53
БИБЛИОТЕКА

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Атомная энергия

14444

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
А. И. АЛИХАНОВ, А. А. БОЧВАР, А. П. ВИНОГРАДОВ,
И. А. ВЛАСОВ (зам. главного редактора), И. Н. ГОЛОВИН,
Н. А. ДОЛЛЕЖАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН,
Н. Ф. КВАРЦХАВА, Н. А. КОЛОКОЛЬЦОВ (зам. главного редактора),
А. К. КРАСИН, А. В. ЛЕБЕДИНСКИЙ, А. И. ЛЕЙПУНСКИЙ,
М. Г. МЕЩЕРЯКОВ, М. Д. МИЛЛИОНЩИКОВ (главный редактор),
И. И. НОВИКОВ, В. С. ФУРСОВ, В. В. ШЕВЧЕНКО,
К. Э. ЭРГЛИС, М. Н. ЯКУТОВИЧ

ЯНВАРЬ
ТОМ 14 1963 ВЫП. 1

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скорины

ПРОДОЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ ПУЧОК ПРОТОНОВ ШЕСТИМЕТРОВОГО СИНХРОЦИКЛОТРОНА

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

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 опытах наряду с неполяризованными и поперечно поляризованными пучками используются также продольно поляризованные пучки протонов [1].

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 г. [2]. В отличие от известных способов получения продольно поляризованных пучков протонов при меньших энергиях [3, 4] в описываемом эксперименте поляризующее рассеяние происходило в вертикальной плоскости вне камеры синхроциклотрона. Это позволило получить продольно поляризованный пучок в горизонтальной плоскости, причем вектор поляризации мог быть направлен как параллельно, так и антипараллельно импульсу протона в пучке.

Схема эксперимента представлена на рисунке. Выведенный из камеры *1* синхроциклотрона неполяризованный пучок протонов отклонялся вверх на угол $\varphi = 2°$. Горизонтальная составляющая магнитного поля, необходимая для этого отклонения, создавалась в начале тракта выведенного пучка в области рассеянного магнитного поля ускорителя специальными магнитными насадками *2*. Подробный расчет размеров насадок и выбор их оптимального положения относительно магнита синхроциклотрона приведен в работе [2]. Слегка направленный вверх первичный пучок после коллимирования (коллиматор *3*) и фокусировки квадрупольными линзами *4* попадал в горизонтальное магнитное поле магнита *5*, где пучок отклонялся в вертикальной плоскости вниз на угол 8°. В месте пересечения пучка с медианной плоскостью ускорителя располагался рассеиватель *6* из графита, служивший поляризатором. Коллиматор *8* отбирал рассеянные на угол $\theta = 6°$ протоны, траектории которых лежали в горизонтальной плоскости. Угол рассеяния можно было изменять, варьируя углы отклонения первичного пучка, что позволяло изменять степень поляризации вторичного пучка. Значение $\theta = 6°$ отвечает максимуму произведения $\frac{d\sigma}{d\omega}(\theta)P_1(\theta)$, где $\frac{d\sigma}{d\omega}(\theta)$ — дифференциальное сечение упругого рассеяния протонов на ядрах углерода, а $P_1(\theta)$ — поляризация в этом процессе [5]. Таким образом достигались оптимальные 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 магнита *9*. Для усиления магнитного поля в магните *9* были установлены дополнительные насадки, обеспечивавшие также частичную

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скорины

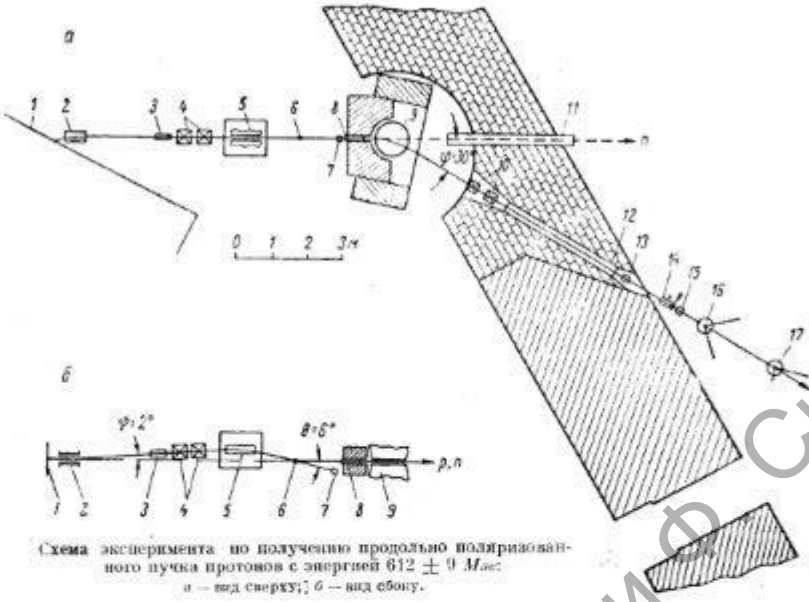

Схема эксперимента по получению продольно поляризованного пучка протонов с энергией 612 ± 9 *Мэв*:
а — вид сверху; *б* — вид сбоку.

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 χ относительно направления вектора импульса связан с углом отклонения φ пучка в магнитном поле соотношением

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

где μ_p — магнитный момент протона в ядерных магнетонах; β — скорость протона в единицах скорости света.

В результате прецессии возникает продольная компонента поляризации $P_{прод} = P_1 \sin\chi$. При $\chi = 90°$ пучок будет иметь только продольную компоненту поляризации. Приведенные соотношения позволяют выбрать угол отклонения φ таким, чтобы получить полностью продольно поляризованный пучок при начальной энергии первичного пучка 660 *Мэв*.

Полученный в результате отклонения на угол $\varphi = 30°$ 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 рисунке, вектор поляризации полученного пучка направлен против импульса протона. Если взять угол первичного отклонения $\varphi = -2°$ и затем отклонять неполяризованный пучок в магните *5* на угол 8° вверх, то направление продольной поляризации изменится на обратное. Практически такую операцию можно выполнить за 15—20 *мин*. Достигнутая плотность потока в пучке составляла $2 \cdot 10^6$ *протонов/см²·сек*.

Энергия продольно поляризованного пучка была определена измерением пробегов протонов в меди (установки *14* и *15*) и составляла $E_{прод} = 612 \pm 9$ *Мэв*. Это значение согласуется с энергией первичного пучка $E_0 = 663 \pm 7$ *Мэв*, измеренной тем же методом при учете энергетических потерь в углеродном поляризаторе толщиной 23 *г/см²*. Энергии $E_{прод} = 612 \pm 9$ *Мэв* и углу откло-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скорины

нения $\varphi = 30°$ соответствует угол прецессии $\chi = 89 \pm 2{,}5°$. При этом степень продольной поляризации $P_{прод}$ практически равна степени 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* осуществлялись 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 $p+p$-рассеяния на поляриметрах *16* и *17*, состоящих из полиэтиленовых рассеивателей и сопряженных сцинтилляционных счетчиков, было установлено, что у продольно поляризованного пучка нет вертикальной и горизонтальной поперечных компонент поляризации. Об этом свидетельствовал тот факт, что в пределах точности измерений, равной $\pm 0{,}02$ по абсолютной величине, как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях не наблюдалось асимметрии в распределении вторично рассеянных протонов на угол 21°.

Определение пространственного расположения траекторий первичного и вторичного пучков, а также выбор условий наилучшей фокусировки производились по автографам поперечных сечений пучков вдоль всего тракта и с помощью измерений интенсивностей пучков. В месте расположения поляризатора *6* сечение 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-09. Сцинтилляторы имели форму цилиндриков 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-09 регистрировался ток фотоумножителя каждого счетчика в зависимости от положения счетчика относительно оси пучка. Одновременно наносились горизонтальный и вертикальный масштабы. Полученные кривые свидетельствовали об отсутствии заметной асимметрии в распределении плотности 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. Для нейтронов, испущенных с энергией 610 *Мэв*, угол прецессии χ_n спина в магнитном поле *9* составляет $\sim 95°$.

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

Поступила в Редакцию 16/X 1962 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. Wolfenstein. Phys. Rev., 96, 1654 (1954).
2. С. Б. Нурушев и др. Препринт ОИЯИ, Р-278, 1959.
3. J. Simons. Phys. Rev., 104, 416 (1956).
4. A. England et al. Phys. Rev., 124, 561 (1961).
5. Л. С. Ажгирей, Хуан Де-цзян. «Ж. эксперим. и теор. физ.», 44, вып. 1 (1963).

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ