

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
им. Б. П. КОНСТАНТИНОВА

На правах рукописи

НОВИНСКИЙ Дмитрий Валерьевич

УДК 539.126.34, 539.171.111.627

**Исследование параметров вращения спина
в упругом π^+ -взаимодействии при импульсе 1.62 ГэВ/с
и измерение анализирующей способности углерода**

01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Гатчина
2002

Работа выполнена в Отделении физики высоких энергий
Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова
Российской академии наук.

Научные руководители – доктор физико-математических наук
В.В. Сумачев,

– кандидат физико-математических наук
Д.Н. Свирида.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
профессор Ю.А. Мамаев,

доктор физико-математических наук
профессор Г.А. Петров.

Ведущая организация – Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Защита состоится “___” _____ 2002 г. в ___ часов
на заседании диссертационного совета Д-002.115.01 в
Петербургском институте ядерной физики им. Б.П.
Константинова по адресу:
188300, г. Гатчина Ленинградской обл., Орлова роща, ПИЯФ РАН.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Петербургского
института ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН.

Автореферат разослан “___” _____ 2002 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

И.А. Митропольский

Общая характеристика работы

Диссертация посвящена исследованию пион-нуклонного (πN) взаимодействия в области промежуточных энергий. С целью однозначного восстановления амплитуды πN -рассеяния были измерены параметры вращения спина A и R в упругом π^+p -взаимодействии при импульсе пиона $p_\pi = 1.62$ ГэВ/с. Для осуществления этого эксперимента был создан и откалиброван углеродный поляриметр (измерена анализирующая способность протон-углеродного (pC) рассеяния в интервале энергий поляризованных протонов $T_p = 700\text{--}1300$ МэВ). Все экспериментальные данные получены на протонном синхротроне *ИТЭФ* (г. Москва) в 1995 – 1999 гг. Ускоритель *ИТЭФ* позволяет получать пучки π -мезонов в широком диапазоне энергий. На этом же ускорителе могут быть получены пучки поляризованных протонов, необходимые для калибровки поляриметра. Была создана установка, позволяющая получить надежный результат для параметра вращения спина A . Работа выполнена в рамках основного направления деятельности лаборатории мезонной физики *ПИЯФ РАН* по измерению поляризационных параметров (P , A и R) в упругом пион-нуклонном рассеянии.

Актуальность

Актуальность работы вызвана крайней необходимостью в новых экспериментальных результатах по измерению параметров вращения спина во второй резонансной области упругого π^+p -рассеяния. Только наличие данных по параметрам A и R позволяет отобрать правильное решение парциально-волнового анализа (ПВА), однозначно восстановить амплитуду пион-нуклонного рассеяния и, следовательно, получить неискаженный спектр нестранных барионных резонансов в области инвариантных масс $\sqrt{s} \approx 1.9\text{--}2.0$ ГэВ. В эксперименте необходимо измерять поляризацию протонов отдачи с помощью углеродного поляриметра. Систематические погрешности при измерении параметров A и R в значительной мере определяются точностью в знании анализирующей способности A_{pC} в соответствующем диапазоне энергий протонов. При изучении и обобщении мировых данных по анализирующей способности выяснилось, что существующей точности в этой величине $\sim 20\%$ оказалось явно недостаточно для надежного разделения решений различных ПВА. Поэтому было принято решение о проведении на ускорителе *ИТЭФ* новых более точных измерений

анализирующей способности углерода в области энергий поляризованных протонов $T_p \sim 700 - 1300$ МэВ.

Цель работы

Главной целью диссертационной работы является однозначное восстановление амплитуд пион-нуклонного рассеяния в области инвариантных масс $\sqrt{s} \approx 1.9-2.0$ ГэВ. Для достижения этой цели:

1. Было проведено планирование эксперимента по измерению параметров вращения спина при импульсе 1.62 ГэВ/с, включая:
 - выбор кинематической области энергии протона отдачи;
 - обзор и изучение литературных данных по анализирующей способности углерода, вычисление значений A_{pC} в интересующем нас энергетическом интервале на основе изучения механизма различных вкладов в pC -рассеяние, оценка возможности использования этих данных для измерения параметров A и R с необходимой точностью.
2. Был создан углеродный поляриметр и проведено экспериментальное исследование анализирующей способности pC -рассеяния в зависимости от энергии протонов и толщины углеродного рассеивателя.
3. Была создана установка для измерения параметров вращения спина A и R и в рамках сотрудничества *ПИЯФ-ИТЭФ* проведен эксперимент по измерению указанных параметров со статистической погрешностью, позволяющей сделать надежный выбор между предсказаниями ПВА для параметра A при импульсе 1.62 ГэВ/с.

Научная новизна

1. Впервые в мире реализован эксперимент по измерению параметров вращения спина при импульсе π^+ -мезона $p_\pi = 1.62$ ГэВ/с. Полученные результаты для параметра A подтвердили правильность ПВА Вирджинского политехнического института.
2. Получены новые высокоточные экспериментальные данные для величины $A_{pC}(\theta, T_p)$ в интервале энергий $T_p=700-1300$ МэВ при различных толщинах углеродной мишени-анализатора. На основании полученных в ходе эксперимента результатов выбрана оптимальная толщина углеродной пластины поляриметра, равная 36.5 г/см². Этот поляриметр успешно отработал в ходе RA -эксперимента.

3. Впервые выполнен расчет анализирующей способности на основе моделей протон-ядерного взаимодействия в области энергий до 1.35 ГэВ. При этом для расчета вклада анализирующей способности квазиупругого и частично упругого каналов привлекались данные из фазового анализа **SM95** (программа "SAID") для нуклон-нуклонного (NN)-рассеяния.

Положения, выносимые на защиту

1. Результаты измерения параметра A при импульсе положительного пиона $p_\pi = 1.62$ ГэВ/с, свидетельствующие о правильности ПВА *Вирджинского политехнического института (VPI)* и не подтверждающие ПВА содружеств университетов *Карлсруэ–Хельсинки (KH)* и *Карнеги-Меллон–Беркли (CMB)*.
2. Результаты измерений анализирующей способности в зависимости от толщины углеродной мишени-анализатора и интерполяция полученных данных. Создание углеродного поляриметра для осуществления эксперимента по измерению параметров вращения спина A и R .
3. Феноменологический подход к описанию величины анализирующей способности путем представления pC -рассеяния через три канала взаимодействия протона с ядром углерода. Расчет выполнен в области энергий до 1.35 ГэВ. При этом для описания квазиупругого канала использованы данные парциально-волнового анализа NN -рассеяния.

Практическая и научная ценность диссертации

Новые данные по параметрам вращения спина принципиально важны, т.к. только они позволяют устранить неоднозначности в результатах фазовых анализов и выбрать из них единственно правильное решение. В итоге данной работы было доказано, что именно ПВА *VPI* дает правильное описание амплитуд пион-нуклонного взаимодействия в области кластера пион-нуклонных резонансов с массой π^+p -системы ~ 1.9 – 2.0 ГэВ.

Полученные результаты для анализирующей способности используются для определения поляризации протона отдачи в серии *RA*-экспериментов, ведущихся в течение последних нескольких лет на ускорителе *ИТЭФ*. Кроме того, эти же данные для A_{pC} используются в продолжающемся на ускорителе *ПИЯФ* поляризационном эксперименте по квазиупругому рассеянию протонов на легких ядрах. Расчетные

результаты для анализирующей способности были переданы группе *Saclay* для их использования в эксперименте по измерению спин-зависящих параметров в *pp*-рассеянии. В целом полученные в диссертации экспериментальные и расчетные результаты по анализирующей способности могут быть применимы в поляриметрии для широкого круга экспериментов, в которых измеряется поляризация протонов отдачи с энергиями ~ 1 ГэВ.

Апробация

Результаты, изложенные в диссертации, докладывались на VII Рабочем совещании по спиновым явлениям в физике высоких энергий (1997, Дубна), на XIII и XIV Международных конференциях по спиновой физике высоких энергий (1998, Протвино и 2000, Осака), на Рабочих совещаниях “Negaspin” (DESY, 1999) и “Symmetry and spin” (Прага, 1999), на Конференции Отделения ядерной физики РАН (1998), на XXVII Зимней школе ИТЭФ (1999) и на физических семинарах ОФВЭ ПИЯФ РАН.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений и содержит 119 страниц, 43 рисунка, 6 таблиц и 71 библиографическую ссылку.

Содержание работы

Во введении формулируются цели работы, дается краткое представление о современном состоянии таблиц барионных резонансов в области масс $M \approx 1900\text{--}1950$ МэВ. Также рассматривается актуальность проблемы – необходимость однозначного восстановления амплитуды пион-нуклонного рассеяния путем измерения параметров вращения спина A и R (RA -эксперимент). Только результаты измерений указанных параметров позволяют устранить присущие парциально-волновым анализам дискретные неоднозначности [1], имеющие место в отсутствие экспериментальных данных по параметрам A и R . Для успешного выполнения этой задачи необходимо знать величину анализирующей способности протон-углеродного рассеяния с точностью не хуже 10–12%.

В первой главе рассматривается принципиальная схема эксперимента по измерению параметров вращения спина в упругом пион-нуклонном рассеянии. Рассматривается постановка опыта для измерения

параметра A , в котором требуется поляризованная протонная мишень с вектором поляризации, лежащим в плоскости πp -рассеяния. Эксперимент основан на измерении поляризации протонов отдачи, вылетающих в результате упругого рассеяния π -мезона на свободных протонах поляризованной мишени. Для определения поляризации протонов отдачи необходимо измерить асимметрию их повторного рассеяния на вещество-анализаторе (углероде), т.е. необходим высокоэффективный поляриметр протонов. Таким образом, принципиальное значение имеет то, насколько точно мы знаем величину анализирующей способности A_{pC} протон-углеродного рассеяния в интервале энергий протонов, нужном для исследования параметров вращения спина A и R при импульсе 1.62 ГэВ/с. Однако существующие мировые данные для величины A_{pC} не обеспечивают необходимой точности ~ 10 –12% в знании анализирующей способности для RA -эксперимента.

Во второй главе выполнен обзор существующих литературных данных по анализирующей способности углерода. При планировании эксперимента по измерению параметров вращения спина A и R было необходимо сначала выяснить возможность использования опубликованных данных по величине A_{pC} для определения поляризации протонов отдачи. В конце главы кратко сформулированы промежуточные выводы, и главный из них – необходимость калибровки поляриметра для RA -эксперимента.

В третьей главе приводится метод описания величины анализирующей способности pC -рассеяния для интервала энергий $T_p = 700 - 1350$ МэВ. Исследуются вклады различных каналов взаимодействия протона с ядром углерода:

1. Упругий (EL) канал, рассеяние с энергетическими потерями не более 35 МэВ.
2. Квазиупругий (QE) канал, т.е. квазиупругое рассеяние протонов на нуклонах ядра. Для расчета вклада данного канала использовались результаты ПБА **SM95** для NN -взаимодействия [2].
3. Неупругий (IN) канал, связанный с бо́льшими энергетическими потерями, главным образом, с процессами мезонообразования.

В качестве анализирующей способности (A_{pC}) принимается средневзвешенная величина A_{pC} по каналам взаимодействия:

$$A_{pC}(T_p, \theta) = \frac{\sigma_{EL} \cdot A_{EL} + \sigma_{QE} \cdot A_{QE} + \sigma_{IN} \cdot A_{IN}}{\sigma_{EL} + \sigma_{QE} + \sigma_{IN}}, \quad (1)$$

где $\sigma_i(T_p, \theta)$, $A_i(T_p, \theta)$ - соответствующие дифференциальные сечения и анализирующие способности для каждого из этих каналов. На рис. 1

показан результат расчета величины $A_{pC}(\theta, T_p)$ для энергий протонов $T_p = 1100$ и 1350 МэВ, также указаны ошибки, составляющие величину от 10% для небольших углов до 17%–25% при углах $\theta \sim 20^\circ$.

В конце главы кратко сформулированы промежуточные выводы, и основной вывод состоит в том, что полученная в расчетах погрешность превышает требуемые 10%. С другой стороны, эти данные, имеющие погрешность в среднем $\sim 15\%$, могут использоваться в других экспериментах, в которых не предъявляется высоких требований к точности измерений поляризации протонов отдачи.

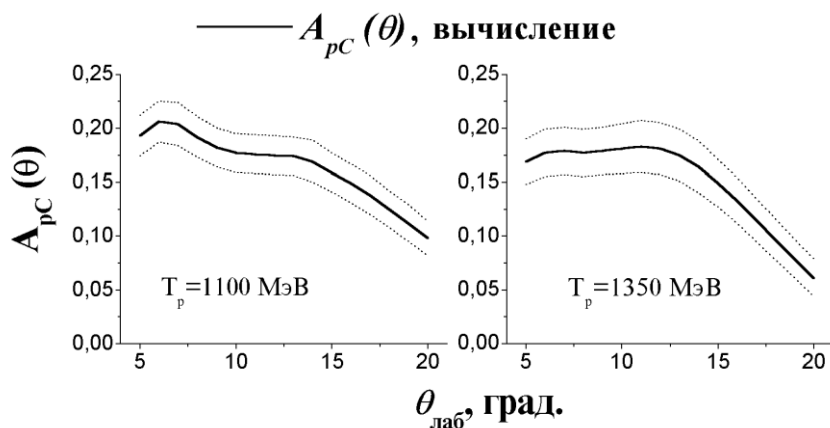


Рис. 1. Расчет величины $A_{pC}(\theta)$ для энергий протона $T_p = 1100$ и 1350 МэВ. Пунктирной линией показан коридор ошибок.

В четвертой главе описываются способ получения пучка поляризованных протонов, экспериментальная установка для измерения анализирующей способности углерода, алгоритм обработки данных и результаты калибровки поляриметра, исследуется зависимость эффективной анализирующей способности поляриметра от толщины мишени-анализатора.

Для создания поляризованного протонного пучка используется метод упругого рассеяния внутреннего пучка протонов, упруго рассеянных на водороде полиэтиленовой (C_2H_4) мишени. Пучок поляризованных протонов формируется при помощи универсального магнитного канала вторичных частиц (протонов и мезонов) ускорителя ИТЭФ. Диапазон импульсов выводимых в канале частиц обоих знаков составляет $p=0.9\text{--}2.1$ ГэВ/с. Интенсивность пучка составила $\sim 2 \cdot 10^4$ протонов на сброс (1 сброс приблизительно за 2 сек.) при работе

ускорителя с энергией $T_p = 1-2$ ГэВ в основном кольце. Такой интенсивности оказалось достаточно для измерения анализирующей способности. Для определения поляризации использовались данные ПВА **SM95** для нуклон-нуклонного рассеяния [2]. Величина поляризации составила $\sim 0.3-0.4$ с относительной погрешностью 2-4%. Вклад этой погрешности не превысил 1/3 от ошибок в измерении анализирующей способности.

Варианты установки для измерения анализирующей способности, содержащие двухкоординатные гибридные и магнитострикционные искровые камеры для регистрации заряженных частиц и наборы углеродных блоков различной толщины, представлены на рис. 2. Толщины мишени-анализатора составляли 4.9 г/см^2 (а), 17.8 г/см^2 (б), 19.4 г/см^2 (в), 36.5 г/см^2 (г), или 3 см, 11 см, 12 см и 23 см, соответственно. Энергии протонов, при которых выполнялись измерения, равнялись $T_p = 0.72, 0.92, 1.07$ и 1.28 ГэВ.

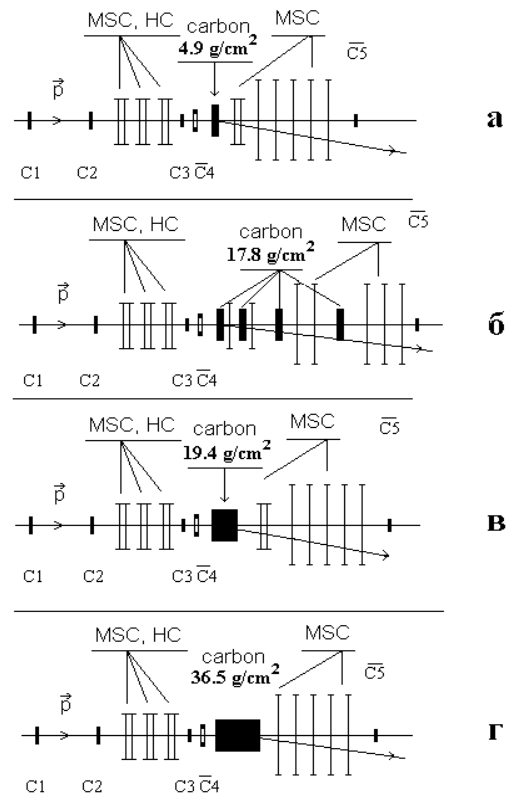


Рис. 2. Схема установки по измерению анализирующей способности в ИТЭФ.

Представлены 4 варианта конфигурации углеродной мишени-анализатора.

HC, MSC – трековые камеры с магнитострикционным съемом;

C1, C2, C3, C4, C5 – сцинтилляционные счетчики;

Carbon – углеродные фильтры суммарной толщиной 4.9 г/см² (а), 17.8 г/см² (б), 19.4 г/см² (в), 36.5 г/см² (г).

Метод определения анализирующей способности углерода основан на измерении азимутальной асимметрии рассеяния поляризованных протонов. В ходе обработки для отобранных одотрековых событий определялись координаты (*x, y, z*) точки взаимодействия в углероде, полярный θ и азимутальный φ углы рассеяния, а также точность сопряжения треков налетающего протона и рассеянной заряженной частицы ($\sigma_x, \sigma_y \approx 2$ мм).

Для отобранных в результате обработки событий получались распределения числа событий по азимутальному углу φ для фиксированных интервалов $\Delta\theta$. Эти распределения фитировались функцией:

$$N = N_0 \cdot (1 + \varepsilon \cdot \sin(\varphi + \varphi_0)), \quad (2)$$

где N_0 – нормировочный параметр, ε – асимметрия рассеяния на углеродной мишени ($\varepsilon = A_{pC} \cdot P$), φ_0 – угол отклонения спина протона относительно вертикального направления. Ложная асимметрия оценивалась по результатам обработки событий рассеяния π -мезонов на углероде $\varepsilon_{лож} = 0.0026 \pm 0.0014$, что приводит к систематической ошибке в определении анализирующей способности $\delta A_{pC} = 0.0026 / P \approx 0.007$.

Результаты измерений анализирующей способности при четырех значениях энергии поляризованных протонов представлены на рис. 3. Полученные данные на толщинах 19.4 и 36.5 г/см² в пределах ошибок измерений согласуются с данными *Saclay* на поляриметре *POMME* при толщине 53 г/см² [3]. Было выполнено совместное фитирование результатов данной работы и работы *Saclay* [3] по формуле, аналогичной формулам из [3,4,5]:

$$A(\theta, p_C) = \frac{ar}{1 + br^2 + cr^4} + dp \sin(5\theta), \quad (3)$$

где $r = p_C \cdot \sin(\theta_{лаб})$, p_C – импульс протона в середине углеродной мишени,

$$\begin{aligned} a &= a_0 + a_1 p' + a_2 p'^2 + a_3 p'^3, \\ b &= b_0 + b_1 p' + b_2 p'^2 + b_3 p'^3, \\ c &= c_0 + c_1 p' + c_2 p'^2 + c_3 p'^3, \\ d &= d_0 + d_1 p' + d_2 p'^2 + d_3 p'^3; \end{aligned}$$

$$p' = p_c - 1.7 \text{ ГэВ}/c;$$

16 параметров представлены в таблице 1:

Таблица 1. Величины параметров для описания зависимости анализирующей способности углерода от импульса и угла рассеяния

1.4 ГэВ/c ≤ p _c ≤ 2.0 ГэВ/c, N (число точек) = 188, χ ² = 264				
	0	1	2	3
a	1.5158±0.0871	0.5304±0.7422	-4.0212±1.0722	-6.1475±7.2129
b	26.115±3.2324	-14.539±32.834	-237.54±43.083	462.32±310.53
c	48.273±19.528	-761.87±190.07	3519.2±374.4	-2287.3±2012.5
d	0.0629±0.00695	-0.2803±0.0300	0.3273±0.0574	1.2765±0.2734

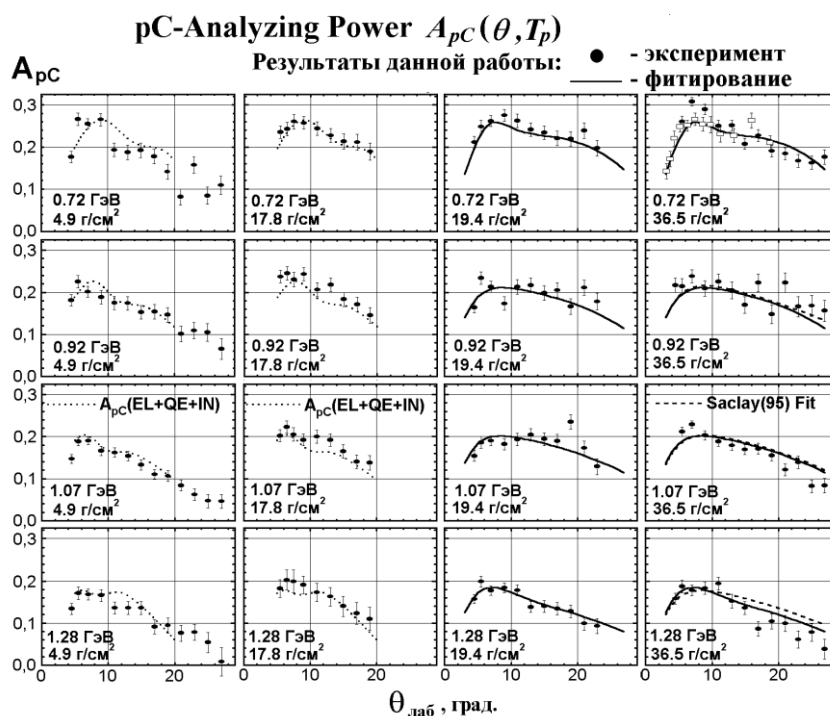


Рис 3. Результаты измерений анализирующей способности pC-рассеяния A_{pC} :

- — эксперимент ПИЯФ-ИТЭФ ($T_p = 0.72, 0.92, 1.07, 1.28$ ГэВ),
приведены только статистические ошибки;
- — эксперимент LAMPF [4] ($T_p = 0.707$ ГэВ) [3].

Сплошная линия – результат совместного фитирования данных ПИЯФ-ИТЭФ для толщин 19.4 и 36.5 г/см² и данных Saclay-1995 [3]. Приведен также результат параметризации экспериментов Saclay-1995 [3] и расчет по формуле (1), приведенный совместно с полученными данными для толщин анализатора 4.9 и 17.8 г/см².

Полученные в нашем эксперименте ошибки в измерении величины A_{pC} при углах рассеяния $\theta \leq 20^\circ$ не превысили верхнего ограничения на величину этой погрешности 10%. Для каждого варианта установки было получено значение усредненной в интервале полярного угла $\theta = 5^\circ \div 20^\circ$ анализирующей способности \bar{A}_{pC} . В конце главы кратко сформулированы промежуточные выводы, в частности, основной вывод о том, что полученные данные могут быть использованы в нашем RA-эксперименте.

В пятой главе обоснован выбор поляриметра для RA-эксперимента и приведена схема установки, предназначенной для измерений параметров вращения спина, и результаты этих измерений.

Обычно в поляриметрии для оценки эффективности поляриметра вводится понятие «фактора качества» F^2 :

$$F^2 = \int_{\theta(\min)}^{\theta(\max)} \frac{n(\theta)}{N_0} A_{pC}^2(\theta) d\theta, \quad (4)$$

где N_0 – число протонов, налетающих на углеродную мишень, $n(\theta)$ – число протонов, испытавших анализирующее рассеяние в область углов $(\theta + d\theta)$, θ_{\min} и θ_{\max} – угловой захват поляриметра. Для указанных вариантов поляриметра величина «фактора качества» составила: $F^2(4.9 \text{ г/см}^2) \approx 0.0035$, $F^2(17.8 \text{ г/см}^2) \approx 0.007$, $F^2(19.4 \text{ г/см}^2) \approx 0.008$, $F^2(36.5 \text{ г/см}^2) \approx 0.012$. С учетом этого, для использования в RA-эксперименте нами был выбран поляриметр с толщиной углерода 36.5 г/см² (23 см), при которой $F^2 = 0.12$. Требования к конструкции поляриметра включают в себя следующие моменты:

1. максимально высокая вероятность протон-углеродного рассеяния;
2. необходимость регистрировать углы pC-рассеяния в нужном угловом диапазоне θ для полного интервала азимутальных углов φ (т.е. $\Delta\varphi = 360^\circ$).

Основными элементами установки для измерения параметров A и R (рис.4) являются:

- протонная поляризованная мишень в сверхпроводящем соленоиде, величина поляризации мишени составляет ~ 0.7 с ошибкой ± 0.02 .

- углеродный поляриметр, блоки проволочных координатных детекторов для определения траекторий падающих и рассеянных пионов и протонов отдачи, а также триггерная система и система измерения времени пролета для идентификации частиц пучка (протонов и мезонов).

Установка расположена на универсальном двухступенчатом магнитооптическом канале ускорителя *ИТЭФ*, обеспечивающем вывод пионов обоих знаков и протонов в интервале импульсов (0.9–2.1) ГэВ/с с разрешением $\Delta p/p(\text{HWHM}) = \pm 1.8\%$. Интенсивность пионного пучка с импульсом 1.62 ГэВ/с составила $\sim 4 \cdot 10^5$ π^\pm -мезонов на сброс (1 сброс приблизительно за 4 сек.) при работе ускорителя с энергией $T_p = 8$ ГэВ в основном кольце. В районе расположения поляризованной мишени горизонтальный и вертикальный размеры пучка (FWHM) составляют около 30 мм. В ходе эксперимента по измерению параметров вращения спина A и R за время работы ускорителя ~ 400 часов на пучке π^\pm -мезонов было набрано и записано $\sim 1.4 \cdot 10^6$ случаев рассеяния на мишени.

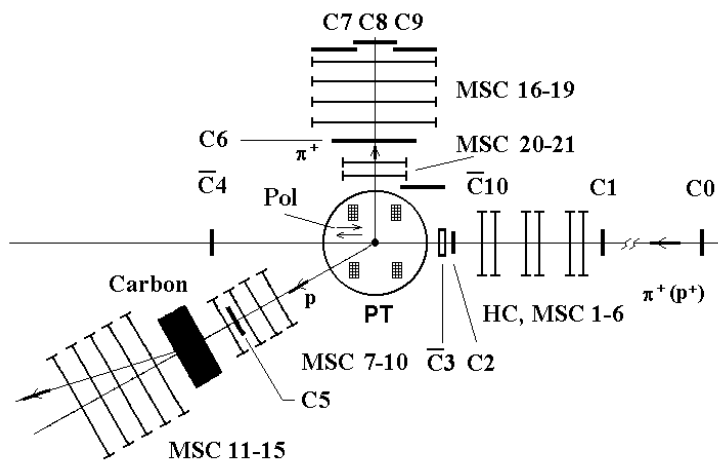


Рис. 4. Экспериментальная установка для измерения параметров вращения спина при импульсе пионного пучка $p_\pi = 1.62$ ГэВ/с.

Условными обозначениями показаны:

PT – поляризованная протонная мишень, *C0-C10* – сцинтилляционные счетчики,

HC, MSC – пучковые трековые и магнитострикционные искровые камеры,

Carbon – углеродный анализатор толщиной 36.5 г/см^2 , или 23 см.

Обработка накопленной информации включает следующие этапы:

1. Выделение случаев упругого π^+p -взаимодействия в рабочей области мишени по критериям компланарности и угловым корреляциям рассеянного пиона и протона отдачи. Оценка доли фоновых событий.
2. Отбор однотрековых событий в поляриметре с углами рассеяния протонов $\theta > 3^\circ$. При этом отбирались такие события для углов θ , при которых азимутальные углы во всем диапазоне $\varphi = 0^\circ - 360^\circ$ не выходили за допустимую геометрию камер. Применялись те же критерии отбора, что и при обработке данных по анализирующей способности. Для определения поляризации протонов отдачи использовалась параметризация анализирующей способности $A_{pc}(\theta, p_c)$ (формула 3).
3. Всего отобрано $\sim 16.5 \cdot 10^3$ полезных событий. Статистика разбивалась на четыре угловых интервала, и параметры вращения спина определялись методом максимального правдоподобия [5]. При этом одновременно вычислялись параметры P , A и $|R|$.

Результаты измерений представлены в таблице 2:

Таблица 2. Значения поляризационных параметров при импульсе 1.62 ГэВ/с. Приведены только статистические ошибки

θ_{CM} , град.		P	A	$ R $
интервал	среднее значение			
118–123.5	121.7	0.24 ± 0.12	0.27 ± 0.18	0.93 ± 0.06
123.5–127	125.2	0.30 ± 0.12	0.36 ± 0.20	0.88 ± 0.09
127–131	128.8	0.40 ± 0.13	-0.32 ± 0.20	0.86 ± 0.10
131–140	133.6	0.29 ± 0.13	-0.40 ± 0.21	0.87 ± 0.11

Вклад в систематическую погрешность измерений вносят:

1. неопределенность в анализирующей способности $A_{pc}(\theta, p_c)$, составившая не более 5–7%, что заведомо меньше допустимой величины ~ 10 –12%;
2. приборная асимметрия установки; ее вклад подавлялся на порядок путем периодического реверсирования (смены знака) поляризации мишени и сбалансированного набора статистики для обоих знаков;
3. неопределенность в оценке поляризации фона квазиупругого рассеяния; для выявления указанной неопределенности обрабатывались события с заведомо заниженной (нулевой) и завышенной поляризацией (равной таковой для протона отдачи в

упругом π -рассеянии); согласно оценке, вклад этой неопределенности в величину P составил $1/3$ от статистической ошибки, соответственно, в величины A и R – еще меньше;

4. неопределенность измерения величины поляризации мишени, относительная ошибка не превышает 3%.

Для общей оценки систематической погрешности экспериментальных результатов, одновременно измеренные данные для параметра P сравниваются с результатами других работ [6, 7] и с предсказаниями ПВА VPI (SM90 [8], SM99 [9]), KH80 [10] и CMB [11] (рис. 5). Видно, что результаты наших измерений для параметра P в пределах ошибок согласуются с результатами других работ. Это указывает на то, что систематические ошибки для параметра P невелики. Так как параметры A и P вычисляются одновременно на одной и той же статистике, при определении параметра P отсутствует компенсация, связанная со сменой знака поляризованной мишени, а также неопределенность в анализирующей способности вносит одинаковый вклад в погрешности для P и A , то можно утверждать, что систематические ошибки при измерении параметра A значительно меньше статистических погрешностей.

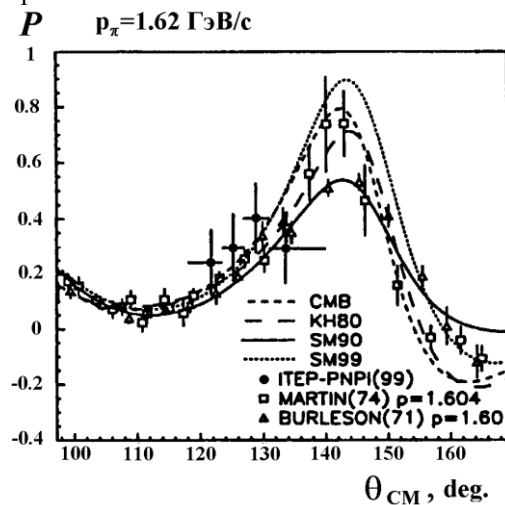


Рис.5. Результаты измерения поляризации P в упругом π^+p -рассеянии при импульсе $p \sim 1.6$ ГэВ/с.

На рис. 6. показаны результаты измерений для параметра A при импульсе 1.62 ГэВ/с при четырех значениях угла в СЦМ. Видно, что вновь полученные новые данные для параметра A в пределах ошибок

измерений совпадают с предсказаниями фазового анализа Вирджинского политехнического института (**SM90** и **SM99**), причем эксперимент хорошо подтверждает угловую зависимость, предсказываемую ПВА **SM90** и **SM99**.

На рис. 7 приведено сравнение результатов с предсказаниями ПВА для углов $\theta_{CM} = 127^\circ$ и 133° во всей резонансной области $p_\pi \sim 1-2$ ГэВ/с. Там же показаны результаты предыдущих измерений *ПИЯФ-ИТЭФ* при импульсе $p_\pi = 1.43$ ГэВ/с [12]. Из рисунка видно, что для двух указанных значений угла характерное различие предсказаний анализов **SM90** и **SM99**, с одной стороны, и **КН80** и **СМВ**, с другой, сохраняется для импульсов в широком импульсном интервале 1.2–1.7 ГэВ/с, что соответствует массе π^+p -системы $M_{\pi p} = \sqrt{s} \approx 1.78-2.03$ ГэВ.

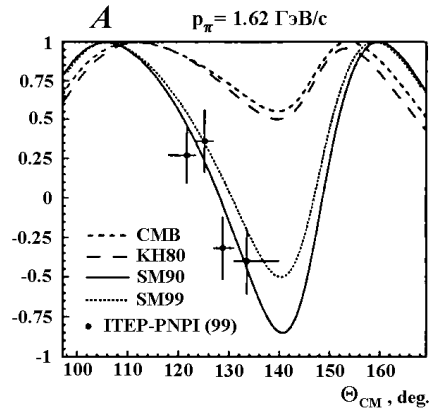


Рис. 6. Значения параметра A при импульсе 1.62 ГэВ/с для значений угла $\theta_{CM} = 121.7^\circ, 125.2^\circ, 128.8^\circ$ и 133.6° и предсказания ПВА [8–11].

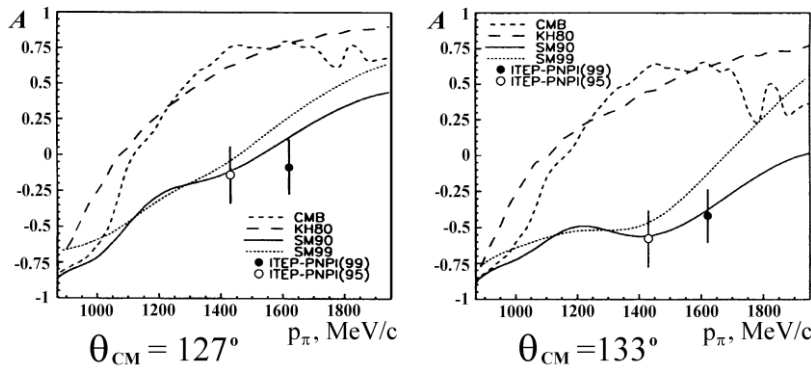


Рис. 7. Результаты измерений параметра A при импульсе 1.62 ГэВ/с и углах 127° и 133° (закрашенные кружки \bullet). Также приводятся результаты измерений при импульсе 1.43 ГэВ/с (незакрашенные кружки \circ) и предсказания ПВА [8–11].

Таким образом, поскольку таблицы характеристик барионных резонансов [13] основаны на ПВА **КН80** и **СМВ**, то результаты настоящего эксперимента указывают на необходимость корректировки этих таблиц в области масс $M_{\pi p} = 1.9\text{--}2.0$ ГэВ. Таблица 3 иллюстрирует ситуацию для 7Δ -резонансов в указанной энергетической области, и видно, что, например, резонансы $S_{31}(1900)$ и $P_{33}(1920)$, имеющие относительно высокий рейтинг, не обнаружены в анализе *VPI*, который подтвердился в настоящем эксперименте. Таким образом, целесообразна корректировка указанной таблицы в сторону снижения рейтинга резонансов $S_{31}(1900)$ и $P_{33}(1920)$.

Таблица 3. Характеристики [массы и ширины (указаны в скобках)] резонансов с изоспином $I=3/2$ по результатам предсказаний ПВА **КН80** [10], **СМВ80** [11] и **СМ95** [9].

Название резонанса	$L_{3,2J}$	Статус	КН80	СМВ80	СМ95
$\Delta(1900)$	S_{31}	**	1908(140)	1890(170)	Нет
$\Delta(1905)$	F_{35}	****	1905(260)	1910(400)	1850(294)
$\Delta(1910)$	P_{31}	****	1888(280)	1910(225)	2152(760)
$\Delta(1920)$	P_{33}	***	1868(220)	1920(300)	Нет
$\Delta(1930)$	D_{35}	***	1901(195)	1940(320)	2056(590)
$\Delta(1940)$	D_{33}	*	Нет	1940(200)	Нет
$\Delta(1950)$	F_{37}	****	1923(224)	1950(320)	1921(232)

В заключении перечислены основные результаты диссертации.

В приложениях приведены таблицы коэффициентов, полученных для расчета величины анализирующей способности в третьей главе.

Основные результаты диссертации

1. Впервые измерен параметр вращения спина A при импульсе $p(\pi^\pm)=1.62$ ГэВ/с.
2. Из сравнения результатов измерений параметра A с предсказаниями парциально-волновых анализов следует, что имеется хорошее согласие с фазовыми анализами **SM90** и **SM99** и противоречие **KN80** и **СМВ**. При этом параметр нормальной поляризации P в пределах ошибок совпадает с опубликованными мировыми данными.
3. Величина анализирующей способности измерена с точностью не хуже 10% в области энергий протонов $T_p = 0.7-1.3$ ГэВ для нескольких толщин углеродных мишеней-анализаторов. Выполнена параметризация результатов измерений в совокупности с экспериментальными данными, полученными в *Saclay*. Полученная зависимость находится в хорошем согласии с другими экспериментами там, где области измерений перекрываются.
4. На основании полученных данных по анализирующей способности создан однослойный поляриметр с толщиной углерода 36.5 г/см², который успешно отработал в серии экспериментов по измерению параметров вращения спина при импульсе пиона $p_\pi = 1.62$ ГэВ/с.
5. Погрешности в измерениях анализирующей способности не внесли существенный вклад в ошибки параметра A . Дальнейшие измерения величины анализирующей способности с лучшей точностью не могут повлиять на вывод о справедливости ПВА Вирджинского политехнического института.
6. Выполнен расчет величины анализирующей способности протон-углеродного рассеяния в область энергий протонов до 1350 МэВ, исходя из описания A_{pC} с учетом механизма вклада упругих, квазиупругих и неупругих процессов. Расчет хорошо описывает существующие экспериментальные данные, что позволит использовать такой подход для оценки анализирующей

способности в тех областях, где измерения в настоящий момент отсутствуют.

7. Из полученных результатов по параметрам вращения спина вытекает необходимость корректировки таблиц барионных резонансов с массами $M(\pi^+p) \sim 1.9\text{--}2.0$ ГэВ, в основном представленных в *Particle Data Group* на основе анализов **КН80** и **СМВ**.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах

1. *N.G. Kozlenko, D.V. Novinsky, V.V. Sumachev*. The Proton-Carbon Scattering Analyzing Power. // Preprint PNPI № **2145**, 26 p. (1997).
2. *N.G. Kozlenko, D.V. Novinsky, V.V. Sumachev*. The Contribution of the Processes of Elastic, Quasielastic and Inelastic Scattering into the Proton-Carbon Scattering Analyzing Power. // Proceedings of the VII Workshop on High Energy Spin Physics (**SPIN97**, July 7-12, 1997, Dubna, Russia, 1997), p. 251 (1998).
3. *I.G. Alekseev, P.E. Budkovsky, ... D.V. Novinsky et al.* Measurement of the pC Analyzing Power in the Momentum Range 1.35 – 2.02 GeV/c. // Nucl. Instr. and Meth. **A 434**, pp. 254 – 260 (1999).
4. *S.P. Kruglov, N.G. Kozlenko, ... D.V. Novinsky, et al.* The Contribution of the Processes of Elastic, Quasielastic and Inelastic Interactions into Analyzing Scattering of Polarized Proton with Energy 700 – 1600 MeV on Carbon. Proceedings of the XIII International Conference on High Energy Spin Physics (**SPIN98**, September 8-12, 1998, Protvino, Russia), p. 379 (1999).
5. *И.Г. Алексеев, П.Е. Будковский, ... Д.В. Новинский и др.* Измерение анализирующей способности углерода для фильтров различной толщины в интервале импульсов 1.35 – 2.02 ГэВ/с. Ядерная физика, т. **63**, с. 2194 (2000).
6. *S.P. Kruglov, N.G. Kozlenko, ... D.V. Novinsky, et al.* Semiempirical approach to pC-Analyzing Power description in the proton energy region $T_p = 400 - 1600$ MeV. // Доклад на XXVII Зимней школе физики ИТЭФ, февраль 1999, опубликовано: *Surveys in High Energy Physics*, v. **15**, pp. 247-252 (2000).
7. *И.Г. Алексеев, П.Е. Будковский, ... Д.В. Новинский и др.* Измерение анализирующей способности углерода для фильтров различной толщины в интервале импульсов 1.35 – 2.02 ГэВ/с. // Препринт ИТЭФ №7-1999, 8 стр. (1999).

8. Yu.A. Beloglazov, S.P. Kruglov, ... D.V. Novinsky et al. pC-processes at low energy. // Proceedings of Workshop "Polarized proton beams at high energies – accelerator challenges and physics opportunities" (DESY, May 17-20, 1999), p. 386 (2000).
9. Yu.A. Beloglazov, S.P. Kruglov, ... D.V. Novinsky et al. Semiempirical approach to p¹²C-analyzing power description in the proton energy region T_p = 400 – 1600 MeV. // Proceedings of Workshop "Polarized proton beams at high energies – accelerator challenges and physics opportunities" (DESY, May 17-20, 1999), p. 477 (2000).
10. Yu.A. Beloglazov, S.P. Kruglov, ... D.V. Novinsky et al. Semiempirical approach to p¹²C-analyzing power description above T_p = 1 GeV. // Proc. the Int. Workshop "Symmetry and spin" (September 5 –12, 1999, Prague, Czech Republic), in Czech. J. Phys., №50, Supplement S1, 321 (2000).
11. I.G. Alekseev, P.E. Budkovsky, ... D.V. Novinsky et al. Measurement of spin rotation parameter A in pion-proton elastic scattering at 1.62 GeV/c. // Phys. Lett., **B 485**, p. 32 (2000).
12. I.G. Alekseev, P.E. Budkovsky, ... D.V. Novinsky et al. Measurement of spin rotation parameter A in pion-proton elastic scattering at 1.62 GeV/c. // Preprint ITEP № 22-00, Moscow, 9 p, (2000).
13. I.G. Alekseev, D.N. Svirida, ... D.V. Novinsky et al. Uncertainties of partial-wave analysis and experimental data on spin rotation parameters in the elastic πp-scattering. // Abstract Book of 14th International Spin Physics Symposium (SPIN-2000, October 16-21, 2000, Osaka, Japan), p. 214 (2000).
14. I.G. Alekseev, D.N. Svirida, ... D.V. Novinsky et al. Measurement of Analyzing Power of pC-scattering and Proton Polarization in Quasi-Elastic Scattering on Carbon. // Abstract Book of 14th International Spin Physics Symposium (SPIN-2000, October 16-21, 2000, Osaka, Japan), p. 288 (2000).
15. I.G. Alekseev, P.E. Budkovsky, ..., D.V. Novinsky et al. Measurement of spin rotation parameter A in pion-proton elastic scattering at 1.62 GeV/c. PNPI Research Report 1998-1999, p. 66 (2000).
16. И.Г. Алексеев, П.Е. Будковский, ... Д.В. Новинский и др. Поляризационные эксперименты на установке СПИН синхротрона ИТЭФ. // Ядерная Физика, т. 65, №2, с. 1-9 (2002).

Список цитируемой литературы

- [1] E. Baretlet. Nuovo Cim., **8A**, 331 (1972).
 [2] R.A.Arndt et al., Phys.Rev. **C50**, 2731 (1994).

- [3] *N.E.Cheung et al.*, Nucl.Instr. and Meth. **A363**, 561, (1995).
- [4] *M.W.McNaughton et al.* Nucl.Instr. and Meth. **A241**, 435, (1985).
- [5] *R. Amblard*. Thèses de l'Université de Paris (1971).
- [6] *J.E.Martin et al.*, Nucl. Phys. **B89**, 253 (1975).
- [7] *G.Burleson et al.* Phys. Rev. Lett. V. **26**, 338 (1971).
- [8] *R.A.Arndt et al.* Phys. Rev. **D43**, 2131 (1991).
- [9] *R.A.Arndt et al.*, Phys.Rev. **C52**, 2120 (1995).
R.A.Arndt et al., nucl-th / 9807087; telnet said.phys.vt.edu, user: said
- [10] *G.Höhler*. Handbook of Pion-Nucleon Scattering. Physics Data, № **12-1**, (Fachinformationzentrum, Karlsruhe, 1979).
- [11] *R.E.Cutkosky et al.*, Phys.Rev. **D20**, 2839 (1979).
- [12] *I.G. Alekseev et al.* Phys. Lett. **B 351**, 585 (1995).
- [13] *Particle Data Group*. Review of Particle Data. // Eur. Phys. Journ. **C 15**, №1 (2000).