

Савченко О.В.

1459/90

Б1-9-90-72

345e +



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б1-9-90-72

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1990

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

Б1-9-90-72

О.В.Савченко

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ
ПУЧКА ФАЗОТРОНА ОИЯИ

Руководитель лаборатории
Э.И.Иванович
06-02-90

Дубна, 1990

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПУЧКА ФАЗОТРОНА ОИЯИ

О.В.Савченко

Аннотация

В теоретическом плане проведено рассмотрение четырех вариантов повышения интенсивности внутреннего пучка фазотрона ОИЯИ. Во всех предложенных вариантах имеется принципиальная возможность увеличения интенсивности пучка фазотрона более чем на один порядок, т.е. до 25 - 30 мкА, при условии осуществления электростатической системы вывода пучка с эффективностью около 90%.

В первых двух вариантах предлагается, ничего не нарушая и не меняя в режиме работы фазотрона, дополнить его системой внешней инжекции пучка от расположенного рядом с фазотроном линейного ускорителя H^- -ионов, осуществляемой с помощью одноступенчатой или двухступенчатой перезарядки H^- в H^+ на пленочных или газовых мишенях.

В третьем варианте рассматривается модификация фазотрона в изохронный циклотрон, ускоряющий ядра 3He до энергии 1020 МэВ на постоянной частоте 12 МГц, что позволяет избавиться от таких ненадежных частот фазотрона, как вариатор частоты и растяжка пучка, а также ослабить, примерно, на 20% требования к величине электрического поля в электростатической системе вывода пучка и тем самым существенно упростить эксплуатацию ускорителя. Показано, на основе анализа сечений образования мезонов при разных энергиях падающих на мишень частиц, что при увеличении интенсивности выведенного пучка до 25 мкА (по 3He) интенсивности пучков положительных пи-мезонов с энергией до 100 МэВ возрастут примерно в 10 раз, а пучков отрицательных пи-мезонов до 25 раз.

В четвертом варианте предлагается уменьшить энергию внутреннего пучка фазотрона до уровня 450 МэВ, где по данным экспериментальных работ по мезонообразованию, наблюдается увеличение примерно в два-три раза выхода отрицательных и положительных пи-мезонов в энергетическом диапазоне 50-150 МэВ, что является оптимальным для мезонных пучков мю-канала. Кроме того, такое уменьшение энергии протонного пучка позволит сократить диапазон частоты ускоряющего поля, повысить его амплитуду, и тем самым увеличить частоту модуляции, а следовательно и интенсивность пучка фазотрона. Дополнительно такое уменьшение энергии протонного пучка понизит на 30% требования к величине напряженности поля электростатического вывода, а также увеличит в 30-50 раз за счет сокращения длины тормозителя интенсивность заторможенных протонных пучков, используемых в лучевой терапии онкологических больных.

Реализация какого-либо из предложенных вариантов повышения интенсивности внутреннего пучка Фазотрона ОИЯИ вместе с уже осуществленным способом увеличения примерно на один порядок интенсивности мезонных пучков на основе использования широкоугольной магнитной линзы позволит повысить статус Фазотрона ОИЯИ до уровня мезонных фабрик с эквивалентным током выведенного протонного пучка 100-200 нкА и тем самым обеспечить перспективу развития на ближайшие 5-10 лет как для исследований в области мезонной физики, так и для целого ряда прикладных работ.

§ I. Введение

В 1954-1965 гг. в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ был предложен и создан проект переоборудования действующего тогда синхроциклотрона на энергию 680 МэВ в релятивистский циклотрон - мезонную фабрику - с током внутреннего пучка около 500 мкА /1,2/. Этот проект по различным причинам так и не был реализован и в 1968 году появился более приемлемый с точки зрения реализации проект реконструкции синхроциклотрона в малую мезонную фабрику (Фазотрон с пространственной вариацией магнитного поля или установка "Ф") с энергией протонов 700 МэВ, средним током внутреннего пучка 50 мкА и интенсивностью выведенного протонного пучка 25 мкА /3/.

В ходе дальнейшей проработки и уточнения возник проект первой очереди установки "Ф", предусматривающий получение тока внутреннего пучка на уровне 10-15 мкА и коэффициента вывода на основе железно-токового канала около 70% /4,5/.

В настоящее время достигнутая интенсивность выведенного протонного пучка без растяжки составляет 2,0-2,5 мкА, что все еще в 3-5 раз меньше, чем предусматривалось даже проектом первой очереди установки "Ф". Такая интенсивность выведенного протонного пучка оставляет примерно на прежнем уровне интенсивность пучков отрицательных мю-мезонов на выходе мю-канала, по сравнению с тем, что было до реконструкции синхроциклотрона (ток внутреннего пучка 2,3 мкА), и ограничивает возможности по использованию медицинских пучков замедленных протонов (с энергиями 100-200 МэВ), при проектировании которых за основу бралась величина интенсивности выведенного протонного пучка 7-10 мкА.

Следует отметить, что в случае успешного осуществления электростатической системы вывода с эффективностью около 90% /6/, уровень тока внутреннего протонного пучка, определяемый допустимыми радиационными ограничениями при эксплуатации ускорителя (в камере фазотрона не должно теряться более 3 мкА внутреннего пучка), составит 25-30 мкА, что открывает принципиальную возможность повышения интенсивности внутреннего протонного пучка примерно на один порядок. Между тем в настоящее время не имеется каких-либо предложений по радикальному увеличению тока внутреннего пучка фазотрона. Целью настоящей работы является рассмотрение четырех возможностей повышения интенсивности пучка фазотрона, а также анализ некоторых данных по процессам мезонообразования при различных энергиях, которые могут оказаться полезными при разработке в будущем какого-либо приемлемого для реализации проекта усовершенствования фазотрона ОИЯИ, направленного на существенное увеличение тока его внутреннего пучка, выбор оптимальной энергии пучка или на его перевод в режим ускорения других частиц.

§ 2. Внешняя инжекция пучка H^- -ионов с одноступенчатой перезарядкой ($H^- \rightarrow H^+$)

В настоящее время установлено, что сильноточность реконструированного фазотрона ОИЯИ определяется процессами, происходящими в центральной зоне ускорителя в течение первого фазового колебания, и что после прохождения радиуса 30-50 см потери пучка при дальнейшем ускорении практически отсутствуют /7/.

Самым радикальным способом преодоления существующих ограничений, связанных с центральной областью фазотрона является ее полное исключение из процесса ускорения частиц с помощью

внешней инжекции пучка на радиус, больший чем 30-50 см. Наиболее просто это можно осуществить на основе внешней инжекции пучка H^- -ионов с энергией 100-130 МэВ путем одноступенчатой перезарядки H^- в H^+ на углеродной мишени толщиной около 100 мкг/см², установленной на радиусе 110-120 см. При этом можно непосредственно использовать большинство расчетов и выводов работы /8/, где проведено теоретическое рассмотрение возможности ускорения H^- -ионов на Фазотроне ОИЯИ, что, как можно легко видеть, является просто обратной задачей по отношению к задаче внешней инжекции пучка H^- ионов.

Действительно, при рассмотрении внешней инжекции такие параметры, как оптимальная толщина перезарядной мишени, ее нагревание пучком, рассеяние пучка в мишени, преобразование эмиттанса пучка при пересечении "спиралей" на траектории ввода можно прямо взять из работы /8/. И тогда остаются только вопросы, связанные с согласованием пространственных и временных характеристик инжектируемого пучка и пучка Фазотрона или иначе, какие ограничения надо наложить на параметры инжектируемого пучка H^- -ионов, чтобы он после перезарядки в H^+ с минимальными потерями был вовлечен в процесс дальнейшего ускорения в Фазотронном режиме до конечного радиуса.

В таблице I на основании результатов работ /5,9,10,11,13/ приведены некоторые параметры Фазотрона ОИЯИ.

Таблица I. Некоторые параметры Фазотрона ОИЯИ

Время захвата	35 мкс
Эмиттанс пучка ($\epsilon_z \approx \epsilon_r$)	2П см ² мрад
Амплитуды вертикальных и радиальных колебаний ("размеры пучка")	около ± 1 см
Частота циклов ускорения	240 Гц

Время одного оборота	55-70 мс
Длительность микроимпульса (банча)	около 15 нс
Скорость возрастания радиуса равновесной орбиты dR/dt	0,8 мм/мкс
Скорость возрастания средней энергии пучка dW/dt	0,36 МэВ/мкс
Энергетический разброс	$\pm 5 \cdot 10^{-3}$
Период фазовых колебаний	около 80 мкс
Размер сепаратрисы	$\pm 2,7 \div \pm 5,8$ МэВ

Наиболее подходящим инжектором для фазотрона может оказаться линейный ускоритель H^- -ионов с параметрами близкими, например, к параметрам Московской мезонной фабрики, имея в виду ее начальный участок с энергией около 100 МэВ. Эти данные представлены в таблице 2 /12/.

Сопоставление параметров таблиц 1 и 2 показывает, что поперечный эмиттанс пучка H^- -ионов примерно в семь раз меньше, чем аксиальный или радиальный эмиттансы пучка фазотрона ОИЯИ, что с большим запасом удовлетворяет условию согласования по этому параметру инжектируемого пучка и пучка фазотрона.

Таблица 2. Некоторые параметры Московской мезонной фабрики

Кинетическая энергия ионов H^-	600 МэВ
Импульсный ток пучка	50 мА
Длительность импульса	100 мкс
Частота следования импульсов	100 Гц
Средний ток пучка	500 мкА
Эмиттанс пучка	0,3П см ² ·мрад
Относительный импульсный разброс	$\pm 1,5 \cdot 10^{-3}$
Частота до энергии 100 МэВ	198 МГц

При длительности инжектируемого импульса H^- -монов 10 ± 20 мкс, как следует из таблицы I, изменение радиуса равновесной орбиты составит $\Delta R = dR/dt \times \Delta t \approx 0,8 \pm 1,6$ см, а средняя энергия пучка возрастет за это время на $\Delta W = dW/dt \times \Delta t \approx 3,6 \pm 7,2$ МэВ. Такие изменения среднего радиуса и средней энергии полностью укладываются в поперечные размеры пучка, обусловленные аксиальными и радиальными колебаниями, и не выходят за пределы сепаратрисы, характеризующей продольный эмиттанс или энергетические колебания частиц внутри ускоряемого сгустка, т.е. и по этим параметрам будет существовать высокая эффективность захвата инжектируемых частиц в фазотронный режим ускорения.

Остается, вероятно, самый важный вопрос - согласования микроструктуры линейного ускорителя (частота около 200 МГц) с микроструктурой пучка фазотрона (частота около 18 МГц), путем банчировки пучка H^- -ионов после линейного ускорителя без изменения средней энергии инжектируемого пучка. Это требует создания достаточно сложной системы отклонения частиц в высокочастотном электрическом и постоянном магнитном полях путем, например, пространственного разведения и сведения отдельных микробанчей линейного ускорителя и их прохождения по траекториям с разной длиной (так называемый группирующий магнит Мобли) $/2I/$. Если банчировку удастся осуществить наиболее оптимальным образом, т.е. инжектируемый пучок H^- будет направляться на перезарядную мишень в виде микроимпульсов длительностью около 15 мкс и частотой 18 МГц, то все потери при инжекции будут достаточно малы и средняя интенсивность пучка фазотрона при длительности инъекции 10-20 мкс возрастет до 50-100 мкА, что с большим запасом превышает величину 30 мкА,

допустимую радиационными ограничениями при использовании электростатической системы вывода пучка из камеры фазотрона с эффективностью 90%. Такой запас по интенсивности позволяет надеяться получить, даже при полном отсутствии банчировки, среднюю интенсивность пучка фазотрона 15-30 мкА, которую вполне можно считать удовлетворительной на первом этапе модернизации фазотрона.

Практическими ограничениями на создание рассматриваемого варианта внешней инжекции являются размеры линейного ускорителя на энергию около 100 МэВ и его стоимость.

В таблице 3 приведены данные по некоторым существующим и проектируемым линейным ускорителям протонов.

Таблица 3. Параметры некоторых линейных протонных ускорителей

1. Серпухов. ИФВЭ, инжектор /I4/ $T_p=100$ МэВ, длина 80 м
2. Фермилаб. Проект медицинского ускорителя /I4/,
 $T_p=66$ МэВ, длина - 24 м. Ток в импульсе - 50 мА,
 частота следования импульсов 60 Гц
3. Лос-Аламос. PIGMI проект /I5/. $T_p=650$ МэВ, длина -120 м,
 ток в импульсе - 35 мА, средний ток - 100 мкА,
 частота следования импульсов - 360 Гц,
 примерная стоимость - 10-15 млн. долларов.

Как видно из этой таблицы только современные проекты линейных ускорителей на энергию около 100 МэВ (пункты 2 и 3 таблицы 3) допускают их размещение в здании фазотрона, имеющего размеры 29x33 м². Ориентировочная стоимость такого ускорителя можно оценить из проекта PIGMI (пункт 3 таблицы 3), считая, что стоимость прямопропорциональна энергии или длине

линейного ускорителя, и учитывать реальный курс доллара по отношению к рублю 1:10. Примерные затраты на реализацию рассмотренной системы внешней инжекции составят 15-25 млн.рублей, что делает проблематичной реализацию этого варианта на современном этапе развития ускорительной техники и существующих финансовых ограничениях в ОИЯИ.

§ 3. Внешняя инжекция пучка H^- -ионов с двухступенчатой перезарядкой ($H^- \rightarrow H^0 \rightarrow H^+$)

Требования к линейному ускорителю H^- -ионов можно существенно уменьшить, если инжекцию пучка осуществлять на радиусе фазотрона 30-50 см, где энергия протонов должна составлять всего 6-15 МэВ. Однако, одноступенчатую инжекцию H^- -ионов на этот радиус осуществить невозможно, вследствие отражения пучка магнитным полем фазотрона из-за малой энергии или импульса частиц. Минимальный импульс инжектируемых частиц в случае однородного магнитного поля не может быть меньше $1/3$ импульса протонов I_{290} МэВ/с на конечном радиусе фазотрона, т.е. 430 МэВ/с, что соответствует энергии H^- -ионов около 85 МэВ.

Система внешней инжекции с двухступенчатой перезарядкой, изображенная на рис. 1, позволяет преодолеть эту трудность. Сначала H^- перезаряжается в H^0 на газовой струйной мишени^{/16/}, расположенной вне магнитного поля фазотрона на расстоянии 5-6 м от его центра, а затем на тонкой углеродной мишени, установленной на радиусе 30-50 см, происходит перезарядка H^0 в H^+ с эффективностью около 100%.

Выбор оптимальных толщин первой и второй мишеней можно получить из решения уравнений для доли нейтральных и заряженных H -ионов после прохождения перезарядной мишени^{/18/}.

$$P_{H^0} = \frac{\sigma_{-1,0}}{\sigma_{-1,0} - \sigma_{0,1}} [\exp(-\sigma_{0,1} \cdot n) - \exp(-\sigma_{-1,0} \cdot n)]$$

$$P_{H^-} = \exp(-\sigma_{-1,0} \cdot n),$$

где $\sigma_{-1,0}$ - сечение перезарядки $H^- \rightarrow H^0$

$\sigma_{0,1}$ - сечение перезарядки $H^0 \rightarrow H^+$

n - число атомов мишени на cm^2 : $n = N_A \cdot d/A$,

где N_A - число Авогадро, A - атомный вес материала мишени,

d - толщина мишени в g/cm^2 .

В широком диапазоне энергии H^- от 10 до 130 МэВ можно считать, что $\sigma_{-1,0} \approx 2,8 \sigma_{0,1}$, а энергетическая зависимость сечения $\sigma_{-1,0}$ для перезарядки на молекулах N_2 описывается выражением [8]:

$$\sigma_{-1,0} = 3,53 \cdot 10^{-16} / T_p^{0,77} (cm^2),$$

где T_p - энергия H^- в МэВ.

Оптимальная толщина мишени, исходя из условия:

$$P_{H^0} = \max$$

равняется
$$n = \frac{1}{\sigma_{-1,0} - \sigma_{0,1}} \cdot \ln \frac{\sigma_{-1,0}}{\sigma_{0,1}}$$

При энергии $T_p = 10$ МэВ: $\sigma_{-1,0} = 6 \cdot 10^{-17} cm^2$, $\sigma_{0,1} = 2,2 \cdot 10^{-17} cm^2$, и оптимальная толщина первой перезарядной мишени ($H^- \rightarrow H^+$) составит:

$$n = 2,8 \cdot 10^{16} \text{ (молекул } N_2) / cm^2 \text{ или } d = 1,2 \text{ мкг} / cm^2$$

В этом случае $P_{H^0} \approx 60\%$ $P_{H^-} = 20\%$ $P_{H^+} = 20\%$.

Такую толщину мишени на пути пучка H^- -ионов можно организовать только с помощью газовой струйной мишени, толщина которой для N_2 составляет около $0,1 \text{ мкг} / cm^2$ [16], а в пересчете на

N_2 толщина как раз будет близка к 1 мкг/см^2 . Вариант перезарядки H^- в H^0 в сильном магнитном поле, который рассматривался в работах [17,18,19], здесь не проходит, так как сопровождается значительным ростом радиального эмиттанса пучка H^0 -частиц. Дополнительная угловая расходимость в газовой мишени из-за многократного кулоновского рассеяния составит всего $\sigma_\theta = \sqrt{\frac{1}{2} \langle \theta^2 \rangle} = 0,1$ мрад, что пренебрежимо мало и не приводит к практически заметному увеличению эмиттанса пучка.

Расширение пучка в дрейфовом промежутке длиной 6 м при эмиттансе $0,3 \text{ П} \cdot \text{см} \cdot \text{мрад}$ и угловой расходимости 0,5 мрад составит 0,3 см, что еще укладывается в радиальный размер второй перезарядной мишени около 1 см. Если же использовать фокусировку пучка H^- до первой перезарядной мишени, то минимальный размер пучка H^0 на второй перезарядной мишени при эмиттансе пучка $\epsilon_x = 0,3 \text{ П} \cdot \text{см} \cdot \text{мрад}$ составит:

$$X_{\min} = \frac{\epsilon_x \cdot L}{A} = \frac{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 600}{1} \approx 0,2 \text{ см},$$

где L - дрейфовый промежуток, равный примерно 6 м, а $A \approx 1$ см - размер пучка H^- -ионов в фокусирующей линзе. Такой размер пучка потребует радиальной ширины второй перезарядной мишени всего 0,5 см.

Оптимальная толщина второй перезарядной мишени определяется условием $P_{H^0} \approx 10^{-2}$ и составит $n \approx 6 \cdot 10^{17}$ молекул $N_2 / \text{см}^2$ или $d \approx 12 \text{ мкг/см}^2$. В этом случае уже возможна пленочная углеродная мишень. При такой толщине мишени дополнительная угловая расходимость пучка H^+ составит $\sigma_\theta = \sqrt{\frac{1}{2} \langle \theta^2 \rangle} \approx 0,3$ мрад и возрастание эмиттанса будет всего в 1,1 раза, что вполне допустимо при эмиттансе пучка фазотрона $2 \text{ П} \cdot \text{см} \cdot \text{мрад}$.

Все вопросы, касающиеся согласования пространственных и временных характеристик инжектируемого пучка и пучка фазотрона, решаются аналогично первому варианту внешней инъекции, за исключением системы банчировки пучка, которая во втором варианте может оказаться значительно проще из-за возможности применения высокочастотного дебанчера /20/ вместо группирующего магнита Мобли /2I/, как это было необходимо в первом варианте инъекции, где недопустимо увеличение размытия пучка по энергии. Как и в первом варианте ожидается, что интенсивность пучка фазотрона возрастет до 50-100 мкА при осуществлении банчировки инжектируемого пучка в полном объеме, и до 15-30 мкА при отсутствии банчировки.

Предложенный способ повышения интенсивности пучка фазотрона ОИЯИ полностью совместим с существующим режимом его работы и всеми планами его усовершенствования в следующей пятилетке, направленными на повышение его надежности, эффективности системы вывода и др. Реализация предложенного способа не потребует новой остановки ускорителя на длительный срок и может быть осуществлена во время плановых ревизий ускорителя. Примерные затраты на реализацию второго варианта системы внешней инъекции будут, примерно, на порядок меньше, чем в первом варианте и составят 1,5-2,5 млн.рублей, что не выходит за рамки финансовых возможностей ОИЯИ.

§ 4. Возможность ускорения ядер ${}^3\text{He}$ в изохронном режиме

Эффективность фазотронного режима ускорения определяется отношением времени захвата к периоду модуляции и для фазотрона ОИЯИ, как видно из таблицы I, составляет величину $\eta = 35 \cdot 10^{-6} \times$

$240 = 0,85 \cdot 10^{-2}$ близкую к 1%. Переход к изохронному режиму ускорения позволяет увеличить интенсивность внутреннего пучка ускорителя примерно на два порядка /12/.

На рис. 2 показаны изменения среднего магнитного поля Фазотрона в зависимости от радиуса /2/ и расчетное магнитное поле, необходимое для ускорения ядер ${}^3\text{He}$ в изохронном режиме. Для этого ядра случайным образом оказалось, что отношение полной энергии на конечном радиусе 270 см к массе покоя равняется 1,36, в то время как перепад среднего магнитного поля Фазотрона на радиусе 270 см по отношению к центру составляет величину 1,367.

Это позволяет рассматривать и такой возможный вариант значительного (в пределе, примерно, на два порядка) повышения интенсивности пучка Фазотрона ОИЯИ, как его модификация в изохронный циклотрон, ускоряющий ядра ${}^3\text{He}$ до энергии 1020 МэВ или 340 МэВ/нуклон на постоянной частоте электрического поля 12 МГц. Следует сразу отметить, что осуществимость этого варианта будет зависеть прежде всего от того, насколько точно удастся откорректировать в нужную сторону зависимость изменения среднего магнитного поля Фазотрона во всей промежуточной области от 0 до 270 см до совпадения с расчетным полем изохронного режима ускорения ${}^3\text{He}$.

Предложенный вариант позволяет раз и навсегда избавиться от таких наименее надежных частей Фазотрона, как вариатор частоты и растяжка пучка, а также ослабить, примерно, на 20% требование к величине электрического поля в электростатической системе вывода, и тем самым существенно упростить эксплуатацию ускорителя.

Разумеется, как и в предыдущих вариантах максимально допустимая интенсивность пучка Физотрона будет определяться электростатической системой вывода и радиационными ограничениями и вряд ли может быть увеличена более чем на один порядок.

С первого взгляда может показаться, что такое увеличение интенсивности выведенного пучка не приведет к повышению интенсивности мезонных пучков, поскольку полное сечение мезообразования при изменении энергии протонов с 660 МэВ до 340 МэВ уменьшается примерно в 7-10 раз ^{/27/}. Однако, дифференциальное сечение образования положительных пи-мезонов при энергии налетающих протонов 340 МэВ ^{/22/}, как это видно из рис. 3, для небольших углов вылета мало отличается от сечения мезообразования при энергии протонов 730 МэВ ^{/23/}. Это приведет к тому, что при увеличении интенсивности выведенного пучка ядер ³He до 25 мкА интенсивности пучков положительных пи-мезонов с энергией до 100 МэВ возрастут примерно в 10 раз. Для пучков отрицательных пи-мезонов, из-за наличия в ядре ³He одного нейтрона и равенства сечений мезообразования в нуклон ядерных соударениях $\sigma(p+c \rightarrow \pi^+ + \dots) = \sigma(n+c \rightarrow \pi^- + \dots)$ согласно принципу зарядовой симметрии, это возрастание составит уже 20-25 раз, имея в виду, что при энергии протонов 660 МэВ выход отрицательных пи-мезонов в p+c соударениях в 4-5 раз меньше, чем выход положительных пи-мезонов. Кроме того, интенсивный пучок ядер ³He существенно расширит возможности лучевой терапии тяжелыми ядерными частицами и может оказаться перспективным и для установки ЯСНАПП-3.

Недостатком предложенного варианта является большая стоимость газа ^3He , расход которого в источнике составит $2 \text{ см}^3/\text{мин}$ или около 3 л в сутки ^{/24/}. Поскольку коэффициент использования газа в источнике порядка 10^{-4} (отношение числа частиц в пучке и числа атомов ^3He , поступающих в источник), то применение методов улавливания этого газа на выходе вакуумной системы ускорителя может существенно снизить эти затраты.


§ 5. Уменьшение энергии внутреннего пучка фазотрона

Сопоставление имеющихся экспериментальных данных по дифференциальному сечению образования пи-мезонов в p+C соударениях при различных энергиях, приведенных из разных работ на рис. 3, указывает на удивительный факт резкое (примерно в 3 раза) увеличение сечения мезонообразования при энергии налетающих протонов 450 МэВ ^{/25/}. Для отрицательных пи-мезонов это увеличение сечения при энергии 450 МэВ , составит $1,5-2$ раза. Если данные работы ^{/25/}, пока никем не опровергнутые, подтвердятся в других экспериментах, то открывается еще одна возможность повышения интенсивности мезонных пучков фазотрона путем понижения энергии внутреннего пучка фазотрона с 660 до 450 МэВ . Это можно осуществить перемещением выводного канала на радиус 215 см без изменения магнитного поля фазотрона или уменьшения уровня магнитного поля примерно в $1,26$ раза. Второй путь представляется более привлекательным, так как позволяет уменьшить почти в $2-3$ раза частотный диапазон вариатора и, следовательно, поднять амплитуду напряжения генератора высокочастотных колебаний, увеличить частоту модуляции, и в итоге повысить в несколько раз интенсивность внутреннего пучка фазотрона ^{/2/}. Кроме того можно будет значительно (с 60 кВ до 43 кВ) уменьшить напряжение на пластинах системы электростатического вывода пучка фазотрона.

В результате при снижении радиационного фона можно ожидать увеличения интенсивностей мезонных пучков примерно на один порядок и увеличения в 30-50 раз за счет сокращения длины углеродного замедлителя интенсивности пучков заторможенных протонов, используемых в лучевой терапии онкологических больных.

§ 6. Заключение

Реализация какого-либо из предложенных вариантов повышения интенсивности внутреннего пучка Фазотрона ОИЯИ вместе с уже осуществленным способом увеличения примерно на один порядок интенсивности мезонных пучков на основе использования широкоугольной магнитной оптики ^{126/} позволит повысить статус Фазотрона ОИЯИ до уровня мезонных Фабрик с эквивалентным током выведенного протонного пучка 100-200 мкА и тем самым обеспечить перспективу развития на ближайшие 5-10 лет как для исследований в области мезонной физики, так и для целого ряда прикладных работ.



Литература

1. Глазов А.А. и др., Труды Международной конференции по ускорителям. М., 1954, Госатомиздат, стр. 547.
2. Желепов В.П. и др. УФН, 85, в. 4, 651, 1965.
3. Глазов А.А. и др. Препринт ОИЯИ, 9-3951, 1968.
4. Желепов В.П. и др. IEEE Trans. NS-20, № 4, p.2134, 1983.
5. Ворожцов С.Б. и др. ОИЯИ, P9-7954, Дубна, 1974.
Дмитриевский В.П. и др. Труды X совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1987, т. П, стр. 237.
6. Василенко А.Т. и др. ОИЯИ, P9-8921, Дубна, 1985.
Аленицкий Ю.Г. и др. Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1985, т. I, стр. 324
7. Ворожцов С.Б. и др. Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1985. т. I, стр.308.
8. Кольга В.В. и др. Сообщение ОИЯИ, P9-88-637, Дубна, 1988.
9. Аленицкий Ю.Г. и др. Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1985, т. I, стр. 289.
10. Заплатин Н.Л. и др. Сообщение ОИЯИ, P9-9023, Дубна, 1975.
11. Ворожцов С.Б. и др. Сообщение ОИЯИ, P9-88-365, Дубна, 1988.
12. Грачев М.И. и др. Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1985, т. I, стр. 343.
13. Ворожцов С.Б. и др. Сообщение ОИЯИ, P9-12882, Дубна, 1979.
14. Комар Е.Г. Основы ускорительной техники. Москва, Атомиздат, 1975, стр. 332.
- 14а. Arléne J. Lennox. FERMILAB-Conf-88/I78, 1988.
15. Bradbury J.N. IEEE Trans. NS-26, № I, p.139, 1979.

Подписи к рисункам

Рис. 1. Примерная схема внешней инъекции пучка H^- -ионов с двухступенчатой перезарядкой (гояснения в тексте).

Рис. 2. Зависимость среднего магнитного поля фазотрона от его радиуса /2/ и расчетная зависимость среднего магнитного поля для изохронного режима ускорения ядер ${}^3\text{He}$.

Рис. 3. Сечения образования положительных пи-мезонов в $p+C$ соударениях при различных энергиях налетающих протонов (по данным работ /22,23,25/).

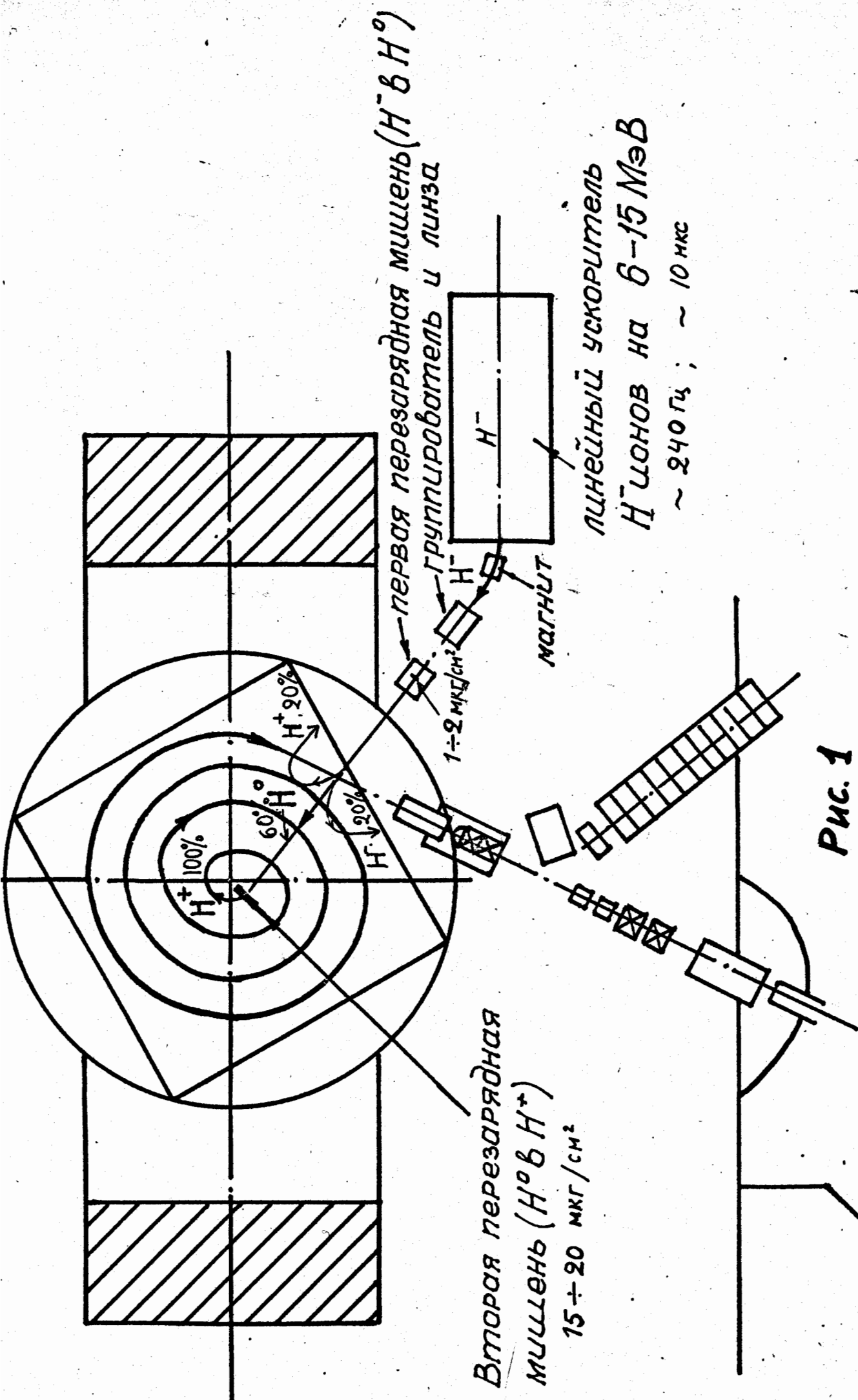


Рис. 1

Схема внешней инъекции
 мишени с зарядом ПИДИ