

О РЕГИСТРАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКА ПРОТОНОВ В ЦИКЛОТРОНЕ ПРИ МНОГОКРАТНОМ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ МИШЕНЬ

И.Я. Барит, Л.Н. Кацауров, Л.П. Нечаева, Ю.К. Хохлов

УДК 621.384.63 + 53.082.79

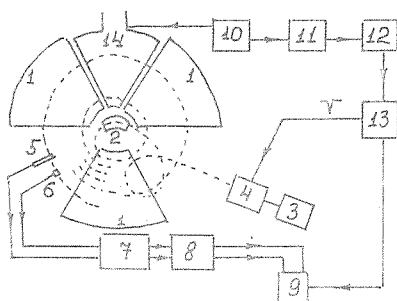
Описана методика измерений тока пучка, многократно пересекающего тонкую мишень, изготовленную из Al_2O_3 , в секторном циклотроне на 600 кэВ и энергетического разброса ускоренных ионов в этом пучке.

В ряде работ [1,2] теоретически рассматривался вопрос о реализации в циклотроне режима многократного прохождения через тонкую мишень пучка ускоренных протонов. Основной интерес при изучении многократного прохождения представляет увеличение тока на мишень при сохранении качества пучка. В работе рассматривается методика измерений тока пучка, пересекающего мишень, и энергетического разброса частиц в пучке.

Работа выполнена на секторном циклотроне на 600 кэВ с внешней инжекцией [3]. Мишень расположена в промежутке между секторами на одной из последних орбит. Для удобства наблюдения за пучком инжекция осуществляется импульсами малой длительности (7 нс), чтобы фазовая протяженность пучка меньше увеличивала его радиальный размер в процессе ускорения. Период одного оборота равен 170 нс. Интервал между соседними импульсами инжекции (16 мкс) больше времени ускорения в циклотроне (6 мкс).

Измерения радиального положения оборотов пучка выполнялись дифференциальным пробником*), подсоединенным к осциллографу через систему усилителей и фильтров. Блок-схема измерения приведена на рис. 1. Номер оборота пучка определялся по положению сигнала от пролетающего пучка на развертке осциллографа, а радиус оборота пучка — по положению дифференциального пробника в камере циклотрона. При измерении использовался тот факт, что сигнал от пучка, пролетающего мимо пробника и не попадающего на последний, является симметричным, биполярным, а от попадающего на пробник — однополярным. Перемещением пробника по радиусу

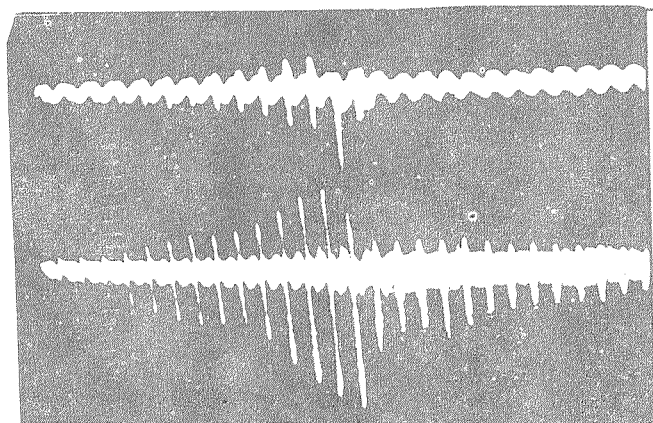
*) Дифференциальным пробником называется такой, ширина которого много меньше радиальной протяженности пучка.



Р и с. 1. Блок-схема эксперимента: 1 – магниты циклотрона; 2 – регулировка траектории инжекции; 3 – инжектор; 4 – дефлектор пучка; 5 – мишень; 6 – дифференциальный пробник; 7 – усилители; 8 – частотные фильтры; 9 – осциллограф С1-75; 10 – генератор 6 МГц; 11 – делитель частоты 1:100; 12 – регулировка фазы импульсной инжекции пучка; 13 – генератор наносекундных импульсов Г5-47; 14 – дуант

сзади мишени по ходу пучка измерены радиальное расположение оборотов пучка, номера этих оборотов, интенсивность пучка непосредственно за мишенью. При переходе из режима ускорения в режим многократного прохождения через мишень пучок дробится на первых оборотах многократного прохождения на границе мишени из-за радиальной протяженности, соизмеримой с расстоянием между орбитами. С помощью дифференциального пробника измерены процентный состав каждого из осколков относительно падающего на мишень пучка.

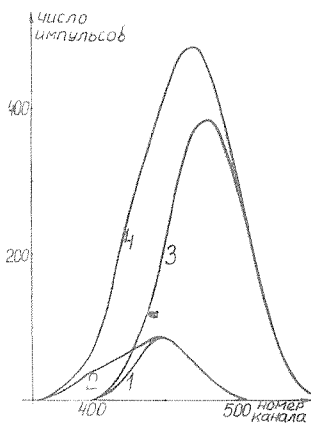
В качестве сигнального электрода использовалась сама мишень, которая регистрировала пучок при каждом прохождении через нее и относительную интенсивность пучка на каждом обороте. Все сигналы, наведенные пучком, не попадающим на мишень или пересекающим ее частично, исключались с помощью измерений с дифференциальным пробником. Величина проходящего через мишень пучка определялась на экране осциллографа по амплитуде сигнала от подлетающего к мишени пучка. Амплитуды измерены в миллиметрах шкалы осциллографа. На рис. 2 приведена осциллограмма, снятая с дифференциального пробника (вверху) и с мишени (внизу). Каждый сигнал соответствует определенному обороту пучка. Асимметричный сигнал с дифференциального пробника говорит о том, что на данном обороте пучок попадает на пробник. Для приведенного случая это первый оборот, прошедший через мишень. На нижней осциллограмме все импульсы, расположенные



Р и с. 2. Оциллограмма, наблюдаемая при многократном прохождении пучка через мишень. Вверху — сигнал с дифференциального пробника, внизу — с мишени. Расстояние между соседними импульсами 170 нс

правее соответствующего асимметричному сигналу, вызваны пучком, прошедшим через мишень.

Для измерения увеличения тока и энергетического разброса за счет многократного прохождения через мишень сравнивались энергетические спектры протонов, рассеянных на мишени из Al_2O_3 известной энергетической толщины, для одинаковых режимов работы циклотрона (величины ускоренного тока начальных условий инжекции, прироста энергии на дуанте и т.д.) при однократном и многократном прохождении (рис. 3). Однократное прохождение осуществлялось остановкой пучка после мишени бериллиевой заслонкой. Рассеянные протоны регистрировались кремниевым детектором, расположенным под углом 135° к траектории пучка. При этом угле максимумы спектров рассеяния на отдельных химических элементах отстоят друг от друга достаточно далеко, так что передний фронт рассеяния на мишени определяется только передним фронтом рассеяния на алюминии. Из экспериментальных спектров невозможно непосредственно извлечь информацию об увеличении тока и изменении качества пучка при многократном прохождении из-за наличия фона от бериллиевой заслонки, расположенной за мишенью при однократном прохождении, сложного элементного состава мишени и дробления пучка при заходе на мишень. Поэтому был выполнен анализ энергетических спектров. Спектры рассеяния протонов раскладывались на составляющие, соответствующие рассеянию на алюминии и кислороде мишени, а для однократного прохождения — и в бериллиевой заслонке. При этом



Р и с. 3. Энергетические спектры рассеяния: 1 — расчетный спектр рассеяния протонов на Al при однократном прохождении; 2 — экспериментальный спектр рассеяния протонов на мишени из Al_2O_3 при однократном прохождении; 3 — расчетный спектр рассеяния на Al при многократном прохождении; 4 — экспериментальный спектр рассеяния на мишени из Al_2O_3 при многократном прохождении

предполагалось, что спектр рассеяния для моноэнергетических сгустков, составляющих пучок на каждом обороте, описывается выражением $f(x) = \int_0^1 e^{-(x+2y)^2} (2\sigma^2)^{-1} dy$, где l — толщина мишени, σ — разрешение детектора, y — путь, пройденный частицей в мишени до рассеивающего центра, x — размытие по энергии рассеянных частиц (все величины в килоэлектронвольтах). Найдена такая величина $\sigma = 8$ кэВ, которая приводит к согласию расчетного и экспериментального переднего фронта рассеяния на алюминии при однократном прохождении. При анализе спектра многократного прохождения учитывалось дробление пучка, потери тока и изменение энергии от оборота к обороту вследствие неточного совпадения потерь энергии протонами в мишени с энергией, приобретенной в процессе ускорения.

Из сравнения спектров рассеяния на алюминии для однократного и многократного прохождений найдено, что величина тока при многократном прохождении в исследуемом случае возрастает в 6 раз по сравнению с однократным прохождением, а ширина энергетического спектра на половине высоты (за вычетом вклада от разрешения детектора) увеличивается с 19 кэВ до 34 кэВ.

Таким образом, одновременное использование описанных методик позволяет получить все характеристики пучка, испытывающего многократное прохождение через тонкую мишень.

Авторы выражают благодарность Н.М. Архипову за постоянную помощь в работе.

Институт ядерных исследований АН СССР

Поступила в редакцию 16 мая 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Н. Кацауров, В.Г. Латыш, Труды ФИАН, 33, 235 (1965).
2. Ю.К. Хохлов, Препринт ИЯИ АН СССР, П-0007, 1970 г.
3. В.А. Гладышев и др., Атомная энергия, 19, 442 (1965).