

С345 г

0-364

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1895



Р.Ш. Оганесян, Г. Индреаш, Б.А. Загер

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПУЧКОВ  
МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ  
НА ПОЛУТОРАМЕТРОВОМ ЦИКЛОТРОНЕ

*Анн. жермиле, 1965, т. 18, в. 4,  
стр 385.*

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

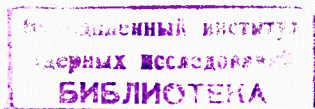
1964

2830/2 чф.

Р.Ц. Оганесян, Г. Индреаш, Б.А. Загер

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПУЧКОВ  
МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ  
НА ПОЛУТОРАМЕТРОВОМ ЦИКЛОТРОНЕ

Направлено в журнал "Атомная энергия"



Полутораметровый циклотрон промышленного изготовления (типа У-150-1) предназначен для ускорения легких ионов (протонов, дейтронов и  $\alpha$ -частиц). Номинальная энергия частиц ( $\sim 12$  Мэв/нуклон) при конечном радиусе ускорения  $R_k = 66,5$  см получается при значении магнитного поля в зазоре  $H_0 = 15$  кэ<sup>1/2</sup>.

Диапазон частот резонатора циклотрона ( $\lambda_0 = 18-35$  м) не позволяет ускорять тяжелые ионы, имеющие  $\frac{A}{z} > 3$  ( $A$  и  $z$  - массовое и зарядовое числа иона) даже при максимально допустимом значении индукции магнитного поля в центре ( $H_{max} = 18,5$  кэ). При этом чрезвычайно затруднено формирование магнитного поля.

Возможность ускорения тяжелых ионов на циклотронах типа У-150 рассматривалась в <sup>2/</sup>. В частности, было показано, что уменьшение величины отношения рабочего зазора к диаметру полюса до значения  $\frac{\delta}{D} = 0,120$  и разумный выбор основных параметров режима ускорения позволят расширить диапазон ускоряемых частиц до значения  $\frac{A}{z} \sim 3,7$ .

Наиболее простым способом уменьшения рабочего зазора является сближение "крышек" камеры. При этом внешний шиммирующий зазор увеличивается до 40 мм, а рабочий зазор становится равным  $\sigma = 180$  мм.

Такая переделка позволила ускорять на циклотроне У-150 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ ионы  $C_{12}^{+4}$  и  $N_{14}^{+3}$  до энергий  $\sim 6-7$  Мэв/нуклон соответственно <sup>3/</sup>. Формирование магнитного поля было произведено при  $H_0 = 16,7$  кэ с помощью железных кольцевых "шимм", размеры и расположение которых указаны на рис. 1 сплошной линией. Зависимость "спада" магнитного поля вдоль радиуса  $\delta H(R)$  по данным магнитных измерений приведена на рис. 2 (кривая 1); величина спада на конечном радиусе равна при этом  $\delta H_k = 2,2\%$ .

В связи с необходимостью увеличения энергии ускоряемых частиц в последнее время потребовалось увеличение уровня магнитного поля до  $H_0 \sim 17,5$  кэ.

При увеличении напряженности магнитного поля до 17,5 кэ на циклотроне У-150 спад на конечном радиусе составил  $\delta H'_k \sim 3,4\%$ . Соответствующее распределение по радиусу приведено на рис. 3 (кривая 2). Было предложено скомпенсировать дополнительный спад  $\delta H'_k - \delta H_k = 1,2\%$  с помощью внешней кольцевой шиммы.

Однако вклад корректирующих железных шимм удается рассчитать лишь тогда, когда они расположены непосредственно под железными поверхностями "крышек" внутри ускорительной камеры. Исходя из предположения о равномерном намагничивании от-

шиммированного профиля магнита и учитывая влияние железных поверхностей соответствующими отображениями, можно достичь приемлемой точности расчетов в 5-10%<sup>1/4</sup>.

Расчет вклада железных шимм, расположенных во внешнем шиммирующем зазоре, чрезвычайно затруднен нелинейной зависимостью экранирования и краевыми эффектами. Поэтому в таких случаях оценки производятся эмпирически и чаще всего вопрос решается макетированием и непосредственно магнитными измерениями.

Из опытных данных следует, что радиальное распределение вклада железных шимм, расположенных во внешнем шиммирующем зазоре, значительно сглажено по сравнению с аналогичной кривой вклада внутренних шимм и не обладает отрицательным выбросом. Для иллюстрации на рис. 3 приведены распределения вклада кольцевых шимм, измеренные в медианной плоскости электромагнита с диаметром полюсов 310 см при  $I_0 \approx 16$  кэ:

кривая 1 - шимма, сечением  $6 \times 200$ , расположена во внешнем шиммирующем зазоре;

кривая 2 - шимма, сечением  $10 \times 150$  мм<sup>2</sup> расположена под крышкой камеры.

Предварительные магнитные измерения на циклотроне У-150, проведенные с макетом в виде сектора с азимутальной протяженностью  $\phi = 40^\circ$ , показали, что требуемая коррекция магнитного поля на уровне 17,5 кэ может быть осуществлена с помощью внешней кольцевой шиммы, конфигурация которой представлена на рис. 1 пунктиром. Относительный вклад этой шиммы соответствует кривой 3 (рис. 2).

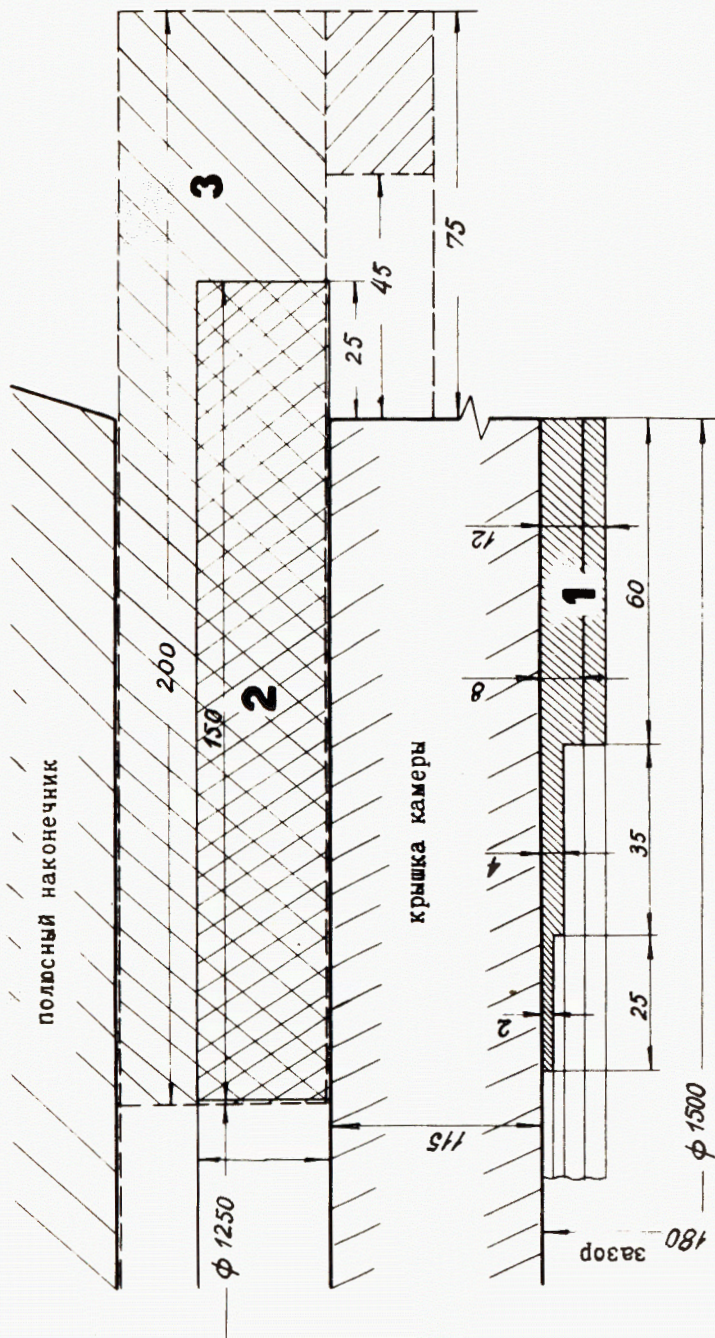
Шимма была изготовлена из листовой стали марки Ст-3 отдельными кусками  $\phi \approx 40^\circ$  и стянута в пакетах при помощи болтов. Обработка поверхностей не производилась, торцы были нарезаны на фрезерном станке по шаблону. Установка шиммы производилась без разборки циклотрона.

Измерения показали, что не наблюдались потери по интенсивности, ток выведенного пучка достигал  $i \approx 10$  мка, а энергия ускоряемых ионов увеличивалась по сравнению с предыдущим на 10-14% и составляла для  $C_{12}^{+4} \approx 7$  Мэв/нуклон.

#### Л и т е р а т у р а

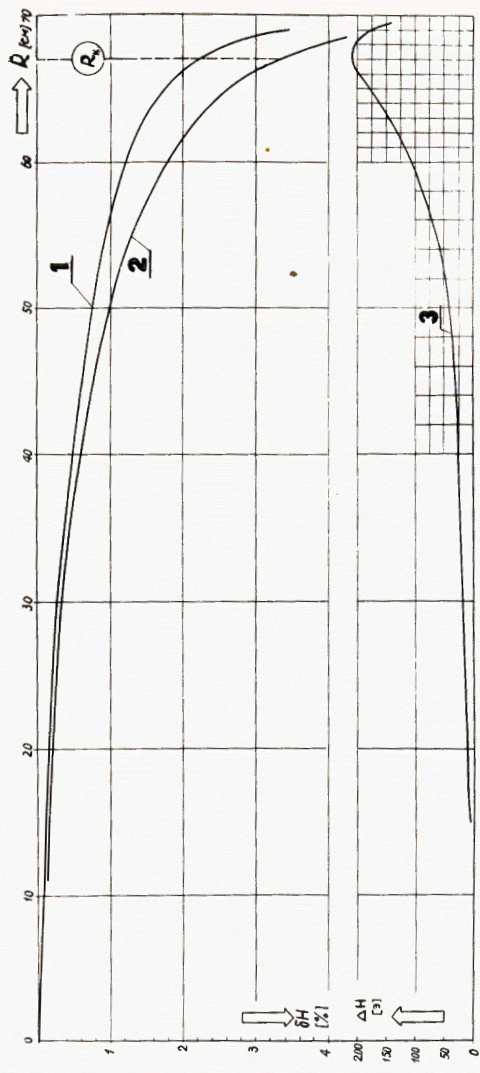
1. Электрофизическая аппаратура промышленного изготовления. Справочник. Госатомиздат, Москва, 1963 г.
2. Рабочее совещание по обмену опытом и по научным исследованиям на циклотронах. Сборник докладов (стр. 28-37), Краков, 1961.
3. Батюня В.В., Бай Фу-вей, Вялов Г.Н., Загер Б.А., Линев А.Ф. Перестройка полупериметрового циклотрона в режим ускорения многозарядных ионов (в печати).
4. В.И. Данилов и др. Формирование аксиально-симметричных магнитных полей. Препринт ОИЯИ Р-344, Дубна, 1959 г.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 ноября 1964 г.

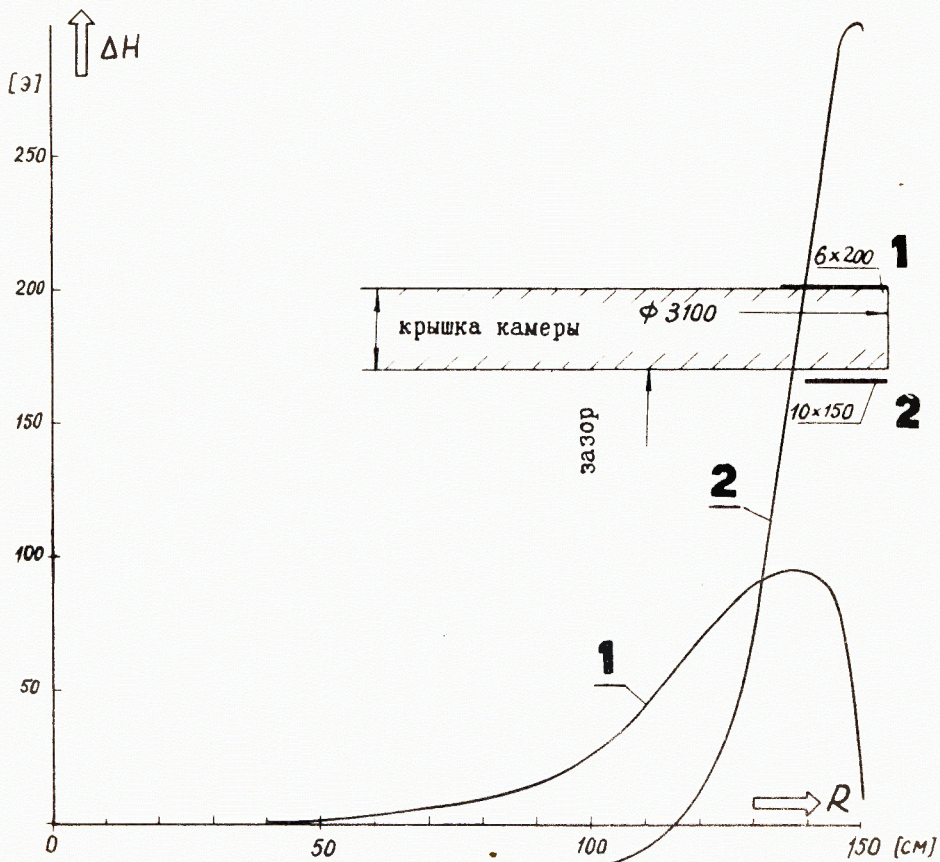


Р и с. 1. Расположение и конфигурация кольцевых шимм для формирования поля полугораметрового циклотрона:

1. Внутренние шиммы ( Но = 16,7 кэ).
2. Внешняя шимма ( Но = 16,7 кэ).
3. Внешняя шимма ( Но = 17,6 кэ).



Р и с. 2. Сравнительные кривые вклада шимм:  
 1. Внешняя кольцевая шимма поперечного сечения  $6 \times 200 \text{ мм}^2$   
 2. Внутренняя кольцевая шимма поперечного сечения  $10 \times 150 \text{ мм}^2$ .



Р и с. 3. Зависимости слада магнитного поля  $\delta H(R)$ , отшуммированного электромагнита У-300:

1.  $N_0 = 16,7$  кэ
2.  $N_0 = 17,5$  кэ
3.  $\Delta H(R)$  кольцевой шиммы (3 рис. 2).