

УДК 539.1.07

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕКТОРНОЙ КОМПОНЕНТЫ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПУЧКА ДЕЙТРОНОВ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

Л.С.Ажгирей, В.Н.Жмыров, В.П.Ладыгин, Г.Д.Столетов

Проанализированы результаты мониторинга и измерения векторной поляризации пучка дейтронов синхрофазотрона ОИЯИ в течение нескольких сеансов работы ускорителя с помощью пучкового поляриметра, измеряющего асимметрию квазиупругого протон-протонного рассеяния на тонкой водородосодержащей мишени (CH_2). На основании результатов анализа оценена абсолютная величина векторной компоненты тензорно-поляризованного дейтронного пучка в экспериментах по измерению тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции фрагментации дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с. Приведены значения эффективной анализирующей способности $A(\text{CH}_2)$ поляриметра для нескольких энергий пучка дейтронов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Determination of the Vector Component of the Polarization of the JINR Synchrophasotron Deuteron Beam

L.S.Azhgirey et al.

The results of monitoring and measuring of the vector polarization of the JINR Synchrophasotron deuteron beam in few runs of the accelerator obtained by the beam polarimeter based on the measurements of the asymmetry of quasi-elastic proton-proton scattering on thin polyethylene target (CH_2) are analysed. Based on the analysis, an absolute value of the vector component of the tensor polarized deuteron beam in experiments on the measurement of the tensor analyzing power A_{yy} of the reaction of the fragmentation of deuterons with momentum of 9 GeV/c is determined. The values of the effective analyzing power for several deuteron beam energies are given.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

1. ВВЕДЕНИЕ

Экспериментальные исследования, проводимые на пучке поляризованных дейтронов синхрофазотрона ОИЯИ, требуют постоянного наблюдения за поляризацией пучка в ходе эксперимента [1]— [3]. Для этого был создан пучковый поляриметр векторно-поляризованных дейтронов промежуточных энергий, измеряющий асимметрию квазиупругого рассеяния протонов дейтрона на протонах водородосодержащей мишени (CH_2)

[4]. Цель настоящего сообщения состоит в том, чтобы привести результаты анализа работы пучкового поляриметра в течение нескольких сеансов работы синхрофазотрона и определить по величине наблюдаемой асимметрии абсолютную величину векторной компоненты тензорно-поляризованного пучка дейтронов при измерении тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции фрагментации дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с, а также оценить возможные систематические ошибки в измерении величины поляризации.

2. ПУЧКОВЫЙ ПОЛЯРИМЕТР

Пучковый поляриметр устанавливался в фокусе F4 ионопровода ВП1 в ЛВЭ ОИЯИ. Он состоит из восьми сцинтилляционных счетчиков, образующих два независимых плеча, каждое из которых регистрирует на совпадение рассеянные частицы и частицы отдачи от взаимодействия пучка с мишенью в соответствии с кинематикой упругого pp -рассеяния. Подробно поляриметр описан в [4].

Нормированные на один отсчет монитора числа событий N , соответствующих рассеянию налево (L) или направо (R) при разных состояниях поляризации пучка (+, -, 0), связаны с величиной поляризации P и анализирующей способностью реакции A соотношениями

$$N_L^\pm = N_L^0 (1 + P^\pm \cdot A), \quad (1)$$

$$N_R^\pm = N_R^0 (1 - P^\pm \cdot A). \quad (2)$$

Отсюда, с учетом возможной ложной асимметрии, которая оценивается на основании измерений с неполяризованным пучком, лево-правые асимметрии ϵ , соответствующие разным состояниям поляризации, можно представить в виде

$$\epsilon^\pm = \frac{N_L^\pm / N_R^\pm - N_L^0 / N_R^0}{N_L^\pm / N_R^\pm + N_L^0 / N_R^0} = P^\pm \cdot A. \quad (3)$$

В предположении, что при изменении направления вектора поляризации меняется только ее знак, но не величина, можно определить также так называемую асимметрию вверх-вниз, т.е. асимметрию числа отсчетов для отдельных плеч поляриметра при изменении направления вектора поляризации (вверх или вниз) относительно плоскости анализирующего рассеяния:

$$\epsilon_{L(R)} = \frac{N_{L(R)}^+ - N_{L(R)}^-}{N_{L(R)}^+ + N_{L(R)}^-} = P_{L(R)} \cdot A. \quad (4)$$

Таким образом, для определения поляризации пучка необходимо лишь знать анализирующую способность процесса рассеяния.

Поляриметр использовался в экспериментах по измерению разности полных сечений $\Delta\sigma_L$ np -рассеяния при различных ориентациях спинов продольно поляризованных нейтрона и протона в 1995 [1] и 1997 [5] гг. Для этих опытов использовался векторно-поляризованный пучок дейтронов, полученный с помощью источника "Полярис" [6]. В экспериментах по измерению тензорной анализирующей способности A_{yy} в реакции фрагментации дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с в 1997 [2,3] и 1998 гг. поляриметр служил для контроля векторной компоненты тензорно-поляризованного дейтронного пучка.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Абсолютную величину векторной поляризации можно получить по разности результатов измерений на мишенях CH_2 и C , воспользовавшись известной анализирующей способностью упругого pp -рассеяния. Такие измерения были проведены в 1997 г. [5] на векторно-поляризованном пучке дейтронов с импульсом $p_d = 2,96$ ГэВ/с (соответствующая кинетическая энергия протонов составляет $T_p = 0,81$ ГэВ). Угол рассеяния в поляриметре был выбран равным 14° , при этом анализирующая способность упругого pp -рассеяния составляет $A(pp) = 0,4697$ [7]. Полученная для разности CH_2-C асимметрия, усредненная по модам поляризации пучка, составила $\epsilon(pp) = 0,2661 \pm 0,0073$, что приводит к средней абсолютной величине поляризации пучка в этом сеансе $p_z = 0,567 \pm 0,016$. Асимметрия для полиэтиленовой мишени составила $\epsilon(CH_2) = 0,2572 \pm 0,0045$, что позволяет определить эффективную анализирующую способность для рассеяния на CH_2 , равную $A(CH_2) = 0,454$. Полагая, что при переходе к $T_p = 0,83$ величина $A(CH_2)$ изменяется подобно изменению $A(pp)$, составляющему, по данным [7], 1,6%, получаем для $T_p = 0,83$ $A(CH_2) = 0,447 \pm 0,008$.

Отметим, что при хорошей настройке пучка значения $A(pp)$ и $A(CH_2)$ не сильно различаются ввиду малого телесного угла поляриметра. Типичная скорость счета от углеродной мишени толщиной 3 мм составляла около 10% от скорости счета от полиэтиленовой мишени толщиной 5 мм, при этом скорость счета без мишени не превышала 2%, тогда как при плохо настроенном пучке скорость счета без мишени могла доходить до 20% от скорости счета от полиэтиленовой мишени.

Измерения разности полных сечений $\Delta\sigma_L$ np -рассеяния в 1995 г. [1] проводились при значениях импульсов дейтронов 3,00; 3,84; 6,64 и 9,00 ГэВ/с, и в 1997 г. [5] — при 2,96; 4,72; 5,14 и 6,00 ГэВ/с.

Значения асимметрий в сеансе 1997 г. [5] вместе с результатами, полученными в 1995 г. [4], представлены в табл. 1. Основываясь на этих данных и известных значениях поляризации пучка, теперь можно определить эффективную анализирующую способность для рассеяния на CH_2 ; результаты приведены на рис. 1 и в табл. 1.

Таблица 1. Асимметрии ϵ и эффективные анализирующие способности $A(CH_2)$, измеренные пучковым поляриметром

$p_d, /$	$T_p,$	Θ_{lab}°	ϵ	$A(CH_2)$	Работа
2,96	0,81	14	$0,2572 \pm 0,0045$	$0,454 \pm 0,008$	[5]
3,00	0,83	14	$0,1140 \pm 0,0050$	$0,447 \pm 0,008$	[2, 3]
3,00	0,83	14	$0,2460 \pm 0,0160$	$0,447 \pm 0,008$	[1, 4]
3,84	1,20	14	$0,2214 \pm 0,0015$	$0,402 \pm 0,026$	[1, 4]
4,72	1,60	14	$0,1905 \pm 0,0024$	$0,336 \pm 0,010$	[5]
5,14	1,80	14	$0,1606 \pm 0,0016$	$0,283 \pm 0,009$	[5]
6,00	2,20	14	$0,0935 \pm 0,0008$	$0,165 \pm 0,005$	[5]
6,64	2,51	8	$0,1434 \pm 0,0015$	$0,261 \pm 0,018$	[1, 4]
9,00	3,66	8	$0,0807 \pm 0,0020$	$0,147 \pm 0,011$	[1, 4]
9,00	3,66	8	$0,0339 \pm 0,0020$	$0,133 \pm 0,010$	[2, 3]

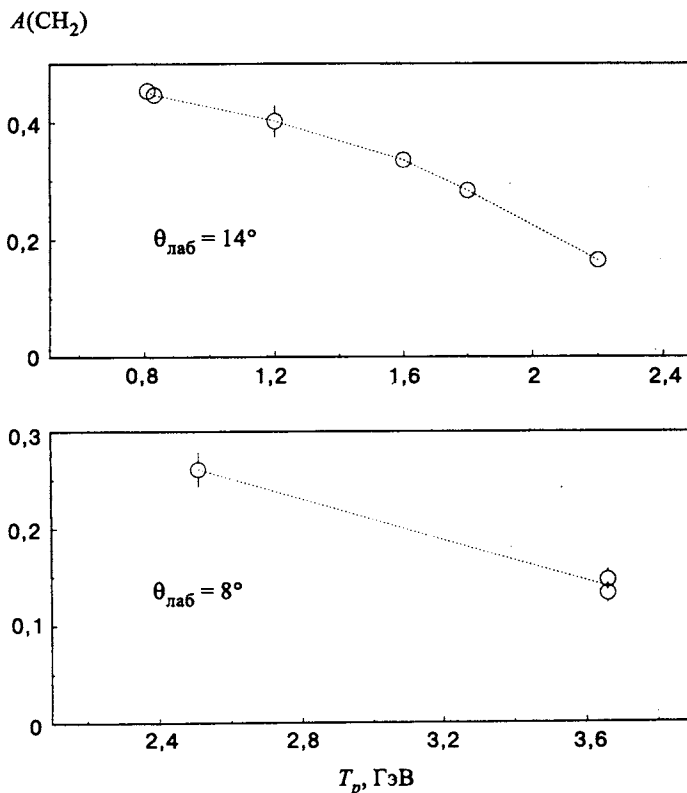


Рис. 1. Зависимости эффективной анализирующей способности $A(\text{CH}_2)$ от T_p для разных углов рассеяния протонов дейтрона на мишени: верхний и нижний рисунки — для углов 14° и 8° , соответственно

В опытах по измерению параметра A_{yy} реакции фрагментации дейтронов с испусканием протонов с большими поперечными импульсами [2, 3] пучковый поляриметр использовался для мониторинга векторной компоненты тензорно-поляризованных дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с.

Зависимость лево-правой асимметрии в рассеянии протонов дейтрона с импульсом 3 ГэВ/с на угол 14° от номера измерения, полученная в этих опытах при проведении измерений поляризации пучка, показана на рис. 2. Здесь темные и светлые символы соответствуют измерениям поляризации и контролю ее стабильности; они хорошо согласуются между собой. Усредненные по всем измерениям значения асимметрий составляют $0,111 \pm 0,007$ и $0,117 \pm 0,007$ для состояний поляризации "+" и "-", соответственно. С учетом определенной выше для этих условий анализирующей способности $A(\text{CH}_2) = 0,447 \pm 0,008$ получаем значения поляризаций пучка $p_z^+ = 0,248 \pm 0,016$ и $p_z^- = 0,262 \pm 0,016$.

Рис. 3 демонстрирует стабильность векторной компоненты поляризации пучка в ходе измерений самого параметра A_{yy} . Здесь приведена зависимость от номера файла лево-правой асимметрии в рассеянии протонов дейтрона с импульсом 9 ГэВ/с на угол 8° .

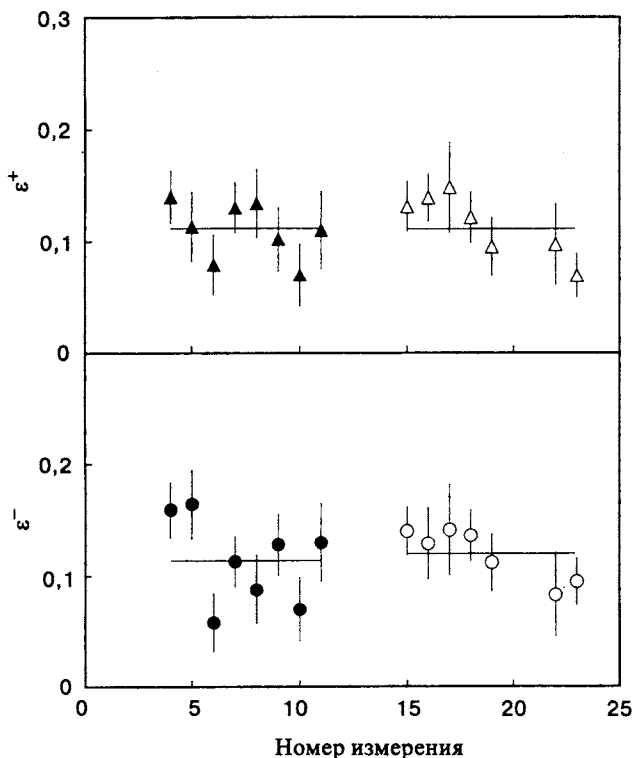


Рис. 2. Зависимости лево-правой асимметрии в рассеянии протонов дейтрона с импульсом 3 ГэВ/с на угол 14° от номера измерения, полученные во время калибровочных измерений в опытах по измерению параметра A_{yy} [2,3]; темные и светлые символы соответствуют измерениям поляризации и контролю ее стабильности

Снова темные и светлые точки получены, соответственно, в процессе контрольных измерений поляризации пучка и в ходе основных измерений. Состояниям поляризации "+" и "-" соответствуют усредненные значения асимметрий для контрольных измерений — $0,033 \pm 0,004$ и $0,035 \pm 0,004$ — и для основных измерений — $0,033 \pm 0,004$ и $0,034 \pm 0,004$. Оба набора хорошо согласуются между собой. В предположении неизменности поляризации в течение сеанса, что подтверждается зависимостями, показанными на рис. 2 и 3, определяем анализирующую способность $A(CH_2)$ рассеяния протонов дейтрона с импульсом 9 ГэВ/с на угол 8° . Она составляет 0,133, что согласуется со значением, полученным по данным 1995 г. [1,4]; усредненное значение равно $0,140 \pm 0,007$.

Эксперименты по измерению тензорной анализирующей способности A_{yy} фрагментации дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с с испусканием протонов с большими поперечными импульсами были продолжены в 1998 г. Зависимости от номера файла лево-правой асимметрии в рассеянии протонов дейтрона с импульсом 9 ГэВ/с на угол 8° , полученные в этих опытах, показаны на рис. 4. Усредненные по всем файлам значения асимметрий составляют $0,0338 \pm 0,0009$ и $0,0353 \pm 0,0009$ для состояний поляризации дейтрона "+" и "-", соответственно. Используя определенную выше анализирующую спо-

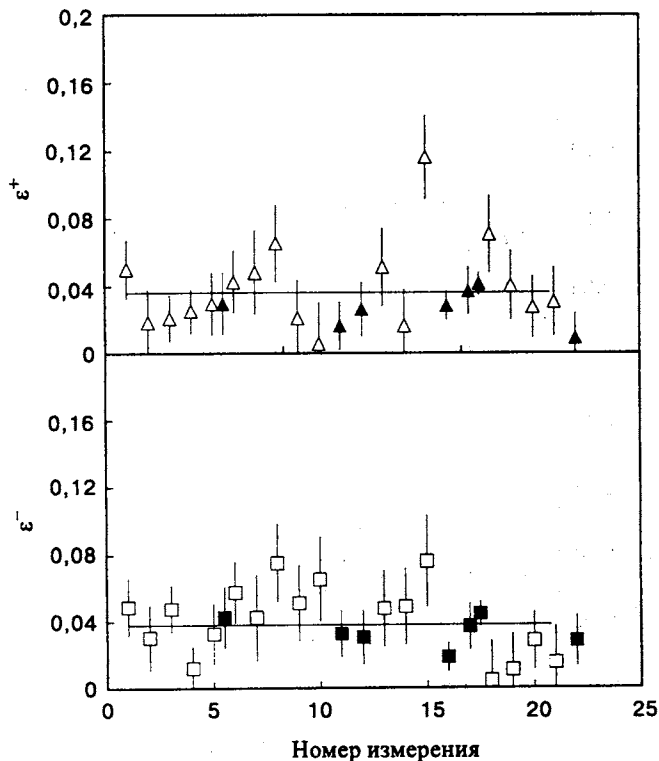


Рис. 3. Зависимость от номера измерения лево-правой асимметрии в рассеянии протонов дейтрона с импульсом 9 ГэВ/с на угол 8° ; темные и светлые точки получены, соответственно, в процессе контрольных измерений поляризации пучка и в ходе основных измерений в сеансе 1997 г.

Таблица 2. Векторная поляризация дейтронов, измеренная пучковым поляриметром в различных сеансах работы синхрофазотрона

$p_d, /$	$T_p,$	Θ_{lab}°	p_z^+	p_z^-	$\langle p_z \rangle$	год	Работа
2,96	0,81	14	$0,590 \pm 0,022$	$-0,543 \pm 0,022$	$0,567 \pm 0,016$	1997	[5]
3,00	0,83	14	$0,248 \pm 0,016$	$0,262 \pm 0,016$	$0,255 \pm 0,012$	1997	[2, 3]
9,00	3,66	8	$0,241 \pm 0,014$	$0,252 \pm 0,014$	$0,247 \pm 0,010$	1998	наст. раб.

способность $A(CH_2) = 0,140 \pm 0,007$ для этих условий, получаем значения поляризаций пучка $p_z^+ = 0,241 \pm 0,014$ и $p_z^- = 0,252 \pm 0,014$. Отметим, что такая же поляризация пучка, в пределах ошибок, была и в сеансе 1997 г. [5]. Статистические ошибки определения поляризации невелики, а возможные систематические ошибки составляют $\sim 9\%$ из-за неопределенности процедуры аппроксимации данных по анализирующей способности pp -рассеяния и $\sim 5\%$ из-за неопределенности выделения вклада рассеяния на водороде в мишени CH_2 .

Значения поляризаций пучка в разных сеансах работы ускорителя, оцененные на основе найденных значений $A(CH_2)$, сведены в табл. 2. Отметим, что они слегка выше,

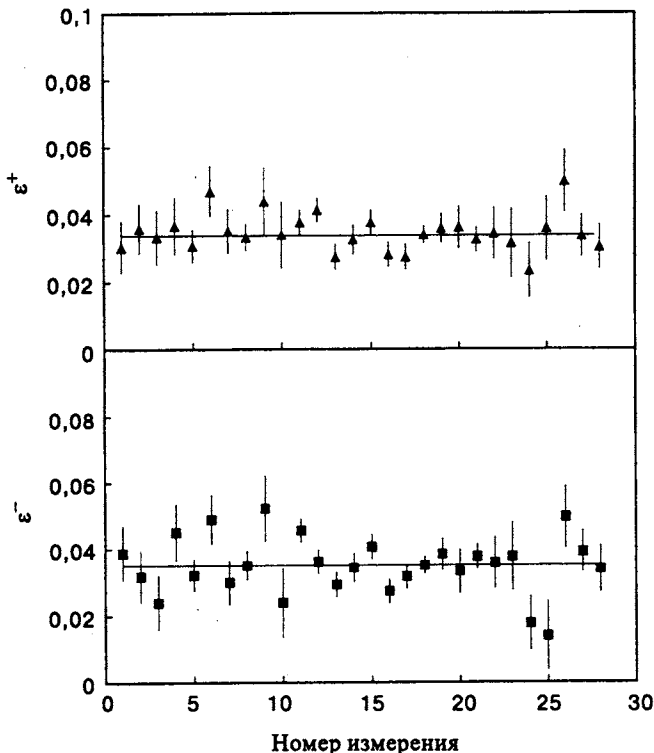


Рис. 4. Зависимости от номера измерения лево-правой асимметрии в рассеянии протонов дейтрона с импульсом 9 ГэВ/с на угол 8° , полученные в опытах по измерению параметра A_{yy} в сеансе 1998 г.

чем значения, получающиеся с поляриметром "Альфа" [8], который опирается на измерения асимметрии упругого dp -рассеяния. Возможно, это обусловлено недостаточно хорошим знанием анализирующих способностей упругих dp - и pp -рассеяний.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты сообщения сводятся к следующему.

Проанализирована работа пучкового поляриметра [4] в течение нескольких лет.

Показано, что полученные значения эффективной анализирующей способности $A(CH_2)$ поляриметра позволяют оценить величины векторной компоненты поляризованного пучка дейтронов в области энергий до 3,66 ГэВ/нуклон с достаточной точностью.

Авторы благодарны А.А.Жданову и Н.М.Пискунову за помощь в подготовке поляриметра к сеансу 1997 г., Л.В.Будкину за помощь при проведении измерений поляризации, а также Л.С.Золину, Ф.Легару, А.Н.Прокофьеву и В.И.Шарову за полезные обсуждения.

Литература

1. Adiasovich B.P. et al. — Z. Phys. 1996, v.C71, p.65.
2. Afanasiev S.V. et al. — Phys. Lett. 1998, v.B434, p.21.
3. Ажгирей Л.С. и др. — Препринт ОИЯИ Р1-199-98, Дубна, 1998; направлено в ЯФ.
4. Ажгирей Л.С. и др. — ПТЭ 1997, No.1, с.51.
5. Sharov V.I. et al. — Submitted to JINR Rapid Communications.
6. Anischenko N.G. et al. — Proc. of the 5-th Int. Symp. on High Energy Spin Physics (Brookhaven, 1982), AIP Conf. Proc. 1983, v.95, p.445.
7. Arndt R.A. et al. — Phys. Rev. 1997, v.C56, p.3005.
8. Ableev V.G. et al. — Nucl. Instr. and Meth. 1991, v.A306, p.73.