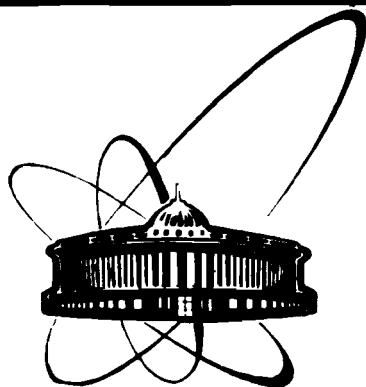


89-301



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

Б 825

9-89-301

О.Н.Борисов, В.П.Дмитриевский, В.В.Кольга,
З.Трейбал *

СИСТЕМЫ ОТКЛОНЕНИЯ ПУЧКА НА МИШЕНЬ
В ИЗОХРОННОМ ЦИКЛОТРОНЕ

Направлено в Оргкомитет II Международного
совещания по циклотронам и их применению,
ЧССР, май 1989 г.

*Институт ядерной физики ЧСАН, Ржеж

1989

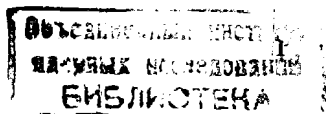
В настоящее время изохронные циклотроны находят широкое применение для прикладных задач, одной из которых является наработка медицинских радиоизотопов. На внутреннем протонном пучке циклотрона У-120М в ИЯФ ЧСАН^{I/} получают такие радиоизотопы, как ^{67}Ga , ^{111}In , ^{123}I , ^{201}Tl . Но использование для этой цели универсальной физической установки экономически нецелесообразно. В ЛЯП ОИЯИ разрабатывается проект циклотрона, специально предназначенного для наработки медицинских радионуклидов (У-120И).

Для получения эффективного выхода изотопов необходимо облучать мишень пучком с интенсивностью 100 и более микроампер в интервале энергий 30+40 МэВ. Осуществление вывода такого пучка затруднено из-за ограничения по мощности рассеяния на передней пластине (септуме) электростатического дефлектора.

В данной работе приводится вариант облучения мишеней на внутреннем пучке. При этом ограничение по интенсивности связано лишь с возможностями мишени. С целью уменьшения плотности энергии, выделяемой на мишени, кроме специального положения облучаемой плоскости мишени^{I/} авторами рассматривается возможность существенного отклонения и увеличения радиального шага мгновенных орбит с 0,6 мм до 1+2 см, на азимуте мишени в интервале энергий 30+37 МэВ.

Для увеличения радиального шага мгновенных орбит предполагается использовать локальные неоднородности электрического или магнитного поля^{3/}, возбуждающие параметрический резонанс радиальных колебаний. Аналитическое рассмотрение, например, с помощью матричного формализма, не обеспечивает достаточной точности из-за заметного отклонения формы замкнутой орбиты от окружности. В связи с этим был выполнен цикл численных расчетов с использованием системы программ^{4/}. Расчеты проводились на ЭВМ БЭСМ-6, ЕС-1010, Праец-16.

При численных расчетах использовалось реальное магнитное поле циклотрона У-120М при токе в основной обмотке магнита 588А и час-



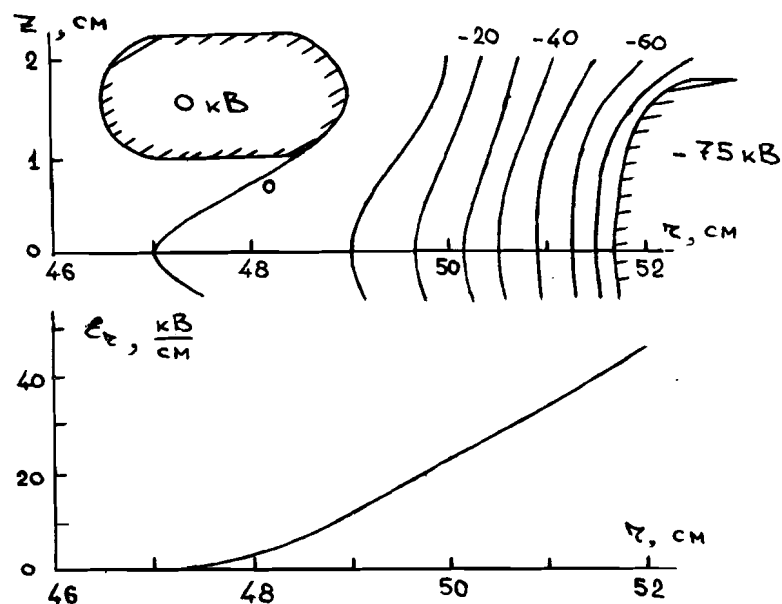


Рис. 1

тоте ВЧ-генератора. 26,84 МГц. При протяженности зоны раскачки радиальных колебаний $\Delta r \approx 3$ см протоны ускоряются до энергии 37 МэВ. Исходные частоты свободных колебаний на конечных радиусах ($r_k \approx 49$ см) равны $Q_r = 1,04$, $Q_z = 0,25$.

В качестве первого варианта рассматривалась система отклонения состоящая из одной электростатической секции, подобной электростатическому возбуждателю системы вывода циклотрона У-120М^{2/1}. Внутренняя стенка возбуждателя состоит из двух электродов, симметричных относительно медианной плоскости, в пространстве между которыми проходит пучок. Внешняя стенка представляет собой потенциальный электрод специальной формы, обеспечивающий необходимый градиент роста электрического поля вдоль радиуса. Максимальное напряжение на нем принято 75 кВ, исходя из реальной величины в возбуждателе системы вывода У-120М. Электроды возбуждателя изогнуты по дуге окружности с центром, сдвинутым относительно центра магнитного поля на 3,5 см на азимуте 170° (при численном счете начальный азимут $\theta = 0$ совпадает с серединой дуанта). Радиусы внутренней и внешней стенок равны 44,7 см и 48,5 см. Азимутальная протяженность секции 60° , а ее азимутальное положение выбрано исходя из максимального темпа увеличения радиаль-

ных колебаний и минимального воздействия на аксиальные колебания, т.е. в зоне максимальной отрицательной радиальной скорости орбиты. На рис. 1 показаны конфигурация электродов возбуждателя и соответствующая зависимость электрического поля $E_r(r)$. Максимальный градиент

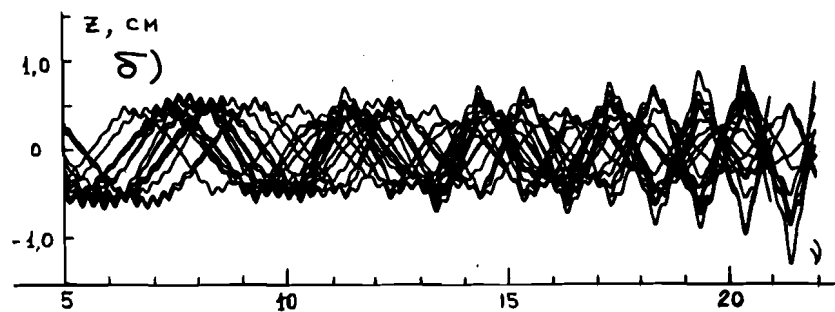
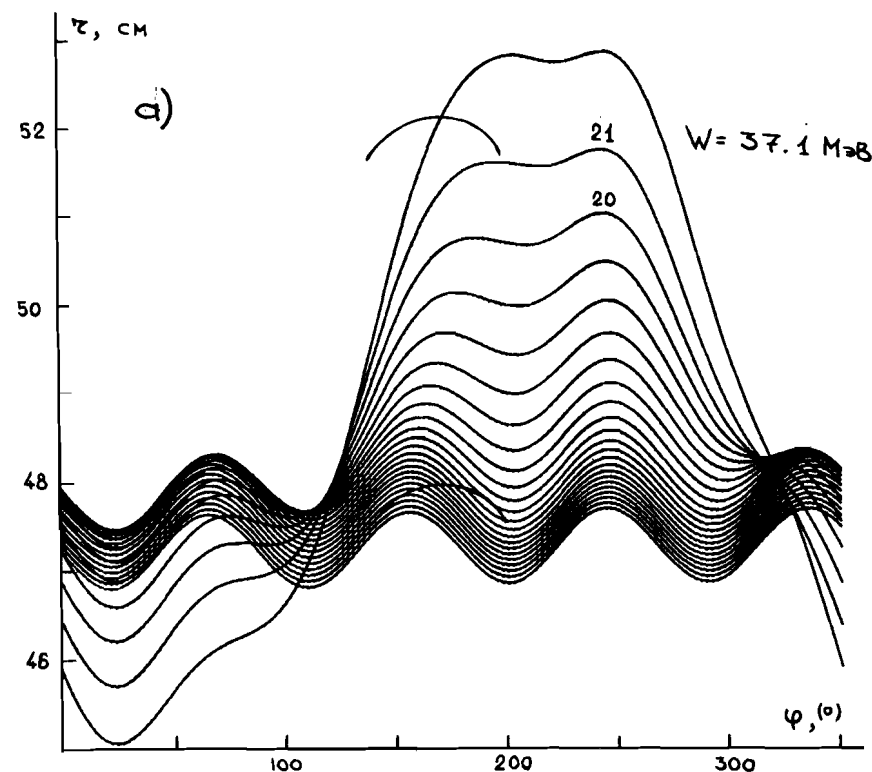


Рис. 2

электрического поля составляет $10+12$ кВ/см². Более крутой рост \mathcal{E}_r приводит к параметрической неустойчивости по аксиальным колебаниям.

На рис.2а показана радиальная траектория частицы, соответствующей центру эллипса радиальных колебаний. На азимуте 205° , где предполагается установка мишени, расстояние между соседними мгновенными орбитами равно 1 см при энергии протонов 37 МэВ. Полученная величина разделения является максимальным значением для принятой реальной величины напряжения (75 кВ).

На рис.3 показаны начальные (расчетные) радиальный ($a_{r0}=0,2$ см) и аксиальный ($a_{z0}=0,5$ см) эмиттансы при начальной энергии 35 МэВ. Для дальнейших расчетов использовалось 7 точек радиального и 4 точки аксиального эмиттансов. На этом же рис.3 изображено движение радиального эмиттанта по оборотам на азимуте 205° (азимут расположения мишени). Видно увеличение радиального размера пучка с 4 мм до 20 мм.

На рис.2б изображены аксиальные колебания при различных начальных значениях z и z' (в соответствии с рис.3). Хорошо видна фазировка аксиальных колебаний из-за параметрического действия первой гармоники возбуждающего поля. Амплитуда аксиальных колебаний увеличилась при этом в 2,5 раза и аксиальный размер пучка на азимуте расположения мишени (205°) составляет около 2 см.

Регулирование энергии отклоненного пучка возможно осуществить одновременным перемещением вдоль радиуса электростатической секции и мишени. Сдвиг всей системы на ~ 5 см позволяет получить отклоненный на 1 см пучок с энергией протонов ~ 30 МэВ. На рис.4 изображены ради-

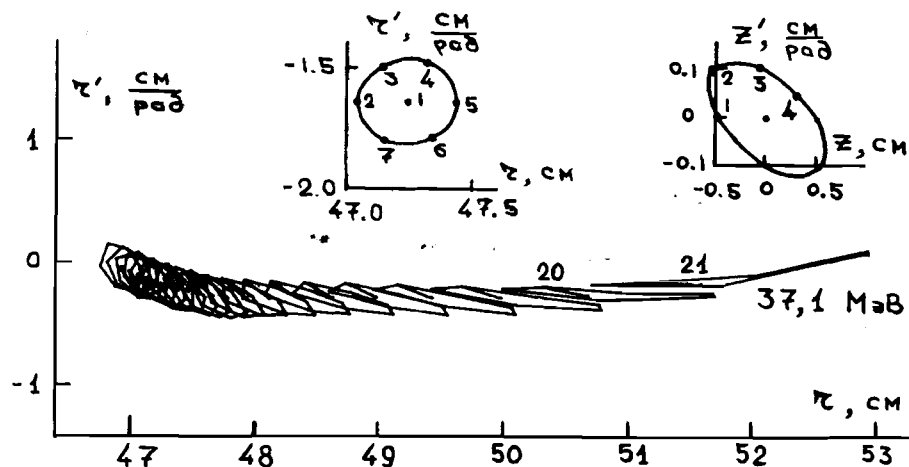


Рис.3

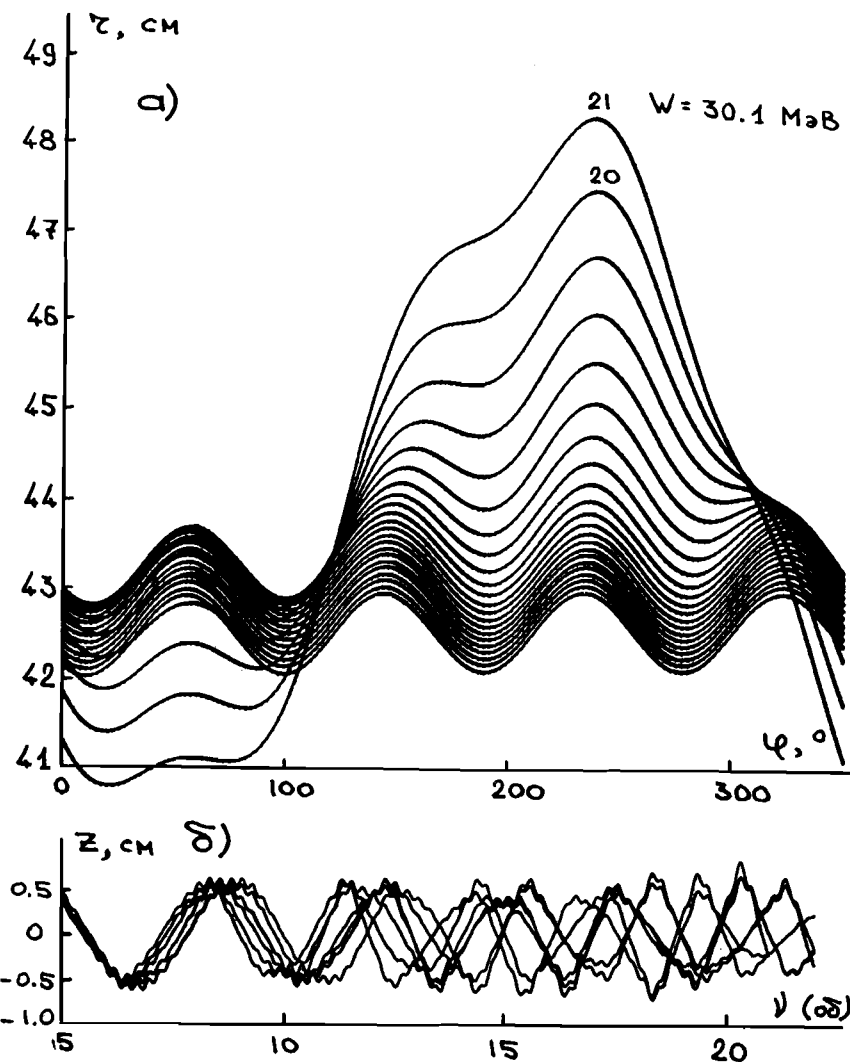


Рис.4

альная траектория центра эллипса (а) и аксиальные траектории нескольких частиц (б) при таком сдвиге по радиусу электростатической секции.

Один из вариантов мишени с наклоном облучаемой плоскости около 30° (для увеличения площади облучения) показан на рис.5.

Во втором варианте рассматривается система, включающая магнитный возбудитель, влияние которого учитывается введением эквивалент-

ного электрического поля $E_z(r)$. При идентичной замене электростатического возбудителя на магнитный с такой же азимутальной протяженностью необходимый градиент магнитного поля для разделения мгновенных орбит на 1 см составляет 135 Гс/см при энергии пучка 37 МэВ и 148 Гс/см при энергии пучка 30 МэВ.

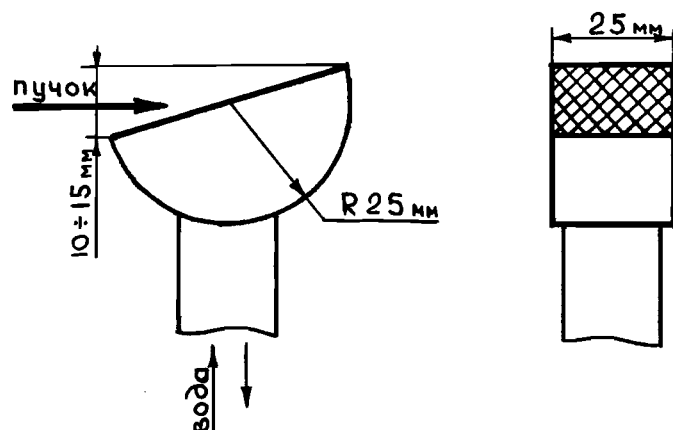


Рис.5

При уменьшении азимутальной протяженности магнитного возбудителя до 20° и увеличении градиента до 405 Гс/см ($W=37$ МэВ) также получается радиальное разделение мгновенных орбит 1 см. Аксиальные колебания при этом увеличиваются в 2 раза.

Для исследования возможности увеличения радиального разделения до 2 см рассматривался вариант системы отклонения, включающий магнитные возбудитель и компенсатор, азимутальная протяженность которых по 20° , азимутальное расстояние между ними 60° . Численные расчеты показали, что получить заданное радиальное разделение ~ 2 см возможно при эквивалентном градиенте электрического поля более 60 кВ/см^2 , что соответствует градиенту магнитного поля возбудителя и компенсатора $(750+800)$ Гс/см. При этом амплитуда аксиальных колебаний увеличилась более чем в 4 раза.

Выводы

1. При облучении внутренних мишеней для наработки медицинских радионуклидов на протонных циклотронах целесообразно использование механизма увеличения бетатронных колебаний, осуществляемого с помощью параметрического действия одной или двух локальных неоднородностей, реализуемых в электростатическом или магнитном вариантах.

2. Численно рассчитаны варианты систем, включающих одну неоднородность и позволяющих отклонить пучок на 1 см для интервала энергий 30-37 МэВ. При этом амплитуда аксиальных колебаний увеличилась примерно в 2 раза.

3. Отклонение пучка на 2 см реализовано системой с двумя неоднородностями. Но на данном этапе расчетов не удалось избежать недопустимого увеличения амплитуд аксиальных колебаний (примерно в 4 раза).

4. Показана возможность изменения энергии отклоненного пучка путем перемещения системы отклонения совместно с облучаемой мишенью вдоль радиуса ускорителя.

В заключение авторы выражают благодарность С.В.Бородиной за помощь в численных расчетах.

Литература

1. В.Бейшовец, И.Крживалец. Международное совещание по циклотронам и их применению. Бехинг. ЧССР, ОИП, P9-85-707, Дубна, 1985, с.307.
2. В.П.Дмитриевский и др. Материалы III совещания по изохронному циклотрону У-120М. Ческе Будейовеце, ЧССР, ОИП, P9-7339, Дубна, 1973, с.102.
3. В.П.Дмитриевский и др. Материалы II совещания по У-120М, ОИП, P9-6241, Дубна, с.118.
4. О.Н.Борисов и др. Аннотации докладов на XI Всесоюзном совещании по ускорителям заряженных частиц. ОИП, P9-88-738, Дубна, 1988, с.121.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 мая 1989 года.