

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

96-46

P13-96-46 +

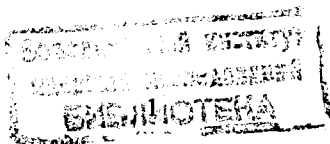
В.Б.Галинский, Г.Н.Иванов, И.Б.Иванова

МИШЕННОЕ УСТРОЙСТВО
ДЛЯ ГАЗОНАПОЛНЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
СЕПАРАТОРА ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1996

Постановка экспериментов по синтезу и изучению свойств сверхтяжелых элементов на пучках тяжелых ионов сопряжена с трудностями приема на мишень ионного тока высокой (до $3,5 \times 10^{13} \text{ с}^{-1}$) интенсивности. Это вызвано тем, что удельная тепловая мощность, выделяемая в мишени при взаимодействии с пучками тяжелых ионов такой интенсивности, может достигать $50+100 \text{ кВт/см}^3$ на облучаемой площади 1 см^2 , что вызывает сильный перегрев мишени и, как следствие, ее быстрое разрушение. Для предотвращения теплового разрушения мишени, а также для увеличения срока ее службы при работе на пучках тяжелых ионов высокой интенсивности на практике стремятся к уменьшению удельной тепловой нагрузки на единицу площади облучаемой поверхности. С этой целью используют конструкции устройств с наклоном мишени по отношению к продольной оси пучка, применяют электромагнитные методы "размазки" ионного пучка на большую площадь мишени и т.п.. Однако эти способы как самостоятельные малоэффективны, а в отдельных случаях в полной мере не могут быть реализованы, так как приводят к ухудшению кинематики физической установки из-за увеличения геометрического размера источника продуктов ядерных реакций (ухудшение критерия точности источника излучения). Наиболее эффективным методом снижения удельной тепловой нагрузки является применение конструктивных схем с подвижной (вращающейся) мишенью. Это позволяет существенно уменьшить не только среднюю температуру мишени, но и пиковую тепловую нагрузку за счет "размазывания" единичного импульса пучка на большую площадь мишени, а также снижает удельную радиационную дозу на единицу мишенной поверхности. Недостатком известных устройств такого рода является наличие в их конструкции скользящих подвижных уплотнений. Вследствие этого они имеют низкую эксплуатационную надежность, которая определяется сроком службы уплотнений (обычно не более 100 часов при скоростях скольжения 1,5-2 м/с).



Для газонаполненного электромагнитного сепаратора продуктов ядерных реакций (ГНС) /1/ Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова (ОИЯИ, г.Дубна) было создано устройство с вращающейся мишенью, конструкция которого не содержит подвижных контактных уплотнений. Устройство отличается значительной простотой и имеет высокую эксплуатационную надежность.

В мишенном устройстве отсутствует система принудительного охлаждения, так как конструктивно оно располагается в газовом объеме сепаратора, и большая часть тепловой энергии, выделяющейся в элементах, взаимодействующих с ионным пучком, снимается и отводится газом (обычно H_2 при давлении 0,7-1 торр /1/), содержащимся в рабочем объеме газонаполненного сепаратора.

Мишенное устройство ГНС (рис.1) состоит из ступицы 1, закрепленной на стакане 2, который с помощью опорных радиальных шарикоподшипников 3 установлен в корпусе 4. Для улучшения теплоотвода от деталей конструкции мишенного узла корпус 4 изготовлен из материала, имеющего достаточно высокий коэффициент теплопроводности (латунь ЛС-59). Передача вращения из атмосферы на ступицу 1 осуществляется с помощью магнитожидкостного вакуумноплотного ввода движения 5 фирмы "Ferrogetic" или "Ferrofluidics". Ввод движения 5 позволяет передавать вращение со скоростью до 6000 об/мин в рабочую полость ГНС без нарушения герметичности установки. Ступица 1 приводится в движение электроприводом ЭТ1Е1 на основе двигателя постоянного тока ПЛ062У4 мощностью 120 Вт (условно не показан). Электропривод обеспечивает стабилизацию скорости вращения и позволяет плавно регулировать число оборотов вала электродвигателя. Передача вращения от электродвигателя к шкиву 6 мишенного устройства осуществляется с помощью зубчатого модульного ремня (также не показан). Шкив 6 установлен в хвостовой части ступицы 1 и имеет собственные шарикоподшипниковые опоры. Это необходимо для разгрузки вала магнитожидкостного ввода движения от внешних радиальных нагрузок, возникающих при работе устройства. На наружной цилиндрической части ступицы 1

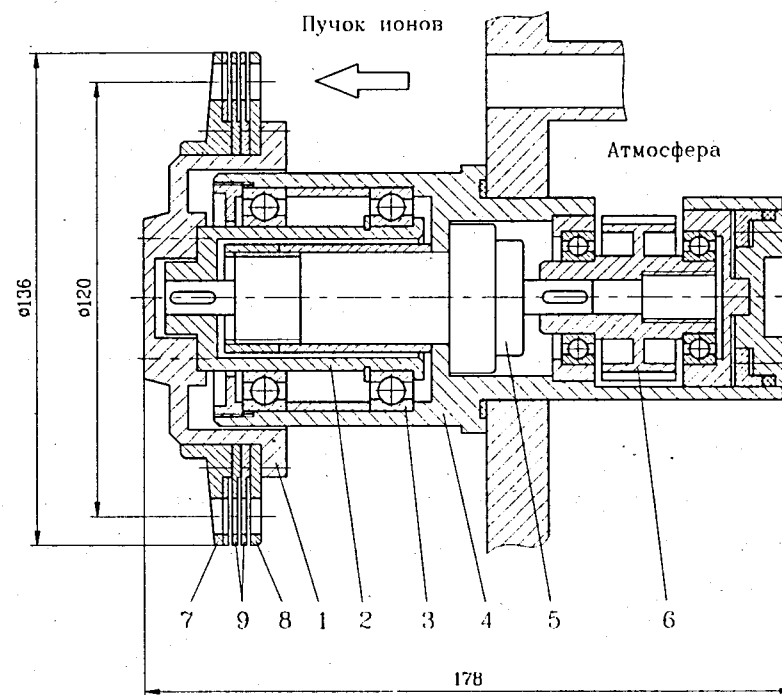


Рис.1. Схема мишенного узла газонаполненного электромагнитного сепаратора продуктов ядерных реакций. 1-ступица; 2-стакан; 3-опорные шарикоподшипники; 4-корпус; 5-магнитожидкостный вакуумноплотный ввод движения; 6-шкив; 7-мишенный диск; 8-диск-маска; 9-диски-поглотители

закреплены мишенный диск 7 и диск-маска 8. В конструкции мишенного узла предусмотрена возможность корректировки энергии ионного пучка, бомбардирующего мишень. С этой целью между мишенным диском 7 и диском-маской 8 устанавливаются диски-поглотители 9, на которые крепятся фольги, предназначенные для поглощения избыточной энергии ионного пучка. На рис.2 представлен схематический вид мишенного диска. Диски 7 и 9 изготовлены из алюминиевого сплава, диск 8 - из меди (М1). Для прохода ионного пучка каждый диск имеет 12 соосных овальных окон, равномерно расположенных на окружности

диаметром 120 мм. Ширина окон мишенного диска и дисков-поглотителей составляет 10 мм при длине окна по дуге 29 мм. Для предотвращения попадания ионного пучка на металлические части и края окон дисков 7 и 9 окна диска-маски имеют меньший размер (ширина - 9 мм, длина - 28 мм). Поглощающие фольги крепятся на окна дисков 9 с помощью клея. Мишень изготавливается путем нанесения мишенного вещества на тонкую металлическую подложку (обычно это Al-, Be- или Ti-фольга толщиной порядка $0,2 \text{ мг/см}^2$ или меньше) /1/ и устанавливается на диск 7 с помощью прижимного кольца. Нанесение мишенного вещества на тонкие несущие подложки производится любым из известных способов. "Прозрачность" системы дисков мишенного устройства для пучка ионов составляет 83%. Эффективная площадь мишенной поверхности - 28 см^2 .

В ряде экспериментов в качестве мишенного вещества используются дорогостоящие радиоактивные изотопы, такие как ^{242}Pu /2/, ^{248}Cm /3/ и ряд других. Количество таких изотопов, имеющих в распоряжении экспериментатора, как правило, весьма ограничено. В этом случае мишени монтируются в кассетах, конструкция которых представлена на рис.3. В целях экономии мишенного вещества на мишенный диск устанавливается 3 кассеты. Эффективное использование ионного пучка при этом достигается за счет синхронизации скорости вращения мишенного диска с частотой импульсов ионного пучка циклотрона. Синхронизация осуществляется с помощью электронной системы /4/. При последовательном облучении ионным пучком каждой мишени скорость вращения мишенного диска в режиме синхронизации составляет 3000 об/мин (50 Гц). За время одного импульса циклотрона (1,5 мс) ионный пучок полностью облучает одну мишень, которая имеет размер 39 мм по хорде окружности диаметром 120 мм. В конструкции кассеты предусмотрены две перемычки шириной 1 мм, которые необходимы для "подкрепления" мишени при действии на нее вибрационных, центробежных и иных динамических нагрузок, возникающих при работе устройства.

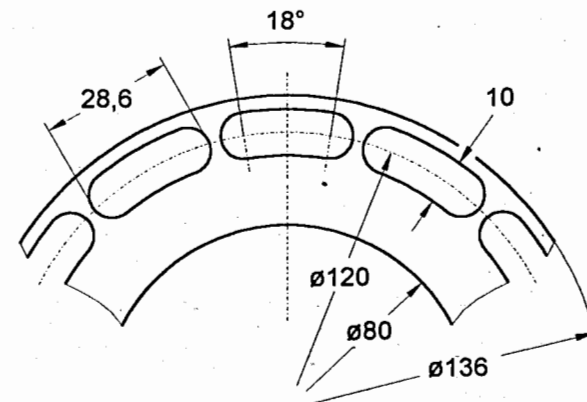


Рис.2. Схематический вид мишенного диска

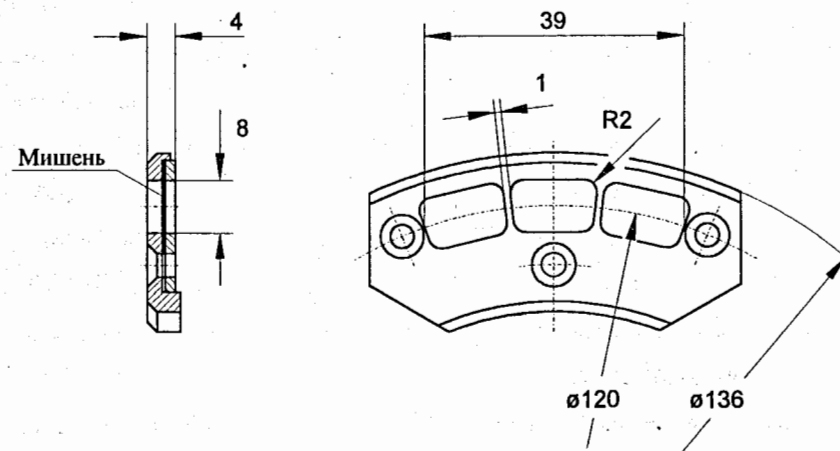


Рис.3. Конструкция кассеты для крепления мишеней из редких радиоактивных изотопов

“Прозрачность” кассеты для пучка ионов в синхронном режиме составляет 92%. Эффективная площадь мишенной поверхности при использовании трех кассет - 9 см².

Для эффективного использования всей площади мишени при наличии “жесткой” фокусировки ионного пучка в конструкции ГНС имеется система электромагнитного сканирования пучка с частотой порядка 500 Гц в пределах ширины мишенного окна. В ситуации, вызванной разрушением мишени или остановкой вращения, электронная система производит аварийное отключение ВЧ генератора ускорителя. Аварийное отключение предусмотрено как в режиме синхронизации, так и без него.

За весь период эксплуатации мишенное устройство прошло всесторонние испытания в составе газонаполненного электромагнитного сепаратора на пучках тяжелых ионов циклотрона У-400.

В экспериментах по синтезу изотопа ²⁵⁹104 в реакции ²⁴²Pu + ²²Ne /2/ интенсивность пучка ²²Ne с энергией 114±2 МэВ в варианте синхронизации составляла 1,5×10¹³ с⁻¹. В течение нескольких часов облучения интенсивность достигала 2,5×10¹³ с⁻¹. За пять дней облучения полный интеграл на мишени составил 3,6×10¹⁸ /5/. Мишенное устройство успешно использовалось в длительных работах по синтезу новых изотопов ²⁶⁵106 и ²⁶⁶106 в реакции ²⁴⁸Cm + ²²Ne (340 часов при средней интенсивности пучка 1,3×10¹³ с⁻¹) /3/, а также в экспериментах по синтезу радионуклида ²⁶⁷108 в реакции ²³⁸U + ³⁴S (860 часов при средней интенсивности пучка ионов серы 6×10¹² с⁻¹) /6/.

За время эксплуатации в составе ГНС (с 1989 года) устройство имело одну серьезную поломку, которая произошла по причине разрушения опорного шарикоподшипника магнитождкостного ввода движения.

Несмотря на это обстоятельство длительный опыт эксплуатации устройства в составе газонаполненного электромагнитного сепаратора показал, что оно отличается простотой в обслуживании, высокой степенью надежности и может успешно применяться на интенсивных пучках тяжелых ионов.

Ресурс работы устройства в составе ГНС к настоящему времени составил порядка 3500 часов.

В заключение авторы выражают благодарность Ю.Ц.Оганесяну за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения в процессе создания мишенного устройства газонаполненного электромагнитного сепаратора, а также Ю.А.Лазареву и Ю.В.Лобанову за оказанную помощь и поддержку в процессе подготовки статьи.

Литература.

1. Yu.A. Lazarev, Yu.V. Lobanov, A.N. Mezentsev et al. in Heavy Ion Physics, Scientific Report 1991-1992, JINR Report No. E7-93-57, Dubna, 1993, p. 203; in Proc. Int. School-Seminar on Heavy Ion Physics, Dubna, 1993, JINR Report No. E7-93-274, Dubna, 1993, Vol.2, p.497.
2. Yu.A. Lazarev, Yu.V. Lobanov, Yu.Ts. Oganessian et al., Heavy Ion Physics, Scientific Report 1991-1992, JINR, E7-93-57, Dubna, p.39, 1992.
3. Yu.A. Lazarev, Yu.V. Lobanov, Yu.Ts. Oganessian et al., Phys. Rev. Lett, v.73, p.624, 1994.
4. V.G. Subbotin, A.M. Sukhov, B.V. Fefilov et al., Heavy Ion Physics, Scientific Report 1989-1990, JINR, E7-91-75, Dubna, p.164, 1991.
5. G.V. Buklanov, Yu.A. Lazarev, Yu.V. Lobanov, L.I. Salamatin, Heavy Ion Physics, Scientific Report 1991-1992, JINR, E7-93-57, Dubna, p.206, 1992.
6. Yu.A. Lazarev, Yu.V. Lobanov, Yu.Ts. Oganessian et al., JINR Preprint, E7-95-100, Dubna, 1995; Phys. Rev. Lett. (in press).

Рукопись поступила в издательский отдел
12 февраля 1996 года.