

Минобрнауки России
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций
Кафедра «Экспериментальная ядерная физика»

Работа допущена к защите
Заведующий кафедрой
_____ Я. А. Бердников
« » _____ 2013г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

РОЖДЕНИЕ СТРАННОСТИ В РЕАКЦИИ $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ НА МАГНИТНОМ СПЕКТРОМЕТРЕ ANKE

направление 011200.68 — Физика
программа подготовки магистров «Физика ядра и элементарных частиц»

Выполнил
студент гр.6051/11

Н.В. Савдерова

Научный руководитель
доцент, к.ф.-м.н.

А.Я. Бердников

Научный консультант

Ю.В. Вальдау

Консультант
по вопросам безопасности
жизнедеятельности
доцент, к.т.н.

В.В. Монашков

Санкт-Петербург
2013

Оглавление

Введение	2
1 Рождение K^+-мезонов в pn и pp взаимодействиях	7
1.1 Рождение K^+ -мезонов в pn столкновениях	7
1.2 Сравнение сечений рождения в pp и pn столкновениях	8
1.3 Рождение K^+ -мезонов в pp столкновениях на ускорителе COSY . .	9
1.3.1 Обзор реакции $pp \rightarrow pK^+\Lambda$	10
1.3.2 Обзор реакции $pp \rightarrow pK^+\Sigma^0$	11
1.3.3 Обзор реакции $pp \rightarrow nK^+\Sigma^+$	12
1.4 Теоретические модели	13
1.4.1 Мезонный обмен	14
1.4.2 Модель резонансов	15
2 Спектрометр ANKE	16
2.1 Детектирующие системы	18
2.1.1 Детектор положительных частиц	18
2.1.2 Детектор отрицательных частиц	19
2.1.3 Передний детектор	19
2.1.4 Боковые детекторы	20
2.1.5 Кремниевый трековый телескоп	20
2.2 Система сбора данных	23
2.3 Мишень	23
3 Модельный расчет	25
3.1 Аспекты феноменологической модели, используемой при моделировании	25
3.2 Моделирование	26
4 Анализ данных кремниевого трекового телескопа	29
4.1 Обзор	29
4.2 Определение положений пьедесталов	31
4.3 Коррекция на потери событий при расчете СМ	34
4.4 Поиск непригодных для анализа сегментов	35
4.5 Контроль стабильности энергетической калибровки	35

4.6	Отбор полезных кластеров	38
4.7	Разделение протонов и дейтронов	39
4.8	Заключение	39
5	Анализ поведения считывающей электроники во время эксперимента в 2011 году	41
5.1	Введение	41
5.2	Методика анализа	41
5.3	Получение скорректированных спектров	42
5.4	Алгоритм вычисления среднего значения величин	43
5.5	Анализ данных без подавления нулей	44
5.5.1	Среднее значение пьедестала P и его RMS	44
5.5.2	Вариация $Var(P)$ и вариация $Var(RMS)$	46
5.5.3	Оценка числа “шумящих” и “подозрительных” сегментов	46
5.5.4	Оценка числа неподсоединенных к электронике сегментов	47
5.5.5	Критерии отбора сегментов	48
5.5.6	Анализ индивидуальных сегментов	49
5.5.7	Сравнение с анализом из главы 4	49
5.6	Анализ данных с подавлением нулей	50
5.6.1	Средние значения для P и RMS	51
5.6.2	Вариация $Var(P)$ и $Var(RMS)$	51
5.6.3	Оценка числа “шумящих” и “подозрительных” сегментов	52
5.6.4	Оценка числа неподсоединенных к электронике сегментов	53
5.6.5	Критерии отбора сегментов	53
5.6.6	Анализ индивидуальных сегментов	55
5.6.7	Сравнение с анализом из главы 4	56
5.7	Заключение	58
6	Результаты	60
	Заключение	61
	А Список сокращений	62
	В Таблицы	63
	С Охрана труда	66
	Литература	76

Автореферат

Настоящая работа посвящена исследованию реакции $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ при $T_p = 1.826$ ГэВ, измерение которой было проведено в марте 2011 г. на магнитном спектрометре ANKE (COSY, Германия). В Главе 1 представлено краткое описание современного уровня знаний по исследованию рождения K^+ -мезонов в pn и pp реакциях вблизи порога. Глава 2 посвящена описанию детектирующей установки ANKE. Особое внимание уделено описанию конструкции кремниевого трекового телескопа. В главе 3 приведен модельный расчет зависимости скорости счета реакции $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ от энергии возбуждения. В главе 4 представлено описание анализа данных для кремниевого трекового телескопа, описаны основные этапы анализа, заключающиеся в определении положений пьедесталов для двух типов данных, идентификации и исключении из дальнейшего анализа непригодных сегментов, контроль стабильности энергетической калибровки детектора и отбор полезных кластеров с помощью временной информации с детектора. После выполнения всех промежуточных этапов анализа стало возможным с большей точностью идентифицировать протоны и дейтроны и восстановить их импульсные распределения. Был завершен полный анализ кремниевого трекового телескопа. Глава 5 посвящена описанию нового метода контроля положений пьедесталов и их ширин с течением времени. Предложенный метод позволяет идентифицировать непригодные для анализа сегменты, руководствуясь формализованным подходом и критериями отбора сегментов. Приведено сравнение описываемого метода с методом определения непригодных сегментов из Главы 4. Результаты двух методов находятся в разумном согласии, что дает предпосылки для использования нового метода в анализе данных с кремниевого трекового телескопа. Глава 6 содержит зависимость скорости счета реакции $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ от энергии возбуждения, полученное с помощью восстановленных в STT протонов и данных с преселектированными K^+ -мезонами. Представленное распределение находится в хорошем согласии с расчетным, представленным в Главе 3. В результате выполненной работы завершен анализ кремниевого трекового телескопа и представлены первичные результаты по анализу реакции $pn \rightarrow nK^+\Lambda$.

Abstract

The present thesis describes a study of the $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ reaction at $T_p = 1.826$ GeV. There are a lot of data on energy dependence of the total cross section for Λ , Σ^0 and Σ^+ production in pp reaction. In contrast to pp case, there are almost no data on K^+ production in pn reaction. It will be possible extract $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ reaction channel if to detect spectator protons in coincidence with K^+ production.

The experiment was performed at ANKE spectrometer (COSY, Jülich) in March of 2011. In Chapter 1 the overview of status of research K^+ production in pp and pn reactions near threshold are represented. Chapter 2 contains the description of detection systems of ANKE spectrometer at COSY. Special attention pay to construction of silicon tracking telescope (STT). Chapter 3 consists the simulations for $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ reaction. Analysis of STT data are represented in Chapter 4. The new method of control of pedestal positions and its RMS during time are described in Chapter 5. This method allows to identificate “bad” segments using “formal” criterias. Results in both analysis are in good agreement and that get possibility to use a new method of identification for future analysis.

Finally, distribution for number of $K^+\Lambda$ events as function of the excess energy has been build using preselected K^+ data and reconstructed protons from STT. Builded distribution is a good agreement with simulation which are represented in Chapter 3.

In order to reconstruct total cross section for the $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ reaction: luminosity, range telescope efficiencies and acceptances are to be determined.

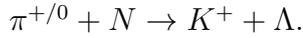
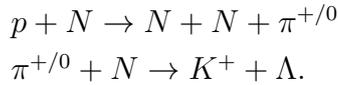
Введение

Первые работы по исследованию рождения K^+ -мезонов в протон-ядерных и ядро-ядерных столкновениях при энергиях вблизи порога рождения K^+ -мезонов ($T_p < 2$ ГэВ) были выполнены на установках в ЛИЯФ (г. Гатчина) [1], GANIL (Франция) [2], GSI(Дармштадт, Германия) [3] и LBL (США) [4]. Для описания механизма рождения K^+ -мезонов в протон-ядерных столкновениях было предложено несколько различных механизмов и моделей. В литературе приведены три варианта:

- 1) Рождение на квазисвободном нуклоне:



- 2) Двухступенчатый механизм с рождением промежуточного π -мезона:



- 3) Кластерный механизм (взаимодействие с коррелирующей группой нуклонов):



Предполагается, что все вышеперечисленные механизмы дают вклад в рождение K^+ -мезонов с различными весами, величина которых зависит от энергии налетающей частицы и является свободным параметром в теоретических расчетах. Проверить теоретические предсказания можно путем проведения экспериментов, позволяющих выделить определенный механизм рождения K^+ -мезонов в протон-ядерных столкновениях.

Одна из основных целей создания экспериментальной установки ANKE заключалась в изучении процессов рождения подпороговых K -мезонов в протон-ядерных столкновениях.

Для понимания процессов, происходящих в протон-ядерных (pA) столкновениях, необходимо иметь информацию о рождении K^+ -мезонов в элементарных взаимодействиях (протон-протонных (pp) и протон-нейтронных (pn) реакциях) вблизи порога. До начала работы ускорителя COSY экспериментальных данных по рождению K^+ -мезонов в протон-протонных столкновениях было накоплено немного ([5]– [8]). Данных по рождению K^+ -мезонов в протон-нейтронных столкновениях на данный момент в литературе не представлено, что обусловлено невозмож-

ностью создания нейтронной мишени и пучков быстрых нейтронов достаточной интенсивности.

Благодарности

Мне хотелось бы выразить глубокую благодарность моему научному руководителю Юрию Валерьевичу Вальдау за большую помощь в работе и поддержку. Благодарю весь коллектив лаборатории мезонной физики конденсированных сред ПИЯФ (г. Гатчина) и коллектив коллаборации ANKE (IKP, FZ Julich). Я очень признательна этим коллективам за предоставленную возможность работать и ценный опыт работы и общения в настоящей научной среде.

Глава 1

Рождение K^+ -мезонов в pn и pp взаимодействиях

1.1 Рождение K^+ -мезонов в pn столкновениях

На сегодняшний момент экспериментальные данные о рождении K^+ -мезонов в протон-нейтронных столкновениях крайне скудны. Существуют измерения для канала реакции $pn \rightarrow pK^+\Sigma^-$ при высоких энергиях нейтронного пучка (наименьшее значение получено при энергии 3.4 ГэВ) с достаточно большим размытием импульса пучка (~ 200 МэВ/с). Коллаборацией ANKE (COSY) также получены экспериментальные данные о реакции $pn \rightarrow pK^+\Sigma^-$ [9], анализ которых на данный момент не завершен. Экспериментальных данных о реакциях $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ и $pn \rightarrow nK^+\Sigma^0$ на данный момент в литературе не представлено. Настоящая работа посвящена изучению реакции $pn \rightarrow nK^+\Lambda$.

В марте 2011 г. на установке ANKE был проведен эксперимент по измерению сечения рождения реакции $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ с использованием протонного пучка энергии $T_p = 1.826$ ГэВ и дейтериевой мишени. При небольших энергиях возбуждения в системе центра масс взаимодействие протона с нейтроном может быть описано в рамках спектаторной модели, основные положения которой заключаются в следующем:

- 1) Энергия связи нуклонов в дейтроне мала и равна 2.23 МэВ, поэтому протон и нейтрон в ядре дейтерия можно считать квазисвободными частицами.
- 2) При взаимодействии протона с квазисвободным нейтроном происходит развал дейтрона, при этом другой протон этого взаимодействия не замечает и выступает в роли наблюдателя – спектатора.
- 3) Импульсное распределение спектаторного протона, измеренное в лабораторной системе отсчета, остается тем же, каким этот нуклон обладал, находясь в составе исходного дейтрона.

Измеренный импульс спектаторного протона позволяет узнать величину импульса нейтрона-мишени, поскольку импульсные распределения нуклонов в дейтроне равны.

В мишенной камере магнитного спектрометра ANKE установлен спектаторный детектор для регистрации и измерения медленных заряженных частиц (протонов и дейтронов), имеющих небольшую величину импульса ($T_{sp} < 30$ МэВ/с) [40]. Этот детектор был использован коллаборацией ANKE для изучения рождения K^+ -мезонов в pp и pn столкновениях на квазисвободном нейтроне.

1.2 Сравнение сечений рождения в pp и pn столкновениях

С целью исследовать отношение сечений рождения K^+ -мезонов в pp и pn столкновениях был проведен ряд экспериментов с использованием протонных и ядерных пучков и мишеней [10], [11].

В одной из работ была получена величина $\frac{\sigma_{pn}^{K^+}}{\sigma_{pp}^{K^+}} = 5.0 \pm 7.5$ при энергии протонного пучка 3 ГэВ на различных мишенях [10]. В работе [11] использовалась мишень NaF и пучок протонов и дейтронов при энергии 2.1 ГэВ/А. Получен результат $\frac{\sigma(dNaF \rightarrow K^+X)}{\sigma(pNaF \rightarrow K^+X)} = 1.3 \pm 0.2$, из которого следует $\sigma_{pn}^{K^+}/\sigma_{pp}^{K^+} < 1$.

Отношение дифференциальных сечений рождения K^+ -мезонов, измеренных на углеродной и водородной мишенях при энергии 2.5 ГэВ, показывает, что $\sigma_{pn}^{K^+}/\sigma_{pp}^{K^+} \approx 1$ [12]. В то же время измерения на дейтериевой мишени при энергии протонного пучка 2.02 ГэВ дают оценку $\sigma_{pn}^{K^+}/\sigma_{pp}^{K^+} \sim 3 - 4$ [13].

Для более достоверной оценки этого отношения коллаборацией ANKE были измерены дифференциальные сечения рождения K^+ -мезонов для четырех энергий протонного пучка 1.826, 1.920, 2.020, 2.650 ГэВ на водородной и дейтериевой мишени, в результате которых получено значение $d\sigma_{pd}^{K^+}/d\sigma_{pp}^{K^+} \approx 1.4$ [14]. На Рис. 1.1 черными маркерами обозначены измеренные отношения дифференциальных сечений рождения K^+ -мезонов, усредненные по аксептансу ANKE, для разных энергий. Черная сплошная линия с $R = 1$ соответствует модельному расчету отношения суммы полных сечений ($\sigma_{ppD}^{\Lambda} + \sigma_{ppD}^{\Sigma^0} + \sigma_{ppD}^{\Sigma^+}$), в которых импульс протона-мишени имеет фермиевское распределение, к сумме полных сечений ($\sigma_{pp}^{\Lambda} + \sigma_{pp}^{\Sigma^0} + \sigma_{pp}^{\Sigma^+}$) на свободном протоне. Красная штриховая линия соответствует отношению R , рассчитанному для дифференциальных спектров в диапазоне характерных для ANKE импульсов и углов. Зависимость $R = 1.5$ обозначает умноженную на коэффициент 1.5 зависимость $R = 1$.

Тот факт, что величина R в расчетах для полного и дифференциального сечений примерно одинакова, позволяет оценить разницу рождения K^+ -мезонов на протоне и нейтроне, несмотря на достаточно малый аксептанс установки ANKE. В рамках использованной модели можно заключить, что $\sigma_{pn}^{K^+}/\sigma_{pp}^{K^+} = 0.5 \pm 0.2$ [14].

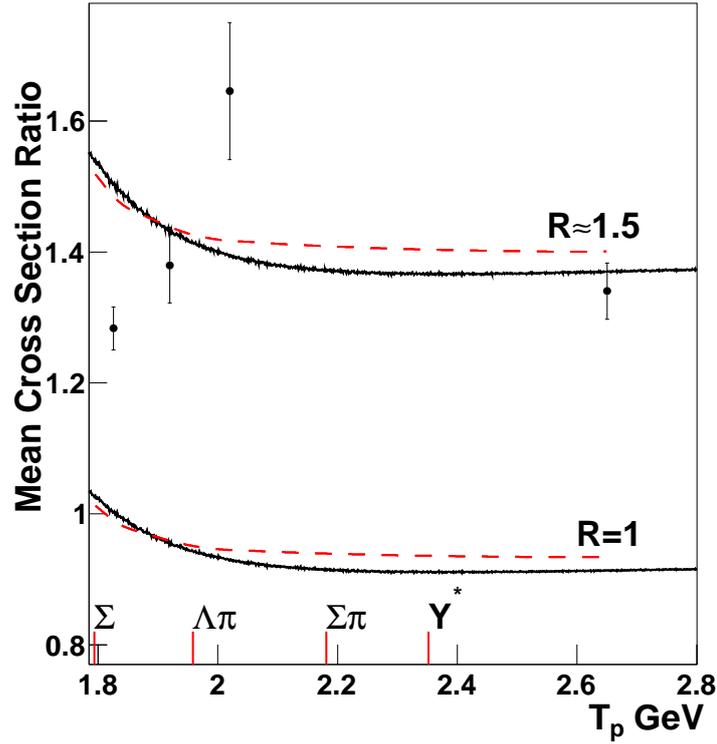


Рис. 1.1: Отношение сечений рождения K^+ -мезонов на дейтериевой и водородной мишени, усредненное по импульсу K^+ -мезонов. Черные маркеры соответствуют экспериментальным данным. Красная штриховая линия соответствует модельному расчету [14].

Полученный результат имеет хорошее согласие с результатами, полученными на мишени NaF при энергии 2.1 ГэВ/нуклон $\frac{\sigma_{dNaF \rightarrow KX}}{\sigma_{pNaF \rightarrow KX}} = 1.3 \pm 0.2$.

1.3 Рождение K^+ -мезонов в pp столкновениях на ускорителе COSY

На ускорителе COSY был проведен ряд экспериментов по исследованию рождения K^+ -мезонов в pp столкновениях при $T_p < 3$ ГэВ. Основными каналами рождения K^+ -мезонов в pp столкновениях при достижимых на COSY энергиях являются:

- 1) $pp \rightarrow pK^+\Lambda$;
- 2) $pp \rightarrow pK^+\Sigma^0$;
- 3) $pp \rightarrow nK^+\Sigma^+$.

Обзор экспериментальных данных, полученных на COSY для каждого из этих каналов, представлен в разделах 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3.

1.3.1 Обзор реакции $pp \rightarrow pK^+\Lambda$

Первые экспериментальные данные о сечении реакции $pp \rightarrow pK^+\Lambda$ были получены в экспериментах с пузырьковыми камерами [15]. Дальнейшие исследования этой реакции продолжены на ускорителе COSY коллаборациями COSY11 ($Q < 80$ МэВ) [16] и COSY-TOF ($Q > 70$ МэВ) [17].

Для выделения канала $pp \rightarrow pK^+\Lambda$ коллаборация COSY11 использовала метод недостающей массы в pK^+ -спектре [16]. Коллаборация COSY-TOF проводила измерения на выведенном пучке и регистрировала все частицы в конечном состоянии, что позволило измерить дифференциальные наблюдаемые в реакции $pp \rightarrow pK^+\Lambda$ при $Q \sim 80$ МэВ [17].

На данный момент накоплена большая база данных по полным сечениям реакции $pp \rightarrow pK^+\Lambda$. В работе [18] представлено феноменологическое описание энергетической зависимости полного сечения, в котором для описания $\sigma_{tot}(Q)$ используется трехчастичный фазовый объем с постоянным матричным элементом, а взаимодействие частиц $p\Lambda$ в конечном состоянии описывается функцией Йоста (Jost function). Авторами данной работы также предложено ввести зависимость матричного элемента от энергии для лучшего описания данных при высоких энергиях [18]. Результаты этой параметризации и экспериментальные данные приведены на Рис. 1.2.

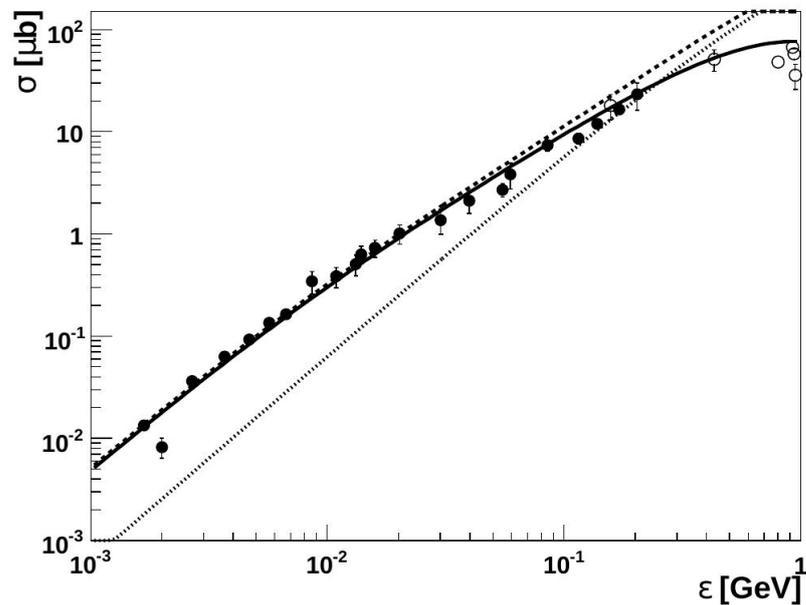


Рис. 1.2: Зависимость полного сечения рождения от энергии возбуждения для канала $pp \rightarrow pK^+\Lambda$. Черными маркерами обозначены экспериментальные данные, измеренные на COSY. Точечная линия соответствует трехчастичному фазовому объему с постоянным матричным элементом. Штриховая линия соответствует параметризации фазового объема с постоянным матричным элементом и $p\Lambda$ взаимодействию в конечном состоянии. Сплошная линия соответствует параметризации фазового объема с матричным элементом, зависящим от энергии и учитывающим $p\Lambda$ -взаимодействие в конечном состоянии [18].

На данный момент экспериментальных данных по дифференциальным наблюдениям для реакции $pp \rightarrow pK^+\Lambda$ опубликовано немного [17].

1.3.2 Обзор реакции $pp \rightarrow pK^+\Sigma^0$

Другим возможным каналом рождения K^+ -мезонов в pp столкновениях является реакция $pp \rightarrow pK^+\Sigma^0$.

Энергетическая зависимость полного сечения для реакции $pp \rightarrow pK^+\Sigma^0$ была измерена коллаборацией COSY11 в диапазоне $Q < 60$ МэВ [19]– [21]. Коллаборация COSY-TOF проводила исследование данного канала реакции в диапазоне $Q = 55$ – 155 МэВ [20]. Идентифицировать K^+ -мезоны в данном канале реакции можно с помощью метода недостающих масс в pK^+ -спектре. Энергетическая зависимость полного сечения $pp \rightarrow pK^+\Sigma^0$ представлена на Рис. 1.3. В работе [22] были проанализированы измеренные сечения и сделан вывод о том, что влияние взаимодействия в конечном состоянии для системы $\Sigma^0 p$ намного слабее, чем для Λp .

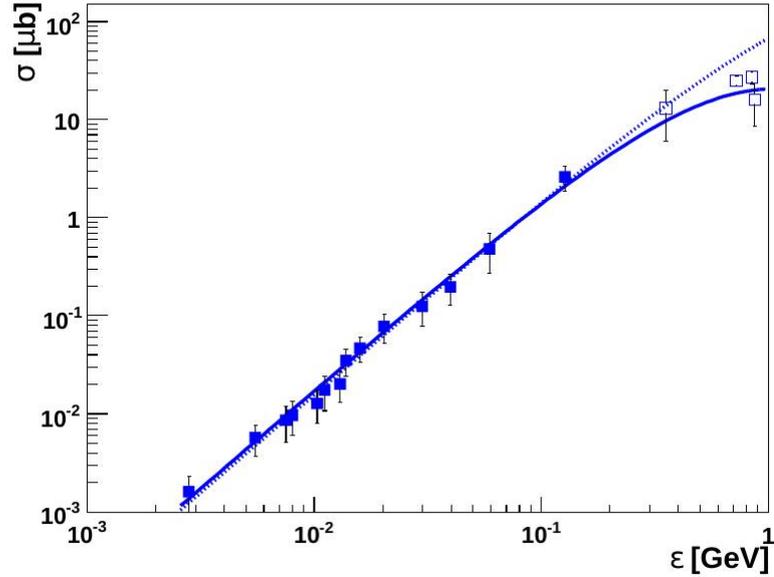


Рис. 1.3: Зависимость полного сечения рождения от энергии возбуждения для канала $pp \rightarrow pK^+\Sigma^0$. Квадратные синие маркеры соответствуют экспериментальным данным [19]– [21], [20]. Точечная линия соответствует параметризации фазового объема с постоянным матричным элементом. Сплошная линия соответствует параметризации фазового объема с матричным элементом, зависящим от энергии [22].

В работах [19], [21] описаны результаты измерения отношения $R(\Lambda/\Sigma^0)$ в зависимости от энергии возбуждения в соответствующих системах. Величина отношения $R(\Lambda/\Sigma^0)$ изменяется от 3 при высоких до 28 при низких энергиях.

В теоретической работе, представленной в [23], был проведен анализ зависимости $R(\Lambda/\Sigma)$ от энергии. В рамках Юлиховской модели мезонного обмена наблюдаемая зависимость может быть связана с тем, что рождение Λ идет преимущественно

через обмен K^+ -мезоном, а рождение Σ^0 -гиперона – через обмен π -мезоном [23].

1.3.3 Обзор реакции $pp \rightarrow nK^+\Sigma^+$

Первые попытки выделить Σ^+ гипероны были выполнены коллаборацией COSY-11 при энергиях протонного пучка $T_p = 1.826$ ГэВ ($Q = 13$ МэВ) и $T_p = 1.958$ ГэВ ($Q = 60$ МэВ). Коллаборация COSY-11 проводила измерение данного канала, исследуя спектр по недостающей массе K^+n частиц, поэтому детектирующая установка была дополнительно оборудована нейтронным детектором [24]. Коллаборацией COSY-11 было проанализировано отношение

$$R\left(\frac{\Sigma^+}{\Sigma^0}\right) = \frac{\sigma(pp \rightarrow pK^+\Sigma^+)}{\sigma(pp \rightarrow pK^+\Sigma^0)}, \quad (1.1)$$

и получены следующие оценки: $R = 230 \pm 70$ при $Q = 13$ МэВ и $R = 90 \pm 40$ при $Q = 60$ МэВ [24], в то время как в экспериментах в пузырьковых камерах получено $R = 2.3 \pm 0.9$ при $Q = 350$ МэВ [25].

С целью получить более точную информацию, коллаборацией ANKE был предложен метод выделения канала $nK^+\Sigma^+$, основанный на отборе $K^+\pi^+$ корреляций, возникающих из второй моды распада Σ^+ -гиперона:

- 1) $\Sigma^+ \rightarrow p\pi^0$ (BR = 51.57%);
- 2) $\Sigma^+ \rightarrow n\pi^+$ (BR = 48.31 %).

Однако в pp столкновениях имеется и другой источник $K^+\pi^+$ -корреляций, а именно $pp \rightarrow K^+n\Lambda\pi^+$ ($T_p = 1.968$ ГэВ).

Таблица 1.1: Пороговые энергии для гиперонных каналов распада в протон-протонных соударениях.

Конечное состояние	Величина порог. энергии, ГэВ	Наличие $K^+\pi^+$ -корреляций
$K^+p\Lambda$	1.582	–
$K^+p\Sigma^0$	1.794	–
$K^+n\Sigma^+$	1.783	+
$K^+p\Lambda\pi^0$	1.955	–
$K^+n\Lambda\pi^+$	1.968	+

Поскольку пороговая энергия $T_{pp \rightarrow K^+n\Lambda\pi^+} = 1.968$ ГэВ больше порога исследуемой реакции $T_{pp \rightarrow nK^+\Sigma^+} = 1.783$ ГэВ, то регистрация $K^+\pi^+$ -корреляций при энергиях ниже 1.968 ГэВ (ниже порога реакции $pp \rightarrow K^+n\Lambda\pi^+$) позволяет идентифицировать канал $pp \rightarrow nK^+\Sigma^+$ без детектирования дополнительных частиц. Подробная информация о величинах пороговых энергий предствалена в Таблице1.1.

Исследование реакции $pp \rightarrow K^+n\Sigma^+$ проводились при энергиях $T_p = 1.775, 1.826, 1.920, 1.958$ и 2.020 ГэВ [26]. Измерения в области $T_p = 1.775$ ГэВ (ниже порога $K^+n\Sigma^+$) использовались для оценки фона в $K^+\pi^+$ -корреляциях.

Спектры K^+p по недостающей массе, измеренные при этих энергиях, содержат смесь $pK^+\Lambda$, $pK^+\Sigma^0$ и $nK^+\Sigma^+$ состояний. Важно отметить, что в K^+p -спектре различают области локализации Λ и Σ -гиперонов, что позволяет отобрать сумму ($\Sigma^+ + \Sigma^0$) и тем самым оценить верхний предел $\sigma_{tot}(\Sigma^+)$ [26].

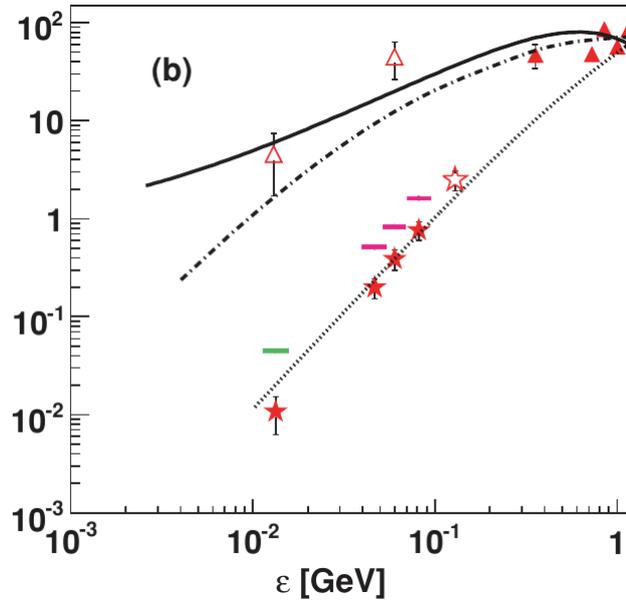


Рис. 1.4: Энергетическая зависимость полного сечения рождения для реакции $pp \rightarrow nK^+\Sigma^+$. Звездочки обозначают экспериментальные данные, полученные на спектрометре ANKE, из $K^+\pi$ -корреляций [27]. Незакрашенными треугольными маркерами обозначены измерения COSY-11. Закрашенные треугольники соответствуют данным при $0.5 < Q < 1$ ГэВ. Сплошная линия обозначает параметризацию фазового объема с матричным элементом, зависящим от энергии, и включенным взаимодействием в конечном состоянии $n\Sigma^+$ частиц.

Итоговым результатом является измеренное полное сечение рождения Σ^+ гиперонов с использованием $K^+\pi$ -корреляций и оценка верхнего предела отношения $\sigma_{tot}(\Sigma^+)$, используя те же данные на основе K^+p -корреляционных спектров. Отношение сечений $R(\Sigma^+/\Sigma^0)$ составляет ~ 0.7 [14].

Данных о дифференциальных сечениях для реакции $pp \rightarrow nK^+\Sigma^+$ в литературе не представлено.

1.4 Теоретические модели

Наиболее общепринятыми моделями рождения странности вблизи порога являются модели мезонного обмена и рождение через состояние резонанса. Диаграммы Феймана, описывающие соответствующие процессы, представлены на Рис. 1.5.

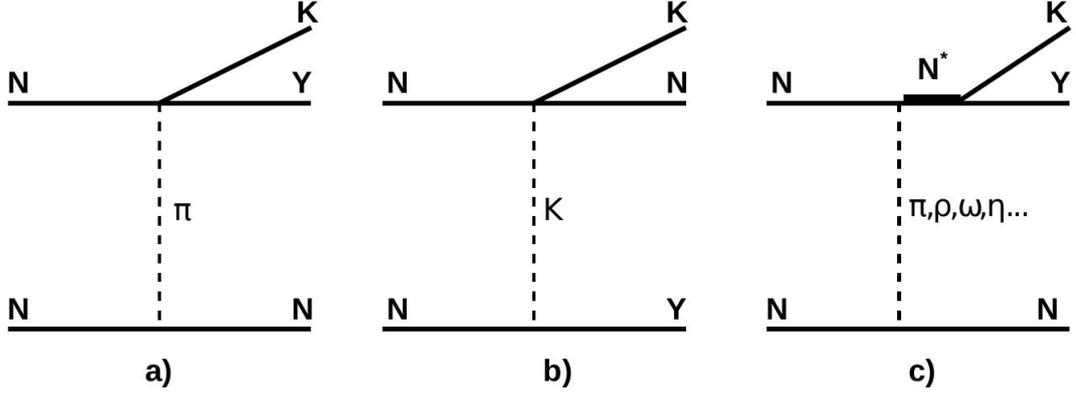


Рис. 1.5: Диаграммы Феймана, описывающие модель мезонного обмена (a, b) и модель резонанса(c).

1.4.1 Мезонный обмен

Эта модель [28] использует механизм обмена π или K -мезоном при описании рождения Λ -гиперонов вблизи порога рождения. Фейнмановские диаграммы для этих процессов изображены на Рис. 1.5 а, Рис. 1.5 б. В рамках модели мезонного обмена вычисление полного сечения рождения частиц может быть выполнено по формуле [28]:

$$\sigma = \frac{1}{12^9 \pi^3 q^2 s} \int dt ds_1 \frac{q_K}{s_1} |M(t, s_1)|^2, \quad (1.2)$$

где q_K – импульс налетающего протона в системе центра масс, s – квадрат энергии в системе центра масс, t – квадрат четырехимпульса, уносимого пионом, s_1 – квадрат энергии в системе центра масс системы $p\Lambda$, q_K – импульс каона в $K\Lambda$ -системе, $M(t, s_1)$ – матричный элемент реакции.

Для простейшего случая однопионного обмена квадрат матричного элемента выглядит следующим образом:

$$|M(t, s_1)|^2 = g_{NN\pi}^2 \frac{t}{(t - \mu^2)^2} F(t) |A_{\pi^0 p \rightarrow \Lambda K}(s_1)|^2, \quad (1.3)$$

где μ – масса покоя пиона, $g_{NN\pi}$ – константа взаимодействия системы NN_π , $A_{\pi^0 p \rightarrow \Lambda K}(s_1)$ – амплитуда реакции $\pi^0 p \rightarrow \Lambda K$, $F(t) = (\Lambda_\pi^2 - \mu^2)(\Lambda_\pi^2 - t)$ – форм-фактор.

Амплитуда реакции $\pi^0 p \rightarrow \Lambda K$ определяется через полное сечение рождения:

$$|A_{\pi^0 p \rightarrow \Lambda K}(s_1)|^2 = 2^4 \pi s_1 \frac{q_\pi}{q_K} \sigma_{\pi^0 p \rightarrow \Lambda K}(s_1), \quad (1.4)$$

где q_π и q_K импульс пиона и каона соответственно.

Константа взаимодействия и параметры форм-фактора могут быть определены с помощью Боннского потенциала для NN -взаимодействия [29].

Для $p\Lambda$ системы в близпороговой области наблюдается взаимодействие в конечном состоянии, для описания которого используются NY потенциалы Jülich и

Nijmegen [31]. В случае рождения Λ -гиперонов доминирующим процессом является обмен K -мезоном, а за рождение Σ^0 отвечает обмен K и π -мезоном. Исследование отношения Λ/Σ^0 , которое достаточно велико ($R(\Lambda/\Sigma^0) = 20 - 30$) при $Q < 12$ МэВ, позволяет сделать предположение о том, что обмен π -мезоном несет деструктирующий вклад, в результате чего рождение Σ^0 подавлено [23].

1.4.2 Модель резонансов

В модели резонансов [32] рождение странности происходит через обмен различными мезонами π, η, ω, ρ . Соответствующая диаграмма Феймана изображена на Рис. 1.5 с. Основные положения модели резонансов заключаются в следующем [32]:

- 1) все экспериментально наблюдаемые гиперон-каонные каналы распада проходят через состояние резонансов. Например, реакция $pp \rightarrow K^+p\Lambda$ проходит через $N^*(1650)$, $N^*(1710)$ и $N^*(1720)$ резонансы;
- 2) обмен K^+ -мезоном не включен в модель;
- 3) взаимодействие в конечном состоянии не включено в модель.

Модель резонансов достаточно хорошо описывает экспериментальные данные для гиперонных каналов распада при высоких энергиях, однако она не справляется с описанием данных в области энергий вблизи порога, потому что не учитывает взаимодействие в конечном состоянии (FSI) системы $p\Lambda$.

Глава 2

Спектрометр ANKE

Ускорительный комплекс COSY (COler-SYncrotron) [35], расположенный на территории Исследовательского центра в г. Юлих, предназначен для изучения адронной физики в области промежуточных энергий. Ускорительный комплекс COSY позволяет работать как с неполяризованными, так и с поляризованными протонными и дейтронными пучками с импульсом до 3.7 ГэВ/с. COSY оснащен электронной и стохастической системами охлаждения, которые используются в энергетическом диапазоне 40–183 МэВ и 830–2830 МэВ соответственно. Использование данной охлаждающей системы позволяет уменьшить ширину импульсного распределения до $\Delta p/p \sim 10^{-4}$ [36]. Интенсивность пучка, как правило, составляет $\sim 10^{10}$ частиц при частоте $\sim 10^6$ Гц.

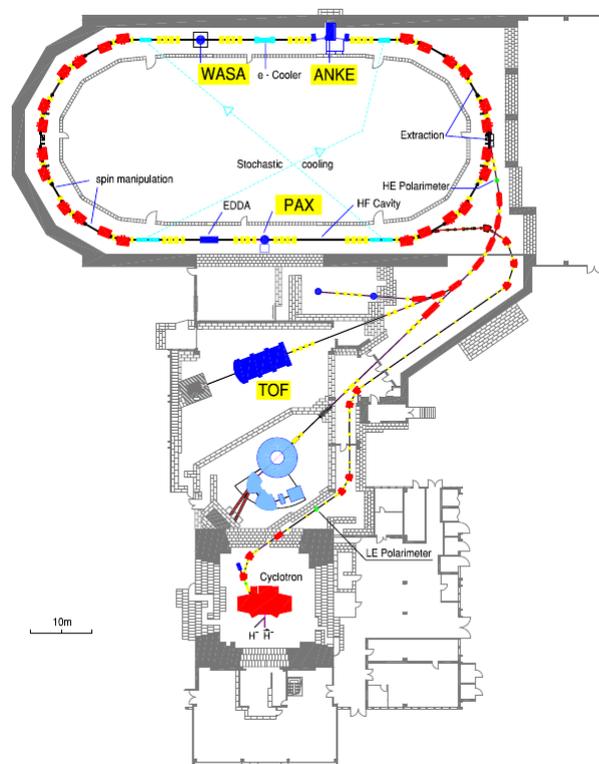


Рис. 2.1: Схема ускорительного комплекса COSY.

Три экспериментальные установки на внутренней мишени (ANKE, WASA, PAX) являются действующими на начало 2013 года на ускорителе COSY (см. Рис. 2.1) [37]. На выведенном пучке ускорителя COSY функционирует единственная установка – COSY-TOF. В данной главе представлено краткое описание экспериментальной установки ANKE.

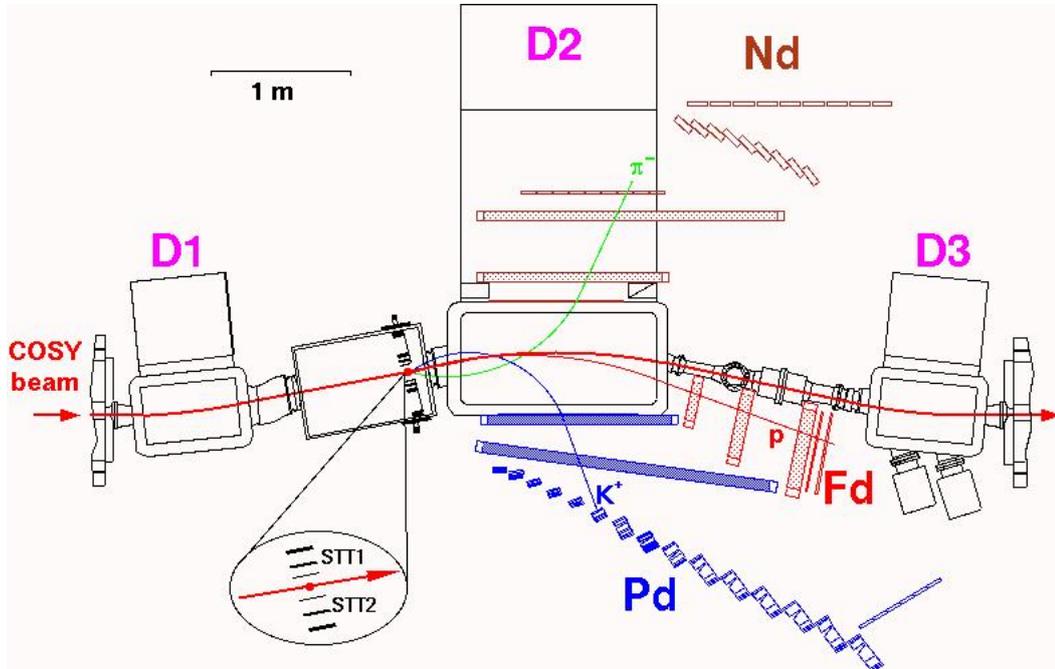


Рис. 2.2: Схема экспериментальной установки ANKE.

Магнитный спектрометр ANKE (Apparatus for Nucleon and Kaon Ejectiles) [38] состоит из трех дипольных магнитов (D1, D2 и D3) и детектирующей системы. Схематичное изображение экспериментальной установки ANKE представлено на Рис. 2.2. Магниты D1 и D3 обеспечивают отклонение пучка на угол α с невозбужденной орбиты ускорителя на мишень в мишенной камере и его возвращение на стационарную орбиту после взаимодействия с мишенью. D2 является спектрометрическим магнитом, и используется для отклонения рожденных заряженных частиц в детектирующие системы.

Магнитный спектрометр ANKE оборудован следующими детекторными системами: детектором положительных и отрицательных частиц (Pd – positive side detector, Nd – negative side detection), передним детектором (Fd – forward detector system), боковым детектором (Side wall) и кремниевым трековым телескопом (STT – Silicon Tracking Telescope).

2.1 Детектирующие системы

2.1.1 Детектор положительных частиц

Детектирующая система положительно заряженных частиц (Pd) расположена справа по движению ускорительного пучка и представлена 23-мя стартовыми сцинтилляционными счетчиками, системой из 15 пробежных телескопов и двумя многопроволочными пропорциональными камерами [38].

Стартовые счетчики, представляющие собой пластиковые сцинтилляционные детекторы, расположены у выходного окна (500 мкм алюминия) вакуумной камеры магнита D2. Каждый из счетчиков имеет угловой аксептанс от 2° до 6° в зависимости от импульса частицы. Для того, чтобы снизить многочисленные эффекты от рассеивания, стартовые счетчики имеют различную толщину, зависящую от его номера. Так, счетчики под номером 1 и 2 имеют толщину 0.5 мм, номера 3, 4 и 5 – по 1 мм, номера с 6 по 23 – 2 мм. Все стартовые счетчики имеют высоту 270 мм и ширину 50 мм, что покрывает весь геометрический аксептанс Pd.

Две многопроволочные пропорциональные камеры (MWPC1, MWPC2) с чувствительными областями 350×1300 мм² и 600×1960 мм² используются для восстановления импульса и угла вылета частиц. Каждая камера имеет три чувствительные плоскости и межпроволочное расстояние в 2.54 мм. Точность восстановления импульса составляет $\Delta p/p \sim 1\%$.

Пробежные телескопы расположены в фокальной плоскости магнита D2 перпендикулярно траектории частиц, покидающих мишень под углом $\vartheta \approx 0^\circ$. В этом случае диапазон импульсов детектируемых частиц определяется только собственной шириной счетчиков (100 мм) и дисперсией магнита. Частицы, попадающие в один телескоп, обладают одним импульсом в пределах 5%, если они были рождены в мишени. При этом частицы разного типа будут иметь разные скорости и разные пробеги в веществе, что и используется для идентификации K^+ -мезонов.

Каждый телескоп представляет собой структуру, схематично изображенную на Рис. 2.3. Пробежный телескоп состоит из:

- 1) стопового счетчика, размерами 100×10 мм и высотой от 520 до 1000 мм в зависимости от номера счетчика;
- 2) ΔE -счетчика толщиной $5 \div 50$ мм ;
- 3) вето-счетчика толщиной 10 мм;
- 4) двух пассивных медных поглотителей для оптимизации энергетических потерь в ΔE -счетчике, разделения частиц по пробегам;
- 5) черенковского детектора с радиатором из органического стекла (только в телескопах $9 \div 15$).

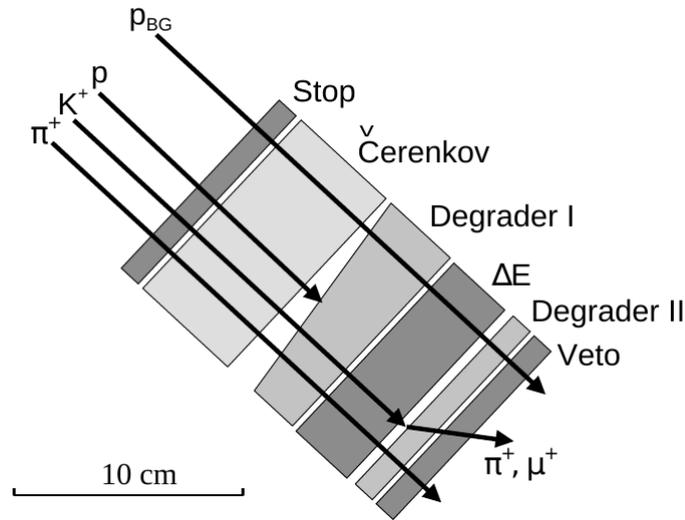


Рис. 2.3: Схема пробегового телескопа.

Телескопы используются для регистрации продуктов распада K^+ -мезонов. Стартовые счетчики и стоповые счетчики, расположенные в телескопах, составляют одну систему для времяпролетных измерений (TOF).

2.1.2 Детектор отрицательных частиц

Детектор отрицательно заряженных частиц расположен с левой стороны относительно движения пучка почти симметрично детектору положительнозаряженных частиц. Он включает 20 стартовых счетчиков и 22 стоповых счетчика, 2 многопроволочные пропорциональные камеры и 11 черенковских счетчиков. В данной работе детектор отрицательных частиц не использовался.

2.1.3 Передний детектор

Передний детектор (Fd) [39] расположен впереди по направлению движения пучка между спектрометрическим магнитом D2 магнитом D3 и предназначен для регистрации высокоимпульсных заряженных частиц (протоны, дейтоны и ядра гелия) [39]. Рожденные в мишени вторичные частицы проходят через вакуумную камеру магнита D2 и покидают ее через выходное окно магнита D2. Затем частицы регистрируются с помощью двух мультипропорциональных камер (MWPCs), дрейфовой камеры (DC) и годоскопа сцинтилляторов. Акцептанс переднего детектора ограничен размерами переднего окна (240×212 мм) магнита D2, сделанного из алюминиевой пленки толщиной 0.5 мм.

Сцинтилляционный годоскоп содержит два слоя вертикально расположенных сцинтилляторов по 8 и 9 счетчиков соответственно, смещенных относительно друг друга на расстояние, равное половине от размера счетчика. Первые 6 счетчиков в первом и во втором слое имеют толщину 20 мм при ширине 80 мм. Счетчики

под номерами 1–2 в первом слое и 1–3 во втором слое имеют толщину 15 мм при ширине $40 \div 60$ мм. Все счетчики имеют высоту 360 мм. Различная ширина счетчиков использована из-за резко увеличивающейся скорости счета вблизи пучка ускорителя и предназначена для выравнивания загрузки детектора.

Пропорциональные камеры имеют межпроволочное расстояние 2 мм и чувствительными областями 320×270 , 420×340 и 540×400 мм². Каждая пропорциональная камера состоит из двух модулей: X- и Y- модули. Каждый модуль содержит по две проволочные и две стриповые плоскости. В X-модуле проволочки ориентированы вертикально (для измерения горизонтальной координаты x), а в Y-модуле горизонтально (для измерения вертикальной координаты y). Дрейфовая камера представлена двумя модулями. Первый модуль состоит из трех вертикально ориентированных плоскостей, второй модуль содержит четыре проволочные плоскости, наклоненные под углом 30° . Импульсное разрешение переднего детектора для протонов составляет $\sim 1\%$.

В зависимости от условий эксперимента передний детектор может быть оснащен слоем черенковских счетчиков для выделения протонов и дейтронов или дополнительным слоем сцинтилляционных счетчиков для измерения энергий.

2.1.4 Боковые детекторы

Боковые детекторы (Side Wall) предназначены для регистрации π , p , d , He^3 и He^4 в диапазоне импульсов $600 \div 1000$ МэВ/с. Боковые детекторы состоят из двух слоев сцинтилляционных счетчиков, по 6 счетчиков в каждом слое. Высота сцинтилляторов 2000 мм, ширина 100 мм, толщина 10 мм. Каждые 6 счетчиков установлены на отдельной передвижной платформе, и могут быть расположены между 15-м телескопом и передним детектором.

2.1.5 Кремниевый трековый телескоп

Кремниевый трековый телескоп предназначен для регистрации низкоэнергетичных протонов и дейтронов, вылетающих из мишени, и восстановления треков регистрируемых частиц. Он расположен во внутренней мишенной камере (см. Рис. 2.4) и предназначен для разделения протонов и дейтронов с помощью $\Delta E/E$ -метода в диапазоне энергий 2.5–40 МэВ с разрешением 150–250 кэВ [40]. Кремниевый трековый телескоп состоит из трех детекторов различной толщины: первый детектор толщиной 69 мкм, второй детектор – 300 мкм и третий – 5 мм. Кремниевый трековый телескоп позволяет идентифицировать протоны и дейтроны с энергиями 2.2–32 МэВ и 3–45 МэВ соответственно [40].

По конструкции кремниевые детекторы можно разделить на две группы: детекторы ВаВаг IV и толстые литиевые детекторы.

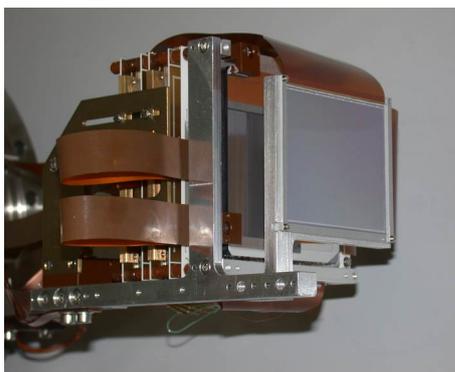


Рис. 2.4: Фотография спектаторного телескопа.

Детекторы ВаВаг IV

Детектор ВаВаг IV, использующийся в первых двух слоях спектаторного телескопа, первоначально был спроектирован для эксперимента ВаВаг и был изготовлен на предприятии SLAC PEP-II британской компании Micron Ltd [40]. Размер активной площади этого детектора позволяет его использовать в качестве составного элемента телескопа на ANKE. Детектор представляет собой пластины кремния толщиной 69 мкм или 300 мкм. На детектор подается напряжение полного обеднения, поэтому по всей толщине пластины действует электрическое поле, растягивающее электронно-дырочные пары на разные поверхности детектора: дырки – на n^- -сторону, электроны – на p^+ -сторону. На положительную сторону детектора нанесено 1023 стрипов, а на негативную сторону – 631 стрипа.

Группа стрипов, подключенная к одному каналу электроники, называется сегментом. Например, для положительной стороны все стрипы разделены на группы по четыре единицы в каждой, и только первые три стрипа составляют отдельную группу. Всего 256 групп для положительной стороны. Каждый стрип подсоединен к каптоновой фольге, на которой из этих 256 стриповых групп сформированы 128 сегментов.

Толстый литиевый детектор

Толстый литиево-кремниевый детектор ($Si(Li)$) разработан в лаборатории института ядерной физики Forschungszentrum Julich (ИКР FZJ) [40]. Толщина детектора равна 5.1 мм, размер активной области 64×64 мм², каждая сторона имеет 96 стрипов с шагом 666 мкм.

Соединение каждого стрипа с каналом электроники происходит напрямую, без формирования стриповых групп. Подаваемое на детектор напряжение обеднения составляет порядка 1 кВ.

Считывающая электроника кремниевого телескопа

Сигналы с каждого детектора поступают на входы микросхемы с 32-х канальными зарядово-чувствительными усилителями VA32TA2. Чип VA32TA2 разработан норвежской компанией IDEAS (Рис. 2.5). Импульс тока с каждого сегмента

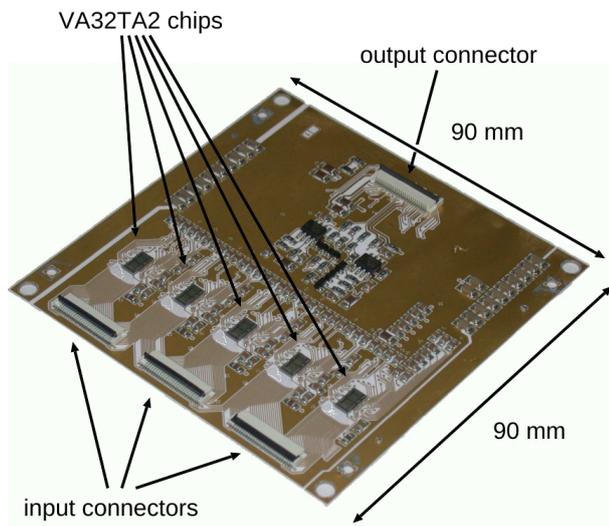


Рис. 2.5: Фотография считывающей микросхемы с VA32TA2.

проходит через предусилитель, затем разветвляется на два плеча – на быстрый (временной) и медленный (зарядовый) усилитель. Длительность сигнала в медленном усилителе равна 3 мкс, что дает возможность измерить амплитуду сигнала с высокой точностью. В быстром канале длительность сигнала составляет 200 нс, что позволяет получить информацию о временной отметке обрабатываемого сигнала. Выходной сигнал с быстрого усилителя поступает на вход дискриминатора, в котором заложено пороговое значение для обрабатываемых сигналов. Триггер по времени от детектора вырабатывается по выходному сигналу дискриминатора.

Сигналы с третьего детектора обрабатываются микросхемой с чипами MATE (Must ASIC for Time and Energy). Чип MATE имеет 16 каналов, которые разделены на две ветки – 8 каналов составляет амплитудное плечо, 8 каналов временное.

Длительность амплитудного сигнала составляет 3 мксек. Максимум измеряемых энергетических потерь частицы составляет +/-50 МэВ с разрешением 16 кэВ. Длительность временного сигнала составляет 300 нс. Достоинством чипа MATE состоит в том, что временные сигналы можно получить с каждого сегмента.

Для оцифровки сигналов со спектрометрического детектора используется мультиплексорный аналого-цифровой преобразователь Vertex ADC, разработанный в центральной электронной лаборатории Forschungszentrum Julich (ZELA FZJ) на шине LVDS.

проходя систему коллиматоров, направляется в мишенную камеру. Размер кластеров составляет $10^3 - 10^4$ атомов. Плотность дейтериевой мишени может достигать $\sim 1 \cdot 10^{15}$ атом/см² · с [41].

Глава 3

Модельный расчет

В этой главе представлены расчеты ожидаемого количества полезных событий после проведения эксперимента. Результат этих расчетов может быть сравнен с итоговым результатом, представленным в главе 6.

3.1 Аспекты феноменологической модели, используемой при моделировании

Для протекания реакции $NN \rightarrow K^+\Lambda N$ требуется передача достаточно большого 4-х импульса между частицами в начальном и конечном состоянии. В работе [33] показано, что в таком случае параметризация энергетической зависимости амплитуды реакции может определяться выражением

$$\mathcal{M} \rightarrow \mathcal{M} \times A_{FSI}, \quad (3.1)$$

где A_{FSI} - амплитуда взаимодействия частиц в конечном состоянии (FSI). В работе [42] было предложено использовать формулу Мигдала-Ватсона для учета эффектов FSI для канала $pp \rightarrow pK^+\Lambda$:

$$A_{\Lambda p}(q) = N_0(m_\Lambda + m_N) \left(-\frac{1}{a} + \frac{rq^2}{2} - iq \right)^{-1}, \quad (3.2)$$

где a - длина рассеяния, r - эффективный радиус, N_0 - нормировочный коэффициент, q - импульс частиц в системе центра масс,

$$q = \frac{\lambda^{1/2}(s_{\Lambda p}, m_\Lambda^2, m_p^2)}{2\sqrt{s_{\Lambda p}}} \quad (3.3)$$

Однако приведенное выше соотношение хорошо описывает взаимодействие в конечном состоянии только для случаев, которые характеризуются большой длиной рассеяния. В случае Λp взаимодействия длина взаимодействия составляет порядка 1–2 фм, поэтому для Λp частиц обычно используется функция Йоста (Jost)

function) [34]:

$$A_{\Lambda p}(q) = \frac{q + i\beta}{q - i\alpha}, \quad (3.4)$$

где α и β параметры рассеяния, определяемые как

$$a = \frac{\alpha + \beta}{\alpha\beta}, r = \frac{2}{\alpha + \beta}, \quad (3.5)$$

при этом $\alpha < 0$ и $\beta > 0$. За R обозначено значение определенного интеграла по $|A_{\Lambda p}(q)|^2$ из (3.4), нормированный на фазовый объем Φ^3 :

$$R(\epsilon) = \frac{1}{\Phi^3} \int_0^{\sqrt{2\mu\epsilon}} \sqrt{2\tilde{\mu} \left(\epsilon - \frac{q^2}{2\mu} \right) \frac{q^2 + \beta^2}{q^2 + \alpha^2}} q^2 dq = 1 + \frac{4\beta^2 - 4\alpha^2}{(-\alpha + \sqrt{q^2 + \alpha^2} + 2\mu\epsilon)^2}, \quad (3.6)$$

где μ и $\tilde{\mu}$ опеределены выражениями:

$$\mu = \frac{m_{\Lambda}m_N}{m_{\Lambda} + m_N}, \tilde{\mu} = \frac{m_K(m_{\Lambda} + m_N)}{m_K + m_{\Lambda} + m_N}. \quad (3.7)$$

Выражение (3.8) определяет зависимость полного сечения от энергии возбуждения для $pN \rightarrow K^+N\Lambda$ реакции:

$$\sigma(\epsilon) = \frac{\sqrt{m_K m_{\Lambda} m_N}}{2^7 \pi^2 (m_K + m_{\Lambda} + m_N)^{3/2}} \frac{\epsilon^2}{\sqrt{s^2 - 4sm_N^2}} |M|^2. \quad (3.8)$$

Параметры $\beta = 200$ МэВ/с и $\alpha = -70$ МэВ/с соответствуют низкоэнергетичным $a = -1.8$ фм и $r = 2.8$ фм.

3.2 Моделирование

Модельный расчет зависимости скорости счета реакции от энергии возбуждения $N(Q)$ был выполнен с помощью генератора столкновений PLUTO и программного пакета ROOT. В расчетах использовались следующие параметры:

- 1 Светимость $5 \cdot 10^{30} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.
- 2 Эффективности регистрации детектирующих систем:
 - 2.1. пробержных телескопов от 10 до 30 %;
 - 2.2. пропорциональных камер 90 %;
 - 2.3. спектаторного детектора 90 %.

Моделирование реакции $pd \rightarrow (pn)p_{sp} \rightarrow (p_{sp})nK^+\Lambda$ было выполнено с использованием Монте-Карло генератора адрон-адронных столкновений PLUTO.

Для возможности протекания реакции $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ системе необходимо сообщить определенную энергию для рождения частиц. На Рис. 3.1 представлена зависимость вероятности иметь достаточную энергию для рождения $K^+n\Lambda$ состояния от энергии возбуждения при энергии протонного пучка $T_p = 1.826$ ГэВ. На

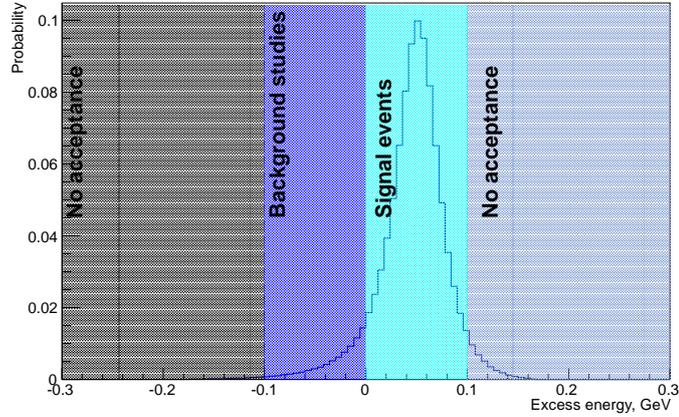


Рис. 3.1: Вероятностное распределение энергии возбуждения для pn взаимодействия. Ноль соответствует порогу реакции.

Рис. 3.2 изображена зависимость импульса спектаторного протона от угла вылета. Черным прямоугольником выделена область аксептанса спектаторного детектора. Принимая в расчетах вычисленный аксептанс АНКЕ, светимость и эффективность

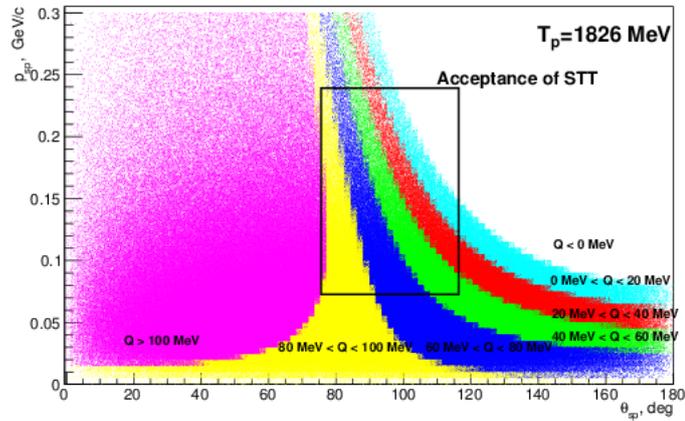


Рис. 3.2: Зависимость импульса спектаторного протона p_{sp} от угла вылета θ_{sp} для реакции $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ при $T_p = 1.826$ ГэВ.

регистрации всех детектирующих систем, можно оценить число событий после трех недель измерений при энергии $T_p = 1.826$ ГэВ. На Рис. 3.3 представлено ожидаемое число событий N от энергии возбуждения Q после 3-х недель эксперимента. Полученное распределение находится в разумном согласии с расчетами, выполненными в программном пакете Geant4, использованном при подготовке предложения [43].

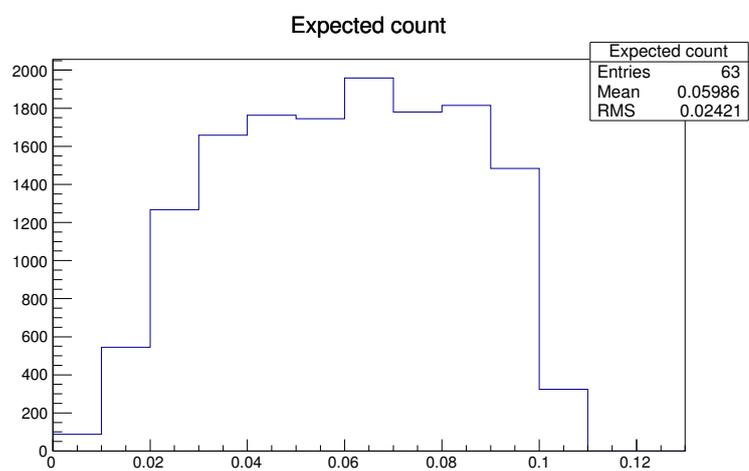


Рис. 3.3: Рассчитанная зависимость скорости счета реакции $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ от энергии возбуждения.

Глава 4

Анализ данных кремниевого трекового телескопа

Кремниевый трековый телескоп используется для идентификации и измерения энергии низкоэнергетичных протонов и дейтронов. Идентификация частиц в кремниевом микростриповом детекторе осуществляется с помощью $\Delta E/E$ - метода, который позволяет идентифицировать частицы в диапазоне энергий 2.5–40 МэВ с разрешением 150–250 кэВ. Конструкция кремниевого трекового телескопа изложена в разделе 2.1.5.

Сигналы с полупроводникового детектора обрабатываются и записываются с помощью многоканальной высокочувствительной электроники считывания. Отрицательное влияние на стабильность работы аппаратуры оказывают такие факторы, как высокая загрузка детектора, температурная зависимость и внутренние токи детектора.

Для анализа данных использовался программный пакет ROOT SORTER [44].

4.1 Обзор

Анализ данных с полупроводникового детектора включает несколько этапов:

- определение положений пьедесталов и их ширин;
- исследование стабильности электроники;
- контроль энергетической калибровки детектора;
- идентификация частиц и восстановление их импульса.

Полное количество сегментов во всех детекторах в каждом телескопе составляет 1176 штук. В общем случае амплитуда в каждом канале считывающей электроники включает в себя:

- 1) сигнал, определяемый энергетическими потерями частицы,

- 2) пьедестальное значение,
- 3) шумы электроники.

Полезный сигнал в канале электроники, считанный с сегмента микроstriпового детектора определяется выражением:

$$A_i - P_i, \quad (4.1)$$

где A_i - измеренная амплитуда в канале электроники, P_i - пьедестальное значение для канала электроники, i -номер канала.

Пьедесталом(P) называется значение амплитуды канала АЦП, соответствующее нулевому сигналу на входе данного канала электроники. Положение пьедесталов играет роль нуля шкалы АЦП. Положения пьедесталов не только меняются от канала к каналу, но и меняются со временем, что связано с внешними наводками на электронику, внутренними токами детектора и зависимостью от температуры, а также с шумовой характеристикой каналов электроники. Таким образом, положение пьедестала определяется как среднее положение того распределения, которое мы получаем при отсутствии сигнала на входе данного канала считывающей электроники. Ширина и форма этого распределения определяются не только шумом, но и смещением этого среднего положения. В том случае, если смещение вызвано низкочастотной наводкой и поэтому является общим для всех каналов, расположенных одной на электронной плате, можно несколько улучшить ситуацию с помощью коррекции на CM .

Общая мода (CM) - это общее смещение амплитуды или дрейф базовой линии АЦП для всех каналов от события к событию. Для правильной обработки данных вводятся поправки на величину CM . Величина CM для каждого события вычисляется по формуле:

$$CM = \frac{\sum_{0 < i < n} (A_i - P_i)}{\sum n}, \quad |A_i - P_i| < thr_i, \quad (4.2)$$

где CM - это общая мода для каждого события, $\sum n$ - число сегментов с амплитудным значением ниже порогового, A_i - измеренная амплитуда в одном событии в i -м сегменте, P_i - положение пьедестала в i -м сегменте, thr_i - пороговое значение канала электроники. Общая мода используется для получения скорректированных амплитуд A_i^{Cor} в каждом событии для каждого канала электроники с помощью выражения:

$$A_i^{Cor} = A_i - CM - P_i, \quad (4.3)$$

где A_i - измеренная амплитуда в одном событии в i -м сегменте, CM - общая мода в каждом событии, P_i - положение пьедестала в i -м сегменте. После выполнения этой процедуры уточняются положения пьедесталов и сокращается ширина пьедестала.

стальных распределений. Для вычисления общей моды требуется условие $n > 15$.

В настоящем эксперименте набирались данные двух типов: данные без подавления нулей и данные с подавлением нулей.

1. **Данными без подавления нулей** называются данные, при наборе которых на диск записывается вся считываемая информация без какой-либо предварительной обработки.

В частности, эти данные используются для определения положения пьедесталов P_i . Определение положений пьедесталов P_i и thr_i происходит в онлайн-режиме, после чего данные о величинах P_i и о величинах порогов дискриминации thr_i загружаются в электронику.

2. **Данные с подавлением нулей.** Для записи данных с подавлением в электронике осуществляются следующие предварительные операции:

- 1) используя загруженную информацию о положениях пьедесталов P_i и thr_i в каждом событии производится вычисление CM ;
- 2) на диск записывается информация только с тех каналов, для которых справедливо:

$$A_i^{Cor} = |A_i - CM - P_i| > thr_i, \quad (4.4)$$

где A_i^{Cor} – скорректированная амплитуда в одном событии в i -м сегменте, A_i – измеренная амплитуда в одном событии в i -м сегменте, CM – общая мода в каждом событии, P_i – положение пьедестала i -м сегменте, thr_i – пороговое значение канала.

Одно из 128 событий для всех сегментов во всех детекторах записывалось без подавления нулей независимо от величины амплитуды сигнала. Это необходимо для контроля изменения текущих значений пьедесталов.

Тип данных напрямую определяет основные этапы обработки данных. При работе с подавленными данными объем обрабатываемой информации меньше, однако требуется введение поправок на величину дрейфа положений пьедесталов с течением времени.

Из-за особенностей устройства микрострипового кремниевого телескопа и высокой чувствительности системы считывания данных требуется тщательный анализ каждого обрабатываемого файла данных и амплитудных спектров каждого канала.

4.2 Определение положений пьедесталов

В данном разделе представлено вычисление пьедесталов для двух типов данных.

1. Данные без подавления нулей. На Рис. 4.1 представлено распределение амплитуд для положительной стороны STT1_1, полученное из данных без подавления нулей. На Рис. 4.2 представлено амплитудное распределение одного из сегментов.

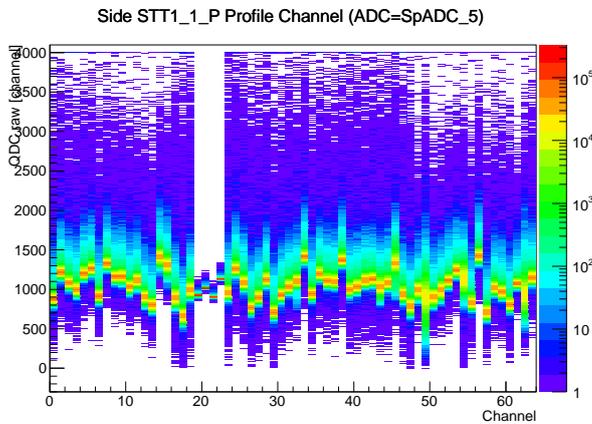


Рис. 4.1: Профиль спектра raw-данных для STT1_1 (положительная сторона) для одного файла. По оси X - номер канала электроники. По оси Y - амплитуда в каналах АЦП. По оси Z - число отсчетов.

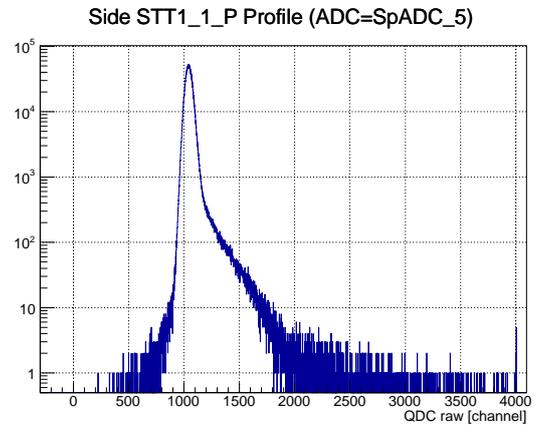


Рис. 4.2: Амплитудное распределение в одном канале, данные без подавления. По оси X - амплитуда в каналах АЦП. По оси Y - число отсчетов с данным значением амплитуды. Пик в области 1000 сформирован пьедестальным значением.

На распределении на Рис. 4.1 видно, что пьедестальные значения различаются от канала к каналу. Для того, чтобы выставить все значения пьедесталов в ноль, необходимо выполнить несколько коррекций.

Для получения скорректированных спектров в каждом событии производилась обработка по формуле 4.3 и заполнялись гистограммы как на Рис. 4.3. Распределения в каналах под номерами 19–22 отражают поведение сегментов, которые не подключены к электронике.

2. Данные с подавлением нулей. Профиль амплитудных спектров данных с подавлением нулей представлен на Рис. 4.5. На Рис. 4.6 представлено амплитудное распределение в одном канале для данных с подавлением, которое имеет вид Гаусообразного распределения с двумя острыми пиками по бокам в области каналов [-200;200]. Пики отстоят от нуля на расстояние ширины порога. Гаусообразное распределение представляет собой подавленное в $1/128$ раз положение пьедестала.

В идеальном случае положения пьедесталов в скорректированных спектрах для данных обоих типов должны находиться в нуле. Однако это не всегда так, потому что могут возникать погрешности, связанные с нестабильностью пьедесталов во времени и изменениями пьедесталов с течением времени. Вследствие этих причин значения пьедесталов могут быть смещены на величину Δ относительно нуля. Подобная ситуация требует дополнительной коррекции введением следующих по-

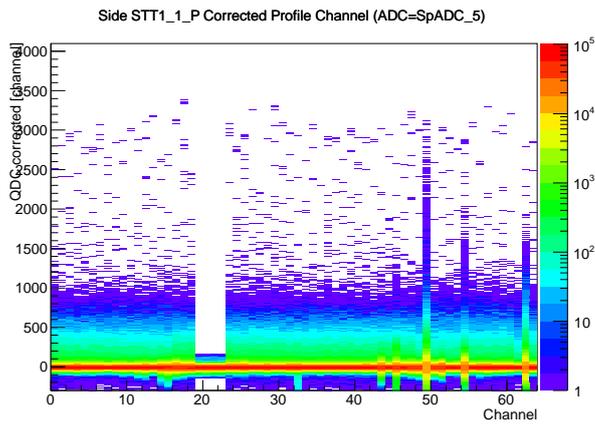


Рис. 4.3: Профиль спектра данных для STT1_1 (положительная сторона) в одном файле после коррекции по CM . По оси X - номер канала электроники. По оси Y - амплитуда в каналах АЦП. По оси Z - число отсчетов.

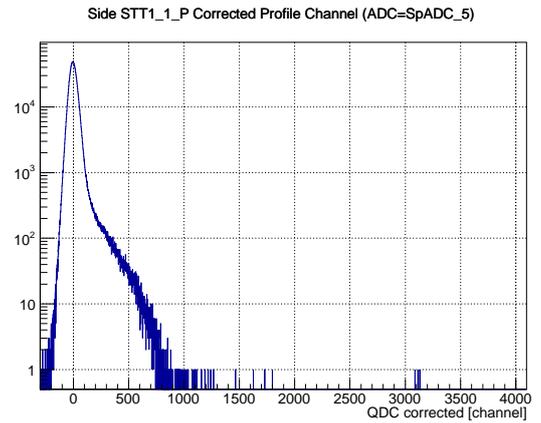


Рис. 4.4: Амплитудное распределение в одном канале после коррекции по CM , данные без подавления. По оси X - амплитуда в каналах АЦП. По оси Y - число отсчетов с данным значением амплитуды. Пьедестальный пик установлен в ноль.

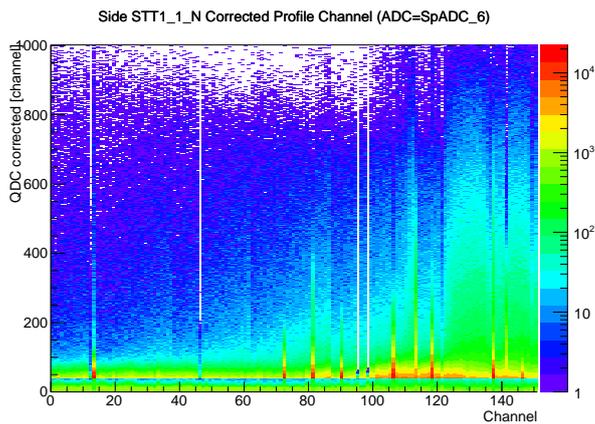


Рис. 4.5: Профиль спектра данных для STT1_1 (отрицательная сторона), данные с подавлением. По оси X - номер канала электроники. По оси Y - амплитуда в каналах АЦП. По оси Z - число отсчетов.

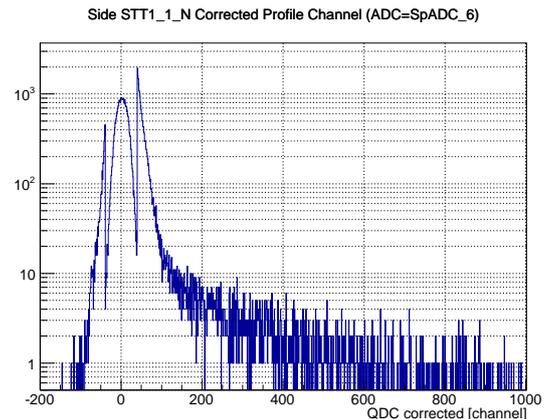


Рис. 4.6: Амплитудное распределение в одном канале, данные с подавлением. По оси X - амплитуда в каналах АЦП. По оси Y - число отсчетов с данным значением амплитуды.

правок:

- $P' = P - \Delta$ для данных без подавления;
- $P' = \Delta$ для данных с подавлением.

4.3 Коррекция на потери событий при расчете CM

Анализ ширины пьедестальных распределений позволяет выделить группы каналов, подключенных к сегментам типа:

- 1) нормальные сегменты – сегменты, RMS пьедесталов в которых в пределах среднего RMS по всем сегментам;
- 2) неподсоединенные сегменты – сегменты, которые не подсоединены к электронике и полезной информации не содержат;
- 3) шумящие сегменты – сегменты, RMS пьедесталов которых шире среднего RMS по всем сегментам (или резко уширилось в какой-то момент времени);
- 4) подозрительные сегменты – сегменты, RMS пьедесталов которых было меньше среднего RMS по всем сегментам.

Информация с сегментов, относящаяся к группам 2, 3, 4 в дальнейшем анализе не использовалась. Кроме того, сегменты с признаками "шумящий" и "неподсоединенный" не учитывались при расчете общей моды CM .

Общая мода вычисляется в каждом событии по формуле 4.2 при условии, число сегментов $n > 15$. Если число сегментов в событии было $n < 15$, то для такого события CM не вычислялась и $A^{Cor} = 0$.

На Рис. 4.7 представлена зависимость процента потерянных событий при вычислении CM от номера файла. Файлы, в которых процент потерянных событий при вычислении CM составил $> 5\%$, в дальнейшем анализе не использовались.

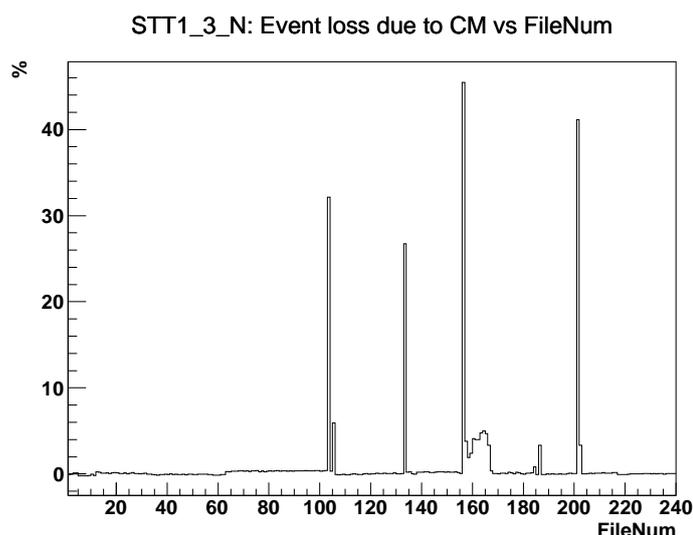


Рис. 4.7: Зависимость процента событий, потерянных при вычислении CM , от номера файла.

Таблица 4.1: Процент событий, которые потеряны при вычислении CM для STT1_3 (отрицательная сторона, данные с подавлением нулей).

Номер файла	Потерянные события, %
103 (19744)	32 %
105 (19746)	6 %
133 (19775)	26 %
156 (19799)	45 %
157 (19800)	3.7%
158 (19801)	1.82%
159 (19802)	2.3%
160 (19803)	4.2%
161 (19804)	4 %
162 (19805)	4 %
163 (19806)	4.7%
164 (19807)	5 %
165 (19808)	4.5%
166 (19809)	3.4%
167 (19810)	0.4%
184 (19827)	0.9%
186 (19829)	3.5%
201 (19844)	41 %
202 (19845)	3.3%

4.4 Поиск непригодных для анализа сегментов

Сегменты, неподключенные к электронике, можно найти из спектров на Рис. 4.8 – эти сегменты не содержат полезных событий (белые полосы). Также в спектре присутствуют сегменты, поведение которых было нестабильно в течение набора данных. Эти сегменты можно определить, проанализировав стандартное отклонение для пьедесталов $\sigma(P)$ в течение эксперимента (Рис. 4.9).

Сегменты, для которых стандартное отклонение пьедестальных значений составило $\sigma(P) > 20$, не участвовали в дальнейшем анализе.

4.5 Контроль стабильности энергетической калибровки

Энерговыделение частицы, зарегистрированное одним сегментом, рассчитывается по формуле [40]:

$$E = (P_0 + P_1 \cdot A^{Cor}), \quad (4.5)$$

где A^{Cor} - величина амплитуды в канале электроники, P_0, P_1 - калибровочные коэффициенты.

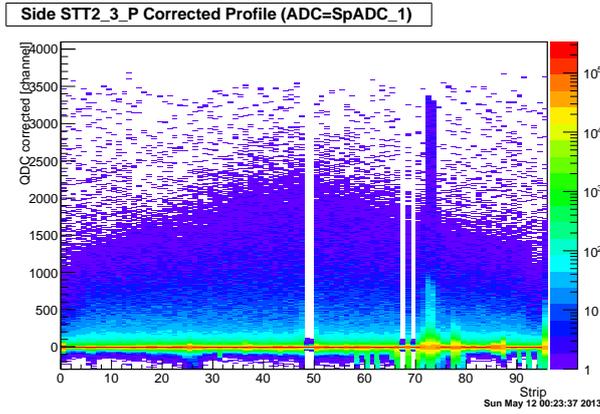


Рис. 4.8: Спектр для одного файла STT2_3(положительная сторона). По оси X - номер сегмента. По оси Y - амплитуда в каналах АЦП. По оси Z - число отсчетов. Сегменты 48, 49, 67, 69 являются “неподсоединенными”.

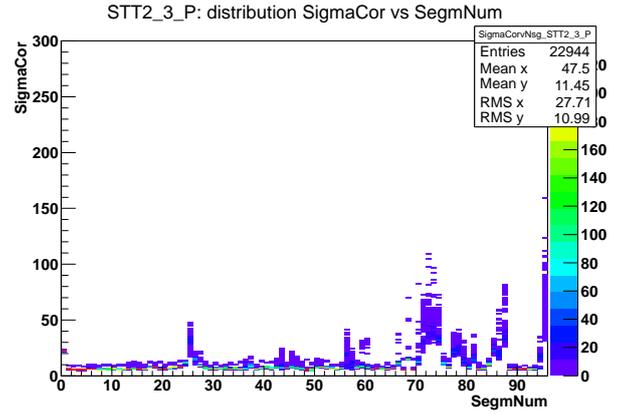


Рис. 4.9: Распределение ширины пьедесталов для детектора STT2_3 (положительная сторона), определенных для всех файлов, набранных в течение эксперимента.

Выражение 4.5 описывает энерговыделение частицы в одном сегменте. Если регистрируемая частица проходит между двумя сегментами, то ее энергетические потери могут быть зарегистрированы двумя или тремя соседними сегментами. Хитами называется один или группа соседних сегментов, зарегистрировавшая выделение энергии в одном событии для прошедшей частицы. Энерговыделение частицы определяется по формуле:

$$E_{sum} = \sum_{segments} E_{segment}, \quad (4.6)$$

где $E_{segment}$ - энергетические потери в одном сегменте, E_{sum} - сумма энергетических потерь во всех сегментах, входящих в состав одного хита.

Заряд, собираемый с обеих сторон детектора, в идеальном случае должен быть одинаков. Однако величина собранного заряда в положительной и отрицательной сторонах может отличаться. Различие в энергии, измеренной на разных сторонах, определяется не только эффективностью сбора заряда, но и другими факторами - в частности, разным усилением каналов электроники. Все это учитывается в процессе определения калибровки. На Рис. 4.10 представлена зависимость $(dE_P - dE_N)/2$ от $(dE_P + dE_N)/2$, где dE_P и dE_N - энергетические потери частицы, измеренные с положительной и отрицательной сторон соответственно. Зависимость имеет явный сдвиг вниз, который означает изменение энергетической калибровки из-за изменения какого-либо из факторов в течение измерений.

Для выравнивания величин dE_P и dE_N необходимо ввести поправочные коэффициенты на энергию. Для вычисления коэффициентов была сделана проекция зависимости 4.10 на ось $(dE_P - dE_N)/2$ при определенной энергии $(dE_P + dE_N)/2$.

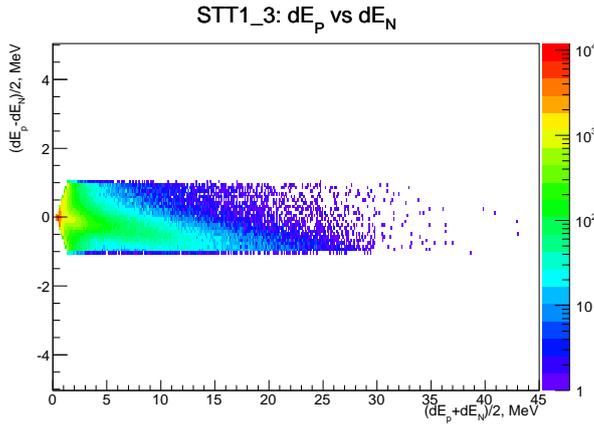


Рис. 4.10: Зависимость $(dE_P - dE_N)/2$ vs $(dE_P + dE_N)/2$ для STT1_3 (положительная сторона).

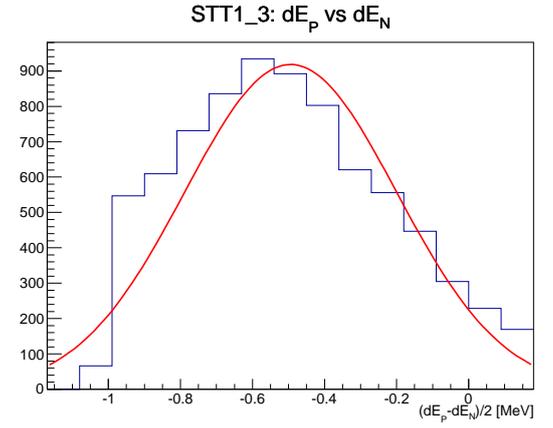


Рис. 4.11: Распределение $(dE_P - dE_N)/2$ при $(dE_P + dE_N)/2 = 11.025$ МэВ для STT1_3 (положительная сторона).

Интервал энергий $(dE_P + dE_N)/2$ для проецирования составляет:

- для первого детектора: $E_{Low} = 1.449$ МэВ и $E_{Up} = 1.554$ МэВ, тогда $\langle E \rangle = 1.5015$ МэВ;
- для второго детектора: $E_{Low} = 4.8$ МэВ и $E_{Up} = 5.22$ МэВ, тогда $\langle E \rangle = 5.01$ МэВ;
- для третьего детектора: $E_{Low} = 18.99$ МэВ и $E_{Up} = 21.06$ МэВ, тогда $\langle E \rangle = 21.06$ МэВ;

На Рис. 4.11 представлена проекция двумерной гистограммы 4.10 на ось $(dE_P - dE_N)/2$, из которой $\Delta E = (dE_P - dE_N)/2 = -0.5$ при $\langle E \rangle = 11.02$ МэВ (в данном случае $\langle E \rangle = 11.02$ МэВ для третьего детектора, потому что исследуемая зависимость имеет крутой наклон и при $\langle E \rangle = 21.06$ МэВ статистики нет). Поскольку в данном случае $dE_P < dE_N$, то коэффициент для положительной стороны вычисляется

$$k_{new}^P = k + \frac{\Delta E}{\langle E \rangle} \quad (4.7)$$

и коэффициент для отрицательной стороны

$$k_{new}^N = k - \frac{\Delta E}{\langle E \rangle}. \quad (4.8)$$

Корректированные значения энергии $E_{Cor} = k_{new} \cdot E_{loss}$ были получены для каждой стороны. На Рис. 4.12 представлена та же зависимость, что и на Рис. 4.10, но с введенными коэффициентами. Энергетические потери в положительной и отрицательной сторонах равны.

Расчет коэффициентов был выполнен для каждого файла для всех детекторов. На Рис. 4.14 представлена зависимость величины ΔE_{NP} от номера файла. После

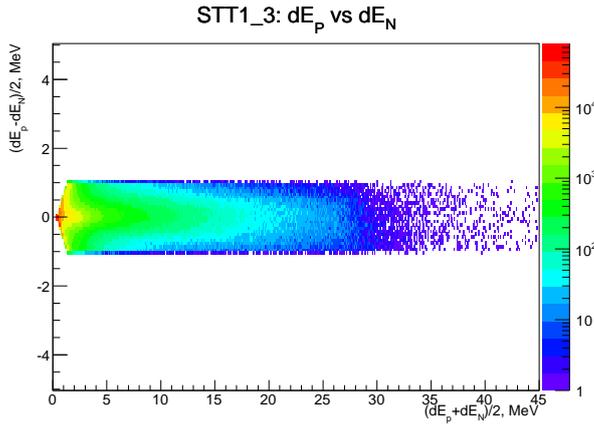


Рис. 4.12: Зависимость $(dE_P - dE_N)/2$ vs $(dE_P + dE_N)/2$ для STT1_3 (положительная сторона) после применения коррекции по энергии.

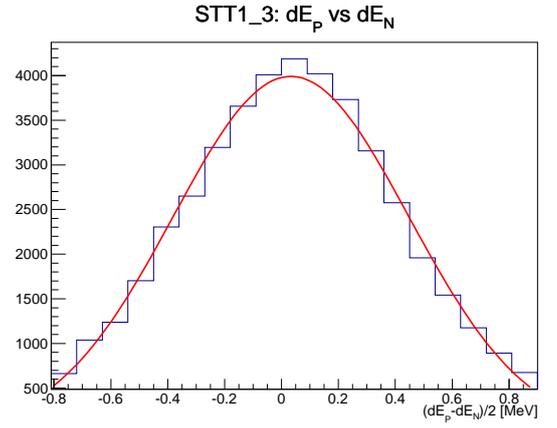


Рис. 4.13: Распределение $(dE_P - dE_N)/2$ при $(dE_P + dE_N)/2 = 11.025$ МэВ для STT1_3 (положительная сторона) после применения коррекции по энергии.

внесения соответствующих коэффициентов удалось выравнять величины энергий в положительной и отрицательной сторонах, т.е. добиться $\Delta E_{NP} \approx 0$, что видно из Рис. 4.15.

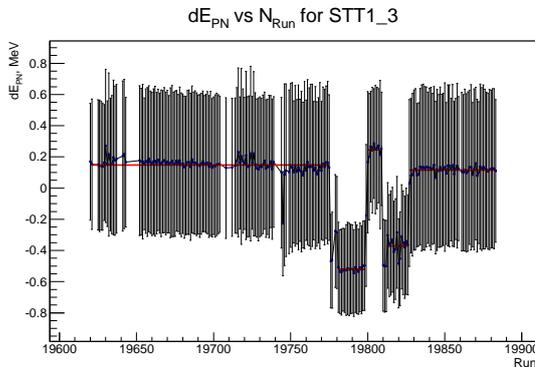


Рис. 4.14: Зависимость ΔE от номера файла для STT1_3 (положительная сторона).

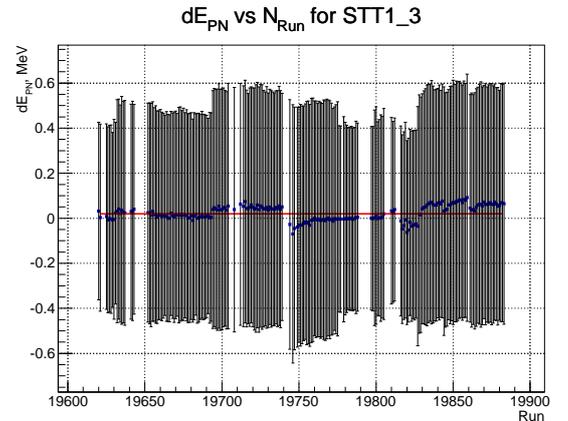


Рис. 4.15: Зависимость ΔE от номера файла для STT1_3 (положительная сторона) после коррекции по энергии.

4.6 Отбор полезных кластеров

В условиях высокой загрузки детектора помимо полезных хитов (кластеров сегментов), вызванных частицами из данного события, присутствуют сторонние хиты, вызванные ранее прошедшими частицами. Этот эффект особенно существен, потому что STT не был включен в основной триггер во время набора этих

данных.

В этом случае в одной стороне детектора присутствует несколько хитов, из которых можно выделить только те, которые относятся к данному событию. На Рис. 4.16 приведена зависимость энерговыведения частиц от времени появления триггерного сигнала для детектора STT1_1. Сторонние частицы, не относящиеся к данному событию, имеют небольшие по величине потери энергии – на Рис. 4.16 это ярко представлено как область с большим количеством событий при $dE < 0.5$ МэВ.

Ожидаемое распределение событий в этом спектре известно и было использовано для выделения полезных кластеров. Скорректированная зависимость представлена на Рис. 4.17.

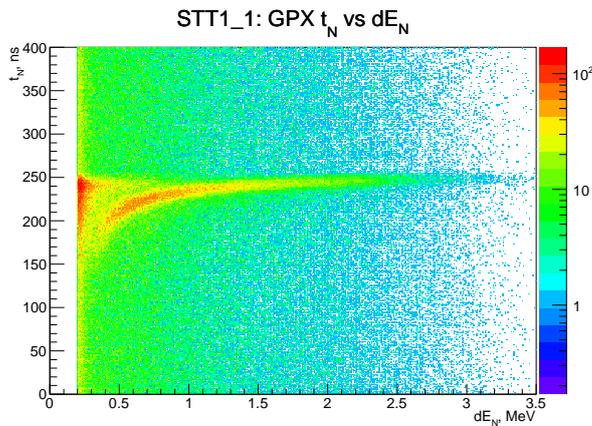


Рис. 4.16: Зависимость времени появления сигнала в детекторе STT1_1 (отрицательная сторона) от энергии, оставленной частицами в данном детекторе.

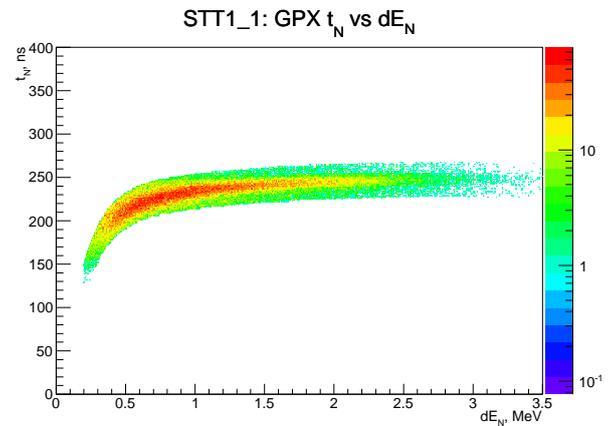


Рис. 4.17: Зависимость времени появления сигнала в детекторе STT1_1 (отрицательная сторона) от энергии после выделения хитов, относящихся к данному событию.

4.7 Разделение протонов и дейтронов

График 4.18 иллюстрирует зависимость энергетических потерь в первом детекторе от потерь энергии во втором детекторе после выполнения всех коррекций. Зависимость на Рис. 4.18 позволяет идентифицировать тип частицы и получить ее энергетическое распределение.

4.8 Заключение

Данная глава посвящена описанию анализа данных с микрострипового трекового телескопа. Прделанный телескопный анализ позволяет выделить зарегистрированные телескопом в каждом событии частицы, идентифицировать тип частицы и восстановить их импульс.

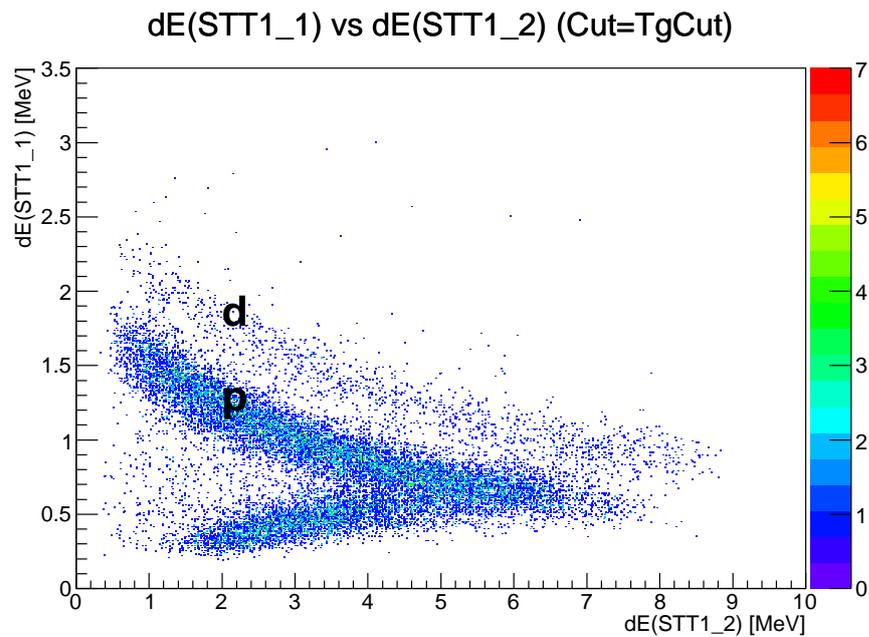


Рис. 4.18: Зависимость потерь энергии в STT1_1 (69 мкм) от потерь энергии в STT1_2 (300 мкм) для одного файла. Протонная и дейтронная линии хорошо разделяются.

В ходе анализа для двух типов данных была выполнена процедура определения положений пьедесталов и приведение этих положений в ноль. Исследовано поведение положений пьедесталов и их RMS в каждой стороне каждого детектора в течение эксперимента, которое позволило отобрать пригодные для дальнейшего анализа сегменты и файлы. Осуществлен контроль энергетической калибровки детектора. Использование временной информации с детектора позволило снизить число фоновых событий. На Рис.4.18 представлено конечное распределение dE_{STT1_1} vs dE_{STT1_2} , которое будет использовано в дальнейшем для идентификации протонов и дейтронов.

Глава 5

Анализ поведения считывающей электроники во время эксперимента в 2011 году

5.1 Введение

Активное использование кремниевых микростриповых детекторов для регистрации частиц обусловлено тем, что полупроводниковый детектор обладает хорошим разрешением по энергии и пространственной координате. Сложная топология и конструкция разработанных систем микростриповых детекторов, использование высокочувствительной электроники, а также условия проведения эксперимента (высокая загрузка детекторов при высокой плотности мишени) – все эти факторы оказывают влияние на качество набираемых данных. Для сохранения качественной энергетической калибровки детектора необходимо контролировать поведение всех сегментов во время сеанса. Поскольку полное число считываемых каналов с двух кремниевых телескопов ANKE составляет 1176 штук, то осуществлять контроль поведения положений пьедесталов и их RMS в течение эксперимента длительностью 3 недели вручную невозможно. Поэтому был разработан пакет программ для изучения положений пьедесталов и их RMS во времени.

5.2 Методика анализа

В этой главе представлена первая попытка разработать метод контроля пьедесталов в рамках стандартного модуля программного пакета ROOT SORTER [44]. Разрабатываемый метод направлен на контроль величины положения пьедестала и его RMS во времени. Анализ этих величин позволяет выбрать сегменты, поведение которых было стабильно или нестабильно во времени. Знание индивидуального поведения сегментов позволяет формализовать критерии отбора сегментов и установить единую величину порога дискриминации для всех сегментов.

Для реализации поставленной задачи логично использовать информацию о положении пьедестала и его RMS и проследить динамику этих величин во времени. Реализация излагаемой методики осуществляется по следующей схеме:

1. Получение скорректированных спектров:
 - 1.1. определение положений пьедесталов для подавленных/неподавленных данных и тем самым определение ноля шкалы АЦП;
 - 1.2. маркировка сегментов по признакам “шумящий”, “неподсоединенный”, “подозрительный”.
2. Индивидуальный анализ всех сегментов, выработка критериев для отбора пригодных для дальнейшего анализа сегментов. Для выработки критериев проводился анализ поведения среднего значения исследуемой величины за время всего сеанса. Среднее значение вычислялось с помощью алгоритма нахождения среднего (раздел 5.4). В процессе выполнения данного этапа:
 - 2.1. вычислено среднее значение пьедестала P_i в течение всего сеанса для i -го сегмента;
 - 2.2. вычислено среднее значение σ_i пьедестала в течение всего сеанса для i -го сегмента;
 - 2.3. вычислена доля событий, в которой сегмент вел себя как “шумящий”, “неподсоединенный”, “подозрительный”.

В описываемом методе используется определенная выборка пьедестальных значений, которую можно получить, разделяя все обрабатываемые данные на определенные временные отрезки. В данном случае временным отрезком является один файл данных (run).

5.3 Получение скорректированных спектров

Рассмотрим процедуру получения скорректированных спектров в данном методе для данных с подавлением и данных без подавления (см. определения в разделе 4.1).

Исходные данные проходят два этапа обработки:

- 1) на первом этапе из сырых данных определяются положения пьедесталов P^{Raw} и их RMS;
- 2) на втором этапе в каждом событии вычисляется значение CM используя выражение 4.2, затем для получения скорректированных спектров выполняются вычисления по формуле 4.4.

После каждого этапа программой формируется пакет из 12 txt-файлов (по числу сторон детекторов) для каждого файла с данными. Каждый txt-файл содержит информацию об одной стороне детектора, а именно:

- 1) номер сегмента;
- 2) значение пьедестала P ;
- 3) погрешность определени P ;
- 4) RMS пьедестала;
- 5) погрешность определения RMS;
- 6) битовая маска, имеющая возможные значения:
 - 2 – нормальный сегмент;
 - 8 – подозрительный сегмент;
 - 16 – шумящий сегмент.

Вся информация, полученная после двух этапов обработки, записана в объект класса TTree пакета ROOT.

Для данных без подавления нулей было выполнено два этапа обработки. Поскольку при записи данных с подавлением нулей в электронике осуществляются предварительные операции, описанные в разделе 2 главы 4, то для их обработки достаточно одного этапа.

5.4 Алгоритм вычисления среднего значения величин

Основным рабочим инструментом является алгоритм вычисления среднего значения исследуемой величины.

Рассмотрим вычисление среднего значения пьедесталов в рамках одного сегмента. Пусть имеется ряд измеренных пьедестальных значений

$$x_1, x_2, \dots, x_n, \tag{5.1}$$

где n – номер файла. Из значений этого ряда составляется список, в котором они сортируются по возрастанию. Для ряда x_1, x_2, \dots, x_n вычисляется среднее значение \bar{x} и σ . Затем каждое значение из ряда сравнивается со средним и по одному отбрасывается значение, удовлетворяющие условию

$$|x_i - \bar{x}| > k \cdot \sigma, \tag{5.2}$$

т.е. значение, имеющее максимальное или минимальное отклонение от среднего \bar{x} . Например, сначала отбросим значение x_n , имеющее максимальное отклонение от среднего \bar{x} в ряду (5.1). После этого для нового ряда x_1, x_2, \dots, x_{n-1} опять вычисляется среднее значение \bar{x}' и σ' . Затем проводится процедура сравнения всех значений ряда со средним и отбрасывается значение с минимальным отклонением от среднего \bar{x}' . После чего образуется новый ряд x_2, \dots, x_n и т.п. до тех пор, пока в ряду не останется элементов, удовлетворяющих этому условию, или пока число оставшихся элементов в ряду не достигнет 68% от исходного числа. Конечная величина σ^m , полученная после m итераций в исходном ряду, по величине отличается от настоящего среднеквадратичного отклонения, поскольку ее вычисление происходит каждый раз из вновь сформированного ряда. Итоговая величина \bar{x} является несмещенной оценкой итогового среднего.

Для разделения сегментов на группы по признакам “нормальный”, “шумящий”, “подозрительный” использовался следующий критерий. Для каждого сегмента с помощью приведенного выше алгоритма вычислено среднее значение пьедестала P и σ , усредненные по всем файлам. Для каждой стороны есть набор величин $[P_i, \sigma_i]$, которые являются характеристиками i -го сегмента в данной стороне. Для нахождения средних значений пьедестала и его среднеквадратичного отклонения по стороне все значения $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ (n – номер сегмента) вновь обрабатываются с помощью приведенного алгоритма для среднего значения. Таким способом определено среднее значение для стороны $\bar{\sigma} \pm S_\sigma$ с характерным для данной стороны $RMS = S_\sigma$. Для маркировки сегментов определенным признаком σ_i каждого i -го сегмента сравнивалось с характерным для данной стороны $RMS = S_\sigma$. Признаки для сегментов:

- 1) при $|\sigma_i| < 3 \cdot S_\sigma$ сегменту присваивался признак “нормальный”;
- 2) при $|\sigma_i - \bar{\sigma}| > S_\sigma$ сегменту присваивался признак “шумящий”.
- 3) при $|\sigma_i - \bar{\sigma}| < S_\sigma$ сегменту присваивался признак “подозрительный”.

Использование этих признаков для сегментов позволит в дальнейшем оценить долю событий, в которых обрабатываемый сегмент вел себя как “нормальный”, “шумящий”, “подозрительный”.

5.5 Анализ данных без подавления нулей

5.5.1 Среднее значение пьедестала P и его RMS

С помощью изложенного выше алгоритма вычисления среднего были получены пьедестальные значения P_i и RMS_i , усредненные по всем файлам, для каждого i -го сегмента. На Рис. 5.1 и Рис. 5.2 представлены распределения средних значений пьедесталов и их RMS в зависимости от номера сегмента. Для выработки крите-

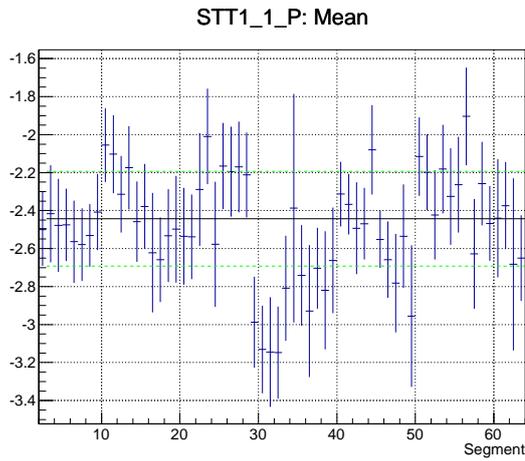


Рис. 5.1: Распределение среднего значения пьедестала в сегменте от его номера для STT1_1_P.

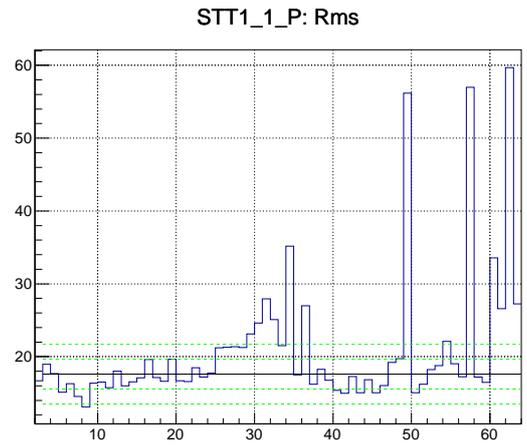


Рис. 5.2: Зависимость среднего значения RMS пьедестала в сегменте от его номера для STT1_1_P.

риев на отбор сегментов было построено распределение средних величин (Рис. 5.3 и Рис. 5.4) с целью нахождения среднего значения по всем сегментам. Среднее значение пьедестала по всем сегментам для $STT1_1_P\bar{P} = -2.44$, среднее значение RMS по всем сегментам $\overline{RMS} = 17.609$ - эти значения показаны черной сплошной линией на Рис. 5.1 и Рис. 5.2.

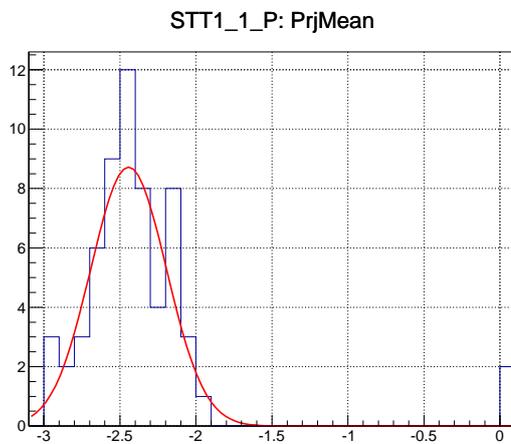


Рис. 5.3: Распределение всех средних значений пьедесталов P по всем сегментам.

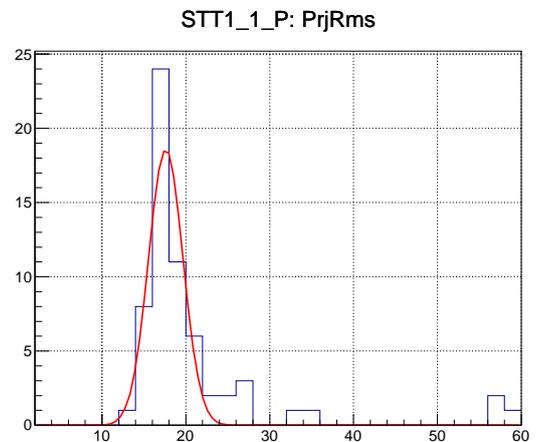


Рис. 5.4: Распределение всех средних RMS по всем сегментам.

Величина коридора равна среднеквадратичному отклонению для распределений (Рис. 5.7 и Рис. 5.8) $\sigma(\bar{P}) = 0.25$ и $\sigma(\overline{RMS}) = 2.05$ - эта величина показана зеленой штриховой линией на на Рис. 5.1 и Рис. 5.2 ($\sigma(\overline{RMS})$ и $2\sigma(\overline{RMS})$ соответственно).

Из Рис. 5.1 видно, что разница в положениях пьедесталов для разных каналов невелика по сравнению с шириной собственного распределения, поэтому эти коррекциями можно пренебречь. Следует заметить, что ширина выбираемого

го коридора зависит от параметров фитирования проекции и является результатом субъективного выбора, поэтому ширину коридора можно выбрать, например, $\sigma(\overline{RMS}) \pm 5$ каналов.

5.5.2 Вариация $Var(P)$ и вариация $Var(RMS)$

Введем новую величину, которую будем называть вариацией и вычислять по формуле:

$$Var(x) = x_{Max} - x_{Min}, \quad (5.3)$$

где x_{Max} и x_{Min} - максимальное и минимальное значение в ряду x_1, x_2, \dots, x_n .

Вариация $Var(x)$ позволяет оценить максимальный диапазон изменения исследуемой величины, насколько велик разброс между максимальным и минимальным значениями в ряду исследуемых значений x_1, x_2, \dots, x_n . На Рис. 5.5 и Рис. 5.6 представлены распределения величины $Var(P)$ и $Var(RMS)$ для каждого сегмента. Среднее значение $\overline{Var(P)}$ и $\overline{Var(RMS)}$ по всем сегментам и величина зеленого

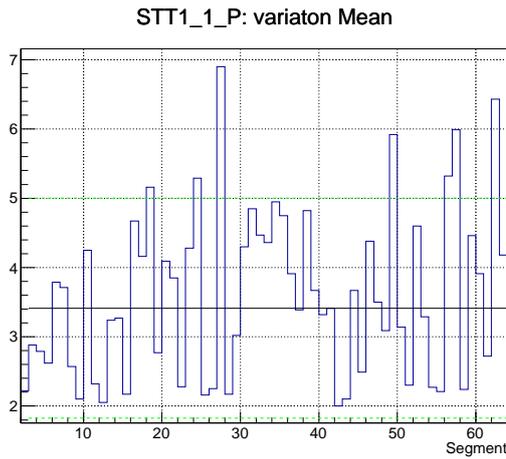


Рис. 5.5: Распределение $Var(P)$ в зависимости от номера сегмента.

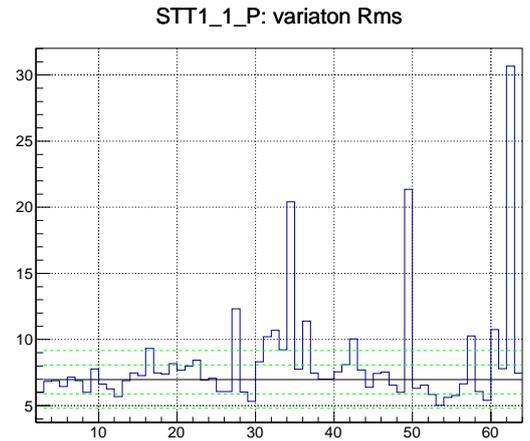


Рис. 5.6: Распределение $Var(RMS)$ в зависимости от номера сегмента для STT1_1_P. Зеленой пунктирной линией показаны величины $\sigma(\overline{Var(RMS)})$ и $2\sigma(\overline{Var(RMS)})$.

коридора получены так же, как в разделе 5.5.1. Средние величины по всем сегментам $\overline{Var(P)} = 3.41$ и $\overline{Var(RMS)} = 6.97$ и их ошибки – $\sigma(\overline{Var(P)}) = 1.58$ и $\sigma(\overline{Var(RMS)}) = 1.09$.

5.5.3 Оценка числа “шумящих” и “подозрительных” сегментов

Как было сказано в разделе 5.4, для каждого сегмента в каждом файле определен его признак “нормальный”, “шумящий”, “подозрительный”, используя который

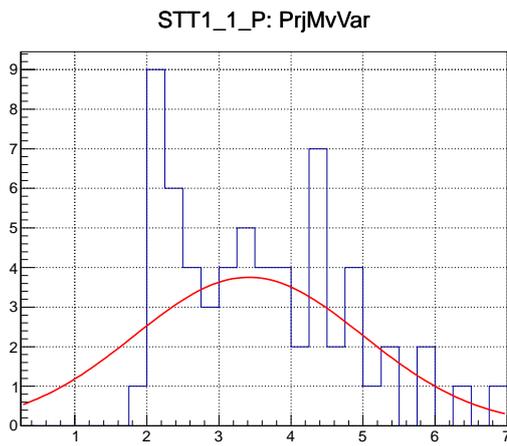


Рис. 5.7: Распределение $Var(P)$ по всем сегментам.

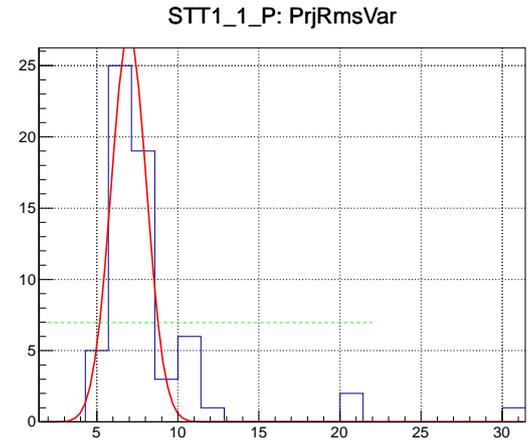


Рис. 5.8: Распределение всех $Var(RMS)$ по всем сегментам.

можно оценить долю событий, в которой сегмент имел отклоняющееся от нормального поведение. На Рис. 5.9 и Рис. 5.10 представлены зависимости для сегментов с маркерами “шумящий” или “подозрительный”. Сегменты, для которых доля шумящих событий составила >0.6 , признаны непригодными для дальнейшего анализа. Для $STT1_1_P$ таковыми являются сегменты под номерами 34, 49, 57, 60, 62.

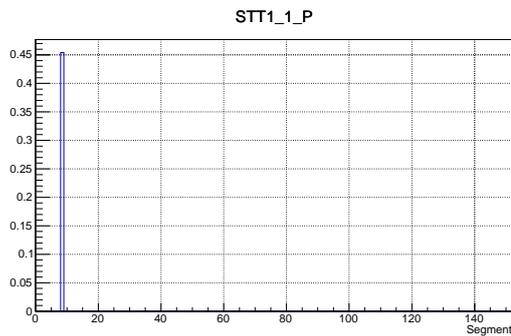


Рис. 5.9: Подозрительные сегменты для $STT1_1_P$. По оси X – номер сегмента. По оси Y – доля событий, в которых данный сегмент имеет маркер “подозрительный”.

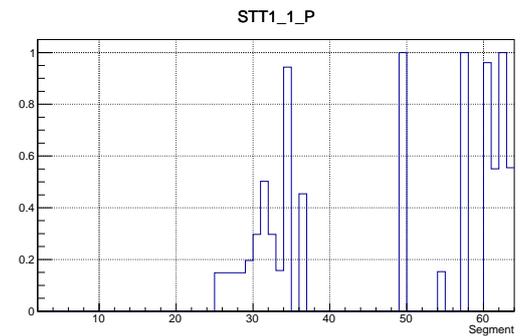


Рис. 5.10: Шумящие сегменты для $STT1_1_P$. По оси X – номер сегмента. По оси Y – доля событий, в которых данный сегмент имеет маркер “шумящий”.

5.5.4 Оценка числа неподсоединенных к электронике сегментов

Оценить число неподсоединенных к электронике сегментов приведенным ниже критерием можно только для данных без подавления. Для выполнения этой задачи используется анализ отношения RMS^{Cor}/RMS^{Raw} . В исходных данных распределение неподключенных к электронике сегментов узкое. При обработке

данных с помощью выражения 4.3 пьедестальное распределение неподключенных к электронике сегментов резко уширяется, поэтому анализируя отношение RMS^{Cor}/RMS^{Raw} , можно получить информацию о неподсоединенных сегментах. На Рис. 5.11 представлена зависимость величины RMS^{Raw}/RMS^{Cor} от номера сегмента. Для STT1_1_P неподсоединенными к электронике сегментами являются сегменты под номером 25, 26, 27 и 28.

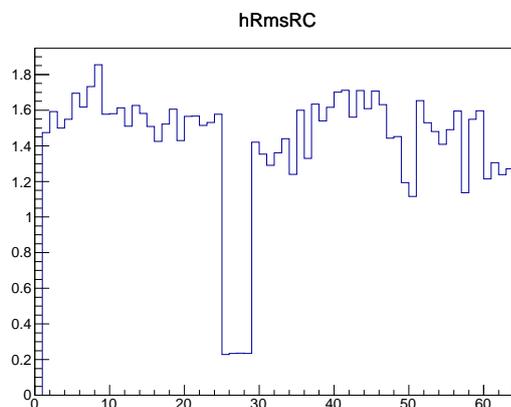


Рис. 5.11: Зависимость отношения RMS^{Raw}/RMS^{Cor} от номера сегмента. По оси X – номер сегмента. По оси Y – величина RMS^{Raw}/RMS^{Cor} .

5.5.5 Критерии отбора сегментов

На основе результатов распределений для P , RMS , $Var(P)$, $Var(RMS)$, оценок неподсоединенных, шумящих и подозрительных сегментов был сформирован набор признаков, позволяющих отобрать проблемные сегменты. В силу произвольности параметров фитирования для проекций RMS и $Var(RMS)$ и также заниженной оценкой RMS из-за особенностей используемого алгоритма, все ширины выбираемых коридоров увеличены на несколько каналов.

1. Непригодными сегментами признаются:
 - 1.1. все неподсоединенные к электронике сегменты;
 - 1.2. шумящие сегменты, для которых доля шумящих событий составила > 0.6 ;
 - 1.3. сегменты, для которых $RMS > 2\sigma(\overline{RMS}) + 5$;
 - 1.4. сегменты, для которых $Var(RMS) > 2\sigma(\overline{Var(RMS)}) + 2$.

Сегменты с этими признаками имели нестабильное поведение в течение всего сеанса. Согласно этим критериям для стороны STT1_1_P непригодными сегментами признаются:

- 1.1. неподсоединенные сегменты – 25, 26, 27, 28;
- 1.2. шумящие сегменты – 34, 49, 57, 60, 62;

- 1.3. сегменты, для которых $RMS > 2\sigma(\overline{RMS}) + 5$ – 31, 34, 36, 49, 57, 60, 62;
 - 1.4. сегменты, для которых $Var(RMS) > 2\sigma(\overline{Var(RMS)}) + 2$ – 34, 36, 49, 57, 60, 62.
 - 1.5. **итого: 25–28, 31, 34, 49, 57, 60, 62.**
2. Сегменты для индивидуального изучения:
- 2.1. сегменты, имеющие $\sigma(\overline{RMS}) < RMS < 2\sigma(\overline{RMS})$.
 - 2.2. сегменты, имеющие $\sigma(\overline{Var(RMS)}) < Var(RMS) < 2\sigma(\overline{Var(RMS)})$.

Поведение этих сегментов необходимо проанализировать отдельно для каждого файла с данными. Вероятно, сегмент имел нестабильное поведение в течение какого-то ограниченного интервала времени, т.е. аномальное поведение этого сегмента наблюдалось только для определенной группы файлов. Для сегментов этой группы необходимо выявить проблемные файлы, а затем в зависимости от величины RMS либо исключить непригодные сегменты, либо установить индивидуальные пороги дискриминации для данных сегментов. Сегменты, требующие дополнительного анализа:

- 2.1. сегменты, имеющие $\sigma(\overline{RMS}) < RMS < 2\sigma(\overline{RMS})$: 43, 45, 50.
- 2.2. сегменты, имеющие $\sigma(\overline{Var(RMS)}) < Var(RMS) < 2\sigma(\overline{Var(RMS)})$: 19, 29, 30.
- 2.3. **итого: 19, 29, 30, 43, 45, 50.**

5.5.6 Анализ индивидуальных сегментов

Рассмотрим динамику величины P и RMS от файла к файлу для сегмента №19. На Рис. 5.12 и Рис. 5.13 представлены зависимости для P и RMS от номера файла.

Величины P и RMS стабильны во времени, поэтому сегмент №19 можно использовать в анализе, установив для него индивидуальный порог дискриминации, который должен меняться начиная с файла номер 1968.

5.5.7 Сравнение с анализом из главы 4

На Рис. 5.14 и Рис. 5.15 представлены профили спектров для стороны STT1_1_P с помощью которых можно идентифицировать проблемные сегменты по схеме из раздела 4.4. Согласно этой схеме сегменты 25–28 признаются неподсоединенными к электронике; сегменты 34, 36, 49, 57, 60, 62 – сильно шумящими сегментами - все эти сегменты исключены из анализа. **Итого исключены из анализа сегменты: 25–28, 34, 36, 49, 57, 60, 62.**

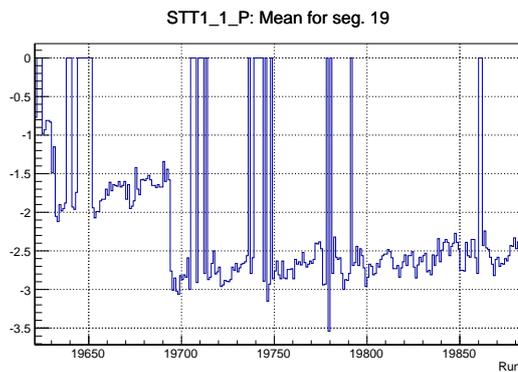


Рис. 5.12: Зависимость величины P от номера файла для сегмента №19. По оси X – номер файла. По оси Y – значение P .

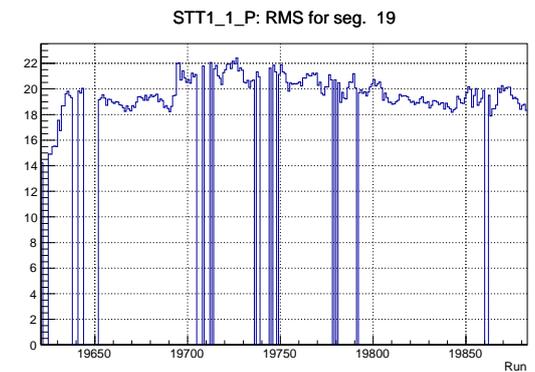


Рис. 5.13: Зависимость величины RMS от номера файла для сегмента №19. По оси X – номер файла. По оси Y – величина RMS.

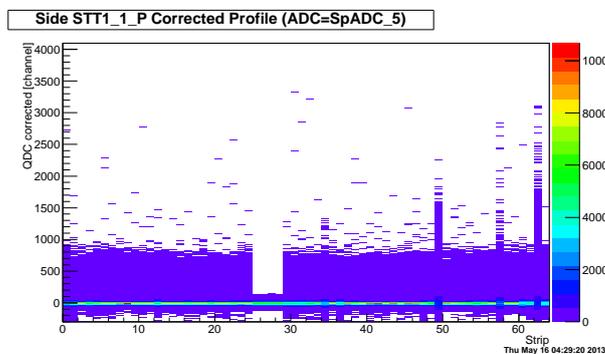


Рис. 5.14: Спектр для одного файла для STT1_1_P. По оси X - номер сегмента. По оси Y - амплитуда в каналах АЦП. По оси Z - число отсчетов.

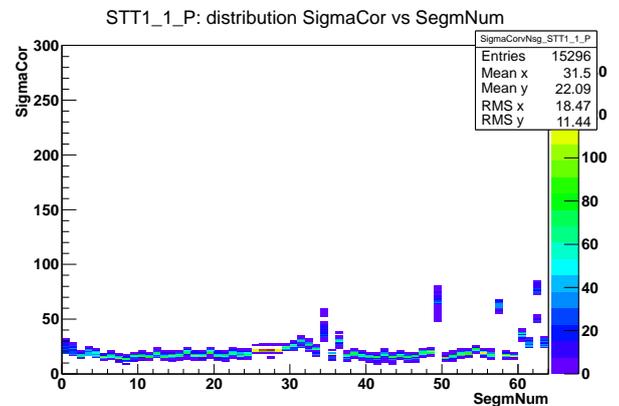


Рис. 5.15: Зависимость $\sigma(P)$ от номера сегмента для STT1_1_P. По оси X - номер сегмента. По оси Y - амплитуда в каналах АЦП. По оси Z - число отсчетов.

Сравнивая результаты двух анализов можно сделать заключение, что номера сегментов, неподключенных к электронике совпали полностью: номера 25 – 28. Список непригодных сегментов из двух анализов совпадает на 91 %. Однако описываемый в данной главе анализ позволяет идентифицировать сегменты, чье поведение было ко каким-то причинам нестабильно в каком-либо временном интервале.

5.6 Анализ данных с подавлением нулей

В данном разделе представлено описание анализа для STT2_3_N с целью продемонстрировать работу методики для данных с подавлением и обратить внимание на ряд особенностей при анализе, поскольку эта сторона детектора имеет

большое количество нестабильных сегментов.

5.6.1 Средние значения для P и RMS

На Рис. 5.16 и Рис. 5.17 представлены распределения средних значений пьедесталов и их RMS в зависимости от номера сегмента. Красной сплошной линией на Рис. 5.16 и Рис. 5.17 показано среднее значение пьедестала по всем сегментам в данной стороне, определенное из распределения на Рис. 5.18, которое является проекцией пьедестальных значений всех сегментов на Рис. 5.16 на ось Y . Из Рис. 5.18 среднее значение $\bar{P} = -0.156$, среднеквадратичное отклонение от среднего $\sigma(\bar{P}) = 0.138$. Аналогично для распределения по RMS используя проекции на Рис. 5.19 определены среднее значение $\overline{RMS} = 4.75$, среднеквадратичное отклонение от среднего $\sigma(\overline{RMS}) = 0.3$.

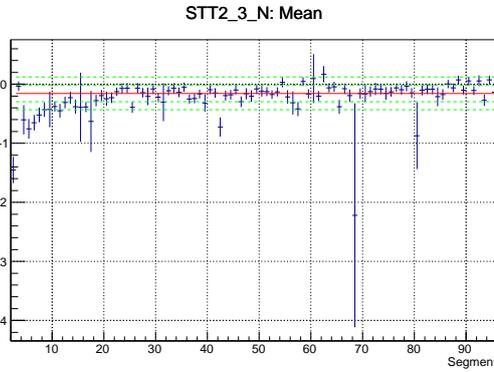


Рис. 5.16: Распределение среднего значения пьедестала в сегменте от его номера для $STT2_3_N$. Зеленой пунктирной линией показаны величины $\sigma(\overline{RMS})$ и $2\sigma(\overline{RMS})$.

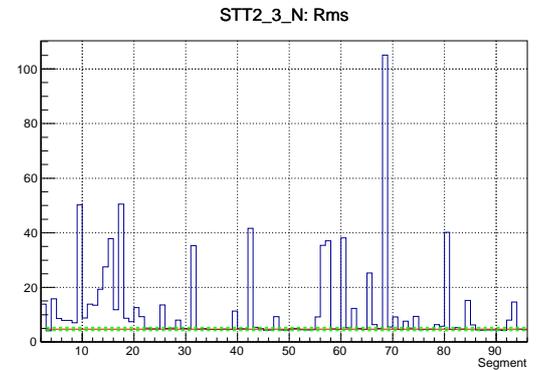


Рис. 5.17: Зависимость среднего значения RMS пьедестала в сегменте от его номера для $STT2_3_N$.

В качестве критерия отбора сегментов было принято признавать пригодными для дальнейшего анализа только те сегменты, среднее значение которых находится в пределах двух стандартных отклонения от среднего значения по стороне. На Рис. 5.16 видно, что основная часть сегментов ведет себя стабильно. Исключение составляет небольшая группа сегментов. На Рис. 5.17 представлено распределение средних значений RMS пьедесталов для каждого сегмента в $STT2_3_N$. Поскольку присутствует субъективный фактор выбора ширины коридора и в силу того, что величина RMS занижена, ширину коридора можно переопределить до $\overline{RMS} = 10$ и $\sigma(\overline{RMS}) = 8$ каналов, что больше чем ширина проекции, представленной на Рис. 5.18.

5.6.2 Вариация $Var(P)$ и $Var(RMS)$

На Рис. 5.20 и Рис. 5.21 представлены распределения величины $Var(P)$ и $Var(RMS)$ для каждого сегмента. Среднее значение по стороне $\overline{Var(P)} = 1.55$, среднеквадра-

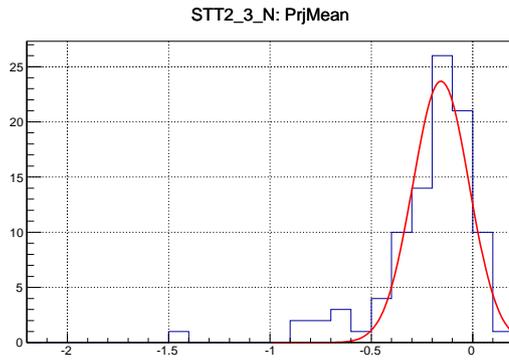


Рис. 5.18: Распределение всех средних значений пьедесталов P_i по всем сегментам.

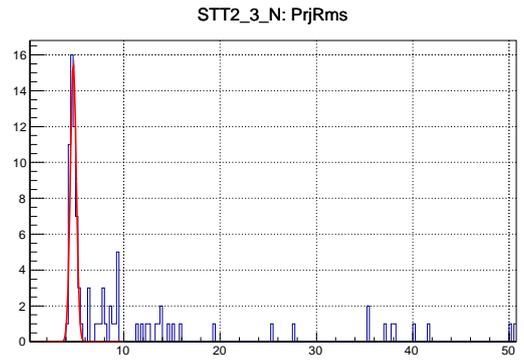


Рис. 5.19: Распределение всех средних RMS по всем сегментам.

тичное отклонение от среднего $\sigma(\overline{Var(P)}) = 0.57$ среднее значение RMS по стороне $\overline{Var(RMS)} = 5.67$, среднеквадратичное отклонение от среднего $\sigma(\overline{Var(RMS)}) = 1.43$. Используя критерий

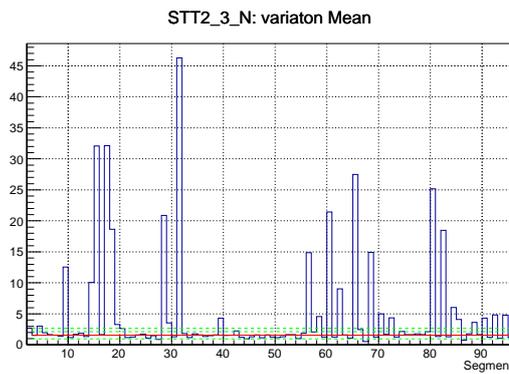


Рис. 5.20: Распределение $Var(P_i)$ в зависимости от номера сегмента. Зеленой пунктирной линией показаны величины $\sigma(\overline{Var(P)})$ и $2\sigma(\overline{Var(P)})$.

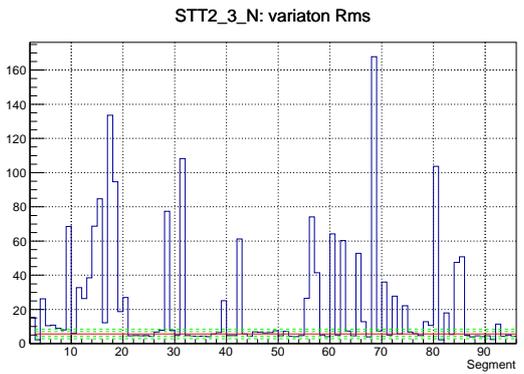


Рис. 5.21: Распределение $Var(RMS)$ в зависимости от номера сегмента для $STT1_1_P$. Зеленой пунктирной линией показаны величины $\sigma(\overline{Var(RMS)})$ и $2\sigma(\overline{Var(RMS)})$.

5.6.3 Оценка числа “шумящих” и “подозрительных” сегментов

Те сегменты, для которых доля шумящих событий составила > 0.95 признаны непригодными для дальнейшего анализа. Для $STT2_3_N$ таковыми являются сегменты под номерами: 2, 4, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 25, 31, 39, 42, 56, 57, 60, 62, 65, 93.

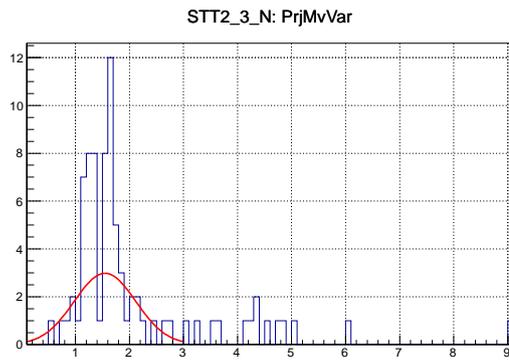


Рис. 5.22: Распределение $Var(P)$ по всем сегментам.

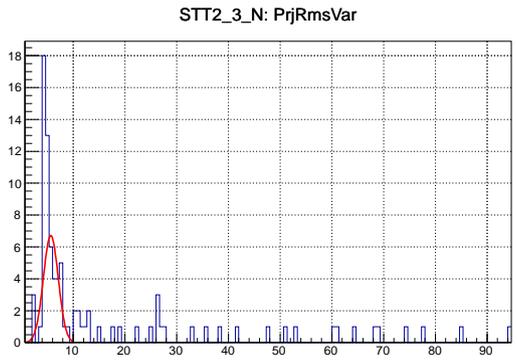


Рис. 5.23: Распределение всех $Var(RMS)$ по всем сегментам.

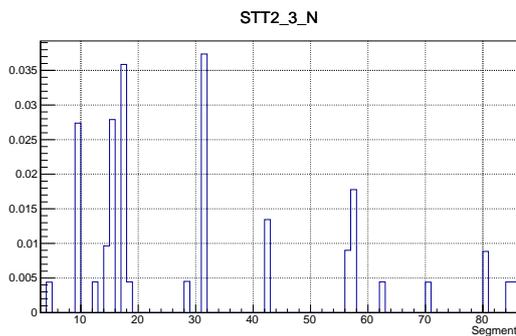


Рис. 5.24: Подозрительные сегменты для STT2_3_N. По оси X – номер сегмента. По оси Y – доля событий, в которых данный сегмент имеет маркер “подозрительный”.

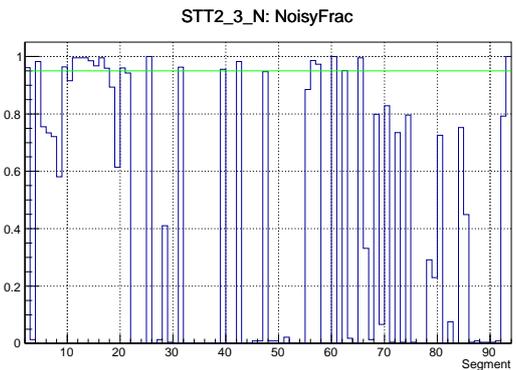


Рис. 5.25: Шумящие сегменты для STT2_3_N. По оси X – номер сегмента. По оси Y – доля событий, в которых данный сегмент имеет маркер “шумящий”.

5.6.4 Оценка числа неподсоединенных к электронике сегментов

Для данных с подавлением нулей оценить число неподсоединенных к электронике сегментов, используя прием из раздела 5.5.4, невозможно, поскольку информация о положениях пьедесталов P^{Raw} и их RMS загружается в электронику на этапе онлайн-анализа и не сохраняется при записи данных на диск. При обработке данных с подавлением нулей неподсоединенные к электронике сегменты имеют признак “шумящий”.

5.6.5 Критерии отбора сегментов

Для стороны STT2_3_N непригодными сегментами признаются сегменты, для которых доля шумящих событий составила >0.95 , подробнее в Таблице 5.6.5.

№сегмента	Доля событий
2	0.96
4	0.98
9	0.96
11	0.99
12	0.99
13	0.99
14	0.98
15	0.96
16	0.99
17	0.95
20	0.96
25	1
31	0.96
39	0.95
42	0.98
56	0.98
57	0.97
60	1
62	0.95
65	0.99
93	1

Поскольку в стороне STT2_3_N достаточное количество сильношумящих сегментов, то критериев по величине $RMS > 2\sigma(\overline{RMS})$ и $Var(RMS) > 2\sigma(\overline{Var(RMS)})$ накладывать не будем.

Сегменты для индивидуального изучения: шумящие сегменты с долей шума 0.02–0.95.

Таблица 5.1: Сегменты в STT2_3_N, для которых доля шумящих событий составила 0.02–0.95.

№сегмента	Доля событий
1	0.80
5	0.75
6	0.73
7	0.72
8	0.58
10	0.91
18	0.89
19	0.61
21	0.94
28	0.40
47	0.94
55	0.88
66	0.33
68	0.79
70	0.82
72	0.73
74	0.79
78	0.29
79	0.22
80	0.72
82	0.07
84	0.75
85	0.44
92	0.79

Перечисленные в Таблице 5.1 сегменты требуют индивидуального рассмотрения.

5.6.6 Анализ индивидуальных сегментов

Сегменты, имеющие промежуточное состояние, подверглись индивидуальному анализу. Например, сегмент №68 в STT2_3_N является явным кандидатом на исключение, однако из распределения на Рис. 5.25 видно, что этот сегмент шумел в 79 % случаев. Можно проследить динамику величины P и RMS для сегмента №68 в течение сеанса. На Рис. 5.28 и Рис. 5.29 представлены соответствующие зависимости, из которых видно, что поведение сегмента №68 STT2_3_N было стабильно до файла 19693 и начиная с файла 19694 ситуация ухудшилась.

Зная поведение сегмента №68 STT2_3_N во времени можно принять решение об его использовании в дальнейшем анализе: либо использовать этот сегмент только для файлов 19620–19693, а файлы 19693–19883 или исключить или установить индивидуальные пороги дискриминации для них в зависимости от того, во

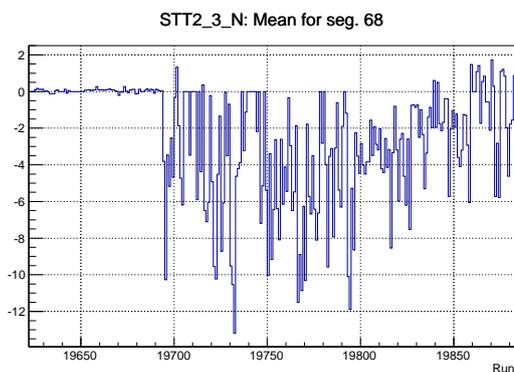


Рис. 5.26: Зависимость величины P от номера файла для сегмента №68. По оси X – номер файла. По оси Y – значение P .

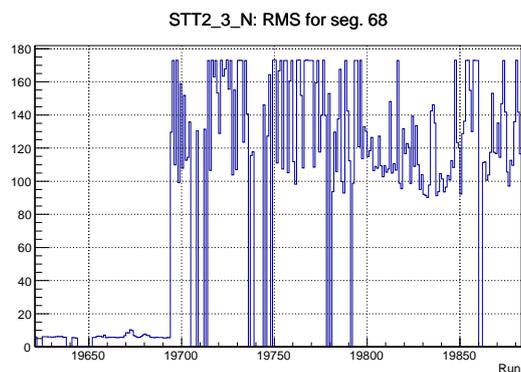


Рис. 5.27: Зависимость величины RMS от номера файла для сегмента №68. По оси X – номер файла. По оси Y – величина RMS.

сколько раз увеличилось RMS. Для сегмента №68 RMS увеличилось более чем в 10 раз, поэтому принято решение об исключении данного сегмента из анализа для файлов 19694 – 19883.

Рассмотрим поведение сегмента №5, соответствующие распределения представлены на Рис. 5.28 и Рис. 5.29. Для сегмента №5 величины пьедесталов и RMS

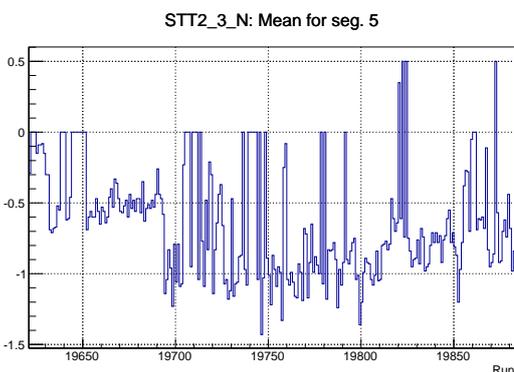


Рис. 5.28: Зависимость величины P от номера файла для сегмента №5. По оси X – номер файла. По оси Y – значение P .

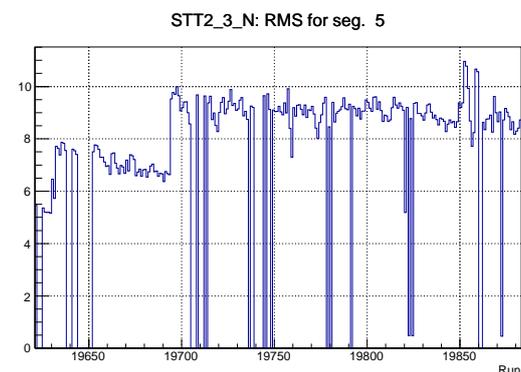


Рис. 5.29: Зависимость величины RMS от номера файла для сегмента №5. По оси X – номер файла. По оси Y – величина RMS.

больше среднего нестабильны во времени, но можно использовать информацию с сегмента №5 в дальнейшем анализе, выбрав для него индивидуальный порог дискриминации.

5.6.7 Сравнение с анализом из главы 4

На Рис. 5.30 и Рис. 5.31 представлены профили спектров для стороны STT2_3_N с помощью которых можно идентифицировать проблемные сегменты по схеме из

раздела 4.4. Сегменты 3, 45, 46, 48, 49 признаются неподсоединенными к электронике – эти сегменты выглядят как белые полосы на Рис. 5.30. Из распределения по RMS на Рис. 5.31 также проводился отбор непригодных сегментов. Сегменты, RMS которых составил >50 признавались сильношумящими и не использовались в работе. Следует обратить внимание на те сегменты, распределение RMS для

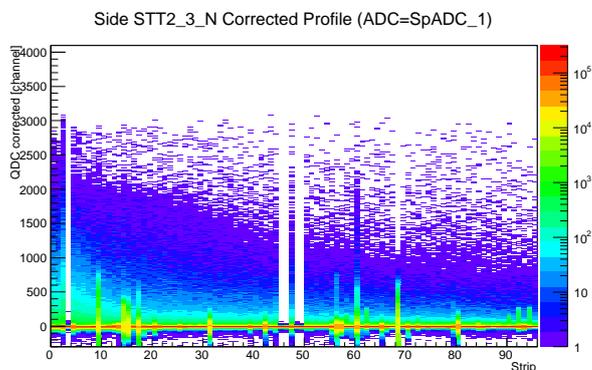


Рис. 5.30: Спектр для одного файла для STT2_3_N. По оси X - номер сегмента. По оси Y - число отсчетов с данным значением амплитуды.

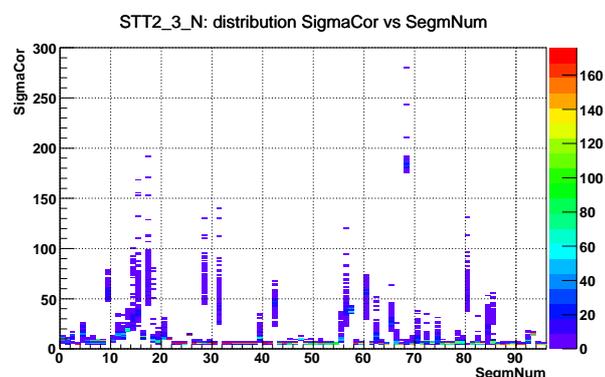


Рис. 5.31: Зависимость $\sigma(P)$ от номера сегмента для STT2_3_N.

которых имеет два пика, в области $RMS > 50$, так и $RMS < 50$, – это означает, что часть времени сегмент находился в нормальном состоянии, а затем по какой-то причине начал шуметь. Информацию с данного сегмента можно использовать, если найти момент времени (файл), с которого началось anomalous поведение сегмента. Рассмотрим сегмент №68 в STT2_3_N на Рис. 5.31, из которого видно, что распределение содержит два пика. Для поиска момента времени, начиная с которого изменилась ситуация были просмотрены профили пьедесталов сегмента №68 в STT2_3_N во всех файлах данных. Обнаружено, что начиная с файла 19694 RMS пьедестала резко увеличилось. Для иллюстрации приведено два пьедестальных распределения сегмента №68 в STT2_3_N в разные интервалы времени:

1. Рис. 5.32 типичное распределение в файлах данных с 19620–19693;
2. на Рис. 5.33 типичное распределение в файлах данных с 19694–19883.

Сегмент №68 в STT2_3_N можно исключить из анализа только в файлах 19694–19883. Таким же образом были проанализированы другие подозрительные сегменты, результаты представлены в Таблице 5.2.

Таблица 5.2:

Сегмент	Пригодные файлы	Непригодные файлы
28	19620–19778	19779–19883
68	19620–19693	19694–19883
80	19620–19693	19694–19883
84	19620–19802	19803–19883

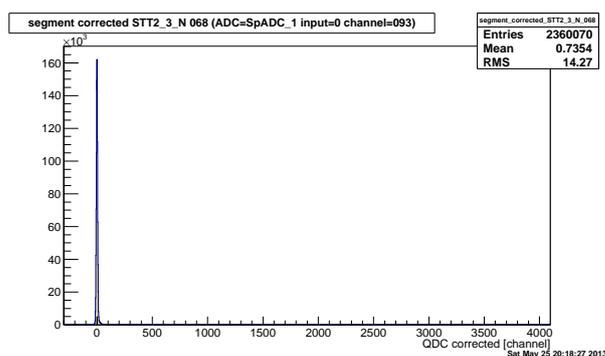


Рис. 5.32: Пьедестальное распределение для 68 сегмента STT2_3_N в файле 19693.

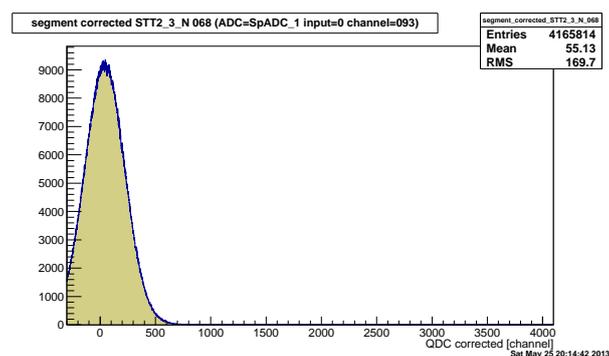


Рис. 5.33: Пьедестальное распределение для 68 сегмента STT2_3_N в файле 19694.

Итоговые результаты:

1. Сегменты, не участвующие в анализе для стороны STT2_3_N: 3, 9, 17, 31, 45, 46, 48, 49, 56, 65, 93.
2. Изменены пороги дискриминации для сегментов: 4, 6, 12, 14, 15, 20, 21, 25, 42, 55, 57, 60, 72.
3. Сегменты, которые использовались только в части файлов: 28, 68, 80, 84 (более подробно в Таблице 5.2).

Сравнение двух методов показывает, что номера проблемных сегментов по большей части совпадают. Уверенно идентифицируются неподсоединенные сегменты в обоих анализах.

5.7 Заключение

В данной главе описан метод, позволяющий контролировать поведение положений пьедесталов и их ширин в течение определенного промежутка времени. Изучение динамики поведения пьедестальных значений и их ширин позволяет выработать критерии отбора сегментов и отсортировать сегменты в каждом детекторе по признакам “нормальный”, “шумящий”, “подозрительный” и отобразить

неподключенные к электронике сегменты. Формализование критериев отбора сегментов направлено на установление единого порога дискриминации при обработке данных. Величина порога дискриминации в обрабатываемых спектрах определяется физической задачей, но важно, чтобы этот порог был единым для большинства сегментов для достижения большей точности измеряемых характеристик частиц. Дополнительным преимуществом при использовании данного подхода является исключение субъективного выбора сегментов.

Поскольку приведенный в данной главе метод является первым формализованным подходом в анализе положений пьедесталов и их ширины, то, безусловно, метод нуждается в более детальной разработке критериев отбора.

Глава 6

Результаты

Выполненный в данной работе анализ трекового телескопа позволил восстановить импульс спектаторных протонов, что позволяет оценить число событий рождения K^+ -мезонов в зависимости от энергии возбуждения для реакции $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ с использованием данных с преселектированными K^+ -мезонами, которое представлено 6.1.

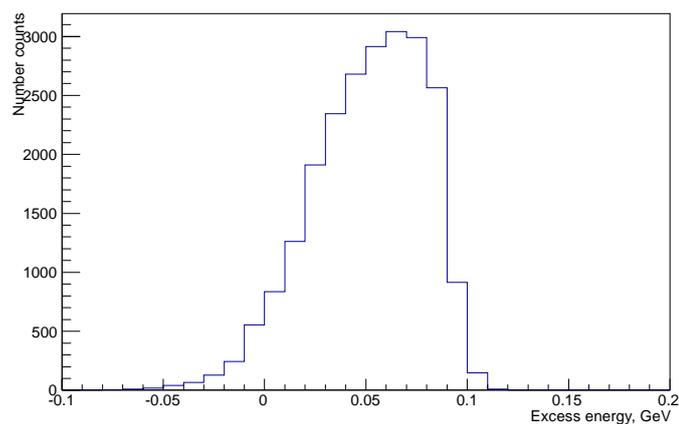


Рис. 6.1: Зависимость числа счета реакции N от энергии возбуждения Q .

Приведенная зависимость является самой грубой оценкой скорости счета для данной реакции и не учитывает фон в выделении K^+ -мезонов. Для получения полного сечения рождения σ_{tot} для реакции $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ требуется дальнейший тщательный анализ всех детекторных подсистем спектрометра АНКЕ, определение светимости.

Заключение

В настоящей работе представлен первый анализ данных с STT, сделанный для данных с эксперимента по изучению $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ реакции. Выполнены все необходимые шаги для дальнейшего анализа спектаторных данных с этого эксперимента получения зависимости полных сечений рождения Λ -гиперона в pn взаимодействии. Полученное распределение скорости счета от энергии находится в разумном согласии с выполненными в рамках этой работы модельными расчетами ожидаемой скорости счета. Разница в суммарной скорости счета связана с тем, что эксперимент был проведен при светимости, значительно превосходящей значение, заложенное в расчеты и в начальное предложение. Впервые проведен детальный анализ поведения положения пьедестала и его ширины за время всего сеанса с использованием нового алгоритма. Было показано, что можно выработать “формальные” критерии для идентификации сегментов, непригодных для анализа. Результаты нового метода идентификации непригодных для анализа сегментов находятся в хорошем согласии с результатами “традиционного” подхода, который заключается в просмотре значительного количества гистограм. В результате проделанной работы полный цикл анализа данных с STT завершен и на следующем этапе можно осуществить выделение физической информации о реакции $pn \rightarrow nK^+\Lambda$, используя STT.

Приложение А

Список сокращений

STT	Кремниевый трековый телесекоп
STT1	Первый телескоп
STT1_1	Первый детектор в первом телескопе
STT1_2	Второй детектор в первом телескопе
STT1_3	Третий детектор в первом телескопе
STT2	Второй телескоп
STT2_1	Первый детектор во втором телескопе
STT2_2	Второй детектор во втором телескопе
STT2_3	Третий детектор во втором телескопе
CM	Общая мода

Приложение В

Таблицы

Таблица В.1: Коэффициенты для выравнивания энергетических потерь в N и P сторонах для STT1.

Номер файла	k	dE , МэВ	$\langle E \rangle$	E_{Low} , МэВ	E_{Up} , МэВ
STT1_1					
19620 - 19637	0.0029	0.004284	1.5015	1.449	1.554
19641 - 19694	-0.00019	-0.000292	1.5015	1.449	1.554
19695 - 19883	-0.0053	-0.007896	1.5015	1.449	1.554
STT1_2					
19620 - 19636	0.00296	0.015	5.01	4.8	5.22
19637 - 19883	0.0004	0.002	5.01	4.8	5.22
STT1_3					
19620 - 19775	0.007	0.1403	20.025	18.99	21.06
19776	-0.044	-0.485	11.025	9.99	12.06
19777	-0.043	-0.477	11.025	9.99	12.06
19779 - 19780	-0.026	-0.294	11.025	9.99	12.06
19781 - 19798	-0.045	-0.503	11.025	9.99	12.06
19799	-0.015	-0.163	11.025	9.99	12.06
19800 - 19809	0.033	0.2455	7.47	6.93	8.01
19810 - 19812	-0.045	-0.5	11.025	9.99	12.06
19813	-0.027	-0.303	11.025	9.99	12.06
19814	-0.033	-0.368	11.025	9.99	12.06
19815	-0.031	-0.351	11.025	9.99	12.06
19816	-0.030	-0.332	11.025	9.99	12.06
19817	-0.037	-0.408	11.025	9.99	12.06
19818	-0.035	-0.391	11.025	9.99	12.06
19819	-0.025	-0.283	11.025	9.99	12.06
19820	-0.043	-0.482	11.025	9.99	12.06
19821	-0.041	-0.452	11.025	9.99	12.06
19822	-0.028	-0.312	11.025	9.99	12.06
19823	-0.031	-0.350	11.025	9.99	12.06
19824	-0.034	-0.379	11.025	9.99	12.06
19825	-0.030	-0.340	11.025	9.99	12.06
19826	-0.032	-0.363	11.025	9.99	12.06
19827 - 19883	0.0058	0.116	20.025	18.99	21.06

Таблица В.2: Коэффициенты для выравнивания энергетических потерь в N и P сторонах для STT2.

STT2_1					
19620 - 19643	0.002	0.0028	1.5015	1.449	1.554
19652 - 19693	-0.0001	-0.0002	1.5015	1.449	1.554
19694 - 19883	0.0012	0.0018	1.5015	1.449	1.554
STT2_2					
19620 - 19637	0.022	0.11173	5.01	4.8	5.22
19641	0				
19642	0				
19643	0				
19652 - 19692	0.02142	0.10732	5.01	4.8	5.22
19693 - 19883	0.01933	0.09694	5.01	4.8	5.22
STT2_3					
19620 - 19883	0.0027	0.05353	20.025	18.99	21.06

Приложение С

Охрана труда

Выполнение работы “Исследование реакции $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ на магнитном спектрометре АНКЕ” заключается в анализе данных и не сопряжено с какими-либо вредными условиями труда. Исследования выполнялись на персональной электронно-вычислительной машине (ПЭВМ), в ходе работы соблюдались действующие на территории Российской Федерации Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: “СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы” (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 30 мая 2003 г., с изменениями от 3 сентября 2010 г.) [45].

Ниже рассмотрены основные требования к организации работы на ПЭВМ и видео-дисплейным терминалам (ВДТ).

Требования к ВДТ и ПЭВМ

1. Визуальные эргономические параметры ВДТ являются параметрами безопасности, и их неправильный выбор приводит к ухудшению здоровья пользователей.
2. Все ВДТ должны иметь гигиенический сертификат, включающий, в том числе, оценку визуальных параметров.
3. Конструкция ВДТ должна обеспечивать возможность фронтального наблюдения экрана путем поворота корпуса в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси в пределах и в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси в пределах с фиксацией в заданном положении. Дизайн ВДТ должен предусматривать окраску корпуса в спокойные мягкие тона с диффузным рассеиванием света. Корпус ВДТ и ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны иметь матовую поверхность одного цвета с коэффициентом отражения 0,4 – 0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики. На лицевой стороне корпуса ВДТ не рекомендуется располагать органы

управления, маркировку, какие-либо вспомогательные надписи и обозначения. При необходимости расположения органов управления на лицевой панели они должны закрываться крышкой или быть утоплены в корпусе.

4. При проектировании и разработке ВДТ сочетания визуальных эргономических параметров и их значения, соответствующие оптимальным и допустимым диапазонам, полученные в результате испытаний в специализированных лабораториях, аккредитованных в установленном порядке, и подтвержденные соответствующими протоколами, должны быть внесены в техническую документацию на ВДТ.
5. Конструкция ВДТ должна предусматривать наличие ручек регулировки яркости и контраста, обеспечивающих возможность регулировки этих параметров от минимальных до максимальных значений.
6. В технической документации на ВДТ должны быть установлены требования на визуальные параметры, соответствующие действующим на момент разработки или импорта ГОСТ и признанным в Российской Федерации международным стандартам.
7. В целях защиты от электромагнитных и электростатических полей допускается применение экранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты, прошедших испытания в аккредитованных лабораториях и имеющих соответствующий гигиенический сертификат.
8. Конструкция ВДТ и ПЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения не более 100 мкР/ч в любой точке на расстоянии 0.05 м от экрана и корпуса ВДТ при любых положениях регулировочных устройств.
9. Конструкция клавиатуры должна предусматривать:
 - 9.1. исполнение в виде отдельного устройства с возможностью свободного перемещения;
 - 9.2. опорное приспособление, позволяющее изменять угол наклона поверхности клавиатуры в пределах от 5 до 15°;
 - 9.3. высоту среднего ряда клавиш не более 30 мм;
 - 9.4. расположение часто используемых клавиш в центре, внизу и справа, редко используемых - вверху и слева;
 - 9.5. выделение цветом, размером, формой и местом расположения функциональных групп клавиш;
 - 9.6. минимальный размер клавиш—13 мм, оптимальный—15 мм;

9.7. клавиши с углублением в центре и шагом 19 ± 1 мм;

9.8. расстояние между клавишами не менее 3 мм;

Требования к помещениям для эксплуатации ВДТ и ПЭВМ

1. Помещения с ВДТ и ПЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение.
2. Естественное освещение должно осуществляться через окна, ориентированные преимущественно на север и северо-восток и обеспечивать коэффициент естественной освещенности (КЕО) не ниже 1.2% в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1.5% на остальной территории.
3. Расположение рабочих мест с ВДТ и ПЭВМ в подвальных помещениях не допускается. В случаях производственной необходимости эксплуатация ВДТ и ПЭВМ в помещениях без естественного освещения может проводиться только по согласованию с органами и учреждениями Государственного санитарно-эпидемиологического надзора. Площадь на одно рабочее место с ВДТ или ПЭВМ должна составлять не менее 6.0 м^2 , а объем – не менее 20.0 м^3 .
4. Производственные помещения, в которых для работы используются преимущественно ВДТ и ПЭВМ не должны граничить с помещениями, в которых уровни шума и вибрации превышают нормируемые значения (механические цеха, мастерские, и т.п.).
5. Звукоизоляция ограждающих конструкций помещений с ВДТ и ПЭВМ должна отвечать гигиеническим требованиям и обеспечивать нормируемые параметры шума.
6. Помещения с ВДТ и ПЭВМ должны оборудоваться системами отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточно-вытяжной вентиляцией. Расчет воздухообмена следует проводить по теплоизбыткам от машин, людей, солнечной радиации и искусственного освещения.
7. Для внутренней отделки интерьера помещений с ВДТ и ПЭВМ должны использоваться диффузно – отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка: 0.7 – 0.8; для стен: 0.5 – 0.6; для пола: 0.3 – 0.5.
8. Полимерные материалы, используемые для внутренней отделки интерьера помещений с ВДТ и ПЭВМ, должны быть разрешены для применения органами и учреждениями Государственного санитарно – эпидемиологического надзора.

9. Поверхность пола в помещениях эксплуатации ВДТ и ПЭВМ должна быть ровной, без выбоин, нескользкой, удобной для очистки и влажной уборки, обладать антистатическими свойствами.

Требования к микроклимату, содержанию аэроионов и вредных химических веществ в воздухе помещений

1. В производственных помещениях, в которых работа на ВДТ и ПЭВМ является основной (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.), должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата.
2. Для повышения влажности воздуха в помещениях с ВДТ и ПЭВМ следует применять увлажнители воздуха, заправляемые ежедневно дистиллированной или прокипяченной питьевой водой.
3. В помещениях, оборудованных ПЭВМ, проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ПЭВМ.
4. Уровни положительных и отрицательных аэроионов в воздухе помещений, где расположены ПЭВМ, должны соответствовать действующим санитарно-эпидемиологическим нормативам.
5. Содержание вредных химических веществ в производственных помещениях, работа на ВДТ и ПЭВМ в которых является основной, не должно превышать предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест в соответствии с действующими гигиеническими нормативами.
6. Запрещается проводить ремонт ВДТ и ПЭВМ непосредственно в рабочих помещениях.

Требования к шуму и вибрации

1. В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами.

2. При выполнении основной работы на ВДТ и ПЭВМ (диспетчерские, операторские, расчетные кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.) уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА.
3. В помещениях, где работают инженерно-технические работники, осуществляющие лабораторный, аналитический или измерительный контроль, уровень шума не должен превышать 60 дБА. В помещениях операторов ЭВМ (без дисплеев) уровень шума не должен превышать 65 дБА. На рабочих местах в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин (АЦПУ, принтеры и т.п.) уровень шума не должен превышать 75 дБА.
4. При выполнении работ с ВДТ и ПЭВМ в производственных помещениях уровень вибрации не должен превышать допустимых значений согласно “Санитарным нормам вибрации рабочих мест”.
5. Шумящее оборудование (АЦПУ, принтеры и т.п.), уровни шума которого превышают нормированные, должно находиться вне помещения с ВДТ и ПЭВМ.
6. Снизить уровень шума в помещениях с ВДТ и ПЭВМ можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот от 63 до 8000 Гц для отделки помещений, подтвержденных специальными акустическими расчетами. Дополнительным звукопоглощением служат однотонные занавеси из плотной ткани, гармонирующие с окраской стен и подвешенные в складку на расстоянии 15–20 см от ограждения. Ширина занавеси должна быть в 2 раза больше ширины окна.

Требования к освещению помещений и рабочих мест

1. Искусственное освещение в помещениях эксплуатации ВДТ и ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно – общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, допускается применение системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).
2. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 – 500 лк. Допускается установка светильников местного освещения для подсветки документов. Местное освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

3. Следует ограничивать прямую блескость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м^2 .
4. Следует ограничивать отраженную блескость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура и др.) за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране ВДТ и ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м^2 и яркость потолка при применении системы отраженного освещения не должна превышать 200 кд/м^2 .
5. Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ВДТ и ПЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 – 5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования – 10:1.
6. В качестве источников света при искусственном освещении должны применяться преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ. При устройстве отраженного освещения в производственных и административно - общественных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп мощностью до 250 Вт. Допускается применение ламп накаливания в светильниках местного освещения.
7. Общее освещение следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении ВДТ и ПЭВМ. При периметральном расположении компьютеров линии светильников должны располагаться локализованно над рабочим столом ближе к его переднему краю, обращенному к оператору.
8. Для освещения помещений с ВДТ и ПЭВМ следует применять светильники серии ЛПО36 с зеркализированными решетками, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами (ВЧ ПРА). Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.
9. Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50° до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м^2 , защитный угол светильников должен быть не менее 40° .
10. Светильники местного освещения должны иметь непросвечивающий отражатель с защитным углом не менее 40° .
11. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%, что должно обеспечиваться применением газоразрядных ламп в светильниках общего и местного освещения с высокочастотными пускорегулирующими аппаратами (ВЧ ПРА) для

любых типов светильников. При отсутствии светильников с ВЧ ПРА лампы многоламповых светильников или рядом расположенные светильники общего освещения следует включать на разные фазы трехфазной сети.

12. Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях использования ВДТ и ПЭВМ следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Требования к организации и оборудованию рабочих мест с ВДТ и ПЭВМ

- 1 Рабочие места с ВДТ и ПЭВМ по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева.
- 2 Схемы размещения рабочих мест с ВДТ и ПЭВМ должны учитывать расстояния между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), которое должно быть не менее 2.0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1.2 м.
- 3 Рабочие места с ВДТ и ПЭВМ в залах электронно - вычислительных машин или в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом.
- 4 Оконные проемы в помещениях использования ВДТ и ПЭВМ должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.
- 5 Рабочие места с ВДТ и ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, следует изолировать друг от друга перегородками высотой 1.5–2.0 м.
- 6 Шкафы, сейфы, стеллажи для хранения дисков, дискет, комплектующих деталей, запасных блоков ВДТ и ПЭВМ, инструментов следует располагать в подсобных помещениях. При отсутствии подсобных помещений допускается размещение шкафов, сейфов и стеллажей в помещениях непосредственного использования ВДТ и ПЭВМ при соблюдении требований к площади помещений и требований, изложенных в настоящем разделе.

- 7 При конструировании оборудования и организации рабочего места пользователя ВДТ и ПЭВМ следует обеспечить соответствие конструкции всех элементов рабочего места и их взаимного расположения эргономическим требованиям с учетом характера выполняемой пользователем деятельности, комплексности технических средств, форм организации труда и основного рабочего положения пользователя.
- 8 Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей (размер ВДТ и ПЭВМ, клавиатуры и др.), характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики.
- 9 Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ВДТ и ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно - плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.
- 10 Тип рабочего стула (кресла) должен выбираться в зависимости от характера и продолжительности работы с ВДТ и ПЭВМ с учетом роста пользователя.
- 11 Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно - поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.
- 12 Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, неэлектризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.
- 13 Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600 – 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно – цифровых знаков и символов.
- 14 В помещениях с ВДТ и ПЭВМ ежедневно должна проводиться влажная уборка.
- 15 Помещения с ВДТ и ПЭВМ должны быть оснащены аптечкой первой помощи и углекислотными огнетушителями.

Условия работы при выполнении магистерской диссертации

Работа выполнялась в исследовательском центре Forschungszentrum Jülich (Германия) на ПЭВМ, с соблюдением всех необходимых требований по обеспечению безопасности и охраны труда. Характеристики условий труда приведены в Таблице С.3.

Таблица С.1: Характеристики условий труда.

Фактор	Характеристики	Класс условий труда
Наличие вредных веществ, мг/м ³	–	Оптимальный
Наличие аэрозолей преимущественно фиброгенного действия	–	
(наименование - количество, мг/м ³)		Оптимальный
Рабочее место	Помещение для представления презентаций в электронном виде	
Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА	45	Допустимый
Эл. поле промышленной частоты	–	–
Микроклимат		
Температура воздуха, °С в холодный период (категория работ Ia)	22	Оптимальный
Контраст объекта различения с фоном Характеристика фона	средний средний	
Наименьший размер объекта различения, мм	0.5	Допустимый
Искусственное освещение рабочей поверхности при комбинированном освещении, лк	750	Оптимальные
Интеллектуальные нагрузки Содержание работы	Творческая деятельность	Напряженный труд 3.2
Восприятие сигналов (ВС) и их оценка	ВС с последующей комплексной оценкой взаимосвязи параметров	Напряженный труд 3.2

Таблица С.2: Характеристики условий труда (Продолжение).

Фактор	Характеристики	Класс условий труда
Степень сложности задания	Контроль и предварительная работа по распределению заданий другим лицам	Напряженный труд 3.2
Характер выполняемой работы	Работа в условиях дефицита времени и информации с повышенной ответственностью за конечный результат	Напряженный труд 3.2
Длительность сосредоточенных наблюдений (в % от времени смены)	70	Напряженный труд 3.1
Плотность сигналов и сообщений в среднем за 1 час работы	130	Средней степени
Нагрузки на зрительный анализатор	0.9 до 50% времени	Средней степени
Размер объекта различения (при расст. от глаз не более 0,5 м), мм	0.9 больше 50% времени	Средней степени
Эмоциональные нагрузки Степень ответственности	Несет ответственность за выполнение отдельных элементов задачи	Оптимальный
Степень риска для собственной жизни	Исключена	Оптимальный
Степень риска за безопасность других	Исключена	Оптимальный
Наличие ионизирующего излучения	Исключено	Оптимальный

Таблица С.3: Классификация условий труда.

Фактор	Классы условий труда						
	1 класс	2 класс	3 класс вредный				4 класс
	оптим.	допуст.	3.1 1-ст.	3.2 2-ст.	3.3 3-ст.	3.4 4-ст.	опасный
Химический	+						
Биологический	+						
Аэрозоли	+						
Шум		+					
Инфразвук	+						
Ультразвук	+						
Иониз. излуч.	+						
Микроклимат	+						
Освещенность	+						
Тяжесть труда	+						
Напряженность труда			+				
Общая оценка условий труда		+					

Литература

1. N. K. Abrosimov, V. A. Volchenkov, V. A. Gordeev et al. Subthreshold K^+ production in the interaction of 1 GeV protons with Be, C, Al, Cu, Sn and Pb nuclei. *ЖЭТФ Lett.* 36 (1982) 261; Препринт ЛИЯФ 704, (1981) 25.
2. J. Julien, D. Lebrun, A. Mougeot et al. Subthreshold K^+ production in heavy ion collisions. *Phys. Lett. B* 264, (1991) 269.
3. D. Miskowiec, W. Ahner, R. Berth et al. Observation of enhanced subthreshold K^+ production in central collisions between heavy nuclei. *Phys. Rev. Lett.* 23(1994) 3650.
4. Schnetzer et al. Inclusive production of K^+ mesons in 2.1 GeV/nucleon nuclear collisions. *Phys. Rev. C* 40 (1989) 640.
5. R. Siebert et al. High resolution study of hyperon-nucleon interactions by associated strangeness production in pp collisions. *Nucl. Phys. A* 567 (1994) 819.
6. A.C. Melissionos et al. Observation of the low-energy $\Lambda - p$ interaction. *Phys. Rev.* 14 (1965) 604.
7. J.T. Reed et al. *Phys. Rev.* 168 (1968) 1495.
8. W.J. Hogan et al. K^+ -meson production in p-p collisions at 2.5-3.0 GeV. *Phys. Rev.* 166 (1968) 1472.
9. E. Shikov, Master's thesis, St. Petersburg University, 2009.
10. D. Berkley and G. B. Collins. Cross sections for associated production by protons. *Phys. Rev.* 112, 614 (1958)
11. S.Schnetzer et al. Inclusive production of K^+ mesons in 2.1-GeV/nucleon nuclear collisions. *Phys. Rev. C* 40 (1989) 640.
12. M. Debowoski et al. Subthreshold K^+ production in proton-nucleus collisions. *Z. Phys. A* 356 (1996) 313.
13. M. Büscher et al. Inclusive K^+ -mesons production in proton-nucleus interactions. *Eur. Phys. J. A* 22, 301 (2004).

14. Yu. Valdau et al. Comparison of inclusive K^+ production in proton-proton and proton-neutron collisions. *Phys. Rev. C* 84 (2011).
15. W. Fickinger et al. $p-p$ interactions at 2 Bev. I. single-pion production. *Phys. Rev.* 125 (1962) 2082.
16. J. T. Balewski et al. Λ -hyperon production via the $pp \rightarrow pK^+\Lambda$ reaction 2 MeV above threshold. *Phys. Lett. B* 388(1996)859.
17. S. Abd El-Samad et al. Hyperon production in the channel $pp \rightarrow K^+\Lambda p$ near the reaction threshold. *Phys. Lett. B* 632 (2006) 27; W. K. Eyrich, *Prog. Part. Nucl. Phys.* 50 (2003) 547.
18. A. Sibirtsev et al. Resonances and final-state interactions in the reaction $pp \rightarrow pK^+\Lambda$. *Eur. Phys. J. A* 27, 269 (2006).
19. P. Kowina et al., Energy dependence of the Λ/Σ^0 production cross-section ratio in p-p interactions. *Eur. Phys. J. A.* 22 (2004) 293
20. R. Bilger et al. Strangeness production in the reaction $pp \rightarrow pK^+\Lambda$ in the threshold region. *Phys. Lett.* 420 (1998) 217.
21. S. Sewerin et al. Comparison of Λ and Σ^0 production near threshold in proton-proton collisions. *Phys. Rev. Lett.* 83 (1999) 682.
22. A. Sibirtsev et al. Phenomenology of the Λ/Σ^0 production ratio in pp collisions. *Eur. Phys. J. A* 29 (2006) 363.
23. S. Sewerin et al., Comparison of Λ and Σ^0 production near threshold in proton-proton collisions. *Phys. Rev. Lett.* 84 (1999) 682.
24. T. Rozekey et al. Threshold hyperon production in proton-proton collisions at COSY-11. *Phys. Lett. B* 643, 251 (2006).
25. R. I. Loutitt et al. Production of Strange Particles in p-p Collisions at 2.85 Bev. *Phys. Rev.* 123, 1465 (1961).
26. Yu. Valdau et al. Energy dependence of the $pp \rightarrow K^+n\Sigma^+$ reaction close to threshold. *Phys. Rev. C* 81 (2010).
27. Yu. Valdau et al. The reaction $pp \rightarrow K^+n\Sigma^+$ near threshold. *Phys. Lett. B* 652, 245 (2007).
28. A. Sibirtsev and W. Cassing, nucl-th/9802019v2(1998).
29. R. Machleidt, K. Holinde and Ch. Elster, The Bonn NN potential and its relation to quark-gluon exchange. *Phys. Rep.* 149 (1989) 1.

30. J. M. Laget. Strangeness production in nucleon-nucleon collisions. Phys. Lett. B. 259 (1991) 24.
31. A. M. Gasparian et al. The reactions $pp \rightarrow pK^+\Lambda$ and $pp \rightarrow p\Sigma^0K^+$ near their thresholds. Phys. Lett. B 480 (200) 273.
32. K. Tsushima, A. Sibirtsev A. W. Thomas. Resonance model study of kaon production in baryon-baryon reactions for heavy-ion collisions. Phys. Rev. C 59 (2000) 369.
33. M. L. Goldberg, K.M. Watson. Collision Theory. John Willey and Sons, 1967.
34. A. Sibirtsev, J. Haidenbauer H.-W. Hammer and S. Krewald. Resonances and final-state interactions in the reaction $pp \rightarrow pK^+\Lambda$. Eur. J. A 27(2006) 269
35. R. Maier. Cooler Synchrotron COSY – performance and perspectives. Nucl. Instr. Methods A 390 (1997) 1.
36. P. Goslawski et al. High precision beam momentum determination in a synchrotron using a spin-resonance method. Phys. Rev. Special topics – accelerators and beams, 13 (2010).
37. Annual report 2012.
38. S. Barsov et al. ANKE, a new facility for medium energy hadron physics at COSY-Jülich. Nucl. Instr. Methods A 462 (2001) 364.
39. S. Dymov et al. Particles and Nuclei, Letters 2 (2004) 521.
40. A. Mussgiller. Identification and tracking of low energy spectator protons. PhD thesis, Hamburg, 2005.
41. A. Täschner. High density cluster jet target for storage ring experiments. Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Research A 660 (2011) 22.
42. A.B. Migdal Sov. Phys. JETP 1, 2 (1955).
43. S. Barsov, A. Dzyuba, V. Koptev, S. Mirirtychiants, Yu. Valdau. COSY proposal and beam request. Study of the energy dependence of the $pn \rightarrow nK^+\Lambda$ reaction close to threshold at ANKE.
44. <http://ankecv.s.i.kp.kfa-juelich.de/RootSorter>
45. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 “Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы”.