

Схема многооборотной инжекции ионов в синхротрон У-10

Н.Н. Алексеев, А.Е. Большаков, М.М. Кац

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия

Для проекта преобразования синхротрона У-10 в ионный накопитель по программе создания Российской Тяжелоионной Термоядерной Установки (РТТУ) рассчитана схема многооборотной перезарядной инжекции в кольцо У-10 пучка ионов типа Co^{+25} с импульсом порядка 700 МэВ/н, получаемого на выходе бустерного синхротрона УК. Приводятся схема и характеристики инжекционного канала, обсуждаются особенности и проблемы процесса инжекции.

Введение

В этом году был предложен проект создания в ИТЭФ на основе существующих ускорительных установок тераваттного накопителя ионов, предназначенного для технологических и физических исследований по тяжелоионному термоядерному синтезу [1]. Пучок ионов типа Co^{+27} с энергией 40 ГэВ на ядро предполагается накапливать в существующем кольце протонного синхротрона У10. В качестве инжекционного комплекса для накопителя используется резонаторный ускоритель ионов И-3 и бустерный синхротрон УК [2].

Схема ускорения и накопления ионов представлена на рис. 1. Неполностью ободранные ионы типа Co^{+25} получают на выходе лазерного источника и последовательно ускоряются в И-3 до энергии порядка 100 МэВ и в УК до требуемой энергии, после чего инжектируются в накопительное кольцо У-10.

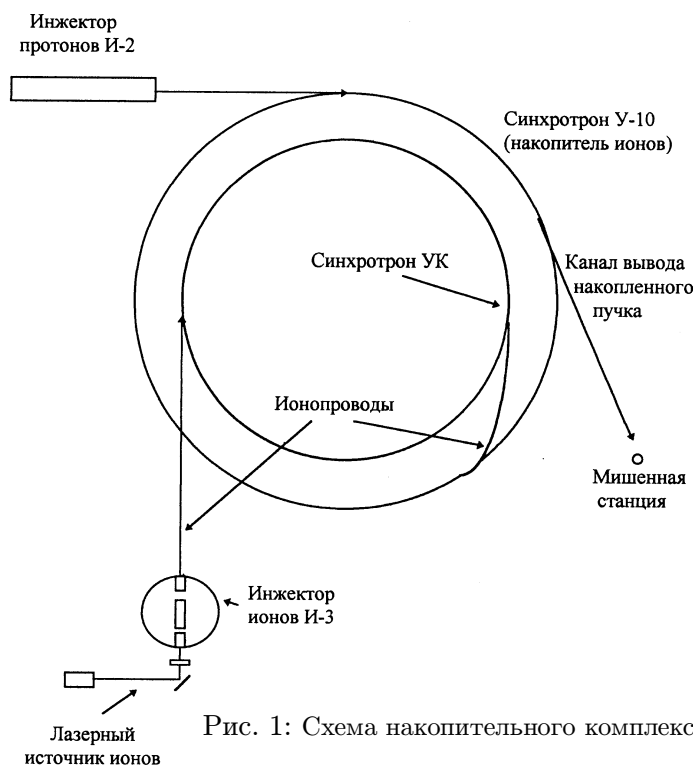


Рис. 1: Схема накопительного комплекса тяжелых ионов.

1. Схема инжекции

Трасса перевода пучка из УК в У-10 показана на рис. 2. Ионный пучок выводится из УК за один оборот с помощью ударного магнита. Первоначальное отклонение пучка в ударном магните составляет 18 мрад. Септумный магнит СМ1 создает дополнительное отклонение на угол 80 мрад, направляющее пучок в ионопровод длиной 24 м.

Инжекция пучка в У-10 основывается на увеличении заряда ионов Co^{+25} на две единицы. Перезарядная мишень устанавливается в коротком промежутке 207-208. Для того чтобы минимизировать возмущение уже накопленного пучка при инжекции очередной порции частиц, перезарядная мишень устанавливается за пределом рабочей апертуры накопителя, и циркулирующий пучок смещается на мишень только на время одного оборота, в продолжение которого осуществляется инжекция. Возмущающее действие перезарядной мишени на накопленный пучок уменьшается дополнительно путем оптимизации процесса заполнения аксептанса накопителя с учетом того обстоятельства, что площадь поперечного сечения инжектируемого пучка в месте расположения мишени может быть сделана существенно меньше площади поперечного сечения накапливаемого пучка, и только малая часть уже накопленных ионов будет пересекать перезарядную мишень в каждом акте инжекции.

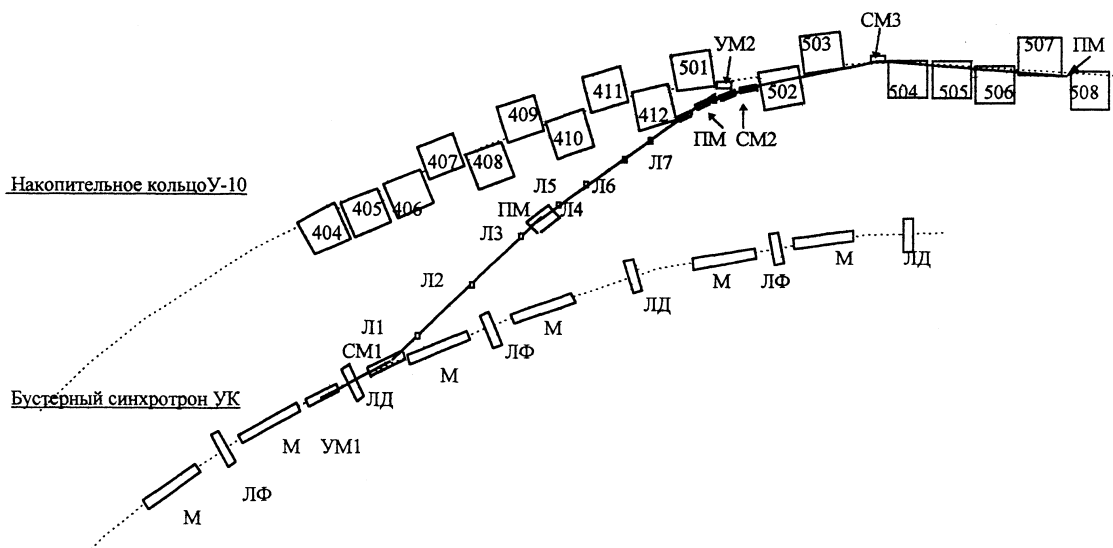


Рис. 2: Трасса перевода пучка из УК в У-10.

Участок магнитного кольца У-10, на котором осуществляется перезарядная инжекция, и сопряжение траектории инжектируемого пучка с возмущенной орбитой пучка, циркулирующего в накопителе, показаны на рис. 3. Пучок вводится в магнитную структуру У-10 в горизонтальной плоскости. Местное возмущение равновесной орбиты создается с помощью трех ударных магнитов УМ2-УМ4, размещаемых в двухметровых прямолинейных промежутках двух соседних суперпериодов кольцевого магнита У-10. Максимальный угол поворота пучка в ударном магните составляет 2,3 мрад. При эффективной длине магнита 0,5 м требуемая величина индукции магнитного поля не превышает 0,05 Тл.

Параметры пучка на выходе УК.	
Тип ионов	$C o_{59}^{+25}$
Масса покоя	54,9 ГэВ
Кинетическая энергия	40 ГэВ
Полная энергия	94,9 ГэВ
Релятивистский фактор	1,729
Скорость	0,816 с
Импульс	77,46 ГэВ/с
Разброс по импульсам	0,1%
Эмиттанс E_x	16 мм·мрад
Эмиттанс E_y	10 мм·мрад
Акцептанс У-10 A_x	80 мм·мрад
Акцептанс У-10 A_y	50 мм·мрад

Траектория инжектируемого пучка пересекает магнитные зазоры блоков 502-503 и септумного магнита СМЗ, установленного в прямолинейном промежутке 503-504. Длина СМЗ выбрана равной 0,8 м, максимальная индукция поля 1 Тл, угол поворота пучка 62 мрад.

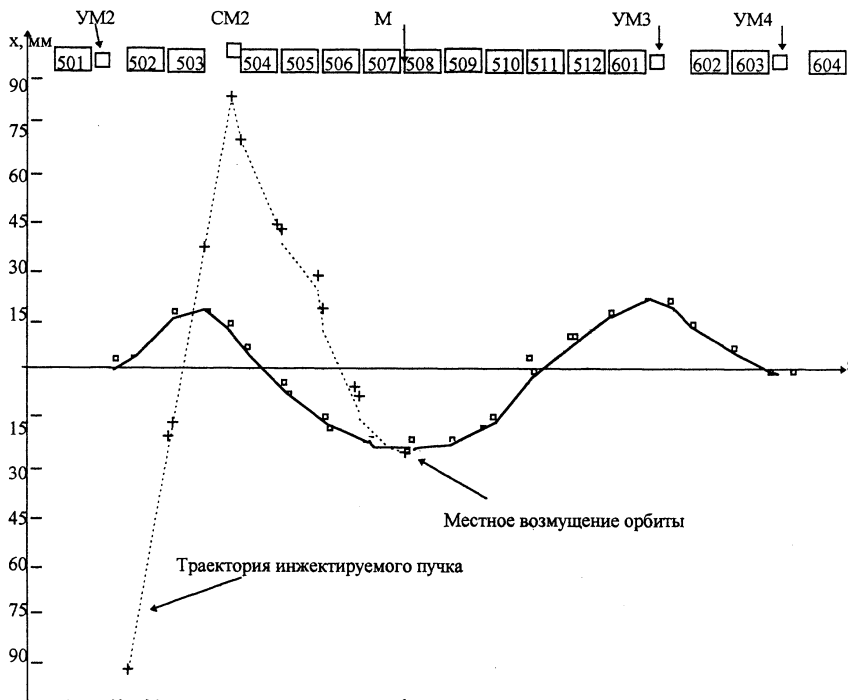


Рис. 3: Сопряжение траекторий инжектируемого и циркулирующего пучка.

2. Взаимодействие ионного пучка с мишенью

Толщина и материал перезарядной мишени должны быть выбраны, исходя из достаточно высокой эффективности обдирки ускоренных ионов до полной зарядности

при минимальном возмущении накапливаемого пучка. Возмущающее воздействие мишени на циркулирующий пучок связано с эффектами потери энергии частиц из-за ионизации, многократного кулоновского рассеяния и обратной перезарядки. Сечение ионизации ионов, пролетающих через мишень, а также угол кулоновского рассеяния ионов приблизительно пропорциональны заряду ядра материала мишени (Z_m), ионизационные потери иона от заряда ядер мишени практически не зависят, а сечение захвата электрона релятивистским ионом пропорционально четвертой степени Z_m [3,4].

В нижеприведенной таблице даются основные характеристики перечисленных эффектов для мишеней из майлара ($C_5H_4O_2$), Al и Cu , рассчитанные по данным из работ [3,4,5]. Максимальное число проходов пучка через мишень из майлара составляет около сотни и ограничивается ионизационными потерями энергии. Для мишеней из более тяжелых материалов наиболее существенным оказывается эффект обратной перезарядки ионов: к 10% потерям частиц приводит 30-кратное прохождение мишени из Al и 5-кратное из Cu .

Характеристики прохождения пучка через мишень.			
Материал мишени	$C_5H_4O_2$	Al	Cu
Равновесная толщина для полной обдирки 80% ионов Co при энергии 40 ГэВ на ядро, мг/см ²	5	3	1,5
Ионизационные потери энергии в мишени, МэВ	7,6	4	1,8
Относительные потери импульса $\times 10^{-4}$	1,2	0,6	0,2
Ср. кв. угол многократного кулоновского рассеяния, мрад $\times 10^{-2}$	7	7	7
Сечение захвата электрона, σ	0,5	50	1500
Вероятность потерь из-за захвата электрона, $\times 10^{-4}$	1,7	33	220

3. Заполнение фазового объема

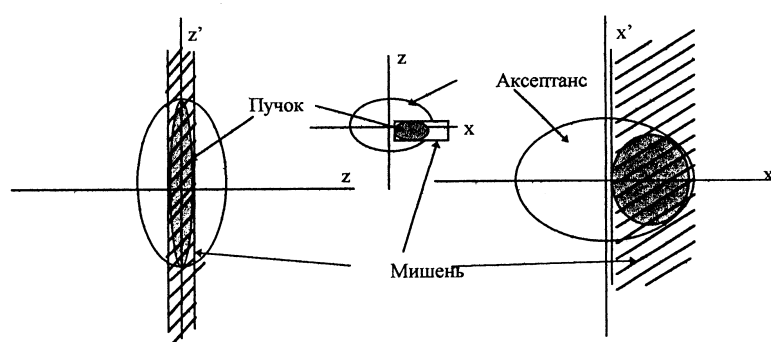


Рис. 4: Заполнение фазового объема накопителя.

Эмиттанс пучка на выходе из УК составит 16 мм·мрад в горизонтальной плоскости и 10 мм·мрад в вертикальной плоскости. Акцептанс У-10 принимается равным 80 мм·мрад в горизонтальной плоскости и 50 мм·мрад в вертикальной. Таким образом, акцептанс накопителя превышает эмиттанс пучка в

25 раз, и теоретически только 1/25 часть частиц циркулирующего пучка могла бы проходить через мишень в каждом акте инжекции. Однако реализовать предельный коэффициент уменьшения числа проходов циркулирующего пучка через мишень

технически не представляется возможным. Одна из схем заполнения фазового объема, при которой приблизительно 1/10 часть частиц циркулирующего пучка проходит через мишень в цикле инжекции, показана на рис.4. При такой схеме заполнения акцептанса накопителя возможна инжекция до 1000 оборотов.

Заключение

Для проекта преобразования синхротрона У-10 в ионный накопитель по программе создания РТТУ разработана схема многооборотной перезарядной инжекции ионного пучка Co^{+25} в У-10 при энергии 40 ГэВ на ядро. Минимизация возмущающего воздействия перезарядной мишени на циркулирующий пучок позволяет рассчитывать на инжекцию до 1000 оборотов.

Список литературы

- [1] Д.Г.Кошкарёв, Н.Н.Алексеев, И.В.Чувило, Б.Ю.Шарков. Модернизация ускорительно-накопительного комплекса ИТЭФ — Проект ИТЭФ-ТВР. (Доклад на этом совещании.)
- [2] Н.Н.Алексеев, А.Е.Большаков, и др. Наладка УК — вспомогательного магнитного кольца ускорительного комплекса ИТЭФ. Труды XIII Совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1993, т. 1, с. 126.
- [3] В.С.Николаев. Захват и потеря электронов быстрыми ионами в атомных столкновениях. Успехи Физических Наук. 1965, т. 85, вып. 4, с. 679.
- [4] R.Anholt. Phys. Rev., A19, 1004, (1979).
- [5] P.Thieberger, H.E.Wagner et al. Fully Stripped Heavy Ion Yield vs Energy for Xe and Au Ions. IEEE Trans. on Nucl. Scien. vol. NS-32, N5, (1985), p.1767.