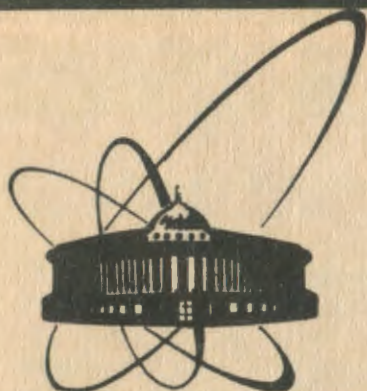


90-106



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

A 187

P10-90-106

В.В.Авдейчиков*, Н.Г.Анищенко, Б.В.Василишин,
В.И.Волков, И.И.Куликов, В.А.Мончинский,
П.В.Номоконов, Ю.К.Пилипенко, В.В.Фимушкин

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕНЗОРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ
ДЕЙТРОННОГО ПУЧКА
НА ВЫХОДЕ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЛУ-20

*РИАН им В.Г.Хлопина, Ленинград

1990

ВВЕДЕНИЕ

По программе физических исследований ежегодно, начиная с 1981 г., на синхрофазотроне ОИЯИ проводятся сеансы по ускорению поляризованных дейтронов, получаемых с помощью источника "Полярис" ^{1, 2}. Для измерения векторной и тензорной поляризации пучка на выходе линейного ускорителя ЛУ-20 разработан поляриметр, использующий реакции ${}^4\text{He}(\vec{d}, d){}^4\text{He}$ и ${}^3\text{He}(\vec{d}, p){}^4\text{He}$, рекомендуемые для поляриметров при энергиях $12 \div 14$ МэВ ^{3, 4}.

Ранее в ⁵ приводилось описание поляриметра для измерения векторной поляризации. В настоящей работе описываются методика и установка для измерения тензорной поляризации, а также приводятся кратко результаты измерений.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Измерение тензорной поляризации основано на регистрации продуктов реакции ${}^3\text{He}(\vec{d}, p){}^4\text{He}$, позволяющей в принципе определить все моменты матрицы тензорной поляризации пучка. Пучок поляризованных дейтронов взаимодействует с газовой мишенью ${}^3\text{He}$, и по выходу протонов-продуктов реакции определяем момент поляризации.

В общем случае выход протонов под углом θ в направлении левого и правого плеча описывается, соответственно, формулами

$$N_L = K_L \sigma_0(\theta) B [1 + 2i T_{11}(\theta) t_{11} + T_{20}(\theta) t_{20} + 2 T_{21}(\theta) t_{21} + 2 T_{22}(\theta) t_{22}],$$

(1)

$$N_R = K_R \sigma_0(\theta) B [1 - 2i T_{11}(\theta) t_{11} + T_{20}(\theta) t_{20} - 2 T_{21}(\theta) t_{21} + 2 T_{22}(\theta) t_{22}],$$

где $\sigma_0(\theta)$ — сечение реакции для неполяризованного пучка; B — количество дейтронов, провзаимодействовавших с мишенью; множители K_L и K_R зависят от толщины мишени и эффективности детектора;

t_{kq} и T_{kq} — моменты поляризации пучка и анализирующей способности реакций, соответственно.

Оценки скорости набора статистики показывают, что мы можем измерять на ЛУ-20 при разумной скорости счета лишь выход протонов при малых углах, т.е. компоненту T_{20} . При этом все остальные моменты матрицы анализирующей способности пренебрежимо малы. Таким образом, мы имеем выражение для выхода протонов под нулевым углом.

$$N_p = K \sigma_0 B [1 + T_{20} t_{20}] . \quad (2)$$

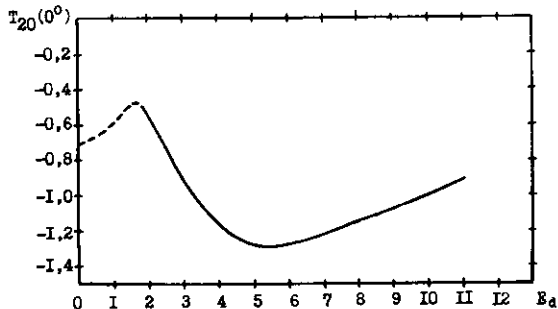


Рис. 1. Зависимость T_{20} от энергии налетающих дейтронов для реакции ${}^3\text{He}(\vec{d}, p){}^4\text{He}$.

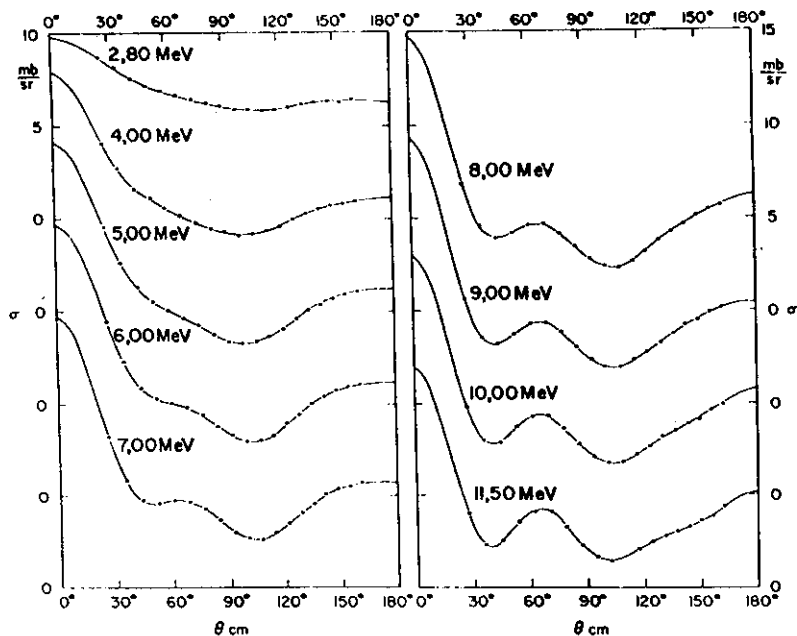


Рис.2. Угловое распределение сечения реакции ${}^3\text{He}(\vec{d}, p){}^4\text{He}$ для разных энергий.

Зависимости T_{20} и сечения реакции ${}^3\text{He}(\vec{d}, p){}^4\text{He}$ от энергии налетающих дейтронов приведены на рис.1 и рис.2, соответственно. Анализирующая способность реакции достаточно велика и составляет при энергии 6 МэВ величину $T(0) = -1,3$. Энергия дейтронов снижается с 10 до 6 МэВ из-за торможения в стенках камеры рассеяния.

В приведенных формулах моменты тензора t_{kq} относятся к системе координат, в которой спин перпендикулярен оси пучка. В источнике поляризованных дейтронов спин выстроен вдоль направления движения (аксиальная симметрия), а уже затем поворачивается на 90° перед инжекцией в ускоритель.

Если спин составляет с направлением движения дейтрона угол α , то

$$t_{20} = \hat{t}_{20} \frac{1}{2} (3 \cos^2 \alpha - 1),$$

где t_{20} — момент в системе координат, где происходит рассеяние, \hat{t}_{20} — момент в аксиально-симметричной системе, где происходит поляризация.

В нашем случае $\alpha = 90^\circ$, и тогда

$$t_{20} = -\frac{1}{2} \hat{t}_{20}. \quad (3)$$

Тензорная поляризация пучка определяется обычно как

$$P_{ZZ} = (1 - 3N_0),$$

где N_0 — доля дейтронов с нулевой проекцией спина на ось квантования

$$\langle \hat{t}_{20} \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} P_{ZZ} = \frac{1}{\sqrt{2}} (1 - 3N_0).$$

Согласно (2) и (3) отношение выхода протонов реакции тензорно-поляризованного пучка N_p к неполяризованному N_0

$$R = \frac{N_p}{N_0} = (1 + T_{20} t_{20}) = \left(1 - \frac{1}{2\sqrt{2}} T_{20} P_{ZZ}\right).$$

Для энергии взаимодействующих дейтронов 6 МэВ ($T = -1,3$) получим

$$N_p = N_0 (1 + 0,46 P_{ZZ}). \quad (4)$$

Формула (4) записана в предположении, что интенсивность поляризованного I_p и неполяризованного I_0 пучка дейтронов одинакова. В противном случае мы должны произвести нормировку на интенсив-

ность первичного дейтронного пучка.

$$\frac{N_p}{I_p} = \frac{N_0}{I_0} (1 + 0,46 P_{ZZ}) ,$$

откуда получаем окончательно

$$P_{ZZ} = \frac{I_0 \cdot N_p - I_p N_0}{0,46 I_p N_0} . \quad (5)$$

КОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯРИМЕТРА

Энергетический выход реакции ${}^3\text{He}(\vec{d}, p){}^4\text{He}$ достаточно велик, и энергия вылетающих под малыми углами протонов составляет ~20 МэВ. Эти протоны свободно проходят через стальную пластинку толщиной ~1 мм, в то время как продукты других реакций и первичные дейтроны полностью поглощаются, что облегчает задачу регистрации протонов полупроводниковым детектором.

Схематически конструкция поляриметра показана на рис.3. В конструкции можно выделить два узла: 1) для регистрации дейтронов с целью нормировки на интенсивность первичного пучка; 2) для регистрации протонов с энергией 20 МэВ. В первую часть входят мишенная станция (1) с приводным устройством (2) и мишенью (3) из золотой фольги толщиной 1 мкм и два детектора (4) толщиной 200 мкм, расположенные симметрично в двух рукавах под углом ~15° к оси канала. Вторая часть поляриметра включает наполненную ${}^3\text{He}$ под давлением ~3 атм камеру (5) диаметром 37 мм и длиной 80 мм, выполненную из нержавеющей стали, с лавсановым окном (6) диаметром 8 мм и толщиной 250 мкм на входе и доньшком толщиной 0,3 мм; поглотитель (7) из нержавеющей стали на выходе и кремниевый детектор толщиной 0,8 мм и диаметром 15 мм.

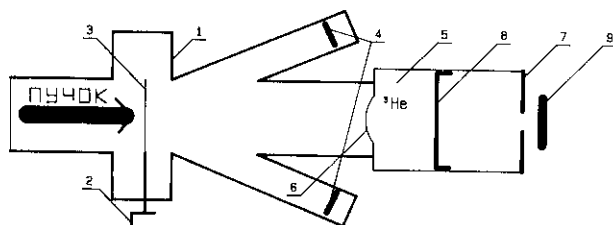


Рис. 3. Схема конструкции поляриметра.

Камера с ^3He и детекторной сборкой с помощью второго приводного устройства может выводиться из-под первичного пучка.

Поляриметр установлен на ионопроводе канала инъекции после первого триплета квадрупольных линз на расстоянии ~4 мм от выхода ЛУ-20.

ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА

Электронная аппаратура поляриметра включает три идентичных спектрометрических канала: канал для регистрации протонов и два мониторинговых канала для регистрации первичных дейтронов, рассеянных на тонкой фольге из Au. Структурная схема одного из этих каналов показана на рис.4. Сигналы с детекторов (Д) длительностью 0,5 мкс подаются на входы трех зарядочувствительных предусилителей (ПУ), вырабатывающих сигналы двух типов: E — с амплитудой, пропорциональной поглощенной энергии частицы, который используется для амплитудного анализа; T — быстрые сигналы для организации блокировки и импульсов запуска аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Сигнал E после дополнительного усиления в спектрометрическом усилителе (СУ) и формирования в (ВПС) преобразуется в цифровой код с помощью импульсного АЦП (САМ 4.04-1; ЦИФИ, ВНР) с буферной памятью 12 x 64 слов. T — сигналы после дополнительного усиления в быстрых усилителях (БУ), подаются на входы дискриминаторов уровней (ДУ), настроенных так, чтобы исключить ложные запуски АЦП от помех. После ДУ быстрый импульс поступает на один из входов схемы совпадений (СС), на другой вход которого подается формируемая таймером T — полка длительностью, немного превышающей длительность инъекции. Выработанные СС-импульсы после преобразователя уровней (П) используются в качестве запускающих для АЦП.

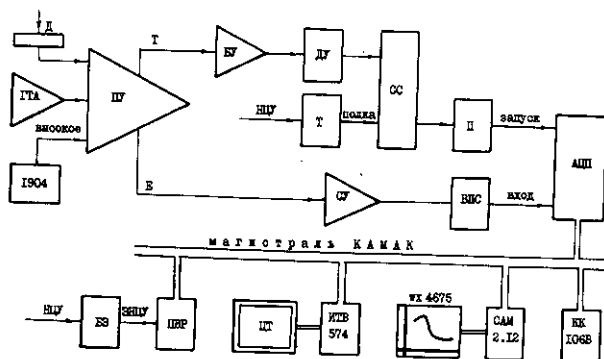


Рис. 4. Структурная схема одного спектрометрического канала поляриметра.

Электронная аппаратура КАМАК подключена к ЭВМ СМ-3 с помощью крейт-контроллера 106В (POLON, ПНР). Для оперативного представления информации используется цветной телемонитор, подключенный с помощью интерфейсов ИТВ-574 и ИТВР-575. Документирование результатов производится с помощью печатающего устройства DZM-180 и графопостроителя WX-4675 (WATANABE, Япония), подключенного к ЭВМ через выходной регистр САМ-2.12 (ЦИФИ, ВНР).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Математическое обеспечение поляриметра включает программный модуль TENSР3.SAV, обеспечивающий все измерения в режиме ON-LINE и возможность просмотра накопленной информации в режиме OFF-LINE, а также модуль WXPOL.SAV, позволяющий документировать результаты с помощью графопостроителя.

Для хранения измеренных данных на магнитном диске организован файл TENSР3.DAT размером 467 блоков, позволяющий хранить информацию 38 независимых наборов измерений — "версий". Под дополнительную сопроводительную информацию и комментарий выделены в этом файле блоки 0—9 и 466. Остальные блоки содержат данные об измеренных спектрах. В каждом цикле ускорителя производится измерение спектров с протонного и двух мониторных датчиков. Второй мониторный детектор, установленный симметрично первому, повышает надежность работы поляриметра и достоверность результатов измерений. Для хранения одного спектра требуется один блок файла данных. В процессе измерений происходит циклическое чередование от цикла к циклу ускорителя следующих четырех режимов установки "Полярис": 1) отсутствие поляризации, 2) 2 → 6 ВЧ-переход, 3) 3 → 5 ВЧ-переход, 4) одновременный 2 → 6 и 3 → 5 ВЧ-переходы. Таким образом, процесс проведения одного независимого набора измерений включает в себя получение 12 спектров, требующих 12 блоков памяти файла данных.

После окончания импульса инжекции в памяти каждого из трех АЦП находятся измеренные значения энергий частиц, зарегистрированных соответствующим детектором и откалиброванные так, что максимально возможное значение < 256. Информация о типе ВЧ-перехода или об отключении ВЧ-ячейки (отсутствие поляризации) считывается программой с параллельного входного регистра (ПВР).

Модификация файла данных в соответствии с результатами измерений спектров производится в каждом цикле. Затем выполняется обработка результатов, сводящаяся к получению гистограмм спектров, вычислению коэффициентов поляризации и некоторых вспомогательных величин.

Для удобства восприятия на цветной телемонитор (ЦТ) выдаются спектры с одного выбранного детектора для всех трех ВЧ-переходов одним цветом и для неполяризованного пучка другим. Выбор детектора производится с кнопочной панели пульта управления.

В программе предусмотрен диалоговый режим, инициируемый с кнопочной панели, в котором осуществляется ввод необходимых констант. Этот режим предоставляет также следующие услуги: переход на новую версию; очистка буферов данных выбранной версии; распечатка данных указанной версии; задание границ спектра, в рамках которых выполняются расчеты.

Синхронизация с циклом работы ускорителя осуществляется по импульсу "Начало цикла ускорения", фиксируемому на ПВР.

Документирование данных с помощью графопостроителя реализуется программой WXPOL, предоставляющей большую часть перечисленных выше услуг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Типичные спектры с протонного и мониторингового детекторов представлены на рис.5. В оптимальном режиме настройки ячеек ядерной поляризации источника "Полярис" измеренная величина тензорной поляризации пучка дейтронов составляет $+0,62 \pm 0,08$ (переход $2 \div 6$) и $-0,70 \pm 0,08$ (переход $3 \div 5$).

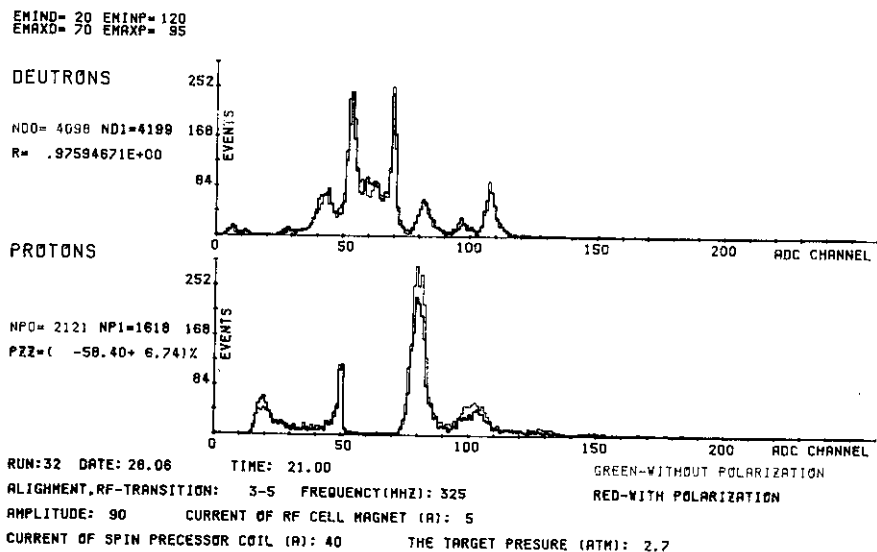


Рис. 5. Типичные спектры с протонного и мониторингового детекторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belushkina A.A. et al. — JINR, E13-80-500, Dubna, 1980.
2. Анищенко Н.Г. и др. — ОИЯИ, 9-82-177, Дубна, 1982.
3. Stephenson K., Haerberly W. — Nucl. Instr. and Meth., 1980, p.169.
4. Gruebler W. et al. — Nucl. Instr. and Meth, 1982, p.203.
5. Авдейчиков В.В. и др. — ОИЯИ, 13-84-20, Дубна, 1984.
6. Gruebler W. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1971, p.A176.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 февраля 1990 года.