

P9-2005-178

О. Н. Борисов, Г. Г. Гульбежян, Д. Соливайс¹

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫВОДА ПУЧКОВ
ИОНОВ МЕТОДОМ ПЕРЕЗАРЯДКИ ИЗ 4-СЕКТОРНЫХ
ЦИКЛОТРОНОВ СО СПИРАЛЬНЫМИ СЕКТОРАМИ

¹ Словацкий технический университет, Братислава

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

P9-2005-178

Анализ возможности вывода пучков ионов методом перезарядки из 4-секторных циклотронов со спиральными секторами

Проведен анализ возможности вывода пучков тяжелых ионов методом перезарядки из 4-секторных циклотронов со спиральными секторами. Исследованы два направления ускорения и два возможных метода вывода. Определено оптимальное азимутальное положение перезарядной фольги для однооборотного вывода. Определены области коэффициентов перезарядки, при которых можно выводить пучки ионов из циклотронов 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

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

P9-2005-178

Analysis of Possibilities of Extraction of Ion Beams by a Stripping Foil from the AVF Cyclotron with Spiral Sectors

An analysis of possibilities to extract ion beams by a stripping foil from the AVF cyclotron with spiral sectors is made. Two directions of acceleration and two possible methods of extraction are investigated. The optimum 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. Comparison of the two methods is 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 магнитная 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 и азимутального положения фольги на вывод пучков тяжелых ионов из циклотронов со спиральными секторами.

1. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ

Для анализа возможности вывода исследовалось движение пучка ионов после перезарядной фольги в магнитных четырехсекторных структурах со спиральными секторами (рис. 1) как по спирали, так и против спирали магнитной структуры. В данной работе анализируются магнитные структуры со

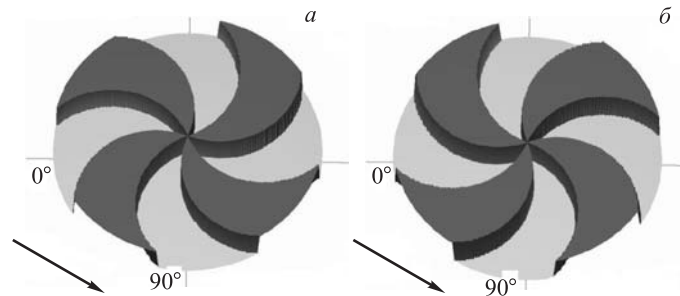


Рис. 1. Азимутальное распределение магнитного поля для компьютерного моделирования по спирали (а) и против спирали (б) магнитной структуры [6]

спиральностью 45° . Угол спиральности ξ определяется радиусом обработки азимутальных границ сектора. Если R_c — радиус кривизны обработки входной и выходной границ сектора, то угол спиральности

$$\xi = \arcsin \frac{R}{2R_c}.$$

Если угол спиральности $\xi = 45^\circ$ на конечном радиусе ускорения $R_{\text{ext}} = 0,86R_p$, то радиус кривизны обработки $R_c = 0,608R_p$.

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). Отсутствует радиальный рост среднего магнитного поля.

Диапазон соотношений уровня полей в секторе и долине составлял $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}} = 1,5\text{--}4$ (флаттер $F = 0,02\text{--}0,36$). Предполагалось, что пучок вывелся, если его траектория вышла за радиус полюса R_p . Для каждой магнитной структуры определялась равновесная траектория с пересечением границы холм–долина на $R_{\text{ext}} = 0,86R_p$.

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 ионов: либо в пределах одного периода магнитной структуры — метод 1 (рис. 2, а), либо при обходе центра циклотрона — метод 2 (рис. 2, б).

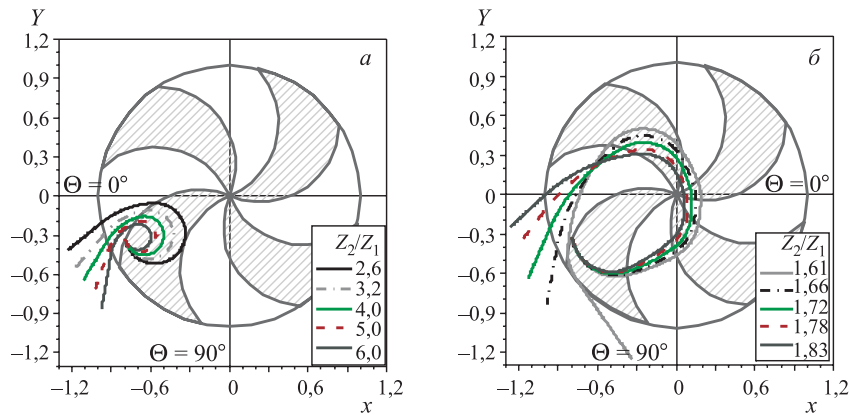


Рис. 2. Пример выводных траекторий пучков тяжелых ионов с разными коэффициентами перезарядки Z_2/Z_1 (а — метод 1, б — метод 2) при ускорении по спирали магнитной структуры

Метод 1. На вывод пучка ионов методом 1 (рис. 2, а) накладываются два ограничения. Траектория пучка после перезарядки не должна пересекать границы холм–долина из-за высоких градиентов магнитных полей в этих

областях. Траектория после одного оборота должна пересечь радиальную границу полюса. Оба ограничения определяют нижние и верхние границы коэффициентов перезарядки.

Исследовалось влияние азимутального положения фольги на вывод пучка в одном периоде магнитной структуры (90°). На рис. 3, *а* приведены зависимости границ коэффициентов перезарядки Z_2/Z_1 от азимутального положения фольги для разных соотношений $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}}$ при ускорении *по спирали* ($\xi = +45^\circ$) и на рис. 3, *б* — *против спирали* ($\xi = -45^\circ$) магнитной структуры.

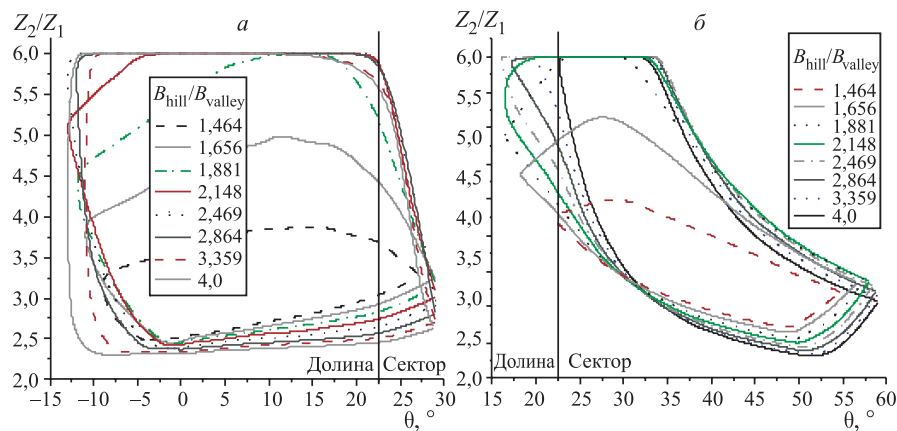


Рис. 3. Влияние азимутального положения фольги на возможность вывода пучков ионов с разными коэффициентами перезарядки Z_2/Z_1 методом 1 при ускорении *по спирали* (*а*) и *против спирали* (*б*) магнитной структуры (0° соответствует середине долины)

Из рис. 3, *а* видно, что для вывода пучков ионов с самыми низкими коэффициентами перезарядки при ускорении *по спирали* магнитной структуры фольгу лучше располагать около середины долины. Из рис. 3, *б* можно сделать вывод, что для решения той же задачи при ускорении *против спирали* магнитной структуры фольгу лучше установить в секторе на углах $25\text{--}30^\circ$ от края сектора по ходу пучка.

Метод 2. Во втором методе выводная траектория пучка ионов после перезарядки обходит центр циклотрона (рис. 2, *б*), но не ближе к центру, чем 5 см. На рис. 4, *а* приведены зависимости границ коэффициентов перезарядки Z_2/Z_1 от азимутального положения фольги для разных соотношений $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}}$ при ускорении *по спирали* и на рис. 4, *б* — *против спирали* магнитной структуры.

Как и для магнитных структур с прямыми секторами [7], возможность вывода пучков ионов методом 2 (с обходом центра) с низкими коэффициен-

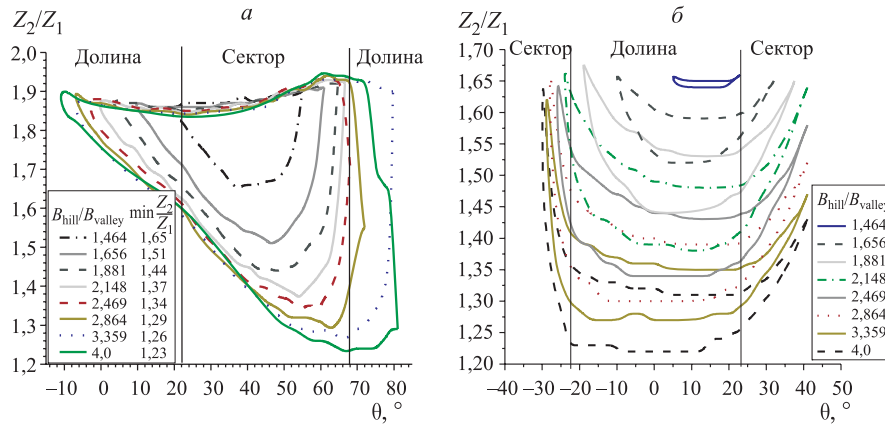


Рис. 4. Влияние азимутального положения фольги на возможность вывода пучков ионов с разными коэффициентами перезарядки Z_2/Z_1 методом 2 при ускорении *по спирали* (а) и *против спирали* (б) магнитной структуры (0° соответствует середине долины)

тами перезарядки резко улучшается по сравнению с методом 1. При движении пучка ионов *по спирали* магнитной структуры (рис. 4, а) фольгу следует располагать в секторе. При этом для низких вариаций магнитного поля оптимальное положение фольги в середине сектора, а с увеличением вариации фольгу лучше сдвигать к концу сектора по ходу пучка. При движении пучков ионов *против спирали* магнитной структуры (рис. 4, б) оптимальное положение фольги в долине. При этом со снижением азимутальной вариации магнитного поля диапазон оптимальных азимутальных положений фольги сужается и сдвигается по ходу пучка.

3. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫВОДА

Метод 1. На рис. 5, а представлены нижние границы коэффициентов перезарядки Z_2/Z_1 в зависимости от соотношения $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}}$ при ускорении по спирали и против спирали магнитной структуры. Из рисунка видно, что при ускорении *против спирали* магнитной структуры можно выводить пучки с несколько более низкими коэффициентами перезарядки, чем при ускорении *по спирали*. Тем не менее, для вывода пучков ионов с низкими коэффициентами перезарядки методом 1 магнитные структуры с прямыми секторами лучше.

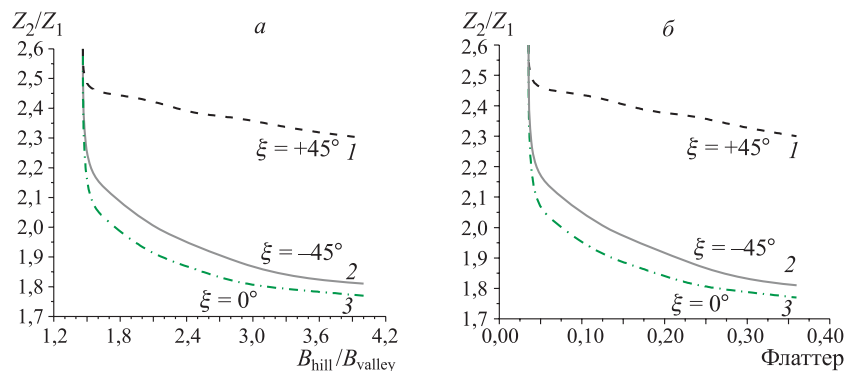


Рис. 5. Зависимости нижних границ коэффициентов перезарядки Z_2/Z_1 для метода 1 от азимутальной вариации магнитного поля $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}}$ (а) и от флаттера магнитной структуры (б) для трех углов спиральности магнитной структуры (1 — ускорение по спирали, 2 — ускорение против спирали, 3 — прямые сектора)

Метод 2. Этот метод (рис. 6) можно использовать для вывода пучков ионов с еще более низкими коэффициентами перезарядки, т. е. ускорять более высокозарядные ионы до более высоких энергий. У этого метода нижняя граница коэффициентов перезарядки в зависимости от направления ускорения пучка по отношению к спиральности магнитной структуры почти совпадает.

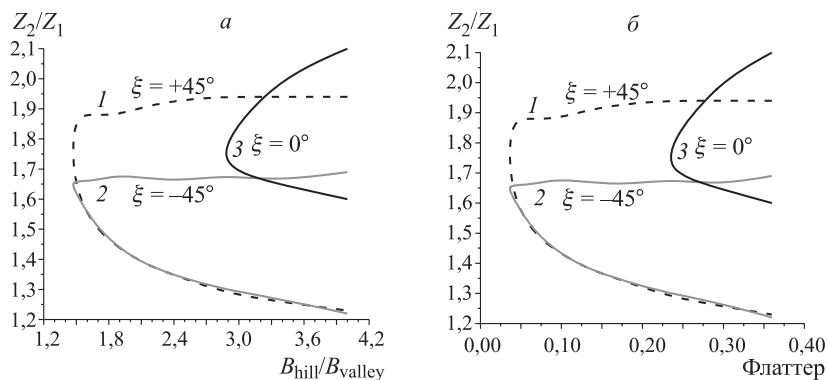


Рис. 6. Сравнение возможности вывода пучков ионов методом 2 при ускорении *по спирали* магнитной структуры (кривая 1), *против спирали* (кривая 2) и магнитной структуры с прямыми секторами (кривая 3) в зависимости от азимутальной вариации магнитного поля $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}}$ (а) и от флаттера магнитной структуры F (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе было проведено компьютерное моделирование возможности вывода пучков тяжелых ионов методом перезарядки из 4-секторных циклотронов со спиральными секторами и радиально-однородным средним магнитным полем. Были исследованы два направления ускорения (против спирали и по спирали магнитной структуры) и два возможных метода вывода при движении в пределах одного периода магнитной структуры (метод 1) или вокруг центра структуры (метод 2). Из расчетов видно, что магнитные структуры со спиральностью несколько хуже для вывода пучков методом 1, чем структуры с прямыми секторами.

Следует также отметить, что спиральность магнитных структур значительно расширила возможность вывода пучков ионов методом 2 с низкими коэффициентами перезарядки Z_2/Z_1 и при меньшей азимутальной вариации магнитного поля. На рис. 7 приведены примеры выводных траекторий пучка ионов с коэффициентом перезарядки $Z_2/Z_1 = 1,25$ при вариации магнитного поля $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}} = 4 (F = 0,36)$. Полученные данные могут быть

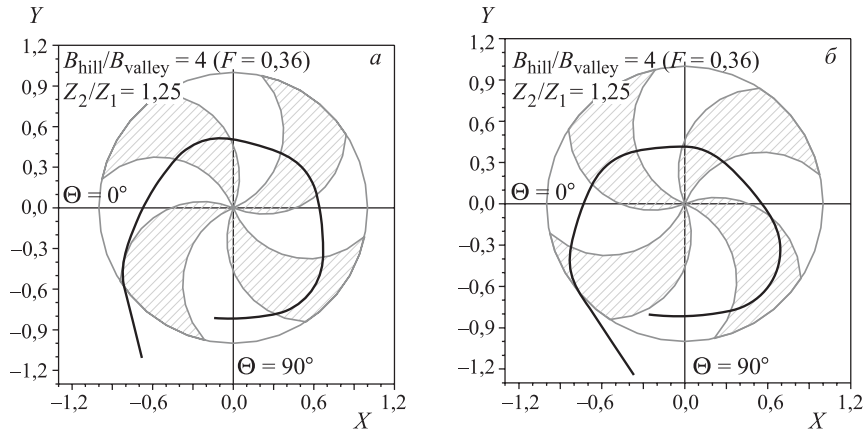


Рис. 7. Примеры выводных траекторий пучка ионов после перезарядки с коэффициентом $Z_2/Z_1 = 1,25$ при вариации магнитного поля $B_{\text{hill}}/B_{\text{valley}} = 4 (F = 0,36)$ при движении *по спирали* (а) и при движении *против спирали* (б) магнитной структуры

полезны для целевого синтеза магнитных структур или их анализа. Использование полученных данных в реальных магнитных структурах требует анализа огибающих выводимых пучков.

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, 1998. V. 2. P. 839.
6. *Иваненко И. и др.* Программное приложение для анализа и визуализации результатов измерений магнитных полей изохронных циклотронов. Сообщение ОИЯИ Р9-2003-162. Дубна, 2003.
7. *Гульбемян Г. Г., Соливайс Д., Борисов О. Н.* Анализ возможности вывода тяжелых ионов методом перезарядки из циклотронов с прямыми секторами (без спиральности). Сообщение ОИЯИ Р9-2005-52. Дубна, 2005.

Получено 16 ноября 2005 г.

Корректор *Е. В. Сабаева*

Подписано в печать 25.01.2006.

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

Усл. печ. л. 0,56. Уч.-изд. л. 0,69. Тираж 270 экз. Заказ № 55197.

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/