

Используя связь второго центрального момента с корреляционной функцией

$$\overline{\delta N_\alpha \delta N_\beta} = G_{\alpha\beta}(X, X', t) + \delta_{\alpha\beta} \delta(X - X') F_\alpha(X, t),$$

а также аналогичное выражение для третьего центрального момента, из (8) можно получить уравнение для корреляционной функции частиц и осцилляторов поля.

Следует отметить, что введение динамических переменных осцилляторов поля позволяет рассматривать в рамках классической статистики и электромагнитные волны. Поэтому полученные уравнения применимы, вообще говоря, для системы заряженных частиц и излучения. В следующей работе будут рассмотрены некоторые приложения этих уравнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Климонтович Ю. Л. Кинетическая теория электромагнитных процессов.— М.: Наука, 1980, 373 с. [2] Гайтлер В. Квантовая теория излучения.— М.: ИЛ, 1956, с. 25. [3] Власов А. А. Статистические функции распределения.— М.: Наука, 1966, с. 153. [4] Боголюбов Н. Н. Проблемы динамической теории в статистической физике. Избранные труды.— Киев: Наукова думка, 1970, т. 2, с. 99—196.

Поступила в редакцию
01.12.80

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1981, Т. 22, № 5

УДК 621.384.633

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦИКЛОТРОНА МИФИ

Л. А. Саркисян, И. Д. Кошевой, В. А. Калита, В. С. Николаев,

В. П. Зайков (НИИЯФ МГУ),

Б. М. Попов, Л. И. Виноградова (МИФИ)

Работающий с 1947 г. классический циклотрон с диаметром полюсов 73 см является межвузовской установкой МИФИ и НИИЯФ МГУ. Ускорение ионов осуществлялось при изменении уровня магнитного поля в центре H_0 от 7 до 16,2 кЭ при трех значениях высокой частоты $f=4,3$; 6,2 и 10,5 МГц (необходимый радиальный спад магнитного поля был сформирован в диапазоне значений $H_0=7-10$ кЭ). Были ускорены до конечного радиуса 30 см и выведены легкие ионы с фиксированной энергией (протоны, дейтроны и α -частицы — 2,1 МэВ/нуклон, ионы $^1\text{H}_3$ — 2,1 МэВ и $^1\text{He}_4$ — 1,2 МэВ) и полутяжелые и тяжелые ионы с отношением A/Z до 5,66 (на первой гармонике ВЧ) и до 17 (на третьей гармонике ВЧ) при $f=4,3$ и 6,2 МГц. Максимальная интенсивность внутреннего пучка составляла 200 мкА. Изменение радиуса установки внутренней мишени позволяло варьировать энергию ионов.

В 1978 г. были начаты работы по модернизации циклотрона с целью: осуществить варьирование энергии ионов при изменении H_0 от 2 до 15,5 кЭ и f от 4,3 до 10,6 МГц (рис. 1); существенно увеличить интенсивность внутреннего и внешнего пучков; уменьшить время настройки циклотрона при смене режимов. Был использован опыт модернизации 120-сантиметрового классического циклотрона НИИЯФ МГУ [1—3] (коэффициент подобия магнитных систем равен 0,608). Формирование необходимого радиального спада магнитного поля в

диапазоне уровней $H_0 = 2-16$ кЭ, коррекция медианной плоскости и первой гармоники магнитного поля (для уменьшения сдвига центра орбиты, а также для заброса и проводки пучка через дефлектор) были осуществлены с помощью токовых обмоток, установленных внутри и снаружи вакуумной камеры.

Для сохранения неизменным вертикального зазора вакуумной камеры, равного 9 см, были изготовлены новые стальные профилированные крышки. Три пары concentрических токовых катушек размещены в пазах (глубина 5 мм), проточенных в медных дисках (диаметр 648 мм, толщина 6 мм), закрепленных на крышках камеры без вакуумного уплотнения. Медная трубка с внутренним и внешним диаметрами 4 и 6 мм была предварительно сплюснута в трубку эллиптического сечения (внешняя большая полуось 3,5 мм, малая — 2 мм). При намотке катушки трубка изолировалась стеклолентой (толщина 0,2 мм), пропитанной эпоксидной смолой. Число витков в катушках 2; 2 и 6; средние радиусы 13, 19,5 и 29 см. Точность установки катушек в камере составила по радиусу ± 1 мм и по высоте $\pm 0,2$ мм. Подводящие концы катушек выведены между дуантами и закреплены медными кожухами. Токовводы катушек, расположенные на торце вакуумной камеры в районе перемещаемой вдоль радиуса внутренней мишени, обеспечивают электрическую изоляцию, водяное и вакуумное уплотнение. Питание обмоток осуществлено селеновыми выпрямителями, изменение тока — регуляторами напряжения типа ИР-60. Обмотки охлаждаются дистиллированной водой при давлении до 2 атм. Необходимый спад магнитного поля с радиусом (1,1—1,8% на конечном радиусе) был сформирован с помощью concentрических обмоток для 15 уровней поля (через ~ 1 кЭ) в диапазоне $H_0 = 2,1-15,7$ кЭ (рис. 2).

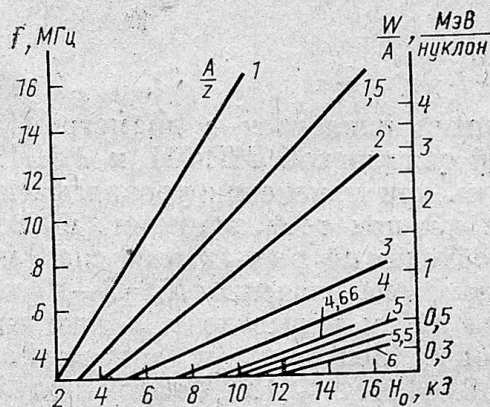


Рис. 1. Достижимая энергия ионов в циклотроне на конечном радиусе 30 см

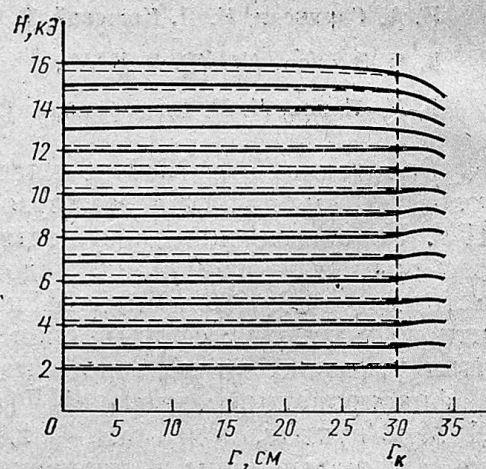


Рис. 2. Изменение магнитного поля с радиусом для различных значений H_0 при зазоре 10,2 см: сплошная линия — исходное поле, пунктир — сформированный с помощью обмоток спад поля

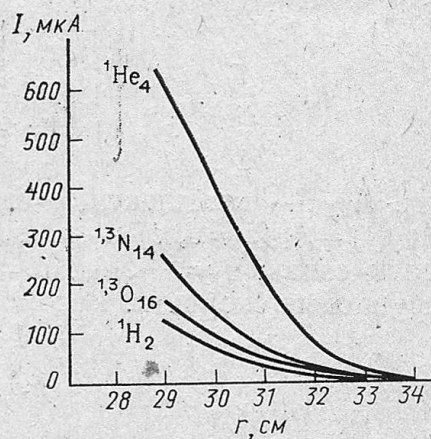
Измерения показали, что первая гармоника магнитного поля составляет ~ 25 Э в районе конечных радиусов. Для ее коррекции используется гармоническая обмотка, состоящая из четырех пар прямоугольных катушек, установленных через 90° в межполюсных зазорах, симметрично относительно медианной плоскости. Противоположные (через

180° по азимуту) катушки обмотки включены встречно. Однослойные катушки намотаны из медной шинки (10×2 мм²), изолированной хлопчатобумажной лентой толщиной 0,3 мм. Число витков в катушке равно пяти. Протяженность катушки по радиусу 295 мм, ширина 50 мм, высота 3 мм. Начальный радиус установки катушки 21 см. При токе 300 А симметричная пара противоположно включенных катушек позволяет полностью скорректировать первую гармонику поля.

Модернизация коснулась и вакуумной системы ускорителя. Повышена производительность откачки насосов с 1500 до 4500 л/с. Рабочий вакуум с газом составляет $4-5 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.

В начале 1980 г. был осуществлен запуск циклотрона. Экспериментально было реализовано два режима работы — с внутренним пучком, ускоренным до конечного радиуса 30 см, где установлена перемещаемая вдоль радиуса мишень, и с внешним пучком (измерительный пробник смещен по азимуту относительно входа в дефлектор на угол $\sim 120^\circ$). Для осуществления второго режима работы начальный радиус входа в дефлектор увеличен до 31–32 см и перераспределены токи в обмотках. Исследования с пучком показали необходимость коррекции медианной плоскости в районе начальных и конечных радиусов (изменение тока в катушках первой и третьей обмоток до ± 50 А). Размер пучка по вертикали ~ 1 см. Максимальное значение тока в концентрических и гармонических катушках не превышает 300 А. В циклотроне ускорены и выведены ионы при изменении H_0 от 5,5 до 15,4 кЭ и $f=4,3; 6,2; 9,5$ и 10,6 МГц (на первой и третьей гармониках ВЧ). На частоте 4,3 МГц ускорены ионы $^1\text{H}_2$, $^2\text{He}_4$, $^1\text{He}_4$, $^3\text{N}_{14}$, $^3\text{O}_{16}$ до энергии ~ 300 кэВ/нуклон и ионы $^1\text{N}_{14}$ и $^1\text{O}_{16}$ до энергий ~ 35 кэВ/нуклон. На частоте 6,2 МГц ускорены ионы $^1\text{H}_2$, $^2\text{He}_4$, $^1\text{H}_3$ до энергии 700 кэВ/нуклон и ионы $^2\text{N}_{14}$ до энергии 80 кэВ/нуклон. На частоте 9,5 МГц ускорены ионы $^1\text{H}_1$, $^1\text{H}_2$, $^1\text{D}_2$, $^2\text{He}_4$ до энергии 1,7 МэВ/нуклон и ионы $^1\text{H}_3$, $^1\text{He}_4$, $^2\text{C}_{12}$, $^2\text{N}_{14}$ до энергии 180 кэВ/нуклон.

Рис. 3. Изменение среднего тока пучка с радиусом для различных ионов при осуществлении вывода



На частоте 10,6 МГц ускорены ионы $^1\text{H}_2$, $^1\text{D}_2$ до энергии 2,1 МэВ/нуклон.

Средний ток ионов на конечном радиусе 30 см изменяется от 5 до 2000 мкА. В режиме вывода пучка на внешнюю мишень интенсивность на конечных радиусах будет несколько меньше (рис. 3). Эффективность вывода пучков составляет $\sim 10-40\%$. При увеличении высокой частоты уменьшается интенсивность пучков, что обусловлено недостаточной величиной ускоряющего напряжения на дуантах (максималь-

ная величина напряжения между дуантами ~ 35 кВ, требуемая ~ 60 кВ). Так, интенсивность выведенных пучков ионов ${}^1\text{H}_4$ уменьшается с ростом энергии от 30 до 2,5 мкА, ионов азота — от 3 до 0,5 мкА.

Время перестройки циклотрона при изменении энергии и сорта ускоряемых ионов уменьшилось с нескольких дней до нескольких часов (ускорение осуществляется без перемещения дуантов).

С середины 1980 г. на циклотроне начаты физические исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Саркисян Л. А., Кирьянов Е. Ф., Воробьев Ю. А. Циклотрон с плавным изменением энергии.— Тр. VI Всес. сов. по ускорителям заряженных частиц. Т. 1, Дубна, 1979, с. 94—96. [2] Саркисян Л. А. Повышение энергии частиц в циклотроне.— Тр. Междунар. рабочего сов. по технике изохронных циклофонов. Институт ядерной физики, Краков (Польша), Raport 1069/PL, 1978, с. 124—149. [3] Саркисян Л. А., Кирьянов Е. Ф., Воробьев Ю. А. Модернизация ста двадцатисантиметрового циклотрона.— Приб. и техн. эксперимента, 1979, № 1, с. 10—12; Модернизация циклотрона.— Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1979, 20, № 2, с. 63—64.

Поступила в редакцию
02.12.80

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1981, Т. 22, № 5

УДК 621.373.7

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ СВЕТА В ДИСПЕРГИРУЮЩЕЙ СРЕДЕ ПРИ МНОГОМОДОВОЙ НАКАЧКЕ

Ю. Е. Дьяков, С. Ю. Никитин

(кафедра общей физики и волновых процессов)

1. В приближении заданного поля накачки трехчастотное параметрическое взаимодействие описывается уравнениями:

$$\begin{cases} \frac{\partial A_1}{\partial z} + \mu_1 \frac{\partial A_1}{\partial \theta} = \beta_1 A_{\text{но}}(\theta) A_2, \\ \frac{\partial A_2}{\partial z} + \mu_2 \frac{\partial A_2}{\partial \theta} = \beta_2 A_{\text{но}}^*(\theta) A_1, \end{cases} \quad (1)$$

где $A_{1,2}$ — комплексные амплитуды сигнальной и холостой волн; $A_{\text{но}}(t) = A_{\text{н}}(z=0, t)$ — амплитуда накачки на входе; $\beta_{1,2}$ — коэффициенты связи; $\theta = t - z/u_{\text{н}}$; $\mu_1 = 1/u_1 - 1/u_{\text{н}}$; $\mu_2 = 1/u_2 - 1/u_{\text{н}}$; u_i ($i = \text{н}, 1, 2$) — групповые скорости. Рассмотрим многомодовую накачку

$$A_{\text{но}}(\theta) = \sum_{n=-N}^N A_n e^{in\Omega\theta} \quad (2)$$

и будем искать решение в виде:

$$A_1 = e^{\gamma z} \sum_{n=-N}^N b_{1n} e^{in\Omega\theta}, \quad A_2 = e^{\gamma z} \sum_{n=-N}^N b_{2n} e^{in\Omega\theta}, \quad (3)$$

где $A_n, b_{1n}, b_{2n}, \gamma$ — комплексные постоянные. Подставляя (2), (3) в (1), получим следующее выражение для коэффициентов b_{2n} :

$$b_{2n} = \frac{\beta_2}{\gamma + in\mu_2\Omega} \sum_{k=-N}^N b_{1,k+n} A_k^*. \quad (4)$$