

СКАНИРОВАНИЕ ПУЧКА НА ВНЕШНЕЙ МИШЕНИ

А.А.Арзуманов, В.Н.Батищев, А.М.Воронин, В.И.Герасимов, М.С.Горьковец,
А.С.Семин

Институт ядерной физики АН КазССР, Алма-Ата

Создание устройств, обеспечивающих достаточно однородное (на уровне 10-15%) облучение мишеней больших поверхностей, сопряжено с рядом значительных трудностей. Традиционно применяемые для этих целей рассеивающие фольги и компенсаторы, с одной стороны, не дают указанной равномерности облучения по образцу, с другой - приводят к засорению поля облучения тормозной компонентой и требуют использования различного рода сложных диафрагмирующих устройств. Для равномерного облучения протяженных объектов иногда используются механические сканирующие устройства, перемещающие исследуемую мишень в различных направлениях по заданной программе. Более совершенной является методика многократного кулоновского рассеяния и поглощения на тонких фольгах со сбросом энергии первичного протонного пучка, применяемая в циклотронной лаборатории Калифорнийского университета [1]. В ОИЯИ (Дубна) для равномерного облучения всех участков полимерных пленок тяжелыми ионами (применяемых для изготовления ядерных фильтров) производится развертка пучка в горизонтальной плоскости посредством переменного электрического поля, приложенного к отклоняющим пластинам [2]. Известно также и применение модулирующего магнитного поля для целей облучения образцов [3].

В представляемой работе определены условия, необходимые для реализации возможностей метода создания поля облучения путем сканирования ускоренного пучка ионов по исследуемой мишени с применением контролируемого магнитного поля. Техническое решение поставленной задачи определяется возможностью создания стабильного закона изменения в требуемом диапазоне тока питания элемента, сканирующего пучок, и во многом зависит как от данных условий эксперимента, так и от конкретных характеристик пучка (его магнитной жесткости и распределения плотности тока в поперечных плоскостях), а также от геометрии расположения и предельного значения параметров ионно-оптических элементов тракта транспортировки пучка.

Наиболее простым с точки зрения оптического преобразования эмиттанса пучка является получение двойного фокуса и двумерное сканирование мишени, габаритные размеры которой во много раз превышают геометрические размеры фокуса пучка. В этом случае однородность дозы облучения определяется характером временного закона изменения тока питания элемента сканирования, а величина потерь тока определяется отношением площадей пятна сфокусированного пучка и облучаемой мишени. Следует отметить, что оптимальное решение проблемы облучения мишеней с размерами, сравнимыми с линейными размерами пучка (необязательно сфокусированного), связано с учетом реального распределения плотности тока и асимметрией этого распределения в каждой из плоскостей.

Типичная картина двойного фокуса приведена на рисунке 1, при величине эмиттанса пучка в горизонтальной плоскости 32 мм·мрад и в вертикальной плоскости - 18 мм·мрад, при токе пучка ускоренных ионов He_3^{++} (62 МэВ) 20 мкА.

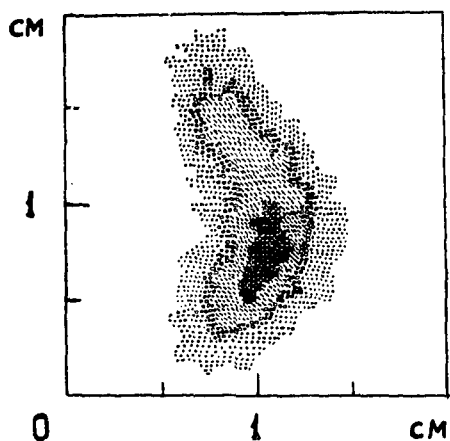


Рис. 1. Распределение плотности тока пучка в точке двойного фокуса.

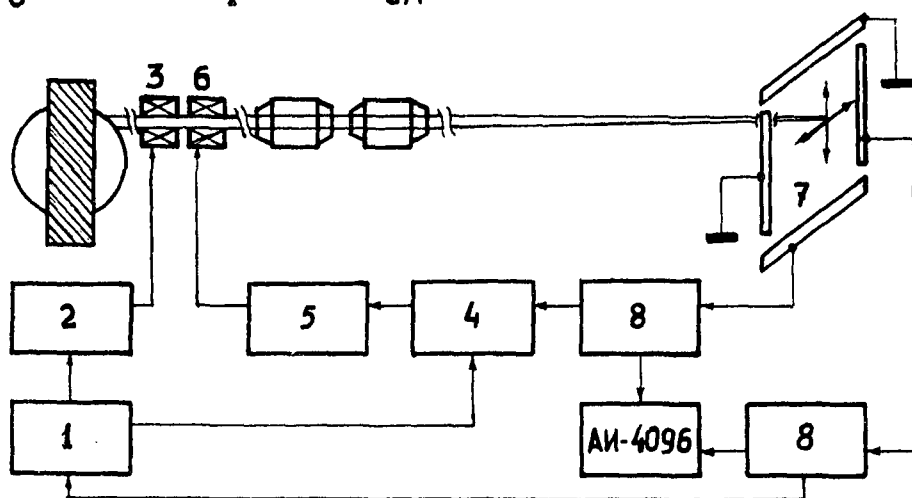


Рис. 2. Блок-схема магнитного сканирующего устройства.

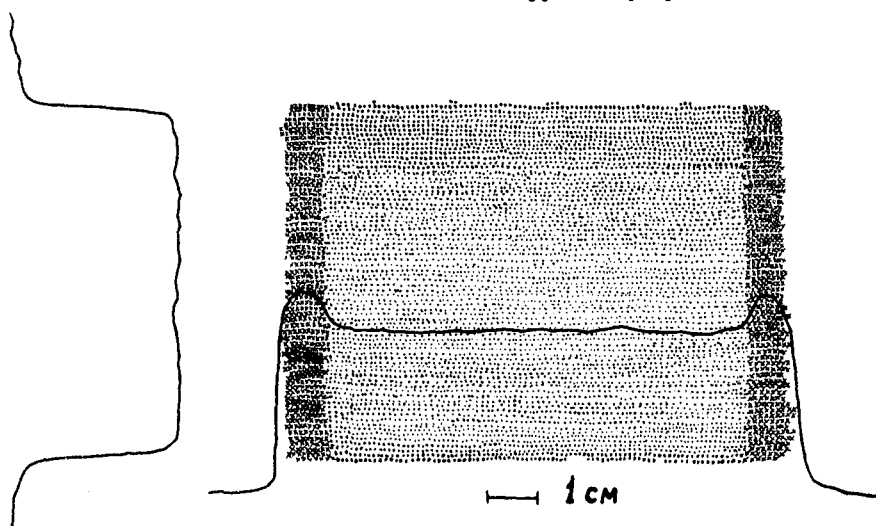


Рис. 3. Распределение экспозиционной дозы облучения на твердотельной мишени.

Для облучения мишеней с геометрическими размерами (70 мм x 100 мм) используются два нацеливающих Ш-образных электромагнита с дополнительными модуляционными обмотками, обеспечивающими при изменении тока питания в них $\Delta I = \pm 3$ А изменение индукции магнитного поля $\Delta B = \pm 300$ Гс во взаимно перпендикулярных плоскостях. В нашем случае коэффициент увеличения в системе транспортировки на мишень в горизонтальной плоскости составляет 1,2, а в вертикальной — 1,8.

Блок-схема устройства, обеспечивающего равномерное облучение мишеней больших размеров, приведена на рисунке 2. В качестве задающего генератора используется цифровой генератор пилообразного напряжения (1), работающий в диапазоне частот 3+10 Гц, сигнал с которого поступает на регулятор мощности (2); выход регулятора нагружен модуляционными обмотками (3) нацеливающего магнита, осуществляющего коррекцию пучка в вертикальной плоскости. После прохождения развертки сфокусированного пучка в горизонтальном направлении происходит синхронно переключение генератора ступенчатого напряжения (4), необходимого для перемещения пучка в вертикальной плоскости на заданную величину через регулятор тока (5), питающего дополнительные обмотки второго нацеливающего магнита (6). Таким образом происходит возвратное движение пучка. При достижении исходно установленной границы облучаемой мишени происходит последующее переключение генератора ступенчатого напряжения и пучок еще выше перемещается таким образом до тех пор, пока не дойдет до верхнего края облучаемой мишени. Далее цикл облучения повторяется в обратном порядке с частотой $0,3 \div 1$ Гц. Контроль за движением пучка обеспечивается позиционно-чувствительными емкостными датчиками (7), с соответствующими электронными схемами выделения и формирования сигналов (8) управления генератором (4). Управление мощностью выходного каскада осуществляется по первичной цепи преобразователя, работающего на частоте 50 Гц, приведенного на рисунке 2. Линейность опорного напряжения составляет 1%. Из-за значительной постоянной времени индуктивной нагрузки применение такого преобразователя оправдано полностью. Равномерность экспонированной дозы облучения определялась с помощью стеклянных детекторов 9 x 12 см, облучаемых пучком заряженных частиц, просматриваемых в последующем на системе "Периколор -I-O" (система цветной обработки изображения). На рисунке 3 приведено изображение облученной мишени с первичным сечением плотности дозы облучения. Видно, что в момент перехода через вершины пилообразного напряжения экспозиция получается выше на 5%. Для выравнивания экспозиционной дозы необходимо коллимирование края облучаемой зоны на мишени, что ведет к увеличению мертвого времени облучения на 10%. Разработанная система применяется при облучении твердотельных мишеней на полутораметровом изохронном циклотроне ИЯФ АН КазССР.

Л и т е р а т у р а

1. Joel Mc.Curdy "Cyclotron operations division Crocker Nuclear Laboratory university of California", Annal Report, Davis, California, 1984, pp.20-26.
2. Г.Н.Флеров, В.И.Кузнецов. Применение ускорителей тяжелых ионов для решения прикладных задач. Сб. "Международная школа молодых ученых по проблемам ускорителей заряженных частиц", ОИЯИ, Д9-84-817, Дубна, 1984, стр.3-13.
3. H. Brückmann, W. Vogel, H.-W. Boie, U. Schröder. Proc. Ninth. Conf. on cyclotrons and their Applications, Caen, France, 1981, G. Gendreau, pp.719-721.