{ руб.}$$

Приведем расчет заработной платы для исполнителя с базовым окладом в 23800 руб, соответствующим должности младшего научного сотрудника (без ученой степени):

$$Z_m = 23800 \cdot (1 + 0.3 + 0.2) \cdot 1.3 = 46410 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{46410 \cdot 10,4}{251} = 1922,96 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1922,96 \cdot 127 = 244216,45 \text{ руб.}$$

Таблица 6.12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	$k_{\text{пр}}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_k , кал. дн.	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Научный руководитель	41300	0,3	0,2	1,3	80535	3336,91	21	17,2	57403,97
Исполнитель	23800	0,3	0,2	1,3	46410	1922,96	127	104	200056,76
Итого:									257460,73

6.4.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных

отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы). Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (6.9)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}} = 0.15$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В табл. 6.13 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 6.13 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Научный руководитель	Научный сотрудник
Основная зарплата	57403,97	200056,76
Дополнительная зарплата	8610,59	30008,51
Зарплата исполнителя	66014,56	230065,27
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	296079,83	

Отразим обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = k_{\text{внеб}} \cdot C_{\text{зп}}, \quad (6.10)$$

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Расчет отчислений во внебюджетные фонды приведен в таблице 6.14.

Таблица 6.14 – Величина отчислений во внебюджетные фонды

Исполнитель	Зарботная плата исполнителя, руб.
Научный руководитель	66014,56
Научный сотрудник	230065,27
Итого по статье $C_{зп}$	296079,83
Коэффициент отчислений	0,3
Величина отчислений во внебюджетные фонды, руб:	88823,95

6.4.5 Научные и производственные командировки

В эту статью включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых принимается в размере 10% от основной и дополнительной заработной платы всего персонала, занятого на выполнении данной темы. Расчет отчислений на научные и производственные командировки приведен в таблице 6.15.

Таблица 6.15 – Величина отчислений на командировки

Исполнитель	Зарботная плата исполнителя, руб.
Научный руководитель	66014,56
Научный сотрудник	230065,27
Итого по статье $C_{зп}$	296079,83
Коэффициент отчислений	0,1
Величина отчислений на командировки, руб:	29607,98

6.4.6 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

К этой статье относится стоимость контрагентных работ, т.е. работ, выполненных сторонними организациями и предприятиями по заказу данной научно-технической организации, результаты которых используются в конкретном НИИ. Кроме того, на эту статью расходов относят оплату консультаций, использование Internet и т.д. Величина этих расходов определяется по договорным условиям.

Для осуществления работ необходим ежедневный доступ в Интернет на протяжении всего периода выполнения работ. Расчет оплаты пользования услугами Интернет-провайдера производится с учетом дневного тарифа $C_{\text{дн}} = 12$ руб/дн. Тогда суммарно за все время выполнения работ на доступ в Интернет должно быть потрачено:

$$C_{\text{ст,и}} = C_{\text{дн}} \cdot T_{\text{к}} = 12 \cdot 132 = 1584 \text{ руб} \quad (6.11)$$

Постоянным потребителем электроэнергии является персональный ЭВМ (ноутбук), потребляющий мощность 65 Вт. При времени работы по 8 часов в день планируется использовать ПЭВМ в течение 1056 часов. Тогда затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 6.17 \cdot 0.065 \cdot 1056 = 423,51 \text{ руб.} \quad (6.12)$$

где $C_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию (6.17 руб. за 1 кВт · ч), P – мощность ПЭВМ, кВт, $F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

Суммарные расходы на оплату работ, выполняемых сторонними организациями, приведены в таблице 6.16.

Таблица 6.16 – Расходы на оплату работ сторонних предприятий

Тип работ	Расходы, руб
Оплата доступа в Интернет	1584,00
Оплата потребления электроэнергии	423,51
Итого, руб:	2007,51

6.4.7 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы составляют 20-25 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (6.13)$$

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

Таблица 6.17 – Накладные расходы

Исполнитель	Зарботная плата исполнителя, руб.
Научный руководитель	66014,56
Научный сотрудник	230065,27
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	296079,83
Коэффициент отчислений	0,2
Величина отчислений на накладные расходы, руб:	59215,97

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Расчет бюджета научно-исследовательской работы приведен в таблице 6.18.

Таблица 6.18 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	5029,50
1. Отчисления на амортизация специального оборудования	8002,74
2. Основная заработная плата	257460,73
3. Дополнительная заработная плата	38619,11
4. Отчисления во внебюджетные фонды	88823,95
5. Научные и производственные командировки	29607,98
6. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	2007,51
7. Накладные расходы	59215,97
Бюджет затрат:	488767,49

Таким образом, проведено планирование бюджета научного исследования, рассчитаны материальные затраты, основная и дополнительная заработная плата научного руководителя и сотрудника, отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления), расходы на научные и производственные командировки, расходы на оплату работ, выполняемых сторонними организациями и накладные расходы предприятия. Бюджет затрат составил 488767,49 рублей.

6.5 Реестр рисков

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 была сведена в таблицу 6.19.

Таблица 6.19 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность	Влияние	Уровень риска	Способ смягчения риска
1	Перезагрузка удаленного сервера	Потеря результатов вычислений	1	5	Высокий	Распределение расчетного задания между несколькими серверами
2	Поломка ноутбука	Затруднение проведения вычислений	3	2	Средний	Предоставление студенту рабочего места с компьютером и необходимым ПО

6.6 Определение ресурсной, 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:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (6.14)$$

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

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:

$$I_{pi} = \sum a_i b_i, \quad (6.15)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Возможные варианты исполнения научного исследования

Исп.1 – Результаты моделирования обработаны с помощью анти- k_T алгоритма кластеризации частиц. Такой алгоритм более чувствителен к частицам, полученным в ходе высокоэнергетических процессов, но менее чувствителен к фоновым событиям.

Исп.2 – Результаты моделирования обработаны с помощью k_T алгоритма кластеризации частиц. Такой алгоритм лучше всего использовать, когда важно учитывать интенсивность фоновых событий.

Исп. 3 - Результаты моделирования обработаны с помощью конического алгоритма кластеризации частиц. Этот алгоритм является одним из наиболее быстродействующих, однако для него существуют дополнительные ограничения при использовании в физике столкновений ионов.

Таблица 6.20 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения
проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп. 3
1. Соответствие предварительных экспериментальных данных и модели	0,30	5	4	3
2. Удобство применения	0,10	3	5	5
3. Быстродействие	0,10	3	4	5
4. Чувствительность к высокоэнергетическим процессам	0,30	5	3	3
5. Погрешность алгоритма	0,20	4	4	3
Итого	1	20	20	19

$$I_{p-исп1} = 0.3 \cdot 5 + 0.1 \cdot 3 + 0.1 \cdot 3 + 0.3 \cdot 4 + 0.2 \cdot 4 = 4.4$$

$$I_{p-исп2} = 0.3 \cdot 4 + 0.1 \cdot 5 + 0.3 \cdot 4 + 0.3 \cdot 3 + 0.2 \cdot 4 = 3.8$$

$$I_{p-исп3} = 0.3 \cdot 3 + 0.1 \cdot 5 + 0.3 \cdot 5 + 0.3 \cdot 3 + 0.2 \cdot 3 = 3.4$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{испi1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.и}}, I_{испi2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{фин.и}}. \quad (6.16)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{p-испi}}{I_{p-исп1}}. \quad (17)$$

Таблица 6.21 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.4	3.8	3.3

3	Интегральный показатель эффективности	4.4	3.8	3.3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0.86	0.77

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

6.7 Выводы по разделу

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела можно сделать следующие выводы:

Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации исследования как наиболее предпочтительного и рационального по сравнению с остальными;

При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для научного руководителя и научного сотрудника, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 132 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал научный сотрудник – 127 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 21;

Составлен бюджет научного исследования, позволяющий оценить затраты на его реализацию, которые составляют 488767,49 руб;

По факту оценки эффективности НИ можно сделать следующие выводы:

- Значение интегрального финансового показателя НИ составляет 1 для всех вариантов исполнения, что объясняется одинаковыми затратами на создание различных вариантов;

- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности НИ составляет 4.4, по сравнению с 3.8 и 3.4 для других вариантов;

- Значение интегрального показателя эффективности НИ также составляет 4.4, по сравнению с 3.8 и 3.4 для других вариантов

- Сравнительная эффективность вариантов исполнения для НИ составляет 1, по сравнению с 0.86 и 0.77 для других вариантов, что свидетельствует о том, что был выбран наиболее эффективный вариант исполнения научно-исследовательской работы.

7 Социальная ответственность

7.1 Введение

В текущем разделе рассмотрены вопросы, связанные с анализом и выявлением возможных опасных и вредных факторов на рабочем месте научного сотрудника, организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

Эта магистерская диссертация посвящена исследованию возможности образования кварк-глюонной плазмы в малонуклонных сталкивающихся системах с помощью метода адрон-струйных корреляций. Основным инструментом исследования является моделирование столкновения высокоэнергетических ионов в генераторе РУТНIA8. Объектом текущего исследования является математическая модель процесса формирования кварк-глюонной плазмы в ходе столкновений высокоэнергетических частиц на ускорителях. Основная часть работы - написание программного кода и обработка данных - производилась в физическом корпусе Института ядерной физики Академии наук Чешской Республики, г. Ржеж. Все работы, связанные с проведением текущего исследования, проводились в офисном помещении площадью 54 м², оборудованном для работы трёх научных сотрудников с использованием персональных ЭВМ (ПЭВМ). Под проектированием рабочего места понимается целесообразное пространственное размещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях функционально взаимосвязанных средств производства, необходимых для осуществления трудового процесса. При проектировании рабочих мест должны быть учтены санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест. При проектировании лаборатории также необходимо уделить внимание охране окружающей среды, в частности организации безотходного производства.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Возможной ЧС в зимнее время года может быть наступление морозов. Из-за

интереса как к результатам расчета, так и возможности получения незаконного доступа к внутренней сети исследовательских групп ЦЕРН, одной из возможных ЧС может быть диверсия или промышленный шпионаж.

7.2 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

В этом пункте рассматриваются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при моделировании физических процессов с использованием ПЭВМ. Перечень вредных и опасных факторов, воздействующих на оператора ЭВМ, приведен в таблице 7.1. Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего человека в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности. Опасным называется производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Критерии отношения фактора к вредным или опасным устанавливаются ГОСТ 12.0.003–2015 ССБТ [65].

Таблица 7.1 – Вредные и опасные факторы

Источник фактора Наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Запуск питания в помещении 2. Моделирование процесса на ПЭВМ 3. Чтение литературы с описанием процесса	1. Отклонение показателей микроклимата 2. Превышение уровня шума в рабочей зоне 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны 4. Повышенный уровень электромагнитного излучения	1. Электрический ток 2. Пожароопасность	ГОСТ 12.0.003–2015 ССБТ; ГОСТ 12.1.005–88 ССБТ; ГОСТ 27818–88 (СТ СЭВ 5147–85); СП 52.13330.2016; СанПиН 1.2.3685–21; ПУЭ (изд. 7); ГОСТ 12.1.038–82* ССБТ; ГОСТ 12.1.019–2017 ССБТ; НПБ 105-03; СП 12.13130.2009;

7.3 Вредные факторы

7.3.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности благодаря отсутствию посторонних раздражителей организма человека.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху в рабочей зоне должны соответствовать ГОСТ 12.1.005–88 ССБТ [66] в соответствии с легкой (Ia) категорией работ. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха для проведения производственных работ приведены в таблице 7.2.

Микроклимат рабочего помещения на рассматриваемом предприятии поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, принудительной вентиляцией, а также дополнительным прогревом в холодное время года.

Таблица 7.2 – Нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Нормы микроклимата	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, % относ.	Скорость движения воздуха, м/с
Оптимальные	19-22	40-60	≤ 0.2
Допустимые	15-28	20-80	≤ 0.5

7.3.2 Превышение уровня шума на рабочем месте

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации. Длительное воздействие шума большой

интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению. Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление.

Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик ЭВМ и прочих устройств для исследований, разработок, конструирования, программирования и врачебной деятельности устанавливаются в соответствии с ГОСТ 27818-88 (СТ СЭВ 5147-85) [67]. Шум на рабочих местах также может проникать извне через каналы вентиляции и проем двери из кабинета в коридор.

При работе с ПЭВМ основной источник шумов – вентилятор системы охлаждения внутреннего электронного оборудования, а также периферийное оборудование (клавиши клавиатуры). Для рабочих мест с использованием устройств для исследований, разработок, конструирования, программирования и врачебной деятельности уровень шума не должен превышать 50 дБ (ГОСТ 27818-88 [67]). При работе с используемым ПЭВМ уровень шума от работы исправного вентилятора охлаждения не превышает 15 дБ.

Уменьшение влияния шума возможно путём изоляции источников шумов, проведения акустической обработки помещения (применения звукопоглощающей облицовки, акустических экранов, создания дополнительных перегородок из звукоизоляционных материалов); проведения профилактических работ, применения средств индивидуальной защиты органов слуха – противозумных наушников, ушных вкладышей (берушей).

7.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещенность - важнейший параметр на рабочем месте оператора, обеспечивающий комфортные условия, повышенную эффективность и безопасность труда, снижающий утомление и травматизм, сохраняющий работоспособность.

В соответствии со СП 52.13330.2016 [68] освещение должно обеспечить: санитарные нормы освещенности на рабочих местах, равномерную яркость в поле зрения, отсутствие резких теней и блескости, постоянство освещенности по времени и правильность направления светового потока. Освещенность на рабочих местах и в производственных помещениях должна контролироваться не реже одного раза в год. Фактическая освещенность в помещении должна быть больше или равна нормируемой освещенности. Требования, приведенные в таблице 7.3, соответствуют условиям труда оператора ЭВМ.

К гигиеническим требованиям, отражающим качество производственного освещения, относятся:

- равномерное распределение яркостей в поле зрения и ограничение теней;
- ограничение прямой и отраженной блёскости;
- ограничение или устранение колебаний светового потока.

Таблица 7.3 – Требования к освещенности помещения

Характеристика зрительной работы				Высокой точности
Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм				От 0,30 до 0,50
Разряд зрительной работы				III
Подразряд зрительной работы				Г
Контраст объекта с фоном				Средний
Характеристика фона				Светлый
Искусственное освещение	Освещенность, лк	При системе комбинированного освещения	всего В т.ч. от общего	400 200
		При системе общего освещения		200
	Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности (Р) и коэффициента пульсации (K_p)	Р		40
		K_p , %		15
Естественное освещение	Коэффициент естественного освещения (e_n), %	При верхнем или комбинированном освещении		-
		При боковом освещении		-
Совмещенное освещение	Коэффициент естественного освещения (e_n), %	При верхнем или комбинированном освещении		3,0
		При боковом освещении		1,2

Для обеспечения рационального освещения, отвечающего техническим и санитарно-гигиеническим нормам, в помещении предусмотрены

остекленные окна в стенах для достаточного проникновения солнечного света в светлое время суток, а также система светильников дневного света, обеспечивающих достаточную освещенность в темное время суток.

7.3.4 Расчет искусственного освещения

Согласно СП 52.13330.2016 [68], в кабинетах информатики и вычислительной техники при считывании информации с экрана дисплея освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 200 лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (7.1)$$

где E_H – нормируемая минимальная освещённость по СП 52.13330.2016, лк; S – площадь освещаемого помещения, м²; K_3 – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли; Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение E_{cp}/E_{min} . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1; N – число ламп в помещении; η – коэффициент использования светового потока.

Длина помещения $A = 9$ м, ширина $B = 6$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СП 52.13330.2016, необходимо создать освещенность не ниже 200 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B, \quad (7.2)$$

где A – длина, м; B – ширина, м. Тогда $S = 9 \cdot 6 = 54 \text{ м}^2$.

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{\Pi} = 70\%$. 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-30, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛД}} = 1650 \text{ лм}$. К ней выберем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-30. Этот светильник имеет две лампы мощностью 30 Вт каждая, длина светильника равна 925 мм, ширина - 265 мм.

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) $h_c = 0,5 \text{ м}$.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_{\Pi} - h_p, \quad (7.3)$$

где h_{Π} – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом. Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_{\Pi} = 3,5 \text{ м}$. Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле (7.4):

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м}. \quad (7.4)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле (7.5):

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ м}. \quad (7.5)$$

Число рядов светильников в помещении: $N_B = \frac{B}{L} = \frac{6}{2,2} = 2,72 \approx 3 \text{ шт}$,

Число светильников в ряду: $N_A = \frac{A}{L} = \frac{9}{2,2} = 4,1 \approx 4 \text{ шт}$,

Общее число светильников $N_{\text{св}} = N_A \cdot N_B = 3 \cdot 4 = 12$ шт.

Тогда общее число ламп в светильниках (по 2 лампы на светильник):

$$N = 2N_{\text{св}} = 24 \text{ шт.}$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется как $l = \frac{L}{3}$. Установим точные расстояния между светильниками. Найдем L_A, L_B :

$$(N_A - 1) \cdot L_A + \frac{2}{3}L_A + N_A \cdot l_A = A \rightarrow 3 \cdot L_A + \frac{2}{3}L_A + 4 \cdot 925 = 9000 \quad (7.6)$$

$$L_A = \frac{A - N_A \cdot l_A}{(N_A - 1 + \frac{2}{3})} = \frac{9000 - 4 \cdot 925}{(4 - 1 + \frac{2}{3})} = 1445 \text{ мм}; L_{Ac} = \frac{L_A}{3} = 480 \text{ мм.} \quad (7.7)$$

$$(N_B - 1) \cdot L_B + \frac{2}{3}L_B + N_B \cdot l_B = B \rightarrow 2 \cdot L_B + \frac{2}{3}L_B + 3 \cdot 265 = 6000 \quad (7.8)$$

$$L_B = \frac{B - N_B \cdot l_B}{(N_B - 1 + \frac{2}{3})} = \frac{6000 - 3 \cdot 265}{(3 - 1 + \frac{2}{3})} = 1950 \text{ мм}; L_{Bc} = \frac{L_B}{3} = 650 \text{ мм.} \quad (7.9)$$

Размещаем светильники в три ряда по четыре светильника в каждом. На рисунке 32 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

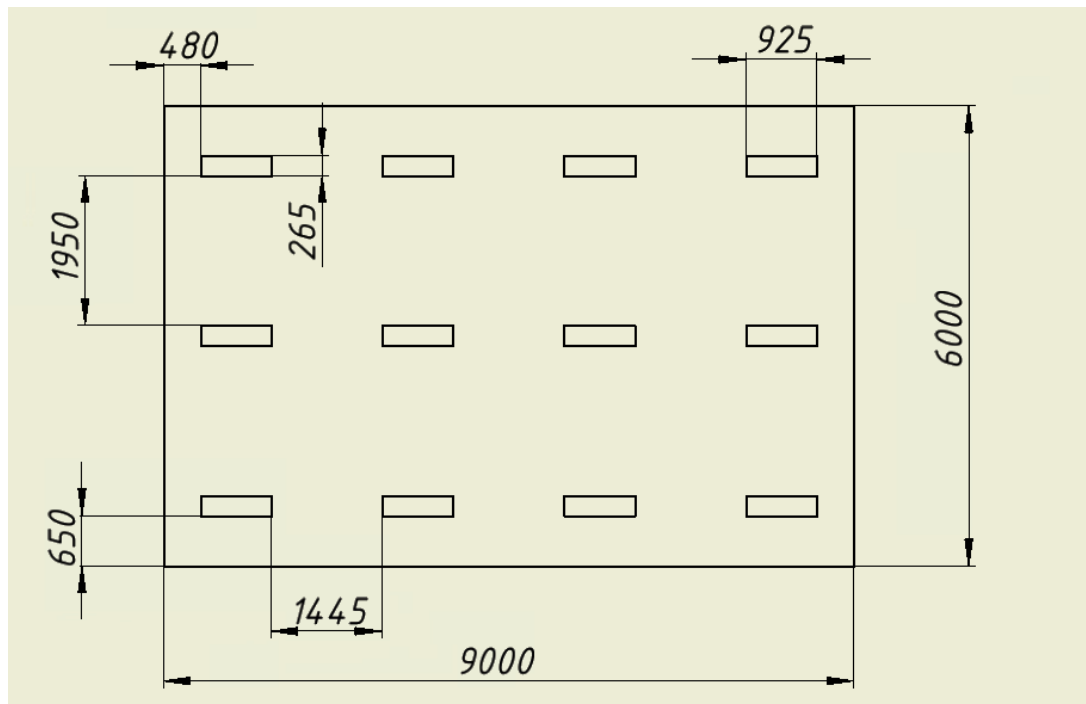


Рисунок 32 - План размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле (7.10):

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{9 \cdot 6}{2 \cdot (9 + 6)} = 1,8 \quad (7.10)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\Pi} = 70\%$, $\rho_C = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,8$ равен $\eta = 0,5$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильников определяется по формуле:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 54 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{24 \cdot 0,5} = 1485 \text{ лм}, \quad (7.11)$$

Световой поток выбранной лампы ЛД-30 составляет $\Phi_{\text{ЛД}} = 1650$ лм.

Проверим выполнение условия выбора лампы:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\Pi}} \leq 20\% \quad (7.12)$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{1650 - 1485}{1485} \cdot 100\% = 11\%$$

Таким образом, необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Выбранный тип ламп и светильника позволяют создать нужную освещенность в помещении.

7.3.5 Электромагнитные поля в производственных помещениях

Основным вредным фактором является электромагнитное поле (ЭМП). Находясь в электромагнитном поле, человек поглощает его энергию, в тканях возникают высокочастотные токи с образованием теплового эффекта.

Биологическое действие электромагнитного излучения зависит от длины волны, напряженности поля, длительности и режима воздействия. При воздействии на человека электромагнитного поля возникают нарушения электрофизиологических процессов в центральной нервной и сердечно-сосудистой системах, функций щитовидной железы, генеративной функции организма.

Основным источником электромагнитного излучения во время проведения исследовательских работ был персональный ЭВМ.

Согласно СанПиН 1.2.3685–21 [69], временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых источниками электромагнитного излучения (в т.ч. ПЭВМ):

ПДУ напряженности магнитного поля промышленной частоты 50 Гц составляет 10 мкТл; ПДУ электромагнитного поля (ЭП) частотой 50 Гц на рабочем месте составляет 5 кВ/м.

Согласно СанПиН 1.2.3685–21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [69], ПДУ синусоидального магнитного поля частотой 50 Гц:

Таблица 7.4 - Предельно допустимые уровни синусоидального магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания, ч	Допустимые уровни МП, H [А/м]/ B [мкТл] при воздействии	
	Общем	Локальном
≤ 1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

ПДУ напряженности и плотности потока энергии ЭМП диапазона частот ≥ 30 кГц – 300 ГГц составляют:

Таблица 7.5 - ПДУ напряженности и плотности потока энергии ЭМП диапазона частот ≥ 30 кГц – 300 ГГц

Параметр	Максимально допустимые уровни в диапазонах частот (МГц)				
	$\geq 0,03 - 3,0$	$\geq 3,0 - 30,0$	$\geq 30,0 - 50,0$	$\geq 50,0 - 300,0$	$\geq 300,0 - 3 \cdot 10^5$
E , В/м	500	300	80	80	-
H , А/м	50	-	3,0	-	-
ППЭ, мкВт/см ²	-	-	-	-	1000

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется посредством средств коллективной защиты:

- защита временем,
- защита расстоянием,
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения,
- экранирование источника заземленным металлическим ограждением.

К индивидуальным средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

В процессе выполнения научного исследования не были превышены нормы СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [69].

7.4 Опасные факторы

7.4.1 Электрический ток

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Помещение, в котором выполнялись работы, относится к классу без повышенной опасности, поскольку оно характеризуется следующими признаками: в помещении нет повышенной температуры, высокой влажности, отсутствует воздействие коррозионных и едких веществ, электрооборудование и электрические сети установлены в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) [70].

ПЭВМ работает под напряжением 220 В (относится к группе электроустановок до 1000 В), относится к группе установок с малыми токами замыкания на землю. Согласно ПУЭ [70], сопротивление заземляющего устройства в любое время года должно быть не более 4 Ом, при этом сечение заземляющей жилы должно быть не менее 4 мм² для медных проводников, не менее 6 мм² – для алюминиевых и не менее 20 мм² – для стальных. Безопасные значения тока составляют 0,1 А, напряжения – (12...36) В, сопротивления заземления – 4 Ом, в соответствии с ГОСТ 12.1.038-82* ССБТ [71].

В процессе выполнения работ на ЭВМ может возникнуть опасность поражения электрическим током. Основными причинами этого могут

послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к металлическим конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. Для предотвращения опасности поражения электрическим током следует соблюдать правила электрической безопасности:

- перед включением ЭВМ в сеть необходимо визуально проверить ее электрическую часть на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие токопроводящих частей на корпусе компьютера,

- ЭВМ подключается через блок питания или питающее устройство, имеющее сетевой фильтр, конденсаторы которого предназначены для шунтирования через провод зануления и соответствующие трехполосные вилку и розетку высокочастотных помех питающей сети на землю,

- при выявлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической цепи ЭВМ;

Каждому необходимо знать меры медицинской помощи при поражении электрическим током. В любом рабочем помещении необходимо иметь медицинскую аптечку для оказания первой медицинской помощи.

Любой электроприбор должен быть немедленно обесточен в следующих случаях: возникновение угрозы жизни или здоровью человека, появление запаха, характерного для горячей изоляции или пластмассы, появление дыма, огня, искрения, обнаружение видимого повреждения силовых кабелей или других устройств.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ в соответствии с ГОСТ 12.1.019–2017 ССБТ [72].

Средства коллективной защиты:

- заземление источников электрического тока;
- для защиты от токов короткого замыкания необходимо наличие быстродействующих устройств защиты; электрическая сеть должна иметь защиту от токов короткого замыкания, обеспечивающую по возможности наименьшее время отключения и требования селективности;

- использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.

Средства индивидуальной защиты:

- использование диэлектрических перчаток, изолирующих клещей и штанг, слесарных инструментов с изолированными рукоятками, указателей величины напряжения, калош, бот, подставок и ковриков.

7.4.2 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания на категории А, Б, В, Г и Д.

Согласно НПБ 105–03 [73], лаборатория относится к категории В – горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б. По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СП 12.13130.2009 [74] (выполнено из кирпича, который относится к трудносгораемым материалам).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

В целях пожарной безопасности помещение оборудовано рубильниками для полного обесточивания помещения, а также применением специальных защитных устройств, что также дополняет меры по электробезопасности. В качестве средств оповещения при пожаре в помещении установлена система экстренного оповещения со звуковым извещателем.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

В качестве первичных средств пожаротушения используются порошковые огнетушители ОП-4, ОП-5, а также углекислотные огнетушители типа ОУ-5. Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5. В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м.



Рисунок 33 – План эвакуации

В производственном помещении обязательно должен быть план эвакуации людей при пожаре, регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники. План эвакуации при пожаре представлен на рисунке 33.

С целью предотвращения пожаров необходимо уходя из помещения, проверить отключение электроприборов, силовой и осветительной сети; курить только в отведенных для курения местах; провести ознакомление сотрудников с планом эвакуации людей при пожаре.

7.5 Экологичность

В ЭВМ содержится большое количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу как для человека, так и для окружающей среды. К таким веществам относятся свинец, ртуть, никель, цинк, щелочи. Поэтому ЭВМ требует специальных методов утилизации. Отработавшие свой ресурс люминесцентные лампы и батарейки также являются небезопасными для природы и человека. Использованные бумажные черновики разумно ввести во вторичную обработку для последующего повторного использования. В связи с этим, для правильной утилизации отходов рекомендуется применять следующие меры:

- отделение металлических частей техники от неметаллических;
- разделение изделий из углеродистых сталей и из цветных металлов;
- измельчение пластмассовых изделий для уменьшения объема;
- измельчение бумажных документов в шреддере;
- складирование люминесцентных ламп и батареек в герметичной жесткой таре;
- упаковка печатного порошка и проклассифицированных измельченных компонентов оргтехники в отдельную упаковку с дальнейшим хранением на складе по мере накопления до достижения объема в одну транспортную единицу;
- отправка проклассифицированных отходов по мере накопления объема предприятиям и фирмам, специализирующимся по переработке отдельных видов материалов.

Утилизировать оргтехнику специальным образом необходимо по следующим причинам: во-первых, в ЭВМ и организационной технике

содержится некоторое количество драгоценных металлов, а во-вторых, предприятие может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на объекты захоронения твердых бытовых отходов;

7.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация — это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. В текущей работе невозможно охватить весь спектр возможных ЧС, основное внимание уделено двум вариантам ЧС: природной и техногенной.

К природной ЧС относятся погодные условия – сильные морозы зимой.

Сильные морозы могут нанести вред как сотрудникам, работающим на предприятии, так и самому предприятию.

Для сохранения работоспособности сотрудников и предотвращения риска заболеваний предприятие должно предпринять меры, направленные на снижение вероятности получения сотрудниками травм в результате переохлаждения – сократить количество работающих сотрудников (не привлекать сотрудников к работе в период сильных холодов без острой необходимости), обеспечить сотрудников транспортом и держать в готовности средства первой помощи, применяемые при переохлаждении.

Для предупреждения аварий систем на предприятии требуется уделить особое внимание состоянию тепловых и водонесных линий коммуникации во избежание их промерзания, также предусмотреть возможность резервного отопления (электродогревательная или тепловые пушки) при отказе основной магистрали для недопущения разморозки здания.

При подготовке к зиме следует предусмотреть: газобаллонные калориферы (запасные обогреватели), дизель- или бензоэлектродогенераторы;

запасы питьевой и технической воды на складе (не менее 30 л на 1 человека);
теплый транспорт для доставки работников на работу и с работы домой в
случае отказа муниципального транспорта.

К техногенной ЧС относится несанкционированное проникновение
посторонних на рабочее место. Для недопущения несанкционированного
проникновения на рабочее место на предприятии следует применять систему
контроля и управления доступом, каждый сотрудник должен иметь ключ-
карту для прохода через пропускной пункт. На лицевой стороне такой карты
размещается фотография и ФИО сотрудника, на задней стороне – номер
пропуска. Пропускные пункты следует располагать на входе и внутри
предприятия. Контроль на них следует осуществлять, помимо прочего,
визуально на соответствие фотографии. Для попадания в искомое помещение
нужно преодолеть не менее 2-х пропускных пунктов, что практически
исключает несанкционированный доступ.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии
предприятие должно быть оборудовано системой видеонаблюдения,
круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи.
Кроме того, требуется исключить распространение информации о системе
охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях,
системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве.

7.7 Перечень нормативных документов

1. ГОСТ 12.0.003–2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Опасные и вредные производственные факторы [65]
2. ГОСТ 12.1.005–88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
[66]
3. ГОСТ 27818–88 (СТ СЭВ 5147–85) Машины вычислительные и системы
обработки данных. Допустимые уровни шума на рабочих местах и
методы определения [67]

4. СП 52.13330.2016 Свод правил. Естественное и искусственное освещение [68]
5. СанПиН 1.2.3685–21 Санитарные правила и нормы. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [69]
6. Правила устройства электроустановок. Седьмое издание [70]
7. ГОСТ 12.1.038–82* Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [71]
8. ГОСТ 12.1.019–2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [72]
9. НПБ 105–03 Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [73]
10. СП 12.13130.2009 Свод правил. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [74]

Summary

This thesis provides projections of statistical and systematic precision for jet quenching measurements in LHC Run3 O-O and p-O collisions. Jet quenching effects in O-O collision system are searched using the inclusive hadron-jet recoil. The projections are made for the different values of an integrated luminosity, including $0.5 \dots 5 \text{ nb}^{-1}$ for O-O and 2 nb^{-1} for p-O. We found out that the minimum energy shift which would be detectable at the 90% CL in O-O would be 740 MeV. Size of this limit is largely due to uncertainty introduced by pp reference spectrum extrapolation in energy. When estimating the minimum energy shift limit from event activity biased OO collisions ($\frac{0-20\%}{50-100\%}$), we obtained stricter limit on the minimal shift of 230 MeV for the basic luminosity scenario 0.5 nb^{-1} . We have estimated size of the shift also for p-O collisions, and in this case the minimum jet energy shift limit was found to be about 670 MeV. This value is also dominated by the uncertainty introduced by systematic uncertainty due to pp reference spectrum extrapolation.

The thesis was further dealing with analysis of hadron-jet correlations in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02 \text{ TeV}$. The input data were measured by ALICE in 2017. The measured Δ_{recoil} spectrum was corrected for instrumental effects introduced by the reconstruction procedure using unfolding. The analysis steps were cross checked by means of a closure test. Estimation of the corresponding systematic uncertainties was performed. The fully corrected spectrum is within uncertainties compatible with calculation performed by PYTHIA8 Monash.

The economical efficiency of this study was estimated. A schedule of work was created for each performer, and the amount of spendings on the implementation of this scientific investigation was calculated. Potential risks threatening the completion of the study were assessed.

The main hazardous and harmful factors corresponding to the type of work were identified, and the measures to protect personnel from the influence of these factors were developed. In addition to this, the measures to prevent the pollution of

environment during the working process and to ensure the sustainable operation of the working systems and personnel were defined.

List of sources

1. Pasechnik R., Šumbera M. Phenomenological Review on Quark–Gluon Plasma: Concepts vs. Observations // *Universe*. 2017. Vol. 3, № 1. P. 7.
2. Heinz U.W., Snellings R. Collective flow and viscosity in relativistic heavy-ion collisions // *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 2013. Vol. 63, № 1. P. 123–151.
3. Majumder A., Van Leeuwen M. The theory and phenomenology of perturbative QCD based jet quenching // *Prog. Part. Nucl. Phys.* 2011. Vol. 66, № 1. P. 41–92.
4. ALICE Collaboration. Transverse momentum distribution and nuclear modification factor of charged particles in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$ TeV // *Phys. Rev. Lett.* 2013. Vol. 110, № 8. P. 082302.
5. ALICE Collaboration. ALICE physics projections for a short oxygen-beam run at the LHC. P. 49.
6. Florkowski W. Ultra-relativistic heavy-ion collisions: Lecture I. P. 66.
7. Proceedings / 2012 Asia-Europe-Pacific School of High-Energy Physics, Fukuoka, Japan, 14 - 27 Oktober 2012 / ed. Kawagoe K. Geneva: CERN, 2014. 285 p.
8. Florkowski W. Ultra-relativistic heavy-ion collisions: Lecture II. P. 58.
9. Bialas A., Czyz W., Furmanski W. Particle production in hadron-nucleus collisions and the quark model // *Acta Phys. Pol. B.* 1977. Vol. 8, № 7. P. 585–589.
10. Miller M.L. et al. Glauber Modeling in High Energy Nuclear Collisions // *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 2007. Vol. 57, № 1. P. 205–243.
11. Gell-Mann M. A schematic model of baryons and mesons // *Phys. Lett.* 1964. Vol. 8, № 3. P. 214–215.
12. Feynman R.P. The behavior of hadron collisions at extreme energies // *Conf. Proc. C. Stony Brook, NY, United States, 1969*. Vol. 690905. P. 237–258.
13. Bjorken J.D., Paschos E.A. Inelastic Electron-Proton and γ -Proton Scattering and the Structure of the Nucleon // *Phys. Rev.* 1969. Vol. 185, № 5. P. 1975–1982.
14. Drell S.D., Levy D.J., Yan T.-M. Theory of Deep-Inelastic Lepton-Nucleon Scattering and Lepton-Pair Annihilation Processes. I // *Phys. Rev.* 1969. Vol. 187, № 5. P. 2159–2171.

15. Collins J.C., Perry M.J. Superdense Matter: Neutrons or Asymptotically Free Quarks? // *Phys. Rev. Lett.* 1975. Vol. 34, № 21. P. 1353–1356.
16. Chyla J. Quarks, partons and Quantum Chromodynamics: A course in the phenomenology of the quark-parton model and Quantum Chromodynamics. Prague: Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic. 213 p.
17. Kováčiková F.M.P. Hard Scattering Cross Sections and Parton Distribution Functions at the LHC. P. 109.
18. Peskin M.E., Schroeder D.V. An introduction to quantum field theory. Reading, Mass: Addison-Wesley Pub. Co, 1995. 842 p.
19. Deur A., Brodsky S.J., de Teramond G.F. The QCD Running Coupling // *Prog. Part. Nucl. Phys.* 2016. Vol. 90. P. 1–74.
20. Bethke S. The 2009 world average of α_s // *Eur. Phys. J. C.* 2009. Vol. 64, № 4. P. 689–703.
21. Chodos A. et al. New extended model of hadrons // *Phys. Rev. D.* 1974. Vol. 9, № 12. P. 3471–3495.
22. Wong C.-Y. Introduction to High-Energy Heavy-Ion Collisions. 1994.
23. Andersson B. et al. Parton fragmentation and string dynamics // *Phys. Rep.* 1983. Vol. 97, № 2–3. P. 31–145.
24. Greiner W., Schramm S., Stein E. Quantum chromodynamics. 3rd rev. and enl. ed. Berlin ; New York: Springer, 2007. 553 p.
25. Andersson B. et al. The Feynman-Wilson gas and the Lund model // *Eur. Phys. J. C.* 1999. Vol. 7, № 2. P. 251–261.
26. Glauber R.J. Lectures in Theoretical Physics / ed. Brittin W.E., Dunham L.G. New York: Interscience, 1959. Vol. 1. 315 p.
27. Czyz W., Maximon L.C. High energy, small angle elastic scattering of strongly interacting composite particles // *Ann. Phys.* 1969. Vol. 52, № 1. P. 59–121.
28. CERN. LHC: The guide. Education, Communication and Outreach Group, 2017.

29. Gribov V.N. GLAUBER CORRECTIONS AND THE INTERACTION BETWEEN HIGH-ENERGY HADRONS AND NUCLEI. P. 5.
30. Tywoniuk K. et al. Gluon shadowing in the Glauber-Gribov model // *Eur. Phys. J. C.* 2007. Vol. 49, № 1. P. 193–198.
31. Salam G.P. Towards Jetography // *Eur. Phys. J. C.* 2010. Vol. 67, № 3–4. P. 637–686.
32. JADE Collaboration et al. Experimental studies on multijet production in e^+e^- annihilation at PETRA energies // *Z. Für Phys. C Part. Fields.* 1986. Vol. 33, № 1. P. 23–31.
33. Catani S. et al. New clustering algorithm for multijet cross sections in e^+e^- annihilation // *Phys. Lett. B.* 1991. Vol. 269, № 3–4. P. 432–438.
34. Catani S. et al. Longitudinally-invariant k_{\perp} -clustering algorithms for hadron-hadron collisions // *Nucl. Phys. B.* 1993. Vol. 406, № 1–2. P. 187–224.
35. Ellis S.D., Soper D.E. Successive Combination Jet Algorithm For Hadron Collisions // *Phys. Rev. D.* 1993. Vol. 48, № 7. P. 3160–3166.
36. Wobisch M., Wengler T. Hadronization Corrections to Jet Cross Sections in Deep-Inelastic Scattering: arXiv:hep-ph/9907280. arXiv, 1999.
37. Cacciari M., Salam G.P., Soyez G. The anti- k_{\perp} jet clustering algorithm // *J. High Energy Phys.* 2008. Vol. 2008, № 04. P. 063–063.
38. Cacciari M., Salam G.P., Soyez G. FastJet user manual: (for version 3.0.2) // *Eur. Phys. J. C.* 2012. Vol. 72, № 3. P. 1896.
39. CMS Collaboration. Measurement of the underlying event activity in pp collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ and 7 TeV with the novel jet-area/median approach // *J. High Energy Phys.* 2012. Vol. 2012, № 8. P. 130.
40. d’Enterria D. 6.4 Jet quenching // *Relativistic Heavy Ion Physics* / ed. Stock R. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. Vol. 23. P. 471–520.
41. Baier R. et al. Radiative energy loss of high energy quarks and gluons in a finite volume quark-gluon plasma // *Nucl. Phys. B.* 1997. Vol. 483, № 1–2. P. 291–320.

42. Ramallo A.V. Introduction to the AdS/CFT correspondence: arXiv:1310.4319. arXiv, 2013.
43. Adams J. et al. Evidence from $d + A$ u Measurements for Final-State Suppression of High- p_T Hadrons in $A + A$ Collisions at RHIC // Phys. Rev. Lett. 2003. Vol. 91, № 7. P. 072304.
44. ALICE Collaboration. Measurements of inclusive jet spectra in pp and central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$ TeV // Phys. Rev. C. 2020. Vol. 101, № 3. P. 034911.
45. The ALICE Collaboration. The ALICE experiment at the CERN LHC. 2008. P. 259.
46. Christiansen P. High pt identified particle production in ALICE. 2012.
47. ALICE Collaboration. Performance of the ALICE VZERO system // J. Instrum. 2013. Vol. 8, № 10. P. P10016–P10016.
48. ALICE Collaboration. Constraints on jet quenching in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$ TeV measured by the event-activity dependence of semi-inclusive hadron-jet distributions // Phys. Lett. B. 2018. Vol. 783. P. 95–113.
49. Mangano M.L., Nachman B. Observables for possible QGP signatures in central pp collisions // Eur. Phys. J. C. 2018. Vol. 78, № 4. P. 343.
50. Sjöstrand T., Mrenna S., Skands P. A Brief Introduction to PYTHIA 8.1 // Comput. Phys. Commun. 2008. Vol. 178, № 11. P. 852–867.
51. Particle Data Group et al. Review of Particle Physics // Prog. Theor. Exp. Phys. 2020. Vol. 2020, № 8. P. 083C01.
52. Sjostrand T., Mrenna S., Skands P. PYTHIA 6.4 Physics and Manual // J. High Energy Phys. 2006. Vol. 2006, № 05. P. 026–026.
53. Brun R., Rademakers F. ROOT — An object oriented data analysis framework // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. Accel. Spectrometers Detect. Assoc. Equip. 1997. Vol. 389, № 1–2. P. 81–86.
54. Chumakov D. PYTHIA8 generator multithreaded implementation: C++. 2021.

55. Reference - C++ Reference [Electronic resource]. URL: <https://www.cplusplus.com/reference/> (accessed: 01.06.2022).
56. std::mersenne_twister_engine - cppreference.com [Electronic resource]. URL: https://en.cppreference.com/w/cpp/numeric/random/mersenne_twister_engine (accessed: 01.06.2022).
57. Skands P., Carrazza S., Rojo J. Tuning PYTHIA 8.1: the Monash 2013 Tune // Eur. Phys. J. C. 2014. Vol. 74, № 8. P. 3024.
58. Corke R., Sjöstrand T. Interleaved Parton Showers and Tuning Prospects // J. High Energy Phys. 2011. Vol. 2011, № 3. P. 32.
59. ATLAS Collaboration. Measurement of the Z/γ^* boson transverse momentum distribution in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector // J. High Energy Phys. 2014. Vol. 2014, № 9. P. 145.
60. Abye T. Unfolding algorithms and tests using RooUnfold. CERN, 2011.
61. Cowan G. A SURVEY OF UNFOLDING METHODS FOR PARTICLE PHYSICS. P. 10.
62. Hoecker A., Kartvelishvili V. SVD Approach to Data Unfolding // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. Accel. Spectrometers Detect. Assoc. Equip. 1996. Vol. 372, № 3. P. 469–481.
63. D'Agostini G. A multidimensional unfolding method based on Bayes' theorem // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. Accel. Spectrometers Detect. Assoc. Equip. 1995. Vol. 362, № 2–3. P. 487–498.
64. ALICE Collaboration. Measurement of charged jet suppression in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}}=2.76$ TeV // J. High Energy Phys. 2014. Vol. 2014, № 3. P. 13.
65. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М.: Стандартинформ, 2019.

66. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. М.: Стандартинформ, 1989.
67. ГОСТ 27818–88 (СТ СЭВ 5147–85). Машины вычислительные и системы обработки данных. Допустимые уровни шума на рабочих местах и методы определения. М.: Стандартинформ, 1989.
68. СП 52.13330.2016. Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. 2017.
69. СанПиН 1.2.3685–21. Санитарные правила и нормы. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. 2021.
70. Правила устройства электроустановок. Седьмое издание (утв. приказом Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. N204). 2002.
71. ГОСТ 12.1.038–82*. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. М.: Стандартинформ, 1982.
72. ГОСТ 12.1.019–2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. М.: Стандартинформ, 2017.
73. НПБ 105–03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. М.: ГУП ЦПП, 2003.
74. СП 12.13130.2009. Свод правил. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. 2009.