

P9-2005-52

Г. Г. Гульбежян, Д. Соливайс*, О. Н. Борисов

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫВОДА ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ
МЕТОДОМ ПЕРЕЗАРЯДКИ ИЗ ЦИКЛОТРОНОВ
С ПРЯМЫМИ СЕКТОРАМИ
(БЕЗ СПИРАЛЬНОСТИ)

*Словацкий технический университет, Братислава



Гульбежян Г. Г., Соливайс Д., Борисов О. Н.

P9-2005-52

Анализ возможности вывода тяжелых ионов методом перезарядки из циклотронов с прямыми секторами (без спиральности)

Проведен анализ возможности вывода тяжелых ионов методом перезарядки из циклотронов с прямыми секторами (без спиральности). Исследованы два возможных метода вывода. Определены оптимальные азимутальные размеры секторов и азимутальное положение перезарядной фольги. Определены области коэффициентов перезарядки для обоих методов вывода. Проведено сравнение двух методов. Полученные данные могут быть полезны для целевого синтеза магнитных структур или их анализа. Использование полученных данных в реальных магнитных структурах требует анализа огибающих выводимых пучков.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2005

Gulbekyan G. G., Solivajs D., Borisov O. N.

P9-2005-52

Analysis of Possibilities of Extraction of Heavy Ions by a Stripping Foil from the AVF Cyclotron with Straight Sectors

An analysis of possibilities to extract heavy ions by a stripping foil from the AVF cyclotron with straight sectors is made. Two possible methods of extraction are investigated. The optimum azimuthal sizes of sectors and azimuthal positions of the stripping foil for single-turn extraction are determined. The regions of coefficients between the specific charges of an ion after and before stripping for both methods are determined. Comparisons of the two methods are made. The obtained data can be useful for target synthesis of magnetic structures or their analysis. The use of the obtained data in real magnetic structures requires analysis of enveloping extracted beams.

The investigation has been performed at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2005

ВВЕДЕНИЕ

Одним из способов вывода пучков тяжелых ионов из секторных циклотронов является вывод методом перезарядки [1-4]. Ускоренный ион массой A и зарядом Z_1 после прохождения тонкой углеродной фольги теряет часть электронов и изменяет свой заряд на Z_2 [5]. При этом изменяется жесткость пучка и радиус кривизны траектории, что позволяет при определенных условиях вывести пучок ионов из камеры циклотрона. На условия вывода пучка ионов влияют различные параметры. В работе представлены результаты исследований влияния азимутальной вариации магнитного поля, азимутальной ширины сектора, азимутального положения фольги и азимутальных градиентов магнитного поля на вывод тяжелых ионов из циклотронов. Полученные данные могут быть полезны для целевого синтеза магнитных структур или их анализа.

1. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ

Для анализа возможности вывода исследовалось движение пучка после перезарядной фольги в магнитных четырехсекторных структурах без спиральности. Радиус полюса модели циклотрона был выбран равным $R_p = 1$ м, а максимальный радиус положения перезарядной фольги $R_{ext} = 0,86 \times R_p$.

Предполагалось, что магнитное поле в секторах (B_{hill}) и долинах (B_{valley}) однородное с резкой границей между ними (рис. 1), а магнитное поле на радиусах $R > R_p$ равно нулю (рассеянное магнитное поле не учитывалось).

Диапазон соотношений уровня полей в секторе и долине составлял $B_{hill}/B_{valley} = 1,5-33$. Предполагалось, что пучок вывелся, если его траектория вышла за радиус полюса.

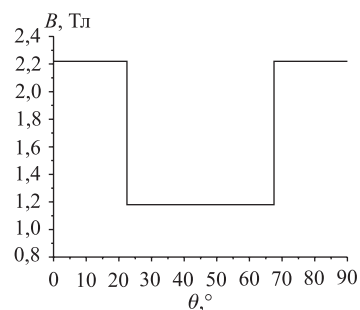


Рис. 1. Азимутальное распределение магнитного поля при моделировании

2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Расчеты показали, что в зависимости от соотношения $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}}$ и коэффициента перезарядки Z_2/Z_1 в рамках принятых ограничений существуют две схемы вывода пучка: либо в пределах одного периода магнитной структуры — метод 1 (рис. 2, а), либо при обходе центра циклотрона — метод 2 (рис. 2, б).

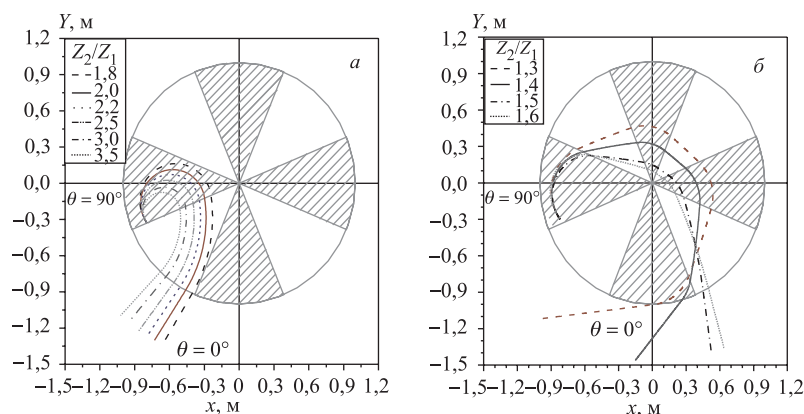


Рис. 2. Выводные траектории пучков тяжелых ионов для разных коэффициентов перезарядки Z_2/Z_1 (а — метод 1, б — метод 2). Заштрихованные области — сектор 45° , незаштрихованные — долина

Метод 1. На вывод пучка методом 1 (рис. 2, а) накладываются два ограничения. Траектория пучка после перезарядки не должна пересекать границу холм–долина из-за высоких градиентов магнитных полей в этой области. Траектория после одного оборота должна пересечь радиальную границу полюса. Оба ограничения определяют нижние и верхние границы коэффициентов перезарядки.

Исследовалось также влияние азимутальной ширины сектора (40° ; 42° ; 45° ; $47,5^\circ$; и 50°) на возможность вывода пучка. На рис. 3 приведены зависимости нижних границ коэффициентов перезарядки Z_2/Z_1 от соотношения $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}}$ для нескольких азимутальных протяженностей секторов. Перезарядная фольга располагалась на границе сектор–долина.

Из рис. 3 следует, что для снижения нижней границы коэффициентов перезарядки оптимально использовать сектора с угловой протяженностью 45° или даже 40° . Для дальнейшего анализа использовалась магнитная структура с секторами азимутальной протяженностью 45° .

Следующим шагом в анализе было исследование влияния азимутального положения фольги. На рис. 4 приведены зависимости нижних границ коэф-

коэффициентов перезарядки Z_2/Z_1 от соотношения $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}}$ для нескольких угловых положений фольг (0° соответствует границе сектор–долина, а «+» и «-» означают перемещение перезарядной фольги в сектор или в долину).

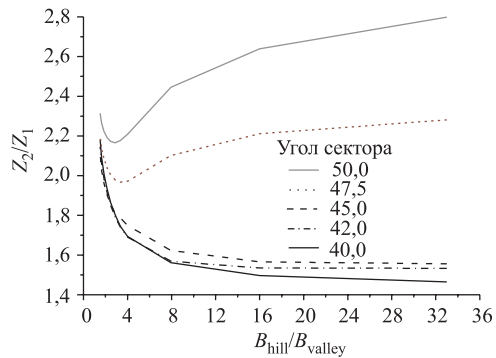


Рис. 3. Минимальный выводимый коэффициент перезарядки Z_2/Z_1 в зависимости от соотношения $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}}$ для нескольких азимутальных протяженностей секторов

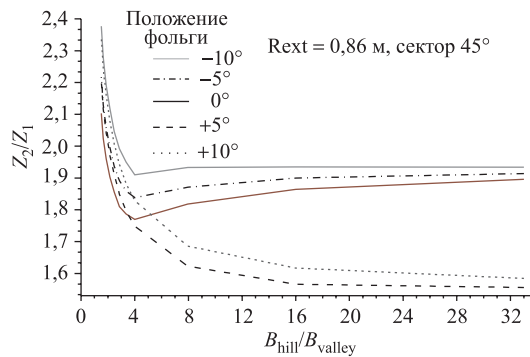


Рис. 4. Влияние азимутального положения фольги на возможность вывода при низких коэффициентах перезарядки Z_2/Z_1 (0° соответствует границе сектор–долина, а «+» и «-» означают перемещение перезарядной фольги в сектор или в долину)

Можно отметить, что при соотношении полей $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}}$ ниже 3,5 выводить пучки с низкими коэффициентами перезарядки Z_2/Z_1 лучше при положении фольги на границе сектор–долина. Если $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}}$ больше 3,5, фольгу нужно сдвинуть на $\approx 5^\circ$ в сектор.

Проведенные ранее расчеты динамики пучка показали, что для эффективного вывода пучка желательно, чтобы траектория не проходила вдоль азимутальной границы сектор–долина из-за высоких градиентов магнитных полей в этой области.

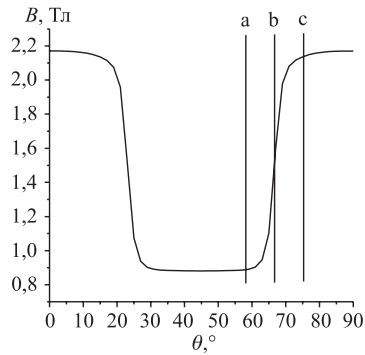


Рис. 5. Реальное распределение магнитного поля по азимуту

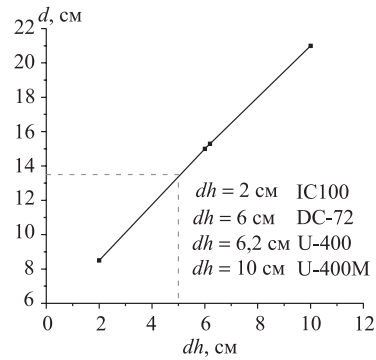


Рис. 6. Азимутальный размер области градиента магнитного поля от зазора между секторами

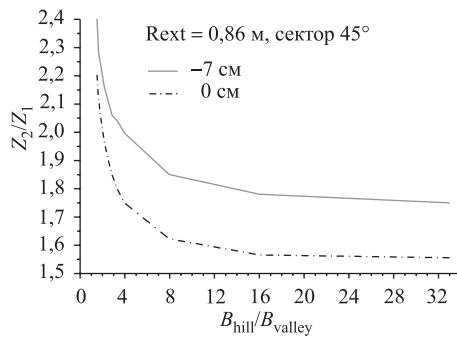


Рис. 7. Изменение нижних границ коэффициентов перезарядки при уменьшении сектора на величину диапазона больших градиентов магнитного поля

Для более точной оценки влияния этого ограничения рассматривались некоторые реальные азимутальные распределения магнитных полей. Вместо резкого скачка уровня магнитного поля на границе сектор–долина использовался плавный переход (рис. 5, где b — геометрическая граница сектор–долина; a, c — область большого градиента магнитного поля). На основе рассмотрения азимутального распределения измеренных магнитных полей для действующих циклотронов ИЦ-100, У-400, У-400М, ДЦ-72 была определена зависимость

между размером зазора между секторами и азимутальной шириной области градиента магнитного поля (рис. 6).

Для дальнейшего анализа был выбран зазор между секторами 5 см. В этом случае выводная траектория пучка не должна проходить ближе 7 см к механической границе сектора. На рис. 7 представлены в сравнении возможные коэффициенты перезарядки для идеального и реального магнитного поля. Для всех соотношений $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}}$ нижняя граница коэффициента перезарядки, удовлетворяющая выводу, увеличивается на 0,2–0,25.

Метод 2. Во втором методе выводная траектория пучка обходит центр циклотрона (рис. 2, б), но не ближе к центру чем 5 см. В этом варианте можно выводить пучок только при соотношении $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}}$ больше 3 (рис. 8). Здесь имеется ограничение и по максимальным соотношениям Z_2/Z_1 . При высокой азимутальной вариации магнитного поля возможен вывод пучков с коэффициентами перезарядки от 1,3 до 2,3.

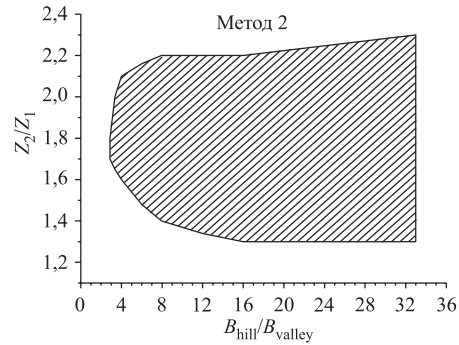


Рис. 8. Область возможных коэффициентов перезарядки для вывода методом 2

Сравнение обоих методов вывода. На рис. 9 представлены области возможных коэффициентов перезарядки для обоих методов. Из рисунка видно, что метод 1 можно использовать в более широком диапазоне, чем метод 2. Но метод 2 возможно использовать для более низких коэффициентов перезарядки, т. е. ускорять более высокозарядные ионы до более высоких энергий.

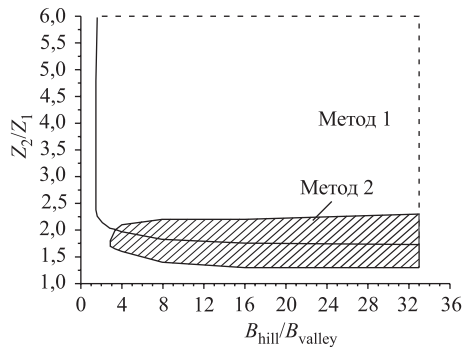


Рис. 9. Сравнение возможности вывода для двух методов

Выведенные пучки можно использовать для облучения мишеней или для последующей транспортировки.

На рис. 10 и 11 приведены примеры сведения траекторий пучков с разными коэффициентами перезарядки Z_2/Z_1 в общую точку для обоих методов вывода небольшим изменением положения фольги по азимуту или радиусу.

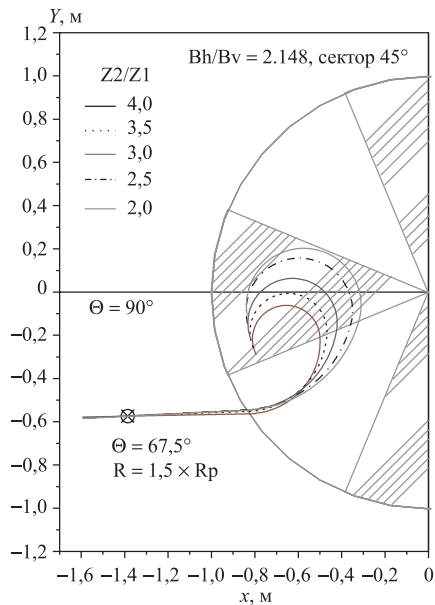


Рис. 10. Примеры сведения пучков с разными коэффициентами перезарядки в общую точку для метода 1

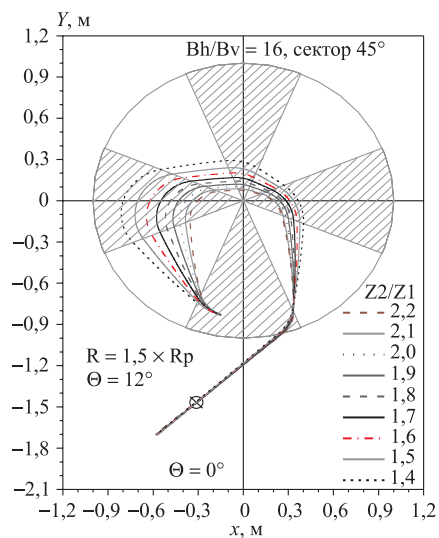


Рис. 11. Примеры сведения пучков с разными коэффициентами перезарядки в общую точку для метода 2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Проведен анализ возможности вывода тяжелых ионов методом перезарядки из циклотронов с прямыми секторами (без спиральностей);
- исследованы два возможных метода вывода;
- определены оптимальные азимутальные размеры секторов и азимутальное положение перезарядной фольги;
- определены области коэффициентов перезарядки для обоих методов вывода;
- проведено сравнение двух методов;
- полученные данные могут быть полезны для целевого синтеза магнитных структур или их анализа;
- использование полученных данных в реальных магнитных структурах требует анализа огибающих выводимых пучков;
- следующим этапом работы может быть исследование вывода из циклотронов со спиральными секторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вялов Г. Н., Оганесян Ю. Ц., Флеров Г. Н.* Метод вывода пучка тяжелых ионов из циклотрона с азимутальной вариацией магнитного поля, Препринт ОИЯИ 1884, Дубна, 1964.
2. *Шелаев И. А. и др.* Вывод пучка методом перезарядки из двухметрового изохронного циклотрона тяжелых ионов. Препринт ОИЯИ Р9-4831. Дубна, 1969.
3. *Кленин Б. А. и др.* Расчеты системы вывода пучков тяжелых ионов из изохронного циклотрона У-400 методом перезарядки. Препринт ОИЯИ 9-10652. Дубна, 1977.
4. *Оганесян Ю. Ц. и др.* Вывод тяжелых ионов из секторно-фокусирующих циклотронов методом перезарядки. Препринт ОИЯИ 9-11993. Дубна, 1978.
5. *Baron E., Ricaud Ch.* Beam foil interaction studies for the future stripper of GANIL // EPAC-88, Rome. Singapore: World Scientific, 1989. V. 2. P. 839.

Получено 27 апреля 2005 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 04.07.2005.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,68. Уч.-изд. л. 0,96. Тираж 270 экз. Заказ № 54947.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/