

# Зависимость интенсивности от ускоряющего напряжения в фазотроне ОИЯИ

В. И. ДАНИЛОВ, И. Б. ЕНЧЕВИЧ, Э. А. ПОЛФЕРОВ, А. Н. САФОНОВ

УДК 621.384.611

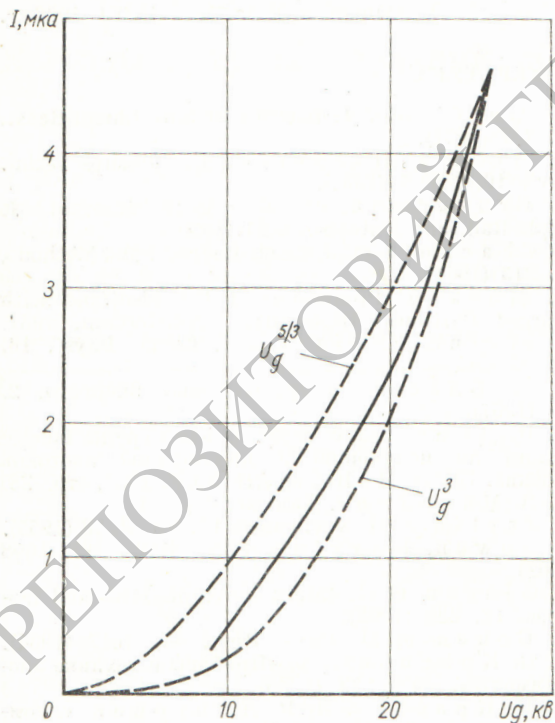
В последнее время появился ряд работ, посвященных исследованиям возможностей дальнейшего повышения эффективности фазотронов, что обусловлено в первую очередь надежностью и стабильностью работы ускорителей такого типа [1—4].

В связи с этим интересно установить, по какому закону изменяется интенсивность при пропорциональном увеличении ускоряющего напряжения  $U_g$  и частоты модуляции  $F_m$ . Так как в этом случае зависимость  $\cos \varphi_s$  от радиуса орбиты не изменяется, то при отсутствии фазовых потерь интенсивность будет определяться условиями формирования сгустка ускоряемых ионов в течение времени захвата. Можно предположить, что основные потери происходят вблизи центра вследствие нарушения вертикальной устойчивости, так как фокусирующие силы (силы, обусловленные спадом магнитного поля, смещением на дуанте и т. д.) меньше дефокусирующих сил пространственного заряда сгустка ионов в этой области. Следует также принять во внимание, что вблизи ионного источника происходят потери частиц из-за рассеяния на газе [5]. Если  $\cos \varphi_s$  растет в зависимости от радиуса, то возможны фазовые потери. В этом случае зависи-

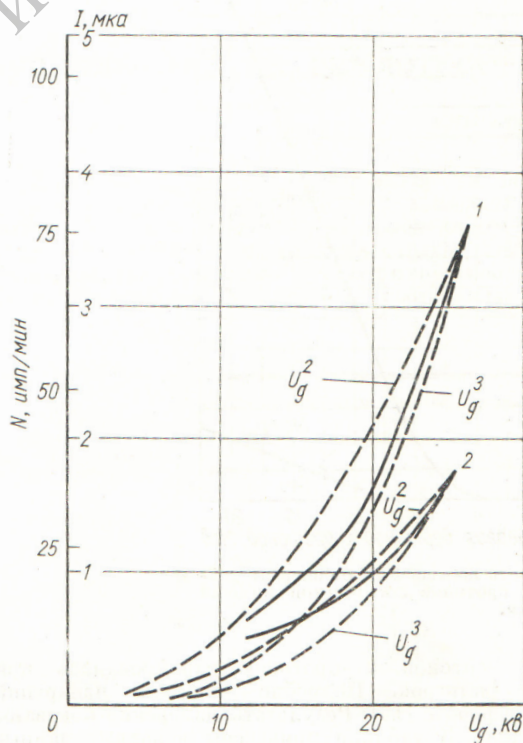
мость интенсивности от ускоряющего напряжения лучше исследовать на малых радиусах, так как различие в затухании фазовых колебаний вследствие зависимости их числа от  $U_g$  может внести искажение в изучаемую закономерность.

В работах Мак-Кензи [6] и Лоусона [7] была сделана попытка теоретически найти зависимость тока ускоряемых ионов от напряжения на дуанте с учетом сил пространственного заряда. Мак-Кензи сделал некоторые упрощающие предположения относительно распределения частиц в пучке и характера кулоновских сил, пренебрег зависимость набора энергии ионом от радиуса орбиты и получил, что ток пучка зависит от ускоряющего напряжения как  $U_g^3$ . При этом он считал, что магнитные фокусирующие силы начинают действовать скачкообразно с некоторого радиуса  $r_m$ . Лоусон учел действие магнитных сил от самого центра ускорителя для квадратичного закона спада магнитного поля и получил, что ток пучка пропорционален  $U_g^{5/3}$ .

Для проверки этих теоретических зависимостей и выяснения возможности дальнейшего повышения



Р и с. 1. Зависимость тока протонов на радиусе 90 см от ускоряющего напряжения.



Р и с. 2. Зависимость интенсивности пучка протонов на конечном радиусе от ускоряющего напряжения.

1 —  $U_\phi = -11$  кВ; 2 —  $U_\phi = 0$ .

интенсивности фазотрона ОИЯИ была проведена серия экспериментов по определению зависимости тока ускоренных частиц от напряжения на дуанте.

Ввиду того что в настоящее время существуют известные трудности измерения ускоряющего напряжения в фазотроне, в данной статье использован метод, изложенный в работе [8].

Зависимость тока пучка от ускоряющего напряжения  $U_g$  при  $\frac{F_M}{U_g} = \text{const}$  определялась на двух радиусах. На радиусе  $r = 90$  см интенсивность измерялась токовым пробником при изменении ускоряющего напряжения от 11 до 26 кВ с соответствующим изменением частоты модуляции. На рис. 1 показана зависимость  $I = I(U_g)$  при  $\frac{F_M}{U_g} = \text{const}$  и постоянном напряжении на фокусирующих электродах [3]  $U_\phi = -11$  кВ. На этом же рисунке приведены две кривые, одна из которых является кубической параболой, а вторая описывается законом  $U_g^{5/3}$ . Эти кривые для сравнения совмещены с экспериментальной кривой в ее конечной точке. Видно, что ток протонов возрастает в зависимости от ускоряющего напряжения медленнее, чем  $U_g^3$ , но быстрее, чем  $U_g^{5/3}$ .

Зависимость интенсивности от ускоряющего напряжения измерялась также и на конечном радиусе  $r_k = 274,5$  см путем регистрации нейтронов, генерируемых с бериллиевой мишени. Увеличение интенсивности на конечном радиусе с ростом ускоряющего напряжения  $U_g$  при наличии электростатической фокусировки (1) и без нее (2) показано на рис. 2, где по оси ординат отложено число импульсов, регистрируемых нейтронным монитором, и значение тока на конечном радиусе. Соответствие между током пучка и показаниями нейтронного монитора было установлено при помощи данных о токе пучка в рабочем режиме, полученных в работе [4]. На этом же рисунке для сравнения приведены кривые  $I \sim U_g^2$  и  $I \sim U_g^3$ , совмещенные с экспериментальными кривыми в конечных точках. Видно, что экспериментальные зависимости интенсивности на конечном участке близки к  $I \sim U_g^{5/2}$ . Экстраполяция экспериментальных кривых до напряжения  $U_g \approx 30$  кВ дает величину тока 5,3 мкА при  $U_\phi = -11$  кВ и 2,75 мкА при  $U_\phi = 0$ . При этом число оборотов вариатора  $n$  должно возрасти до 1000—1200 об/мин ( $F_M \approx 200$  гц).

Для выяснения возможности увеличения тока пучка фазотрона ОИЯИ путем некоторого увеличения анодного напряжения генератора и частоты модуляции были сняты зависимости интенсивности от  $n$  в диапазоне 650—880 об/мин ( $F_M = 108 \div 146$  гц) и значений постоянного анодного напряжения  $E_a = 6 \div 8,5$  кВ при  $U_\phi = -11$  кВ. Полученные кривые приведены на рис. 3. Фазотрон ОИЯИ в обычном режиме работает при  $E_a = 7,2$  кВ и  $n = 680$  об/мин ( $F_M = 113$  гц). Как видно из рисунка, при увеличении  $E_a$  до 7,5 кВ и  $n$  до 860—880 об/мин интенсивность увеличится на 25%. В этом режиме  $I = 2,6 \div 2,7$  мкА;  $U_g \approx 22,6$  кВ;  $F_M = 125$  гц.

Повышение ускоряющего напряжения  $U_g$  до 26 кВ (что соответствует  $E_a = 8,5$  кВ) и  $n$  до 880 об/мин, как видно из рис. 2 и 3, приводит к возрастанию интенсивности по сравнению с существующим уровнем в 1,65 раза ( $I = 3,5$  мкА).

Анализ проведенных экспериментов показывает, что при увеличении ускоряющего напряжения до 40 кВ

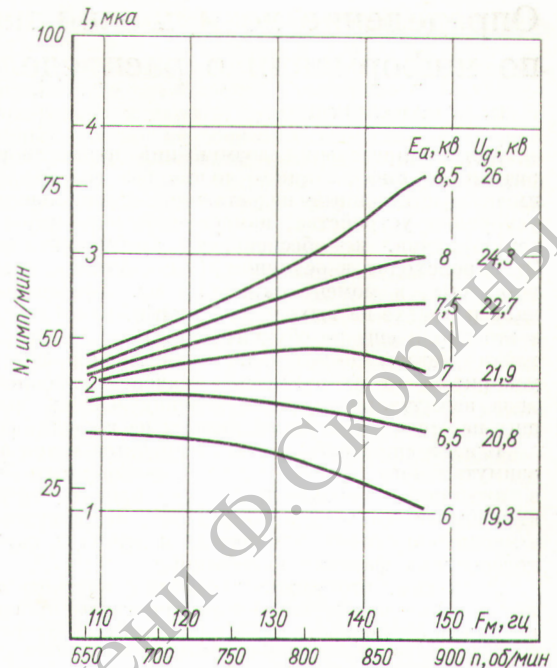


Рис. 3. Зависимость интенсивности пучка протонов на конечном радиусе от частоты модуляции для нескольких значений анодного напряжения генератора.

с соответствующим повышением  $F_M$  до  $\sim 300$  гц ток пучка в фазотроне ОИЯИ можно довести до 10 мкА, если с ростом интенсивности не изменится закон  $I \sim U_g^{5/2}$ . Следует отметить, что обеспечение оптимальных условий формирования пучка в центральной области ускорителя позволит получить еще больший ток.

В заключение авторы выражают благодарность Ю. М. Казаринову и Ю. Н. Симонову за помощь при измерении интенсивности пучка нейтронным монитором.

Поступило в Редакцию 17/V 1966 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Conference on high energy cyclotron improvement. College of William and Mary. USA, Williamsburg, 1964.
2. В. И. Д а н и л о в и др. Препринт ОИЯИ, Р-1985, Дубна, 1965.
3. В. И. Д а н и л о в и др. Препринт ОИЯИ, Р-1853, Дубна, 1964.
4. В. И. Д а н и л о в и др. В кн. «Труды Международной конференции по ускорителям (Дубна, 1963)». М., Атомиздат, 1964, стр. 591.
5. J. R i c h a r d s o n et al. Phys. Rev., 73, 424 (1948).
6. K. M a c K e n z i e. Nucl. Instrum. and Methods, 31, 139 (1964).
7. J. L a w s o n. Nucl. Instrum. and Methods, 34, 173 (1965).
8. А. Н. С а ф о н о в. Препринт ОИЯИ, Р-2730, Дубна, 1966.