

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2525/83

16/5-83
9-83-125

С.И.Козлов, Б.А.Кленин, Р.Ц.Оганесян

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ЦИКЛОТРОНА У-400М

1983

Разрабатываемый в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ циклотронный комплекс^{/1/} для получения ускоренных пучков ионов /от кислорода до урана/ включает: действующий циклотрон У-400^{/2/}, систему транспортировки пучков длиной около 120 м и изохронный циклотрон с диаметром полюсов 4 м, создаваемый на основе электромагнита Е-8 циклотрона У-300. Пучки ускоренных на циклотроне У-400 ионов с энергией $1 \div 2,5$ МэВ/нуклон / $A/Z = 16 \div 25$ / электростатической системой выводятся из камеры ускорителя, транспортируются до циклотрона У-400^{/1/}, где в центральной области перезаряжаются на тонкой графитовой мишени до $A/Z = 2 \div 5$ и затем ускорятся до энергии $20 \div 120$ МэВ/нуклон.

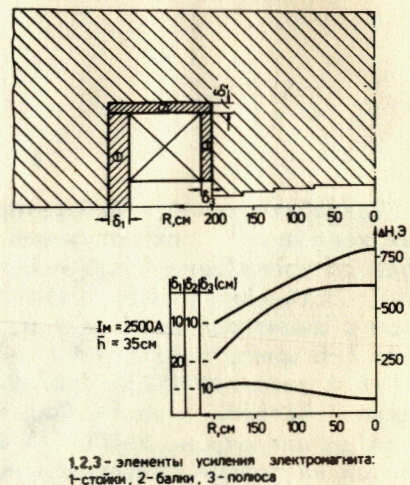
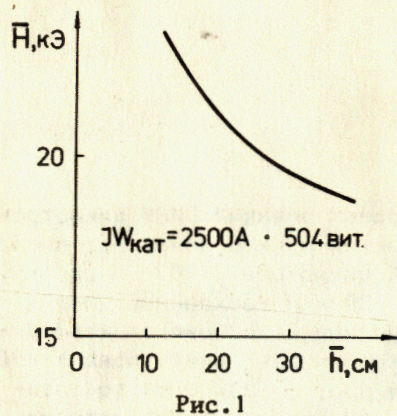
В настоящей работе представлены результаты численного моделирования электромагнита циклотрона У-400М, которые являются основой для его проектирования и разработки центральной магнитной структуры ускорителя, позволяющей сформировать магнитные поля, обеспечивающие устойчивое и изохронное ускорение указанного диапазона ионов до энергии $20 \div 120$ МэВ/нуклон. Магнитное поле исследовалось с помощью программы POISSON^{/3/} численного решения уравнений магнитостатики.

1. ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТА ЦИКЛОТРОНА У-400М

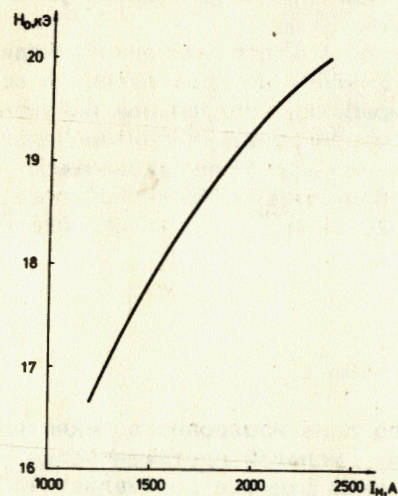
Азимутальная вариация магнитного поля изохронного циклотрона У-400М создается четырьмя секторами угловой протяженностью 45° . Угол спиральности секторов на конечном радиусе составляет 40° . Два дуанта угловой протяженностью $\sim 40^\circ$ расположены в двух противоположных "долинах".

Оценки показали^{/1/}, что для достижения высоких напряжений электрического поля / $200 \div 250$ кВ/ на дуантах, апертура которых составляет 100 мм, зазор в "долине" циклотрона должен быть не менее ~ 50 см, а для получения необходимого значения флаттера магнитного поля / $\sim 0,1$ / воздушный зазор в "холме" выбран равным 10 см. Как следует из рис.1, где представлена зависимость среднего магнитного поля (\bar{H}) от значений среднего воздушного зазора (\bar{h}), при указанных параметрах воздушных зазоров величина \bar{H} ниже требуемой даже при увеличении ампервитков катушек возбуждения электромагнита за счет установки дополнительных секций / 2×28 витков/ и рабочего тока до 2500 А.

Увеличение напряженности среднего магнитного поля циклотрона У-400М до $20 \div 20,5$ кЭ достигается за счет уменьшения расстояния



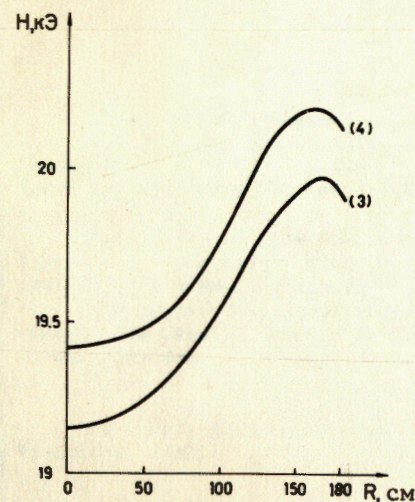
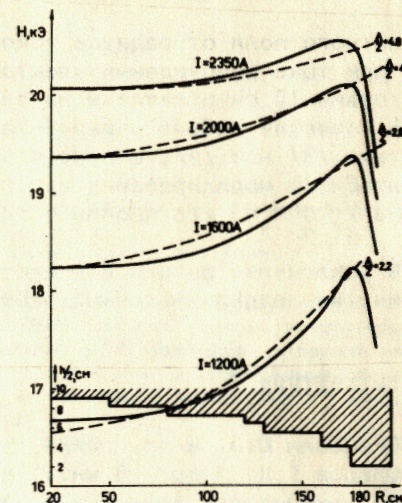
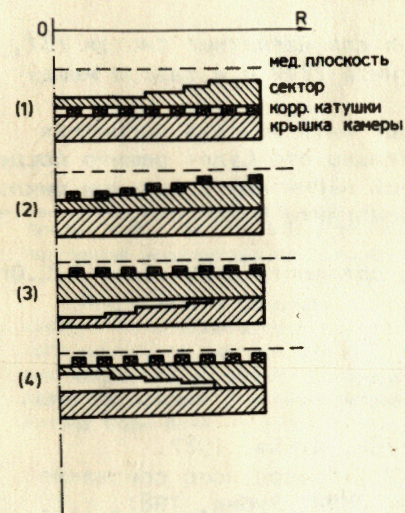
1,2,3 - элементы усиления электромагнита:
1 - стоек, 2 - балки, 3 - полюса



Кривая намагничивания электромагнита циклотрона /рис.3/ при указанных изменениях в его магнитной цепи показывает, что при напряженности магнитного поля $20 \pm 20,5$ кЭ ток возбуждения основных обмоток не будет превышать номинального значения 2300 А.

2. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ЦИКЛОТРОНА

Изохронная форма среднего магнитного поля создается изменением радиального профиля стальных ферромагнитных элементов /крышек вакуумной камеры и секторов/, а также системой токовых корректирующих катушек, располагаемых на секторах /секторные обмотки/ или на крышках камеры /круговые обмотки/. Поэтому при



численном моделировании центральной магнитной структуры /или системы/ циклотрона было рассмотрено несколько ее вариантов, которые представлены на рис.4. Магнитная структура /1/, которая использована на циклотроне У-400, не является достаточно эффективной для ускорителя У-400М, так как из-за увеличения расстояния между кольцевыми корректирующими обмотками и толщины секторов, которые экранируют поле обмоток, вклад поля обмоток в среднее поле существенно уменьшается. Магнитная система /2/, для которой распределения магнитных полей по радиусу ее воздушного зазора при

разных токах возбуждения электромагнита представлены на рис.5, является более эффективной, чем /1/, однако технология изготовления секторных корректирующих обмоток является здесь довольно сложной. Поэтому создание магнитной системы циклотрона по типу /3/, /4/ /см. рис.4/ значительно упрощает конструкцию системы корректирующих обмоток, которую можно сделать съемной и расположить в отдельном форвакуумном объеме. Зависимости среднего

магнитного поля от радиуса ускорения для магнитных систем /3/, /4/ при токе возбуждения электромагнита 2300 А и зазоре между секторами 10 см приведены на рис.6.

В качестве рабочего варианта может быть выбрана магнитная система /3/ или /4/, однако окончательно это будет решено после масштабного моделирования центральной магнитной структуры циклотрона У-400М на его модели - электромагните Е-2.

В заключение авторы выражают благодарность профессору Ю.Ц.Оганесяну за поддержку данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оганесян Ю.Ц. и др. ОИЯИ, 9-82-756, Дубна, 1982.
2. Флеров Г.Н. и др. В кн.: Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Дубна, 1981, т.1, с.59.
3. Salmon I.M. POISSON Group Program, CERN, MSC-M-13, Geneva, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 марта 1983 года.

Козлов С.И., Кленин Б.А., Оганесян Р.Ц. 9-83-125
Численное моделирование магнитной системы циклотрона У-400М

Представлены результаты численного моделирования на ЭВМ магнитной системы четырехметрового циклотрона У-400М - второй ступени ускорительного комплекса тяжелых ионов, создаваемого в ЛЯР ОИЯИ для ускорения ионов /от кислорода до урана/ до энергии $20 \div 120$ МэВ/нуклон. Полученные данные являются основой для проектирования электромагнита циклотрона и выбора метода формирования его магнитного поля.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Kozlov S.I., Klenin B.A., Oganessyan R.Ts. 9-83-125
Numerical Simulation of the U-400M Cyclotron Magnetic System

The results of numerical simulation of the U-400 cyclotron magnetic system being the second stage of the heavy ion accelerating complex being created at the Nuclear Reactions Laboratory, JINR in order to accelerate ions from oxygen to uranium up to 20-120 MeV/nucleon energies are presented. The results serve a base for designing the electromagnet and to choose a method of forming its magnetic field.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.