

1099



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

---

Ю.П. Кумекин, М.Г. Мещеряков, С.Б. Нурушев, Г.Д. Столетов

1099

ПРОДОЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ ПУЧОК ПРОТОНОВ  
ШЕСТИМЕТРОВОГО СИНХРОЦИКЛОТРОНА

Дубна 1962 год

Ю.П. Кумекин, М.Г. Мещеряков, С.Б. Нурушев, Г.Д. Столетов

1099

ПРОДОЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ ПУЧОК ПРОТОНОВ  
ШЕСТИМЕТРОВОГО СИНХРОЦИКЛОТРОНА

Дубна 1962 год

Описан эксперимент, в котором был получен продольно поляризованный пучок протонов с энергией 612 Мэв. Степень продольной поляризации пучка равна 43%, достигнутая плотность потока в пучке составляет  $2 \cdot 10^6$  протонов/см<sup>2</sup>сек.

Количественное изучение спиновой зависимости ядерного взаимодействия при высоких энергиях связано с проведением на мощных ускорителях опытов по рассеянию протонов протонами и нейтронами. Получаемые при этом данные могут быть полными только в том случае, когда в таких опытах, наряду с неполяризованными и поперечно поляризованными пучками, используются также продольно поляризованные пучки протонов<sup>/1/</sup>.

Выполняемая на шестиметровом синхроциклотроне Объединенного института ядерных исследований программа полного опыта по рассеянию протонов протонами включает в себя проведение опытов с использованием продольно поляризованного пучка протонов. Ниже описывается эксперимент, в котором был получен продольно поляризованный пучок протонов с энергией 612 Мэв и изучены его характеристики. Схема эксперимента была предложена С.Б.Нурушевым в 1959 году<sup>/2/</sup>. В отличие от известных способов получения продольно поляризованных пучков протонов при меньших энергиях<sup>/3,4/</sup> в описываемом эксперименте поляризующее рассеяние происходило в вертикальной плоскости вне камеры синхроциклотрона. Это позволило получить продольно поляризованный пучок в горизонтальной плоскости, причем вектор поляризации можно было направлять по или против импульса протона в пучке.

Схема эксперимента представлена на рисунке. Выведенный из камеры 1 синхроциклотрона неполяризованный пучок протонов отклонялся вверх на угол  $\psi = 2^\circ$ . Горизонтальная составляющая магнитного поля, необходимая для этого отклонения, создавалась в начале траектории выведенного пучка в области рассеянного магнитного поля ускорителя специальными магнитными насадками 2. Подробный расчет размеров насадок и выбор их оптимального положения относительно магнита синхроциклотрона проведен в работе<sup>/2/</sup>. Слегка направленный вверх первичный пучок после коллимирования /коллиматор 3/ и фокусировки квадрупольными линзами 4 попадал в горизонтальное магнитное поле магнита 5, где он отклонялся в вертикальной плоскости вниз на угол  $8^\circ$ . В месте пересечения пучка с медианной плоскостью ускорителя располагался рассеиватель 6 из графита, служивший поляризатором. Коллиматором 8 отбирались рассеянные на угол  $\theta_1 = 6^\circ$  протоны, траектории которых лежали в горизонтальной плоскости. Угол рассеяния можно было изменять, варьируя углы отклонения вверх и последующего отклонения вниз в магните 5 первичного пучка, что позволяло изменять степень поляризации вторичного пучка. Значение  $\theta_1 = 6^\circ$  отвечает максимуму произведения  $\frac{d\sigma}{d\omega}(\theta) \cdot P_1(\theta)$ , где  $\frac{d\sigma}{d\omega}(\theta)$  - дифференциальное сечение упругого рассеяния протонов на ядрах углерода, а  $P_1(\theta)$  - поляризация в этом процессе<sup>/5/</sup>. Таким образом достигались оптимальные экспериментальные условия для проведения опытов по тройному рассеянию протонов.

Вторичные протоны, вектор поляризации которых направлен по нормали к плоскости рассеяния, выйдя из коллиматора 8, попадали в вертикальное магнитное поле 9.

Для усиления магнитного поля в магните 9 были установлены дополнительные насадки, обеспечивающие также частичную фокусировку пучка. Ввиду наличия у протона аномального магнитного момента, спин протона будет прецессировать в таком магнитном поле со скоростью, отличной от скорости изменения направления вектора импульса протона. При этом угол прецессии  $\chi$  относительно направления вектора импульса связан с углом отклонения  $\psi$  пучка в магнитном поле соотношением:

$$\chi = \frac{\mu_p - 1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \psi,$$

где  $\mu_p$  - магнитный момент протона в ядерных магнетонах,

$\beta$  - скорость протона в единицах скорости света.

В результате прецессии возникает продольная компонента поляризации  $P_{\text{прод}} = P_1 \sin \chi$ . При  $\chi = 90^\circ$  пучок будет иметь только продольную компоненту поляризации. Этими соображениями определяется выбор значения угла отклонения  $\psi$ , при котором может быть получен полностью продольно поляризованный пучок с начальной энергией 660 Мэв.

Полученный в результате отклонения на угол  $\psi = 30^\circ$  продольно поляризованный пучок фокусировался квадрупольными линзами 10 и через коллиматор 12 направлялся к регистрирующим установкам 16 и 17. Мониторами первичного неполяризованного и продольно поляризованного пучков протонов служили ионизационные камеры 7 и 13. В геометрических условиях, показанных на рис. 1, вектор поляризации полученного пучка был направлен против импульса протона. При выборе угла первичного отклонения  $\psi = -2^\circ$  и последующем отклонении неполяризованного пучка в магните 5 на угол  $8^\circ$  вверх, направление продольной поляризации изменится на обратное. Практически такую операцию можно выполнить за 15-20 минут.

Интенсивность пучка составляла  $2 \cdot 10^6$  протонов/см<sup>2</sup>/сек.

Энергия продольно поляризованного пучка была определена посредством измерения пробегов протонов в меди / установки 14 и 15/ и составляет  $E_{\text{прод}} = 612 \pm 9$  Мэв. Это значение согласуется с энергией первичного пучка  $E_0 = 663 \pm 7$  Мэв, измеренной тем же методом, если учесть энергетические потери в углеродном поляризаторе толщиной 23 г/см<sup>2</sup>. Энергии  $E_{\text{прод}} = 612 \pm 9$  Мэв и углу отклонения  $\psi = 30^\circ$  соответствует угол прецессии  $\chi = 89^\circ \pm 2,5^\circ$ . При этом степень продольной поляризации  $P_{\text{прод}}$  практически равна поляризации  $P_1$ , возникающей при рассеянии первичного пучка в поляризаторе 6. Значение  $P_1$  было измерено в отдельном опыте, в котором первичное отклонение пучка и рассеяние в поляризаторе 6 осуществлялось в горизонтальной плоскости при сохранении неизменными всех остальных геометрических условий. Полученное значение  $P_1 = 0,43 \pm 0,03$  согласуется с данными работы /5/.

Путем анализа вторичного р+р - рассеяния на поляриметрах 16 и 17, состоящих из полиэтиленовых рассеивателей и сопряженных сцинтилляционных счетчиков-детекторов р+р - рассеяния, было проверено отсутствие у продольно поляризованного пучка вертикальной и горизонтальной поперечных компонент поляризации. Об этом свидетельствовал тот факт, что в пределах точности измерений, равной  $\pm 0,02$  по абсолютной величине, не

наблюдалось асимметрии в распределении вторично рассеянных протонов на угол  $21^\circ$ , как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях.

Определение пространственного положения траекторий первичного и вторичного пучков, а также выбор условий наилучшей фокусировки производились путем снятия автографов поперечных сечений пучков вдоль всего тракта и измерения их интенсивностей. В месте расположения поляризатора 6 изображение пучка имело форму круга диаметром 30 мм.

Распределение плотности потока протонов в продольно поляризованном пучке между поляриметрами 16 и 17 исследовалось с помощью специального устройства, состоящего из двух сцинтилляционных счетчиков и электронного автоматического потенциометра ЭПП-0,9. Сцинтилляторы имели форму цилиндров диаметром 3 мм и высотой 50 мм и располагались вертикально и горизонтально в плоскости, перпендикулярной направлению пучка. Счетчики могли дистанционно перемещаться: один - по горизонтали, другой - по вертикали. На диаграмме потенциометра ЭПП-0,9 регистрировался ток через фотоумножители каждого счетчика в зависимости от положения счетчика относительно оси пучка. Одновременно наносился горизонтальный и вертикальный масштабы. Полученные кривые свидетельствовали об отсутствии заметной асимметрии в распределении плотности потока протонов в пучке.

Следует отметить, что одновременно с продольно поляризованным пучком протонов через соседний коллиматор 11 выходил продольно поляризованный пучок нейтронов, возникающих в результате обменного взаимодействия протонов в углеродном поляризаторе. Согласно оценке, для нейтронов, испущенных с энергией 610 Мэв, угол прецессии  $\chi_n$  спина в магнитном поле 9 составляет  $\sim 95^\circ$ .

Авторы выражают благодарность Л.П.Москалевой за помощь при измерении интенсивности продольно поляризованного пучка протонов.

#### Л и т е р а т у р а

1. L.Wolfenstein. Phys. Rev. 96, 1654 (1954).
2. С.Б.Нурушев, Ю.П.Кумекин, К.С.Мариш, Г.Д.Столетов. Препринт ОИЯИ, Р-278, 1959 г.
3. J.E.Simons. Phys. Rev. 105, 416 (1956).
4. A.C.England, W.A.Gibson, K.Gotow, E.Heer, J.Tinlot. Phys. Rev. 124, 561 (1961).
5. Л.С.Ажгирей, Ю.П.Кумекин, М.Г.Мещеряков, С.Б.Нурушев, Г.Д.Столетов, Хуан Де-цян. ЖЭТФ / в печати/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 июля 1962 года.

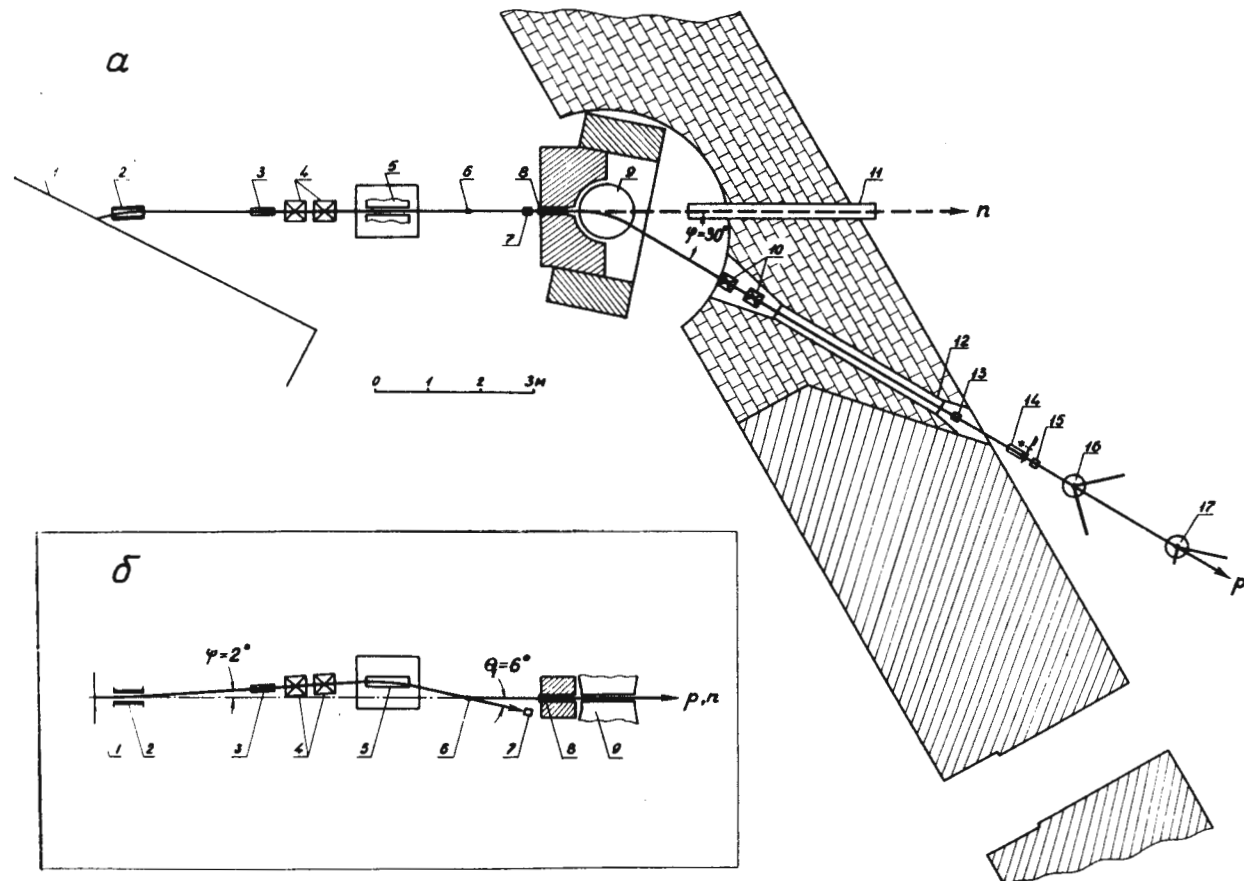


Схема расположения аппаратуры в эксперименте по получению продольно поляризованного пучка протонов с энергией  $1612 \pm 9$  Мэв.

а/ Вид сверху.  
 б/ Вид сбоку.