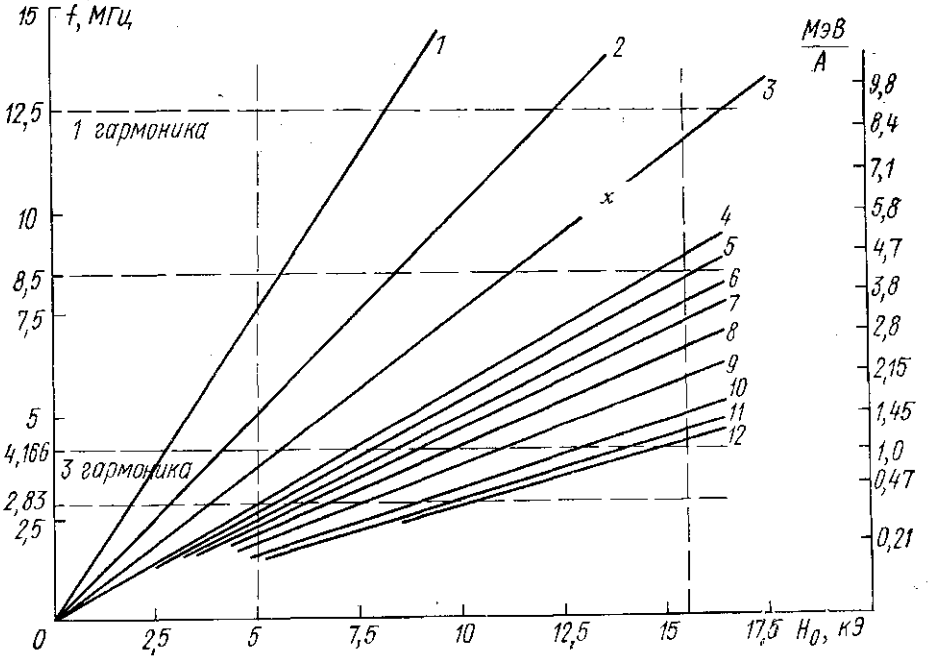
УДК 621.384.633

Л. А. Саркисян, Е. Ф. Кирьянов, Ю. А. Воробьев

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦИКЛОТРОНА

В НИИЯФ МГУ с 1958 г. работает классический циклотрон с диаметром полюсов 120 см, в котором при сформированном радиальном спаде магнитного поля для уровня поля в центре $H_0 = 13{,}8$ кЭ и высокой частоте $f = 10{,}4$ МГц ускоряются молекулярные ионы водорода, дейтроны и α-частицы до фиксированных энергий $\sim 6{,}35$, 12,7 и 25,4 МэВ соответственно (конечный радиус ускорения 53 см). В конце 1977 г. была осуществлена модернизация, позволившая, оставаясь в рамках классического циклотрона, путем формирования



Достижимая энергия ионов на конечном радиусе циклотрона при ускорении на первой и третьей гармониках частоты обращения. Крестиком отмечена энергия ионов до модернизации. A/z: *1* — 1 (H_1^{+1}), *2* — 1,5 (He_3^{+2}), *3* — 2 (H_2^{+1}, D_2^{+1}, He_4^{+2}), *4* — 2,66 (O_{16}^{+6}), *5* — 2,8 (N_{14}^{+5}), *6* — 3,0 (C_{12}^{+4}), *7* — 3,2 (O_{16}^{+5}), 8—3,5 (N_{14}^{+4}), *9* — 4 (He_4^{+1}, C_{12}^{+3}, O_{16}^{+4}), *10* — 4,66 (N_{14}^{+3}), *11* — 5 (Ar_{40}^{+8}), *12*—5,71 (Ar_{40}^{+7})

требуемого спада магнитного поля с радиусом для различных уровней H_0 и установления соответствующего значения резонансной частоты f осуществить рост и варьирование энергии ионов и расширить ассортимент ускоренных ионов (см. рисунок).

Проведенные расчеты и эксперименты показали, что формирование требуемого радиального спада поля может быть осуществлено в широ-

ком диапазоне уровней H_0=5—15,7 кЭ с помощью трех концентрических токовых обмоток (проводник — медная трубка с внутренним и внешним диаметрами 4 и 6 мм; число витков в обмотках 3,3 и 8; максимальный ток 300 А), установленных внутри вакуумной камеры на ее крышках [1]. Измерения магнитного поля, осуществленные с помощью магнитометров с датчиками Холла — стандартным Ш1-8 (точность $\pm 7 \cdot 10^{-4}$) и созданным в Институте атомной энергии (точность $\pm 2 \cdot 10^{-4}$) [2] — позволили определить необходимые значения токов в обмотках для различных уровней H_0.

При помещении катушек в вакуумной камере циклотрона зазор между плакировкой и дуантом изменился с 3,5 до 2,7 см, вследствие чего диапазон собственных частот резонансного контура уменьшился с 8,8—16,5 МГц до 8,5—14 МГц.

В октябре 1977 г. был осуществлен запуск циклотрона после модернизации. При незначительной коррекции токов в обмотках в ускорителе были ускорены и выведены пучки с плавным изменением энергии в приведенных диапазонах (см. таблицу).

		в МэВ
Протоны	H_1^{+1}	4,4— 9,2
	H_2^{+1}	4,4— 7,9
Дейтроны	$Д_2^{+1}$	8,8—15,8
Гелий 3	He_3^{+2}	13,2—25,2
α-частицы	H_4^{+2}	17,6—31,6

Заброс пучка в электростатический дефлектор осуществлялся с помощью гармонической обмотки, установленной на крышках вакуумной камеры в межполюсном зазоре. Интенсивность выведенных пучков изменялась с ростом энергии ионов от 70 до 10 мкА (скважность 6).

В циклотроне могут быть также ускорены ионы O_{16}^{+6} до энергии 4,4 МэВ/нуклон на первой гармонике частоты обращения и ионы с A/Z в диапазоне 2,66—5,7 до энергии 0,3—1,2 МэВ/нуклон (на третьей гармонике).

Отметим, что полученная энергия дейтронов и α-частиц является максимальной для действующих в СССР циклотронов с диаметром полюсов 120 см. Избранный путь модернизации является наиболее простым в техническом отношении и связан с минимальными материальными затратами и сроками остановки ускорителя.

С января 1978 г. физические исследования на циклотроне проводятся с новыми параметрами пучков.

Авторы признательны А.Ф. Тулинову и В. С. Николаеву за внимание к работе; М. Х. Листову, А. А. Данилову, А. П. Озябкину, В. Н. Широкову, В. И. Комарову, М. Н. Кирпичеву, Е. И. Кашеверову, Н. С. Шестакову, И. И. Агееву за помощь при изготовлении элементов магнитной системы, проведении измерений поля и запуске ускорителя, а также сотрудникам ИАЭ Н. И. Веникову и Ю. П. Бузулукову за предоставленную аппаратуру для измерений магнитного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саркисян Л. А., Кирьянов Е. Ф., Воробьев Ю. А. В кн.: Ломоносовские чтения. М., 1977, с. 38.
2. Бузулуков Ю. П., Веников Н. И. и др. «Приборы и техника эксперимента», 1977, 3, 28.

НИИЯФ

Поступила в редакцию
13.01.78