

ВАРИАНТЫ КАНАЛА ESIS-RFQ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

В. С. Александров, В. Ф. Шевцов

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Приводятся результаты численного моделирования транспортировки пучка ионов золота из источника ESIS в начальную часть линейного ускорителя — RFQ. Анализируются особенности двух вариантов канала: без разделения и с разделением зарядов.

Results of numerical simulation of gold ion beam transportation from ESIS source to an initial part of the linear accelerator — RFQ are given. Features of two variants of the channel (without separation and with separation of charges) are analyzed.

PACS: 29.20.-c; 29.90.+g

ВВЕДЕНИЕ

Согласно проекту NICA/MPD [1] инжектор тяжелых ионов ускорительного комплекса NICA включает в себя новый источник электронно-струнного типа (ESIS) «Крион-6Т», который производит ионы Au^{32+} с интенсивностью на уровне $2 \cdot 10^9$ частиц за импульс, длительностью 6–8 мкс и частотой повторения до 50 Гц, и линейный ускоритель с высокочастотной квадрупольной фокусировкой (RFQ), предназначенный для ускорения ионов с отношением массы к заряду $A/q \leq 8$ до энергии 6,2 МэВ/нуклон и эффективностью не менее 80 %.

Канал транспортировки ионов низкой энергии (Low Energy Beam Transfer, LEBT) переводит пучок из источника ESIS, расположенного на платформе под потенциалом 200 кВ, в RFQ-ускоритель. Источник заканчивается системой предварительного ускорения (на рис. 1 и 2 обозначена как AG).

Рассматривались два варианта канала:

- вариант 1 с сепарацией компонент пучка, т. е. с выделением одной зарядности;
- вариант 2 без сепарации, т. е. с переводом в RFQ всех зарядностей пучка.

Расчеты канала проводились с помощью программы MAD [2]. Результаты проверялись с помощью программы MCIB04 [3], учитывающей эффекты собственного заряда пучка.

ВАРИАНТ 1 — КАНАЛ С РАЗДЕЛЕНИЕМ КОМПОНЕНТ

Канал (рис. 1) состоит из поворотного магнита-спектрометра и фокусирующей системы для согласования эмиттанта пучка с акцептансом ускорителя RFQ. Фокусирующая система включает в себя две соленоидальные магнитные линзы (S1, S2), триплет (Q3–Q5), возвращающий пучку аксиальную симметрию, и одну или две квадрупольные линзы

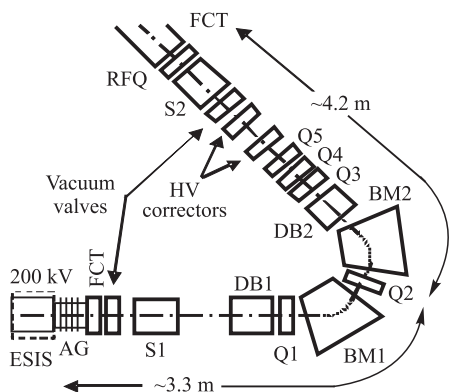


Рис. 1. Схема LEBT (вариант 1). FCT — трансформатор тока; DB1 и DB2 — измерительные боксы; HV — корректирующие магниты

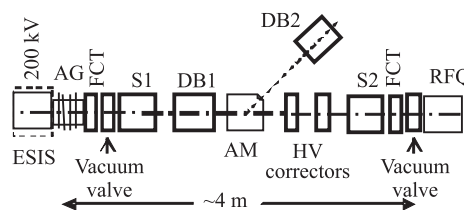


Рис. 2. Схема LEBT (вариант 2). Обозначения те же, что и на рис. 1

(Q1, Q2). 135°-спектрометр состоит из двух 67,5° прямоугольных магнитов BM1 и BM2, имеющих углы между полюсом и радиусом по 25° для фокусировки в вертикальной плоскости.

Основная особенность канала транспортировки ионов низкой энергии с разделением компонент — «разнуление» дисперсионной функции в спектрометре. Если не применять специальных мер, то эффективный поперечный эмиттанс пучка при этом может увеличиваться до неприемлемых значений в конце канала.

Для пучка, согласованного с акцептансом RFQ в требуемой зарядности (рис. 3), значения дисперсионных функций D_x , D_y и их производных D'_x , D'_y на входе в RFQ приведены в таблице.

При энергетическом разбросе в пучке источника «Крион-6Т» $\pm 0,75q$ кэВ эффективный среднеквадратичный ненормализованный эмиттанс может достигать $\sim 190 \pi \cdot \text{мм} \cdot \text{мрад}$ в конце канала (при $11,9 \pi \cdot \text{мм} \cdot \text{мрад}$ в его начале).

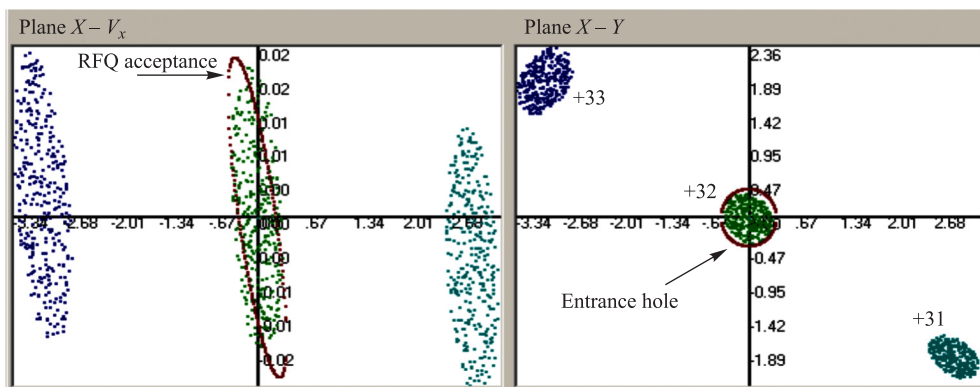


Рис. 3. Фазовый эллипс и сечение пучка золота на входе в RFQ

Функции и их производные	Вход в RFQ
$D_x, \text{ м}$	-8
D'_x	2,8
$D_y, \text{ м}$	6
D'_y	-2

Рассмотрены два варианта подавления этого эффекта: установка между половинками спектрометра дополнительного магнита с полем обратного знака или квадруполя Q2.

1.1. Дополнительный диполь. Для подавления эффекта увеличения эмиттанса использовался (как предложено в [4]) прямоугольный диполь BM3 с обратным полем, расположенный между половинками спектрометра (рис. 4). При этом каждый диполь спектрометра отклоняет пучок на угол, больший расчетного $67,5^\circ$.

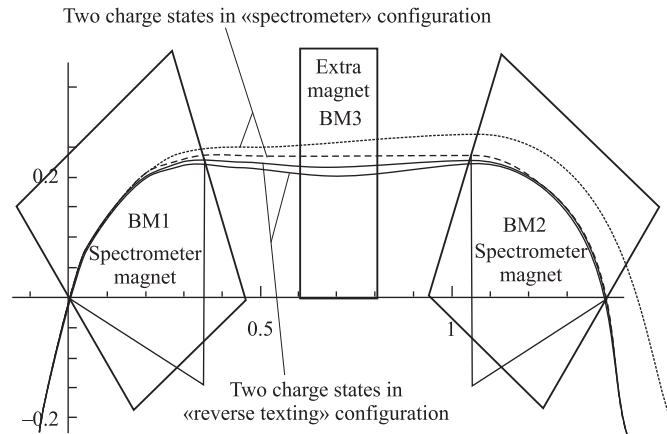


Рис. 4

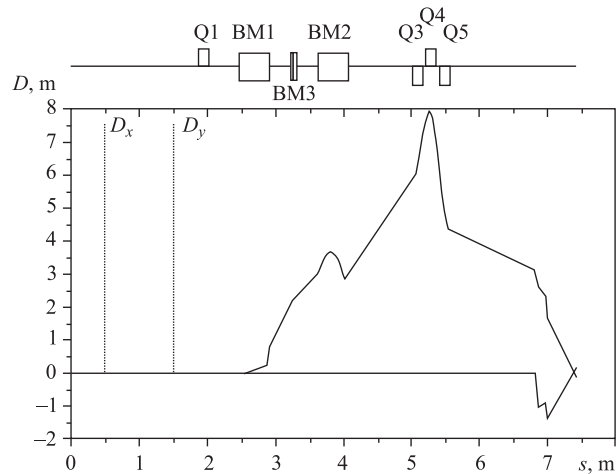


Рис. 5. Структура канала (вверху) и графики дисперсионных функций. Соленоиды S1 и S2 не показаны

На рис. 5 приведен график дисперсий для случая, когда дисперсии и их производные минимизированы по их суммарному вкладу в увеличение эмиттанса.

Таким способом можно уменьшить вклад от дисперсии и ее производной в увеличение эмиттанса до приемлемой величины (~ 10 %).

1.2. Дополнительный квадруполь. Результаты для случая использования квадруполя Q2 для «зануления» дисперсии и ее производной приведены на рис. 6.

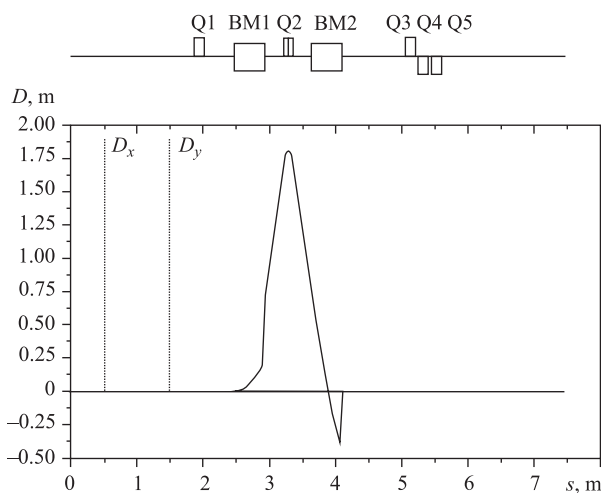


Рис. 6. Структура канала (вверху) и графики дисперсионных функций

Как видно из рис. 6, использование квадруполя позволяет полностью занулить дисперсии и их производные.

ВАРИАНТ 2 — КАНАЛ БЕЗ РАЗДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТ

В варианте 2 (рис. 2) отсутствуют квадрупольные линзы и спектрометр, вместо которого устанавливается анализирующий магнит (АМ). Результаты моделирования с ускоре-

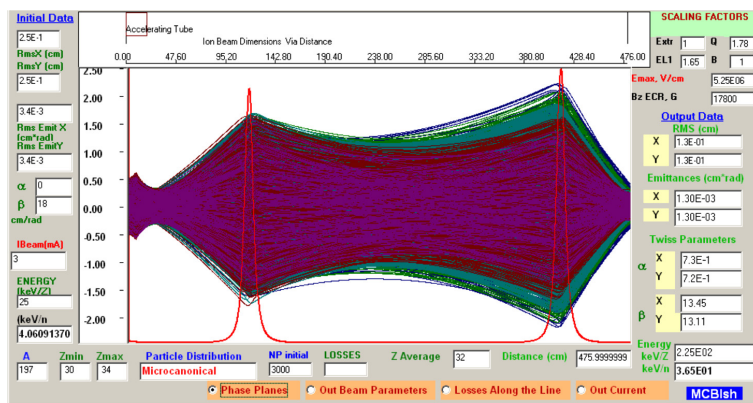


Рис. 7. Траектории ионов пучка Au³²⁺ при полном токе пучка 3 мА

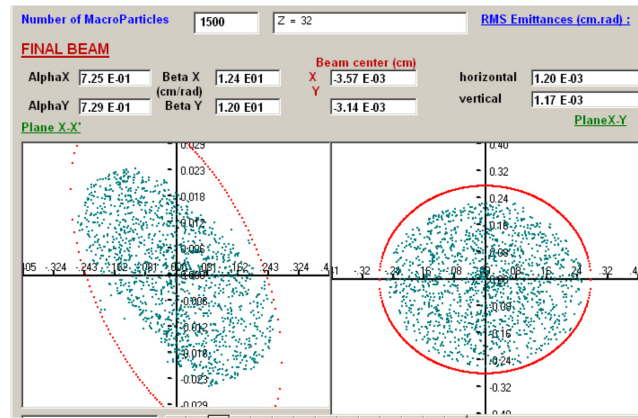


Рис. 8. Фазовый эллипс и сечение основной зарядности пучка Au^{32+} на входе в RFQ

нием в AG и транспортировкой до входа в RFQ (весь канал) с помощью MCIB04-кода для пучков с током 3 мА показаны на рис. 7 и 8.

В акцептансе RFQ 99,9 % ионов основной зарядности с эмиттансом $4 \text{ gms } \varepsilon_{un} = 48 \pi \cdot \text{мм} \cdot \text{мрад}$. Эмиттанс всего пучка $4 \text{ gms } \varepsilon_{un} = 52 \pi \cdot \text{мм} \cdot \text{мрад}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Оба варианта канала (без разделения и с разделением зарядностей) позволяют проводить и согласовывать с акцептансом RFQ практически 100 % ионов основной зарядности, если дисперсия и ее производная равны нулю.

2. Эмиттанс пучка ионов основной зарядности в конце канала $4 \text{ gms } \varepsilon_{un} = 48 \pi \cdot \text{мм} \times \text{мрад}$. Эмиттанс всего пучка (для варианта без разделения зарядностей) $4 \text{ gms } \varepsilon_{un} = 52 \pi \cdot \text{мм} \cdot \text{мрад}$.

3. Диапазон суммарного тока пучка от 0 до 3 мА.

4. В варианте с разделением зарядностей применение диполя с обратным полем позволяет подавить вклад от дисперсии и ее производной в увеличение эмиттанса до приемлемой величины ($\sim 10 \%$), использование квадруполя позволяет полностью «занулить» дисперсии и их производные.

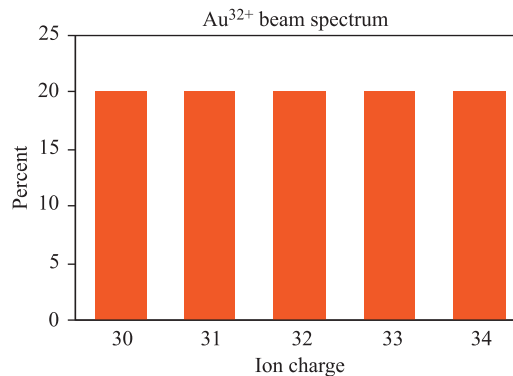


Рис. 9. Ожидаемый зарядовый спектр пучка золота

5. Более сложный канал позволяет проводить пучки с большим током (~ 6 мА), что может оказаться важным при ожидаемом равномерном зарядовом спектре пучка ионов золота (рис. 9). В варианте 2 настройка канала на нужную зарядность сопряжена с определенными трудностями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концептуальный проект ускорительного комплекса Nuclotron-based Ion Collider facility (NICA). ОИЯИ, Р9-2008-153. Дубна, 2008. 51 с.
2. *Iselin F. C., Niederer J.* The MAD Program. CERN/LEP-TH/88-38. Geneva, 1988.
3. *Aleksandrov V., Kazarinov N., Shevtsov V.* Multi-Component Ion Beam Code — MCIB04 // Proc. of XIX Rus. Particle Accelerator Conf. (RuPAC-2004), Dubna, 2004. P. 201;
Coco V. et al. Acceleration of Several Charge States of Lead Ions in CERN Linac3 // Proc. of LINAC 2004, Lubeck, Germany, 2004. P. 351.