

ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Возможности применения кремниевых трековых телескопов STT с улучшенными характеристиками для изучения pn -взаимодействия

В. В. Леонтьев

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, кафедра физики элементарных частиц; Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ). Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.
E-mail: vladimir.leontyev@msu.dubna.ru

Статья поступила 02.07.2012, подписана в печать 01.08.2012.

При разработке детекторной системы STT перед ней ставились задачи измерить степень поляризации пучка ускорителя, проконтролировать светимость, а также обеспечить пространственную информацию о вершине реакции. Приведенные в статье результаты экспериментальных и модельных исследований показывают, что достигнутые высокие характеристики STT (в результате применения разработанных методик получено временное разрешение ~ 1 нс, точность восстановления значения кинетической энергии вылета ~ 1 –2% для протонов и дейтронов в диапазоне 1.5–50 МэВ) могут быть использованы для расширения области физических исследований с помощью STT. Это расширение включает в себя экспериментальное изучение вопросов спиновой физики pn -взаимодействий путем регистрации низкоэнергетических продуктов реакций $pd \rightarrow ppn$, $pd \rightarrow pp\Delta^0$ и $pd \rightarrow pd$ в новой области определения экспериментальных данных.

Ключевые слова: взаимодействие поляризованных протонов и нейтронов, полупроводниковые детекторы, ANKE, PAX.

УДК: 539.12. PACS: 29.85.-с, 13.75.Cs, 29.40.Wk, 29.25.Pj, 13.88.+e.

Введение

Детекторная система Silicon Tracking Telescopes (STT) [1, 2] была разработана для установки ANKE [3, 4], расположенной на внутреннем пучке ускорителя COSY, а также будет применяться в экспериментах PAX-FAIR [5]. Целью создания этой системы было решение следующих задач: 1) измерение степени поляризации пучка ускорителя; 2) определение текущего значения светимости во время проведения эксперимента; 3) получение информации о пространственном положении вершины реакции. Для решения этих задач система специализируется на регистрации низкоэнергетических продуктов реакций (протонов и дейтронов с кинетической энергией меньше 100 МэВ) с довольно большими полярными углами вылета (больше 40° в лабораторной системе).

Система включает в себя несколько (от 1 до 4) модулей, которые размещаются в вакууме ускорителя непосредственно возле мишени. Каждый модуль содержит телескоп из трех кремниевых детекторов с двусторонней микрополосковой структурой (шаг считывания 0.4–0.7 мм) и предусилительную электронику. Сформированные в модулях сигналы интегрируются и обрабатываются при помощи считывающей электроники стандарта VME.

1. Достигнутые характеристики системы STT

Для решения поставленных задач был освоен и применяется набор из нескольких экспериментальных методов, описанных ниже.

1.1. Идентификация частиц

dE/E -метод для идентификации типа частицы использует сравнение измеряемых энергетических потерь

этой частицы в разных детекторах телескопа. Гистограмма сравнения потерь энергии в детекторе 300 мкм толщины dE и в детекторе 5 мм толщины E дает хорошее визуальное разделение частиц по типам (рис. 1). Для выбранного формального критерия разделения зависимость dE/E выражается в терминах величины PID, которая равна $(dE + E)^{1.76} - E^{1.76}$, а далее

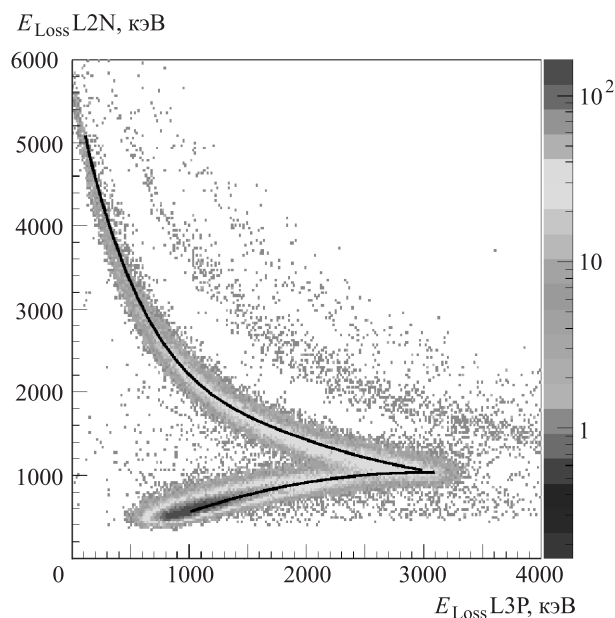


Рис. 1. Корреляции измеряемых энергетических потерь частицы в L2N-детекторе 300 мкм толщины (dE) и в детекторе 5 мм толщины (E). Наблюдаются протонные и дейтронные ветви событий. Сплошной черной линией отображены теоретические кривые ионизационных потерь протона

частице присваивается конкретный тип в зависимости от того, в какой диапазон попало значение PID. Применение этого критерия проиллюстрировано на рис. 2. Прделанная работа по компенсации систематических отклонений измерения энергии включала в себя: учет наводок между соседними каналами предусилительной электроники, учет наводок между соседними сегментами детекторов, коррекцию нелинейности отклика электроники при помощи регистрации тестовых импульсов, лабораторное исследование каждого канала электроники и каждого сегмента детекторов при помощи источников α -излучения с последующей коррекцией выявленных неоднородностей сигналов, регулярный контроль смещения общего уровня пьедесталов (так называемый common mode эффект) и т. д. Эта скрупулезная работа наряду со стабилизацией температуры детекторов и вакуумной части электроники привела к тому, что разрешение данных измерений стало отвечать требо-

ваниям dE/E -метода со значительным запасом. Так, на dE/E -гистограмме ширина протонной ветви зарегистрированных частиц $\sigma \sim 150$ кэВ, а расстояние до дейтронной ветви порядка 1 МэВ (рис. 1).

1.2. Восстановление треков частиц

Изначально информация о положении вершины реакции потребовалась для того, чтобы убрать неопределенность Z координаты вершины (вдоль оси пучка) для пространственно протяженной газовой мишени. Ось Y вертикальна, вдоль оси X обычно располагается ось симметрии STT телескопов. Газовые мишени применяются в ANKE (и далее в PAX) для изучения спиновых явлений, их накопительные ячейки имеют длину вдоль оси Z от 20 до 39 см. Такая неопределенность координаты Z вершины способна существенно ухудшить точность восстановления импульса частиц, зарегистрированных базовым спектрометром ANKE. Для решения

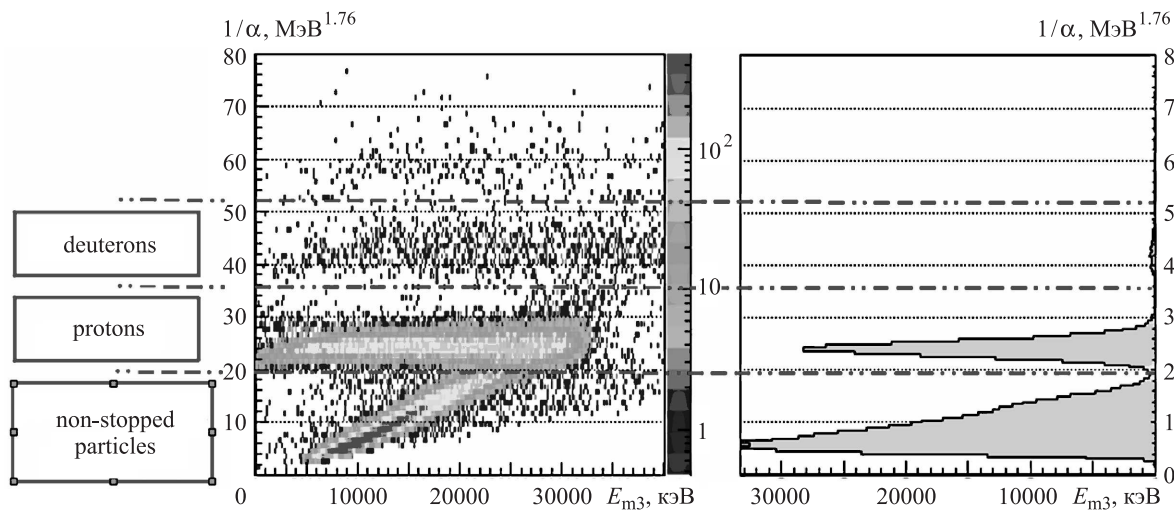


Рис. 2. Применение критерия разделения частиц по типам. Зависимость dE/E выражается в терминах величины PID (или $1/\alpha$), которая равна $(dE + E)^{1.76} - E^{1.76}$

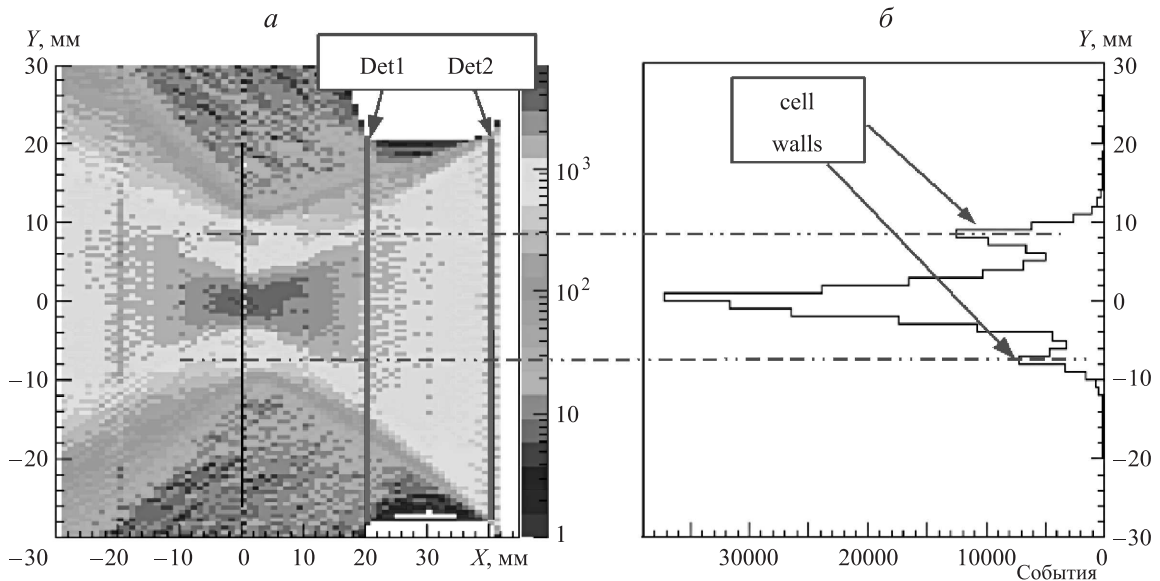


Рис. 3. а — Гистограмма проекций треков на плоскость XY , отображено также положение первых двух детекторов телескопа, по данным которых восстанавливался трек. б — Сечение этой проекции вдоль линии максимума событий от пучка ($X = 1.2$ мм), отображено положение стенок накопительной ячейки

этой проблемы от метода восстановленных STT треков частиц требуется пространственное разрешение порядка сантиметра.

В применяемом методе координаты места попадания частицы в детектор телескопа определяются, пользуясь информацией о номерах сработавших сегментах считывания на обеих сторонах детектора (координаты Y и Z). Далее из этих координат восстанавливается трек частицы при условии, что она была зарегистрирована, по меньшей мере, в двух детекторах телескопа. Есть возможность корректировки влияния на треки остаточного магнитного поля в мишенном узле [6]. На рис. 3 отображены результаты проверки работы метода в условиях реального эксперимента. На левом изображении виден пик от взаимодействия пучка с газом мишени, а также пики от взаимодействия гало пучка со стенками накопительной ячейки. Рисунок иллюстрирует, с одной стороны, высокую степень выравнивания 20-сантиметровой ячейки мишени и STT-детекторов относительно пучка, а с другой, что пространственное разрешение метода безусловно не хуже единиц миллиметров для координаты Y (и, следовательно, для Z).

1.3. Измерение времени регистрации частицы

Специальная часть предусилительной электроники обеспечивает STT-систему возможностями по выработке собственных триггеров считывания, а также по считыванию временной отметки прихода сигнала от каждого кремниевого детектора. При этом с обеих сторон детектора можно получать независимые временные отметки. В рамках задач, сформулированных при создании STT-системы, измерение времени успешно применяется для снижения влияния фоновых сигналов.

Значительный объем работы по исследованию и улучшению точности измерения времени был в свое время проделан для решения задачи идентификации по времени пролета частиц, зарегистрированных в детек-

торной системе FD (Forward Detector ANKE). Получение временной отметки STT позволяет провести такую идентификацию при условии, что временное разрешение STT системы не хуже нескольких десятых наносекунды. Информация для отработки методики измерения времени была получена регистрацией отклика от тестовых импульсов предусилительной электроники и регистрацией излучения лабораторных источников. Отработанная процедура настройки включала в себя выравнивание задержек для каждого канала на протяжении всего считывающего тракта, коррекцию зависимости времени срабатывания от амплитуды входного сигнала (так называемый time walk эффект), коррекцию дифференциальной нелинейности время-цифрового преобразователя VME электроники (когда он применяется). В результате точность была доведена до показателя $\sigma \sim 0.4$ нс (для предусилительной электроники на базе MATE3 чипа на сигналах от собираемого заряда > 1.6 МэВ энергетического эквивалента). На рис. 4 представлен результат лабораторных исследований при помощи источников α - и β -излучения временных характеристик электроники на базе чипа VA32TA2.

2. Мотивация для дальнейшего расширения возможностей системы

В предыдущем разделе было показано, что достигнутые характеристики системы STT позволяют решать поставленные при разработке STT задачи со значительным запасом. В такой ситуации весьма оправданно использование появившихся возможностей для расширения научной программы, в которой задействована система STT.

Взаимодействие нуклонов между собой является базовым для ядерной физики в целом, следовательно, его изучение предоставляет фундаментальные знания об устройстве окружающей нас материи. На данный момент в экспериментах хорошо измерены парамет-

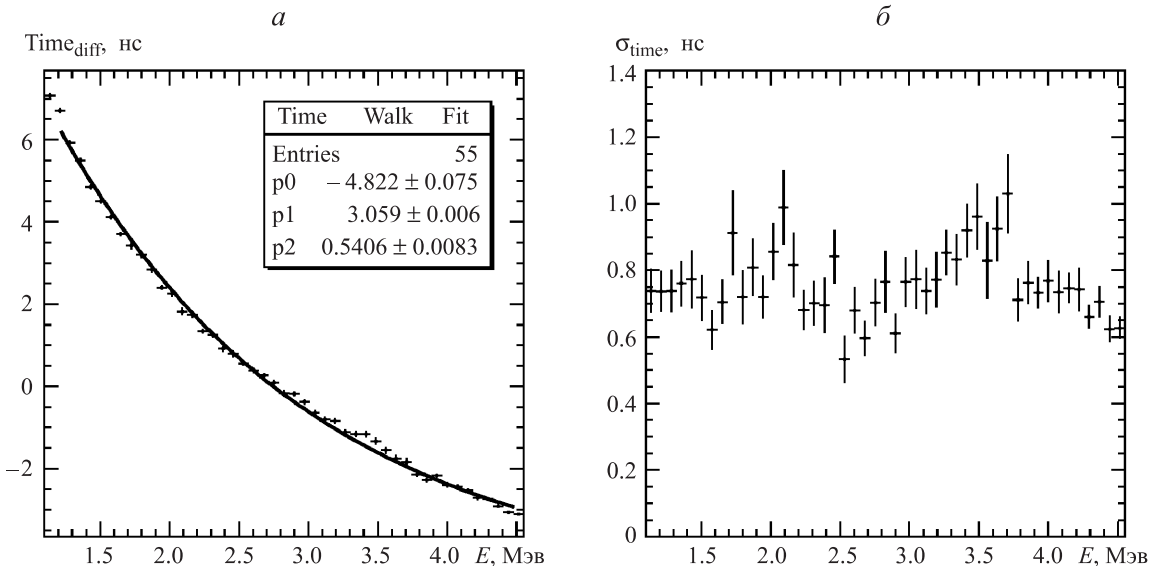


Рис. 4. Характеристики измерения промежутка между двумя временными отметками с разных сторон детектора, получаемыми при регистрации α -частицы: а — зависимость положения пика событий от энергетического эквивалента амплитуды сигнала, выработанного собранным зарядом (time walk); б — зависимость ширины пика от этой амплитуды. Из усредненного значения этой величины можно вычислить среднее значение погрешности одной временной отметки $\sigma = 0.54$ нс (для VA32TA2)

ры упругого протон-протонного взаимодействия (фазовый сдвиг в канале с изоспином $I=1$): дифференциальное сечение реакции, величины анализирующей способности. Экспериментальные данные для протон-нейтронного взаимодействия (изоспин $I=0$) существенно беднее, поскольку получение моноэнергетического пучка или поляризованной мишени из нейтральных частиц является принципиально более сложной задачей, чем их получение из протонов, к тому же нейтральные продукты реакций сложнее изучать детекторами. Поэтому в экспериментах по изучению pn -взаимодействия применяются не нейтронные, а дейтронные пучки (мишени). Правомерность такой замены обеспечивает так называемая *спектаторная* модель, когда дейтрон рассматривается как композиция участвующего в изучаемой реакции нейтрона и невзаимодействующего (спектаторного) протона p_{spect} .

Ситуация с данными является в целом удовлетворительной для энергий взаимодействия ниже 515 МэВ, выше этой энергии (до 800 МэВ) был получен лишь один достаточно полный набор данных [7]. Это было сделано на установке LAMPF (Los Alamos, USA), хотя довольно много измерений из этой области физики проводилось в LNS (Saclay, France).

Текущие работы коллаборации ANKE позволили получить данные с энергиями выше 800 МэВ — предела ускорителя Los Alamos (изучение $pd \rightarrow p_{\text{spect}}p(n)$ [8], $dp \rightarrow pp(n)$ [9]), а также впервые получить данные для событий, когда энергия возбуждения пары результирующих протонов $E_{pp} < 50$ МэВ. Однако в проведенных работах проявляются ограничения аксептанса установки (азимутальный угол регистрации провзаимодействовавших, несекторных протонов $|\theta_p^{\text{ab}}| < 12^\circ$, а для второго направления исследования энергия пучка не больше 1.17 ГэВ). Данные ограничения были обусловлены тем, что провзаимодействовавшие протоны регистрировались исключительно основным спектрометром ANKE, частью которого является система магнитов D1, D2, D3 и детекторная система FD.

Предлагаемое изучение реакции $pd \rightarrow p_{\text{spect}}pn$ с регистрацией и спектаторного, и провзаимодействовавшего протона системой STT позволяет расширить аксептанс установки (область определения угла $|\theta_p^{\text{ab}}|$ до $\sim 110^\circ$, энергии взаимодействия по меньшей мере до 2 ГэВ) и измерить E_{pp} малых значений (рис. 5) с достаточной точностью, что крайне желательно [10, р. 33].

Совмещаемые с этим исследования реакции $pd \rightarrow p_{\text{spect}}\Delta^0$ могут способствовать изучению влияния канала $NN \leftrightarrow N\Delta$ на нуклон-нуклонное взаимодействие, что необходимо для описания данного взаимодействия при энергиях в районе порога рождения пиона [10]. Представляет научный интерес получение информации о величинах анализирующей способности A_y , C_{nn} , C_{ss} и о дифференциальном сечении реакции. Кроме того, с точки зрения кварковой модели преобразование $N \leftrightarrow \Delta$ является переворотом спина (spin-flip) одного из составных кварков в нуклоне без изменения его орбитального углового момента; изучение этого явления представляет самостоятельный интерес.

Одновременно с этими измерениями можно проводить исследование малоуглового упругого рассеяния $pd \rightarrow pd$ с регистрацией медленного дейтрона системой STT, кроме того, для лучшей идентификации реакции полезно регистрировать быстрый протон системой FD. Поскольку наблюдаемые этой реакции сильно зависят от амплитуды обмена изоспина $I=0$ (т.е. от суммы амплитуд pn - и pp -взаимодействий), то определение сечения и величин A_y , C_{nn} , C_{ss} позволит провести качественно независимую взаимную проверку описания фазовых сдвигов путем удаления амплитуды однопионного обмена [10, р. 35].

Для изучения предлагаемых реакций (в частности для измерения малых значений E_{pp} с точностью не хуже десятых долей МэВ) для характеристик STT были сформулированы следующие требования:

1) обеспечение восстановления начальной кинетической энергии E_{ini} продуктов реакций с высокой точностью ($\sim 1\%$);

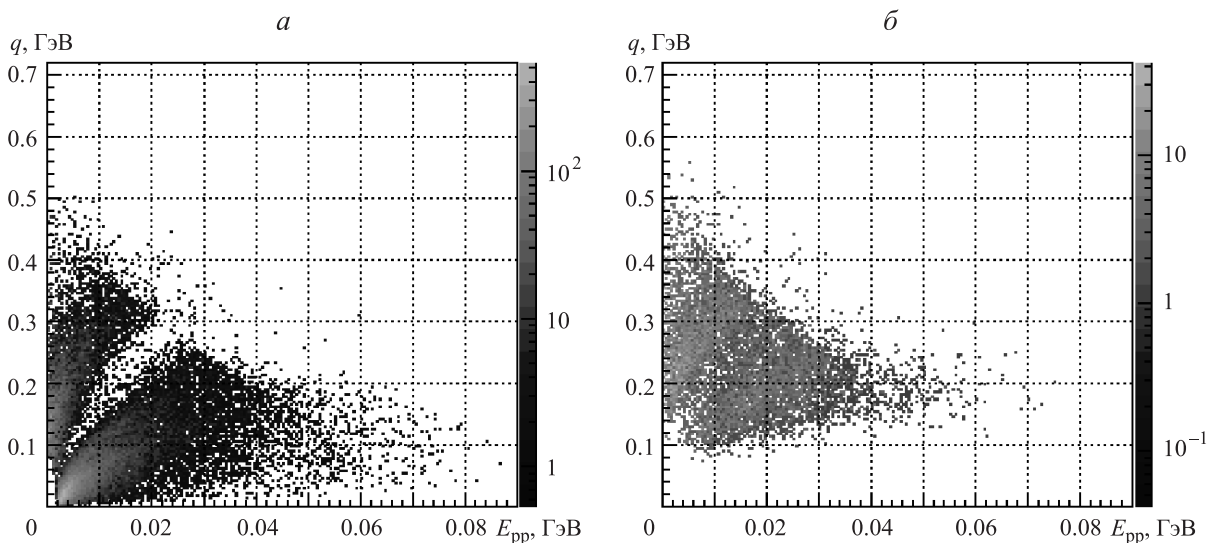


Рис. 5. Пример моделирования аксептанса STT по модулю (корню квадрата) переданного импульса q и энергии возбуждения пары протонов E_{pp} . Импульс пучка 3 ГэВ/с: а — реакция $pd \rightarrow ppn$; б — реакция $pd \rightarrow pp\Delta^0$

2) расширение области определения E_{ini} идентифицированных продуктов с {5.5 МэВ, 32 МэВ} до {~1 МэВ, ~70 МэВ}, хотя, в интересах создания теории взаимодействия было бы крайне желательно опустить нижнюю границу определения еще ниже;

3) обеспечение восстановления векторов импульсов пары результирующих протонов (погрешность восстановления углов на уровне 1°), а следовательно, высокоточное восстановление всех трех координат вершины реакции.

3. Работа по расширению возможностей системы

В рамках работы по расширению возможностей были созданы и опробованы в условиях научного эксперимента три метода переработки сырых данных в наблюдаемые экспериментальные величины.

3.1. Восстановление начальной энергии частиц

Было показано, что от измерения потерь энергии частицы в детекторах системы можно перейти к высокоточному восстановлению E_{ini} , энергии частицы — продукта реакции, которая у нее была непосредственно после момента реакции. В этом методе измеряется напрямую та часть энергии, которая была оставлена в чувствительных слоях детекторов. Далее, знание толщин всех мертвых слоев детекторов и стенки накопительной ячейки мишени, а также угла наклона трека относительно STT телескопа позволяет вычислить скрытые потери энергии частицы (естественно, в пределах разброса энергетических потерь в веществе). Для создания процедуры вычисления скрытых потерь были использованы данные, предоставляемые программным пакетом SRIM [11]. В случае пролета частицей телескопа детекторов насквозь уносимая часть ее энергии также вычисляется, анализируя соотношение измеряемых потерь и принимая в рассмотрение наклон трека. Ис-

пользование такой процедуры позволяет не исключать пролетные частицы из рассмотрения и, следовательно, раздвинуть верхние границы определения E_{ini} , согласно требованию 2, сформулированному в разделе 2.

На рис. 6 представлены обобщенные результаты анализа экспериментальной точности измерения и учета всех выявленных неопределенностей, который был проведен для оценки общей точности восстановления. Рисунок показывает, что достигнутая точность удовлетворяет требованию 1 раздела 2. Анализ показал, что дальнейшее увеличение точности измерения практического интереса не представляет, поскольку на таком уровне точности наибольший вклад в неопределенность восстановления E_{ini} начинает давать неопределенность потерь в мертвых слоях установки. Кроме того, из рис. 6 видно, что верхнюю границу определения E_{ini} удалось поднять с 35 до 50 МэВ (и выше, с потерей точности), что удовлетворяет требованию 2 раздела 2 и без наращивания числа детекторов в STT-телескопах.

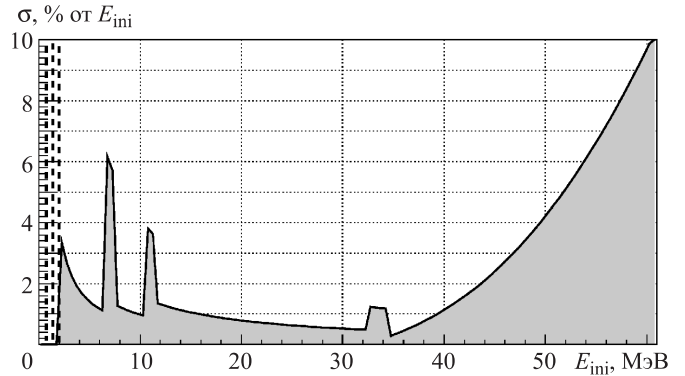


Рис. 6. Зависимость совокупной относительной погрешности восстановления кинетической энергии вылета E_{ini} протона от ее значения (углы вылета $\theta = 79^\circ \pm 9^\circ$, $\phi = 0^\circ \pm 10^\circ$)

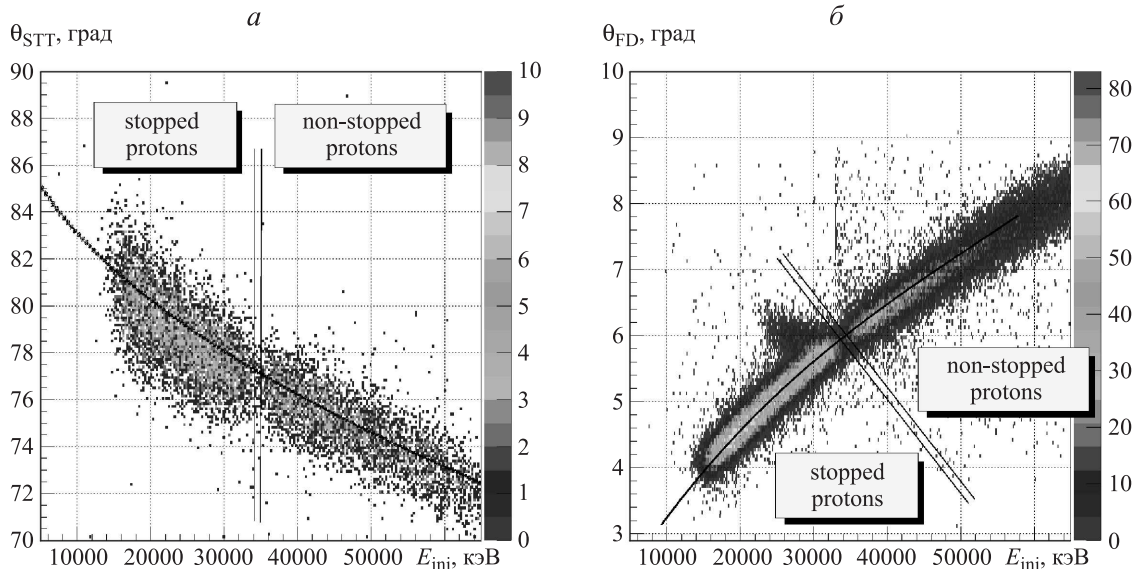


Рис. 7. а — Корреляция энергии E_{ini} и полярного угла вылета для упруго рассеянных протонов (реакция $dp \rightarrow dp$), зарегистрированных в STT. б — Корреляция энергии этих же протонов и угла дейтронов, зарегистрированных в FD

Метод восстановления E_{ini} был успешно протестирован на экспериментальных данных от идентифицированной реакции упругого рассеяния дейтронов на протонах. Во время теста анализировалось, насколько хорошо экспериментально наблюдаются корреляции E_{ini} протонов с углами вылета, как протонов, так и дейтронов. На рис. 7 показаны примеры этих корреляций и их сравнение с теоретическими кривыми, жестко задаваемыми кинематикой реакции. Несмотря на то что угол вылета протона измерялся системой STT, а угол дейтрона независимо детектором FD, в обоих случаях систематических отклонений от кривых обнаружено не было.

3.2. Автономная идентификация детектором остановленной в нем частицы

Возвращаясь к требованию 2 раздела 2, следует отметить, что нижняя граница области определения E_{ini} задается преимущественно возможностью идентифицировать тип частицы. dE/E -метод идентификации прекрасно работает, но его принципиальное ограничение заключается в том, что энергия частицы должна быть достаточно большой, чтобы частица прошла один детектор и была зарегистрирована во втором. Даже при выборе минимально тонкого (70 мкм) первого детектора нижняя граница определения будет 5.5 МэВ для протона. Это ограничение может быть снято в том случае, если будет применен метод автономной идентификации частицы в первом же детекторе.

Данные SRIM [11] были использованы для анализа того, как распределяются ионизационные потери остановленной в детекторе частицы, а также насколько она отклоняется вследствие многократного кулоновского рассеяния. В частности, была принята практическая оценка, что для таких частиц, как протоны, дейтроны или альфа-частицы на последние 10% трека приходится 90% ионизационных потерь энергии. Полученные в STT-группе [2] данные о мобильности носителей заряда в детекторах, контроль напряжений обедне-

ния и температуры детекторов обеспечили разработку процедуры определения скорости собирания заряда, а отсюда и расстояния, проходимого носителями за известный промежуток времени.

Проведенный анализ происходящих внутри детектора процессов обеспечил разработку метода определения координат области внутри тела детектора, в которой завершается трек. Данный метод использует измерение разницы между двумя временными отметками, вырабатываемыми предусилительной электроникой в результате прихода ионизированных частиц зарядов на разные стороны детектора. Поскольку порог срабатывания можно было установить достаточно низким (~ 0.1 МэВ), то эта разница фактически составляет промежуток времени между моментом попадания частицы в детектор (начало собирания заряда на переднюю сторону детектора) и моментом прихода заряда от заключительной части трека на заднюю сторону детектора.

Координаты конца трека в детекторе определяют длину пробега частицы в нем, корреляция которой с измеренной детектором величиной энергии частицы и обеспечивает идентификацию типа частицы. На рис. 8 представлены оценки возможностей метода, полученные моделированием, а также результаты его первой экспериментальной проверки. Модельные оценки показали, что временное разрешение VA32TA2-электроники ($\sigma = 0.54$ нс, получено в лабораторных условиях) позволяет отделить протоны от дейтронов при кинетической энергии частицы до попадания в детектор 1.5 МэВ (расстояние $\sim 2\sigma$). Это дает значительное приближение к удовлетворению требования 2 раздела 2.

3.3. Уточненное восстановление положения вершины реакции по трекам двух ее продуктов

При регистрации системой STT единичного продукта реакции применяется метод восстановления вершины как точки пересечения трека с вертикальной плоскостью YZ , содержащей ось пучка [6]. В слу-

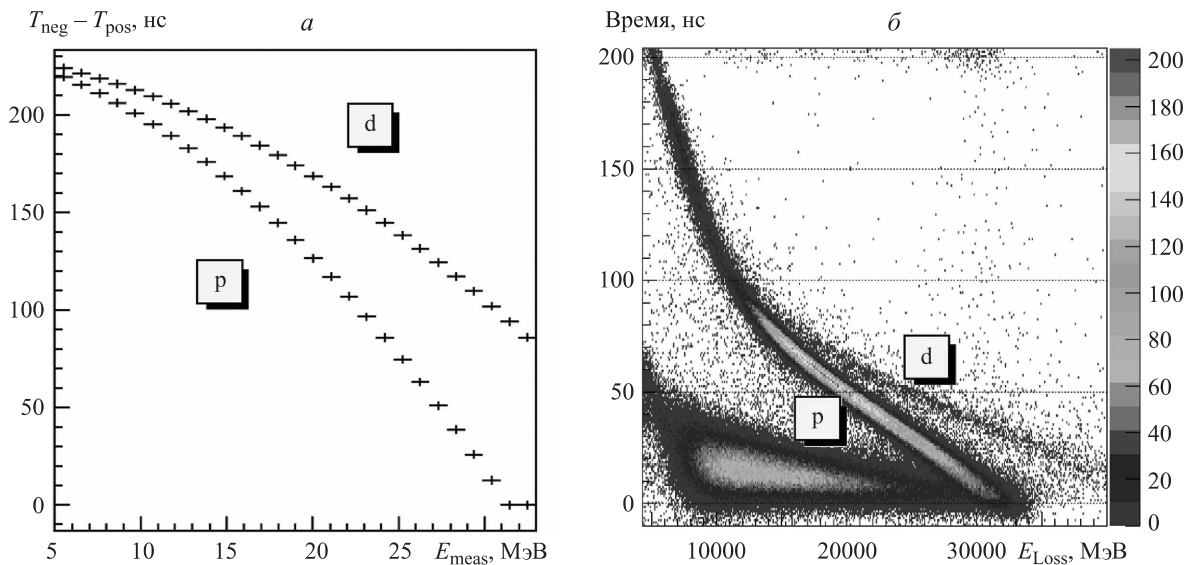


Рис. 8. Зависимость промежутка между временными отметками с разных сторон 5 мм детектора, электроника VA32TA2 (проверка разделения протонов и дейтронов): а — моделирование, положение и ширина пика событий; б — первый эксперимент

чае регистрации STT-пары продуктов реакции можно применить другой метод, в котором вершина определяется как точка наибольшего сближения двух треков в пространстве. Экспериментально подтверждено, что разработанный метод способен определять координаты вершины с точностью до единиц миллиметров (рис. 9), для координаты X это улучшение точности на порядок.

С одной стороны, восстановление всех трех координат вершины с миллиметровой точностью позволяет отсеять фон от взаимодействия гало пучка со стенками ячейки мишени, что проиллюстрировано на рис. 3. С другой стороны, согласованное восстановление векторов вылета пары протонов необходимо для восстановления энергии возбуждения E_{pp} . Пользуясь полученными оценками пространственного разрешения и точности

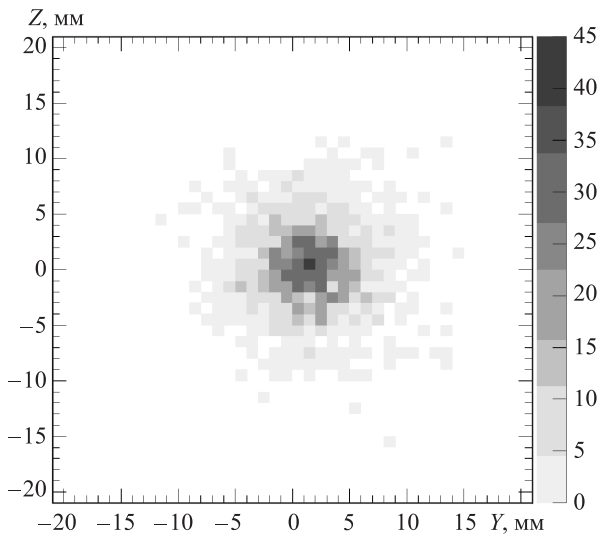


Рис. 9. Предварительная проверка метода восстановления вершины реакции по двум трекам на экспериментальных данных с твердотельной (точечной) мишенью. Разрешение равно 4 мм вдоль осей Y и Z , вдоль оси X будет не хуже (для условно-вертикальных треков)

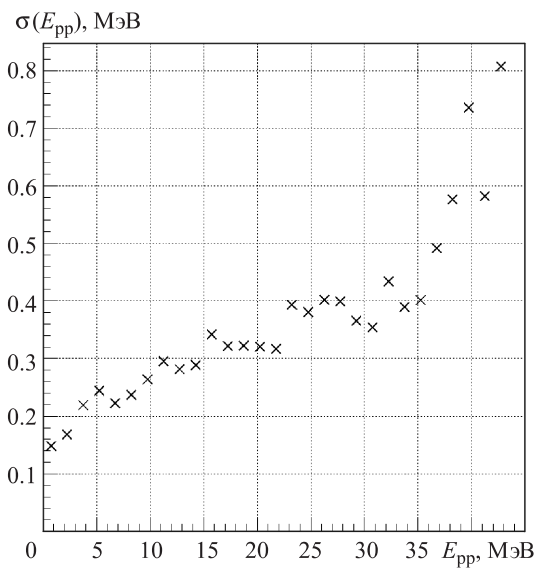


Рис. 10. Зависимость оценочной точности восстановления энергии возбуждения пары протонов от значения E_{pp} ; реакция $pd \rightarrow pp_{\text{spect}}\Delta^0$, импульс пучка 3 ГэВ/с

восстановления E_{ini} протонов, при помощи программного пакета PLUTO [12] был проведен модельный анализ точности восстановления E_{pp} .

Результаты анализа, проиллюстрированные на рис. 10, говорят о том, что удовлетворение комплекса требований, сформулированных в разделе 2, позволяет обеспечить получение экспериментальных данных с точностью и областью определения, достаточной для заявленной области исследования нуклон-нуклонного взаимодействия.

Заключение

Показано, что достигнутые высокие аппаратные характеристики системы STT способны не только обеспечить решение тех задач, что ставились при разработке системы, но и вывести возможности по определению кинематических параметров продуктов реакций на качественно новый уровень. В результате появилась возможность решения самостоятельных задач изучения спинового нуклон-нуклонного взаимодействия, таких как измерение дифференциальных сечений и анализирующих способностей для реакций $pd \rightarrow pp(n)$, $pd \rightarrow pp(\Delta^0)$ с регистрацией STT-системой пары низкоэнергетических протонов (с кинетической энергией меньше 100 МэВ). Одновременно с проведением этих исследований программа изучения pn -взаимодействия может быть расширена изучением малоуглового упругого рассеяния $pd \rightarrow pd$ с регистрацией дейтрона STT-системой. В статье приведены результаты экспериментальных и модельных оценок точности измерения и области определения кинематических параметров.

Обосновано, что для проведения таких экспериментов нет необходимости в доработке аппаратуры, используемой на данный момент, достаточно соответствующего выбора параметров пучка ускорителя и мишени, а также применения описанных в статье методов анализа.

Коллаборации ANKE и PAX имеют возможность провести необходимые измерения параллельно с другими экспериментами на COSY по рассеянию протона на дейтроне (например, [13]), при этом необходимо лишь введение дополнительного триггера считывания от сигналов STT-системы.

Работа выполнена для коллаборации ANKE, Юлих, Германия.

Список литературы

1. Schleichert R., Krings T., Merzliakov S. et al. // IEEE Trans. Nucl. Sci. 2003. **50**, N 3. P. 301.
2. Oellers D. Polarizing a Stored Proton Beam by Spin-Flip? Ph.D. Thesis. 2010. <http://www2.fz-juelich.de/ikp/pax>.
3. Barsov S., Bechstedt U., Bothe W. et al. // Nucl. Instr. Methods Phys. Res. A. 2001. **462**, P. 364.
4. Barsov S., Büscher M., Hartmann M. et al. // Eur. Phys. J. A. 2007. **31**, P. 95.
5. Lenisa P., Rathmann F. // arXiv:hep-ex/0505054v1. 2005; <http://www2.fz-juelich.de/ikp/pax>.
6. Musgiller A. Identification and Tracking of low Energy Spectator Protons: Ph.D. Thesis. 2005. <http://www2.fz-juelich.de/ikp/anke/en/theses.shtml>.

7. Arndt R.A., Briscoe W.J., Workman R.L., Strakovsky I.I. // http://gwdaac.phys.gwu.edu/analysis/nn_analysis.html.
8. Дымов С., Комаров В., Махарашвили Г. et al. // Phys. Rev. C. 2010. **81**. 044001.
9. Chiladze D., Carbonell J., Dzyuba A. et al. // Eur. Phys. J. A. 2009. **40**. P. 23.
10. Kacharava A., Rathmann F., Wilkin C. (ANKE Collaboration) // arXiv:nucl-ex/0511028. 2005.
11. Ziegler J.F., Biersack J.P., Ziegler M.D. SRIM, the Stopping and Range of Ions in Matter. Chester, Maryland, 2008. <http://www.srim.org>.
12. Froehlich I., Cazon Boado L., Galatyuk T. et al. // arXiv:nucl-ex/0708.2382v2. 2007.
13. Engblom P.T. // Proposal and Beam Request. 2011. <http://www2.fz-juelich.de/ikp/pax/>.

The possibilities of using silicon tracking telescopes with advanced performance for studying pn interaction

V. V. Leontyev

*Department of Elementary Particles Physics, Faculty of Physics; D. V. Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia.
E-mail: vladimir.leontyev@msu.dubna.ru.*

Tasks to measure a polarization magnitude of the beam accelerator, monitor luminosity and provide spatial information on the reaction vertex were formulated for a detector system STT development. The presented in the article results of the experimental and simulation studies demonstrate, that an achieved high performance of the STT (an application of developed methods resulted a time resolution of ~ 1 ns, an accuracy of an initial kinetic energy on level of ~ 1 –2% for protons and deuterons of 1.5–50 MeV) can be applied to extend a field of physics research, in which the STT takes part. The extension includes an experimental study of issues of pn -interaction spin physics by detecting of low energy products of $pd \rightarrow ppn$, $pd \rightarrow pp\Delta^0$ and $pd \rightarrow pd$ reactions with a novel experimental acceptance.

Keywords: interaction of polarized protons and neutrons, semiconductor detectors, ANKE, PAX.

PACS: 29.85.–c, 13.75.Cs, 29.40.Wk, 29.25.Pj, 13.88.+e.

Received 2 July 2012.

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 6(2012).

Сведения об авторе

Леонтьев Владимир Викторович — ассистент; тел.: (49621) 4-38-85, e-mail: vladimir.leontyev@msu.dubna.ru.