

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

A 484

9-87-491

**Ю.Г.Аленицкий, Х.Гурач*, Н.Л.Заплатин,
С.Пройше*, Х.Тыррофф*, С.И.Чеснова**

**ВЫБОР ШИММИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ
ЦИКЛОТРОНА У-120 (ЦИЯИ, ГДР)
В ДИАПАЗОНЕ ИНДУКЦИЙ (1-1,45) Т**

*** ЦИЯИ АН ГДР**

1987

Классический циклотрон У-120 (ЦИЯИ Академии наук ГДР) работает с 1958 г. Циклотрон используется в режиме ускорения дейтронов ($E = 13,5$ МэВ), α -частиц ($E = 27,0$ МэВ), а также ионов лития^{1/1}. В 1986 году была поставлена задача: при сохранении имеющихся режимов работы циклотрона, модифицируя частично магнитную систему, обеспечить возможность ускорения протонов до энергии $E_p = 12$ МэВ. При этом высокочастотная и другие системы циклотрона должны остаться неизменными.

Конфигурация магнитной системы действующего циклотрона показана на рис.1. На этом же рисунке представлена предполагаемая новая конфигурация крышки камеры с шиммами, а также область размещения концентрических обмоток. Размеры и размещение ферромагнитных элементов выбирались исходя из требований создания исходного поля ($B_0 = 1,45$ Т) без применения токовых обмоток при минимальном росте поля на уровне индукции $B = 1,0$ Т^{2/1}, что соответствует энергии протонов $E_p = 12$ МэВ. Формирование спадающего поля на низком уровне индукции будет осуществляться с использованием токовых обмоток, для чего толщина крышек камеры уменьшена с 72,5 мм до 66,0 мм.

Предварительный выбор конфигурации кольцевых шимм был проведен с помощью программы POISCR^{3/1} расчета магнитостатической задачи для аксиально-симметричного случая. Расчетная схема включает всю область магнитопровода^{4/1}. Сравнение расчетных и экспериментальных распределений магнитного поля в зависимости от радиуса для исходной геометрии приведено на рис.2, откуда следует, что максимальное отклонение для $B_0 = 1,45$ Т не превышает 0,8% и рост поля при $B_0 = 1,0$ Т на предельном радиусе ускорения $r_k = 530$ мм составляет 1,4%.

На рис.3 показано распределение поля магнитной системы при различных параметрах внешней

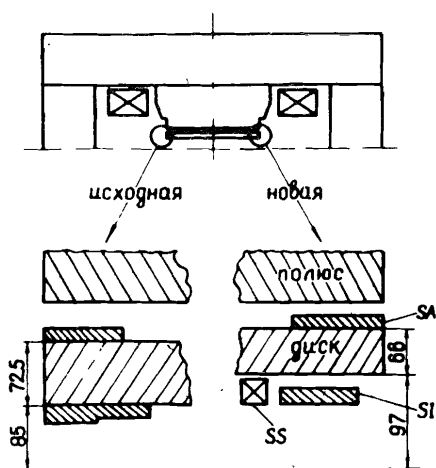


Рис.1. Конфигурация магнитной системы. SA - внешняя шимма, SI - внутренняя шимма, SS - корректирующая обмотка.

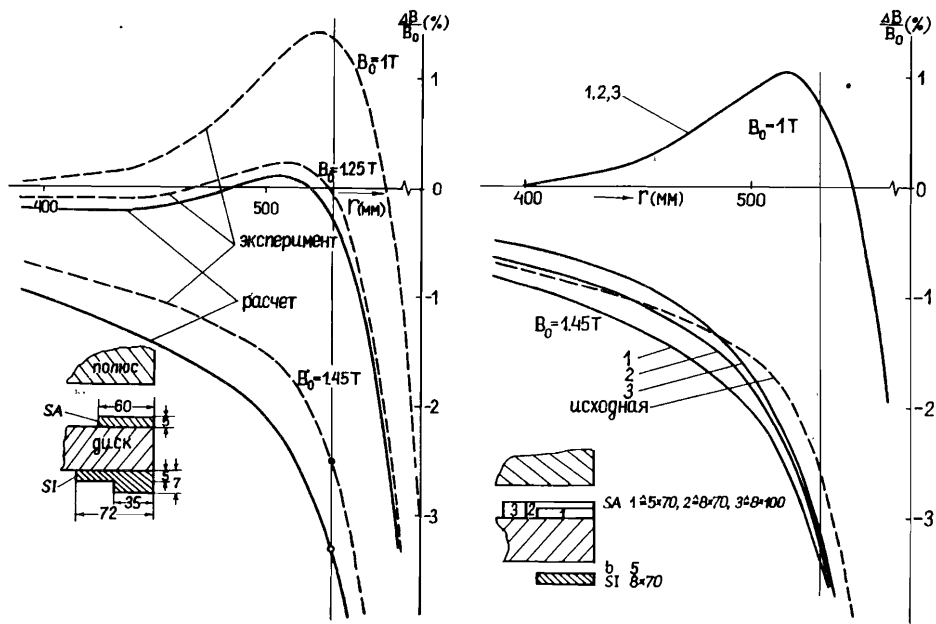


Рис.2. Распределение поля для магнитной системы действующего циклотрона.

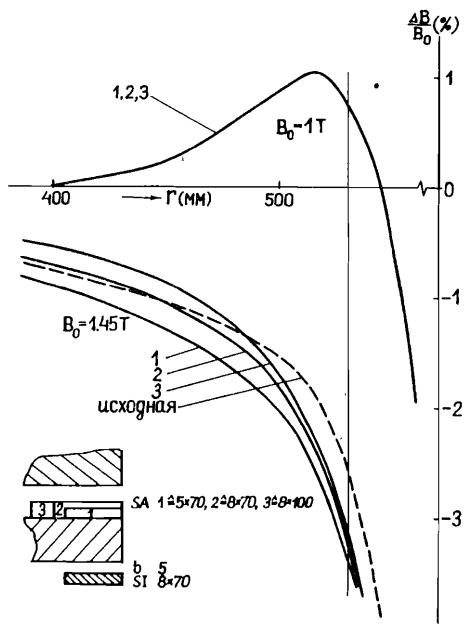


Рис.3. Расчетные распределения поля для различных параметров внешней шиммы SA.

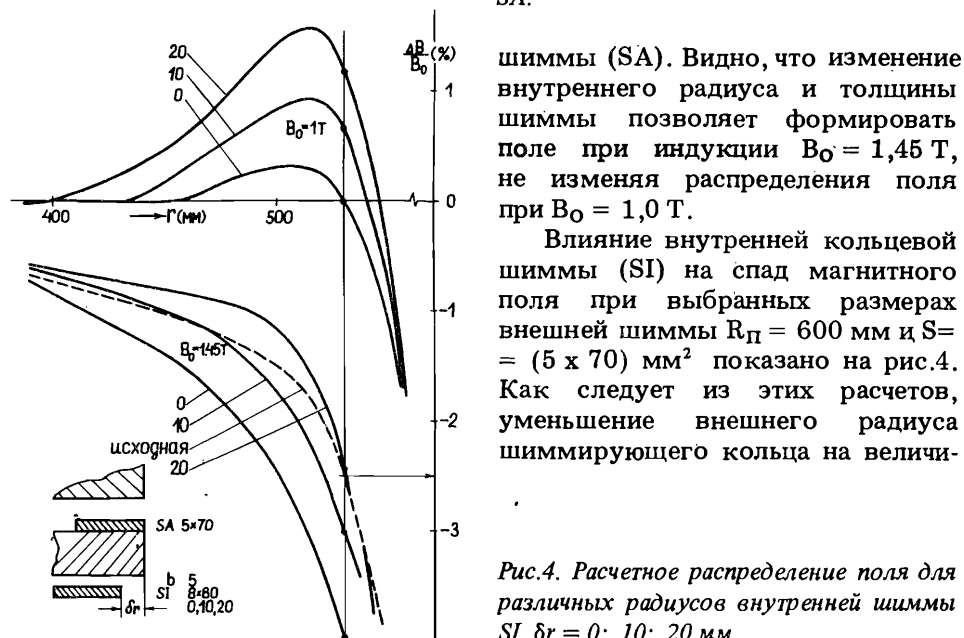


Рис.4. Расчетное распределение поля для различных радиусов внутренней шиммы SI, $\delta r = 0; 10; 20$ мм.

Рис.5. Относительное изменение поля в зависимости от положения внутренней кольцевой шиммы. Для $\delta r = 10$ мм приведены величины изменения поля при зазорах между шиммой и полюсом $b = 0; 4; 5; 7$ мм, Δ — экспериментальные точки.

ну $\delta r = 10; 20$ мм при сохранении его поперечного сечения уменьшает спад поля при $B_0 = 1,45$ Т и увеличивает всплеск поля при $B_0 = 1,0$ Т на конечном радиусе. Если спад поля формировать путем уменьшения внутреннего радиуса и соответствующим увеличением сечения шиммы, то всплеск поля на низком уровне индукции значительно увеличивается.

Изменение магнитного поля на радиусе $r_k = 530$ мм $\Delta B/B_0 = (B(530) - B_0)/B_0$ для двух уровней индукции в зависимости от уменьшения внешнего радиуса кольцевой шиммы при зазоре между полюсом и шиммой (SI) $b = 5$ мм показано на рис.5. При $\delta r = 20$ мм получаем спад поля для $B = 1,45$ Т, близкий к исходному, при этом относительный рост поля для $B_0 = 1,0$ Т составляет $\sim 1,1\%$. В этих координатах разница между спадами на двух уровнях индукции характеризует величину, которая должна быть создана с помощью токовых катушек. На том же рисунке показано влияние величины зазора между полюсом и внутренней шиммой для радиального положения $\delta r = 10$ мм. Видно, что с увеличением зазора разница спадов уменьшается. На рис.6 приведены изменения поля $r_k = 530$ мм за счет этого зазора. Разница между кривыми соответствует уменьшению величины поля, которая должна быть сформирована с помощью токовых обмоток. Так, при $b = 7$ мм это уменьшение составляет $\sim 3,7$ мТ.

По результатам расчета была изготовлена магнитная система и приведены измерения магнитного поля на циклотроне У-120. Из приведенных на рис.5 резуль-

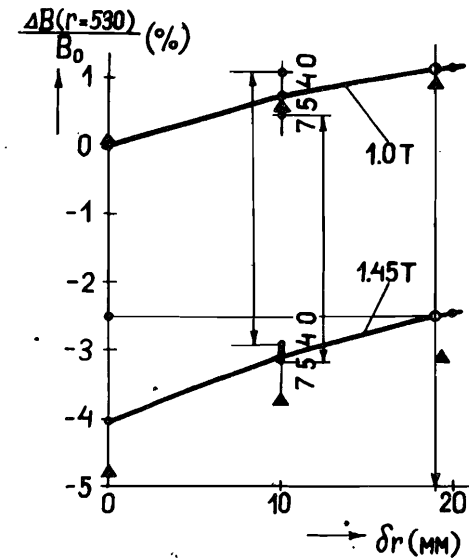
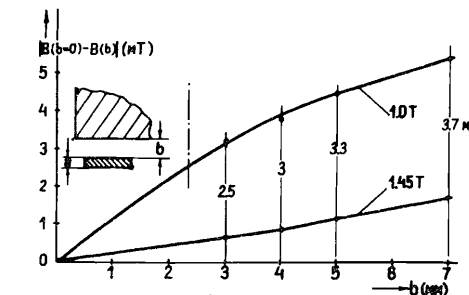


Рис.6. Изменение магнитного поля в зависимости от зазора между внутренней кольцевой шиммой и полюсом на $r = 530$ мм.



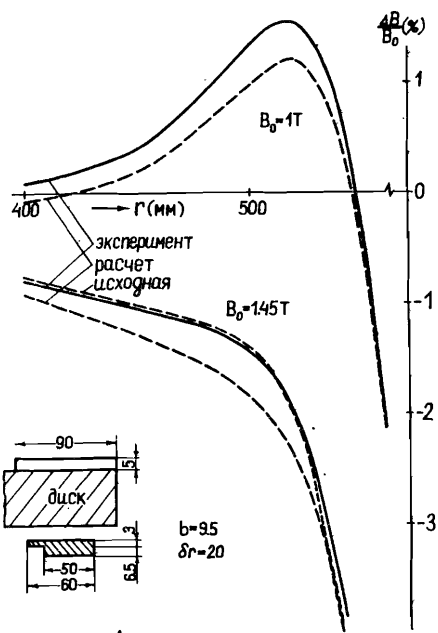


Рис.7. Расчетное и экспериментальное распределение поля для окончательной конфигурации магнитной системы.

татов измерений видно, что для $B_0 = 1,0$ Т совпадение с расчетом удовлетворительное, а при $B_0 = 1,45$ Т измеренный спад поля на 0,5% больше, что соответствует результатам сравнения расчета и эксперимента исходной конфигурации (рис.2).

На основании изложенного выше можно сделать вывод о том, что предложенная конфигурация магнитной системы обеспечит возможность ускорения дейтронов и α -частиц до энергий, получаемых в настоящее время, а также протонов ($E_p = 12$ МэВ) с использованием корректирующих обмоток

параметры которых должны быть выбраны.

Результаты более тонкой экспериментальной оптимизации шиммирующих элементов приведены на рис.7. Для окончательной конфигурации шимм, приведенной на рисунке, полученный спад поля отклоняется от исходного незначительно, и к радиусу вывода увеличивается до $\sim 0,2\%$. Рост поля при $B_0 = 1,0$ Т достигает величины $\sim 1,3\%$, т.е. токовые обмотки должны создавать поле ~ 500 Гс. Результаты контрольного расчета полученной геометрии шимм приведены на том же рисунке (пунктир). Зависимость $n = -(\partial B/\partial r) \cdot (r/B)$ для исходного и вновь сформированного поля представлена на рис.8. Видно, что показатели спада полей отличаются незначительно.

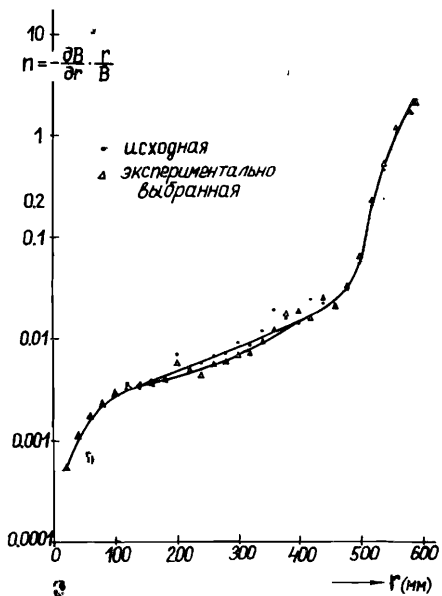


Рис.8. Зависимость показателя спада поля от радиуса для исходной и новой конфигураций магнитных систем.

Авторы благодарят М.Б.Калинкину за постановку расчетной программы на ЭВМ, Г.Н.Сайфулину за помощь при обработке результатов расчета, И.Вейсигу и П.Хартмана за оказанную помощь при подготовке экспериментов, а также операторов циклотрона У-120 за помощь при проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dietrich J. et al. Nucl. Instr. and Meth., A241, 1985, p.596.
2. Саркисян Л.А. Труды Международного рабочего совещания по технике изохронных циклотронов, Краков, 1978, с.128.
3. CERN COMPUTER CENTRE PROGRAM LIBRARY, POISCR, T 604, Chr. Iselin, 1983.
4. Аленицкий Ю.Г., Заплатин Н.Л. Труды Международного рабочего совещания по технике изохронных циклотронов, Краков, 1978, с.257.

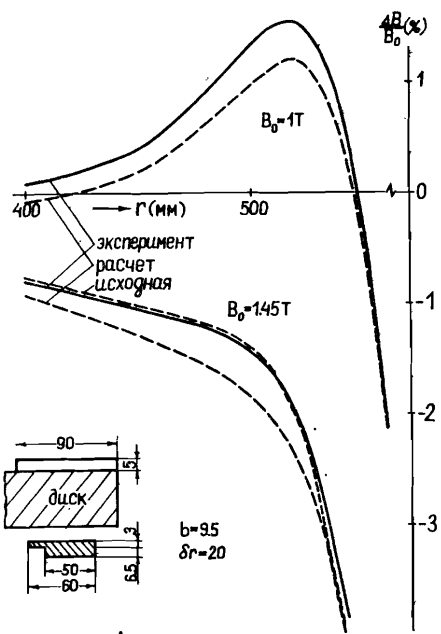


Рис.7. Расчетное и экспериментальное распределения поля для окончательной конфигурации магнитной системы.

татов измерений видно, что для $B_0 = 1,0$ Т совпадение с расчетом удовлетворительное, а при $B_0 = 1,45$ Т измеренный спад поля на 0,5% больше, что соответствует результатам сравнения расчета и эксперимента исходной конфигурации (рис.2).

На основании изложенного выше можно сделать вывод о том, что предложенная конфигурация магнитной системы обеспечит возможность ускорения дейтронов и α -частиц до энергий, получаемых в настоящее время, а также протонов ($E_p = 12$ МэВ) с использованием корректирующих обмоток

параметры которых должны быть выбраны.

Результаты более тонкой экспериментальной оптимизации шиммирующих элементов приведены на рис.7. Для окончательной конфигурации шимм, приведенной на рисунке, полученный спад поля отклоняется от исходного незначительно, и к радиусу вывода увеличивается до $\sim 0,2\%$. Рост поля при $B_0 = 1,0$ Т достигает величины $\sim 1,3\%$, т.е. токовые обмотки должны создавать поле ~ 500 Гс. Результаты контрольного расчета полученной геометрии шимм приведены на том же рисунке (пунктир). Зависимость $n = -(\partial B/\partial r) \cdot (r/B)$ для исходного и вновь сформированного поля представлена на рис.8. Видно, что показатели спада полей отличаются незначительно.

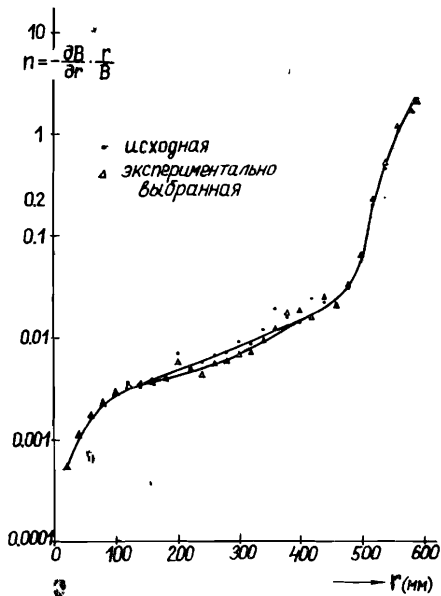


Рис.8. Зависимость показателя спада поля от радиуса для исходной и новой конфигураций магнитных систем.

Авторы благодарят М.Б.Калинкину за постановку расчетной программы на ЭВМ, Г.Н.Сайфулину за помощь при обработке результатов расчета, И.Вейсигу и П.Хартмана за оказанную помощь при подготовке экспериментов, а также операторов циклотрона У-120 за помощь при проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dietrich J. et al. Nucl. Instr. and Meth., A241, 1985, p.596.
2. Саркисян Л.А. Труды Международного рабочего совещания по технике изохронных циклотронов, Краков, 1978, с.128.
3. CERN COMPUTER CENTRE PROGRAM LIBRARY, POISCR, T 604, Chr. Iselin, 1983.
4. Аленицкий Ю.Г., Заплатин Н.Л. Труды Международного рабочего совещания по технике изохронных циклотронов, Краков, 1978, с.257.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р.55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р.00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р.50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р.30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р.50 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программирования и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983.	3 р.50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р.75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р.80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р.75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р.50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. /2 тома/	13 р.50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. /2 тома/	13 р.45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986	7 р.10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа-86". Дубна, 1986	4 р.45 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Аленицкий Ю.Г. и др.

9-87-491

Выбор шиммирующих элементов циклотрона У-120 (ЦИЯИ, ГДР) в диапазоне индукций (1-1,45) Т

Выбраны параметры ферромагнитных элементов магнитной системы циклотрона У-120 для формирования требуемого распределения поля для ускорения дейтронов ($E = 13,5$ МэВ) и α -частиц ($E = 27,0$ МэВ) при $B_0 = 1,45$ Т и протонов при уменьшенном уровне поля ($B_0 = 1$ Т). Конфигурация шимм выбиралась расчетным способом и моделировалась на магните циклотрона в масштабе 1:1.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Alenitskij Yu.G. et al.

9-87-491

The Choice of U-120 Cyclotron Trim Elements in the (1-1.45) T Induction Range

The U-120 cyclotron magnetic system iron element parameters are chosen for accelerating deuterons ($E = 13.5$ MeV) and α -particles ($E = 27.0$ MeV) at $B_0 = 1.45$ T and protons for diminished field level ($B_0 = 1$ T). The trim configuration was chosen by computer calculations and modelled on the cyclotron magnet (scale 1:1).

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987