

М-345

11/II-69

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P9 - 4206

И.М.Матора, Р.В.Харьюзов

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

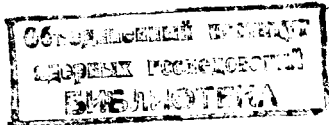
К ВОПРОСУ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ  
УСКОРЯЮЩЕГО РЕЗОНАТОРА  
СИЛЬНОТОЧНОГО МИКРОТРОНА

1968

Р9 - 4206

И.М.Матора, Р.В.Харьюзов

К ВОПРОСУ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ  
УСКОРЯЮЩЕГО РЕЗОНАТОРА  
СИЛЬНОТОЧНОГО МИКРОТРОНА



## В в е д е н и е

Важная особенность микротронного способа ускорения электронов, предложенного В.И.Векслером в 1944 году<sup>/1/</sup>, заключается в том, что частицы при каждом очередном ускорении приобретают дополнительную кинетическую энергию порядка энергии покоя. Это обстоятельство оказывает существенное влияние на условия работы основного элемента микротрона - ускоряющего резонатора, рабочая амплитуда СВЧ напряжения на ускоряющем зазоре которого может достигать 1 - 1,2 мв, что соответствует напряженности электрического поля порядка 500 + 600 кв/см.

Создание резонатора, способного длительное время работать в столь напряженном режиме, стало еще более актуальной задачей после того, как на опыте эксплуатации микротрона ОИЯИ на энергию 30 Мэв было показано, что продолжительность цикла непрерывной работы ускорителя всецело определяется сроком службы резонатора, т.е. временем, в течение которого удается сохранять необходимую для осуществления процесса ускорения электрическую прочность последнего<sup>/2/</sup>.

В этой связи приводимые ниже данные, касающиеся влияния режима работы термокатода<sup>/3/</sup> и давления остаточного газа на электрическую прочность и срок службы резонаторов, могут представить определенный интерес.

В современном сильноточном электронном ускорителе - микротроне роль инжектора играет термокатод, изготовленный из гексаборида лантана ( $La B_6$ ) и помещенный непосредственно в полость ускоряющего резонатора (рис. 1). Резонатор, предназначенный для работы во втором режиме ускорения<sup>/4/</sup>, представляет собой цилиндрическую полость диаметром 80 мм и высотой 25 мм, ограниченную медным толстостенным корпусом (6) и помещенную в постоянное вращающееся магнитное поле  $\approx 2$  кэ. В корпусе имеются пролетные окна (7,8,9). Катод (4) расположен вблизи оси резонатора. Через прямоугольное окно связи (10) в полости возбуждаются электромагнитные колебания типа  $E_{010}$ , при которых вектор напряженности необходимого для ускорения электрического СВЧ поля, максимальный в средней части резонатора, имеет амплитуду порядка 600 кВ/см и направлен вдоль оси  $Y$ .

Траектории эмиттированных катодом электронов как под воздействием упомянутых полей, так и из-за разброса фаз вылета в пределах  $180^\circ$ , образуют широкий веер. Лишь небольшая их часть проходит вспомогательное окно (7) и поступает в дальнейшее многократное ускорение, сопровождающееся пролетом через основные окна (8 и 9).

При попытках увеличить выходной ток микротрона за счёт повышения тока эмиссии авторы столкнулись с явлением снижения электрической прочности в моменты увеличения тока термокатаода до значения, превышающего определенную величину. Этому снижению электрической прочности всегда сопутствовал повышенный расход СВЧ мощности, потребляемой от генератора, без заметного увеличения тока ускоренных электронов.

Сущность явления была объяснена следующим образом. Подавляющее большинство эмиттированных катодом электронов после первого полуоборота (рис. 1) внутри резонатора не попадает в окно (7), а бомбардирует внутреннюю поверхность резонатора в тех местах (5), где существует сильное СВЧ поле. Это имеет два существенно отрицательных следствия. Первое из них состоит в том, что вторичные выбитые электроны способствуют развитию в полости резонатора мощного резонансного СВЧ

разряда, на который расходуется существенная доля мощности. Вторым следствием является локальное импульсное нагревание внутренней поверхности резонатора в местах бомбардировки ее электронами, в результате чего здесь возникают дополнительные нежелательные термокатоды, с которых электрическое СВЧ поле вырывает много электронов, бесполезно загружающих резонатор и, в свою очередь, вызывающих его дополнительный перегрев.

Результатом этих процессов является эрозия медной поверхности резонатора. Эта эрозия развивается особенно интенсивно после превышения определенного значения тока эмиссии с катода, которое при длине волны  $\lambda = 10$  см и ширине бомбардируемой электронами полоски поверхности резонатора  $1 + 1,5$  мм, скважности  $10^4$  и длительности импульса 2 мксек составляет 3-5 ампер в импульсе. Описанная ситуация являлась одной из главных причин, ограничивающих предельные токи ускоренных в нашем микротроне электронов.

В связи с этим был предложен ускоряющий резонатор<sup>/5/</sup>, отличающийся тем, что вдоль бомбардируемой полоски на внутренней поверхности резонатора проделана канавка (11) (рис. 2) с шириной, несколько превышавшей ширину пучка электронов ( $\approx 2$  мм), и глубиной, существенно большей, чем ширина. В этом случае балластные электроны бомбардируют дно канавки, где СВЧ поле практически отсутствует, и оба упомянутые выше нежелательные явления не могут иметь места. Следует подчеркнуть, что геометрия канавки практически не меняет распределения поля в рабочей области резонатора. Указанная конструкция резонатора была испытана. На рис. 3 показана внутренняя поверхность резонатора с канавкой, длина которой на 4 мм меньше, чем это необходимо. Четко видно, что после 100 часов непрерывной работы дно и края канавки оказались без заметной эрозии, тогда как оставшийся неуглубленным участок бомбардировки сильно пострадал. На рис. 4 виден белый след пучка в канавке, длина которой оптимальна. Следы эрозии еле заметны. На последнем этапе эксплуатации нашего микротрона все резонаторы были снабжены канавкой номинальной длины, в результате чего условия работы существенно облегчились, а максимальный ток ускоренных электронов

достигал рекордной для этого класса микротронов величины  $90 + 100$  ма в импульсе. Резонаторы такой конструкции способны надежно работать при вакууме, в несколько раз худшем, чем обычные.

## II

Ранее отмечалось/2/, что полученная в результате тренировки электрическая прочность резонатора в процессе работы ускорителя не остается неизменной, поскольку имеет место старение, связанное с загрязнением внутренней поверхности резонатора как за счёт вколачивания в стенки частиц остаточного газа, так и за счёт напыления вещества катода. В результате обработки данных, полученных на протяжении нескольких тысяч часов работы ускорителя, нам удалось построить диаграмму, подтверждающую справедливость такого утверждения. На рис. 5 по оси абсцисс отложено давление в камере микротрона, а по оси ординат – время непрерывной работы ускорителя в часах. Кружки получены при работе с резонаторами, у которых диаметр катода равнялся 3 мм. Крестики соответствуют резонаторам с диаметром катода 4 мм.

Поскольку для получения каждой из точек требовалось от 30 до 200 часов непрерывной работы микротрона, нам не удалось набрать достаточной статистики, однако даже из приведенных данных видно, что срок службы увеличивается при улучшении вакуума от 30 часов при давлении  $7 \cdot 10^{-6}$  тор до 60 + 70 часов при давлении  $3 \cdot 10^{-6}$  тор в случае 3-миллиметровых катодов и от 70 часов при давлении  $7 \cdot 10^{-6}$  тор до 140 часов при давлении  $1 + 2 \cdot 10^{-6}$  тор в случае катодов диаметром 4 мм. Кроме того, рис. 5 показывает, что увеличение диаметра катода от 3 до 4 мм, соответствующее двукратному снижению плотности эмиссии, приводит приблизительно к двукратному увеличению срока службы за счёт соответствующего снижения скорости напыления вещества катода на внутренние поверхности резонатора.

Следует отметить, что достигнутую 200-часовую длительность периода непрерывной работы микротрона Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ авторы не считают предельной.

В заключение приносим благодарность Л.А.Меркулёву, П.С.Анцупову и Б.Ф.Дыбину за помощь в работе.

## Л и т е р а т у р а

1. В.И.Векслер. ДАН СССР, 43, 348 (1944).
2. В.Д.Ананьев, П.С.Анцупов, И.М.Матора, Л.А.Меркулов, Р.В.Харьюзов. Препринт ОИЯИ, 9-3283, Дубна, 1967 .
3. С.П.Капица, В.П.Быков, В.Н.Мелехин. ЖЭТФ, 39, 997 (1960).
4. С.П.Капица, В.Н.Мелехин, И.Г.Крутикова, Г.Д.Прудковский. ЖЭТФ, 41, 376 (1961).
5. И.М.Матора, Р.В.Харьюзов. Авторское свидетельство № 230323 с приоритетом от 31 июля 1967 г.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 декабря 1968 года.

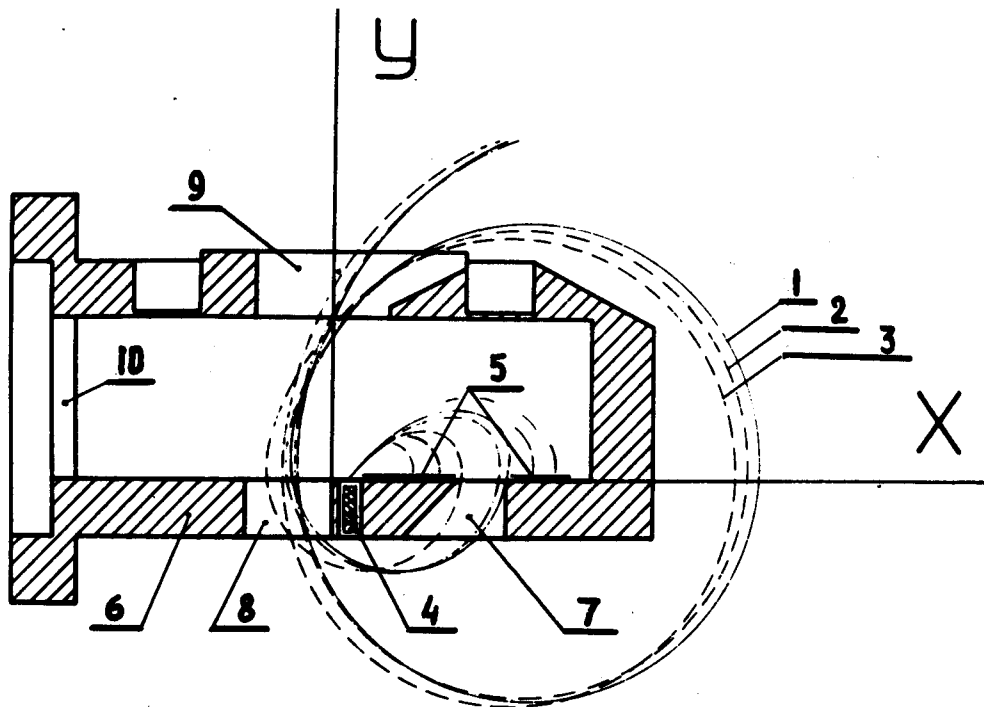


Рис. 1. Конструкция резонатора. 1,2,3 - орбиты резонансных электронов;  
4 - катод; 5 - участки, бомбардируемые балластными электронами;  
6 - корпус; 7,8,9 - пролетные окна; 10 - окно связи.

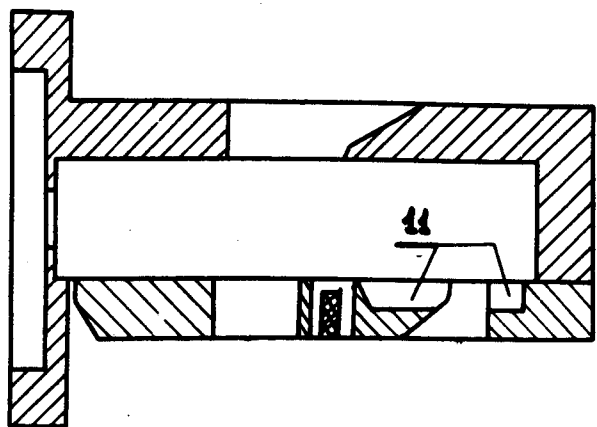


Рис. 2. Новая конструкция резонатора (11 - канавка).



Рис. 3. Следы эрозии при недостаточной длине канавки.

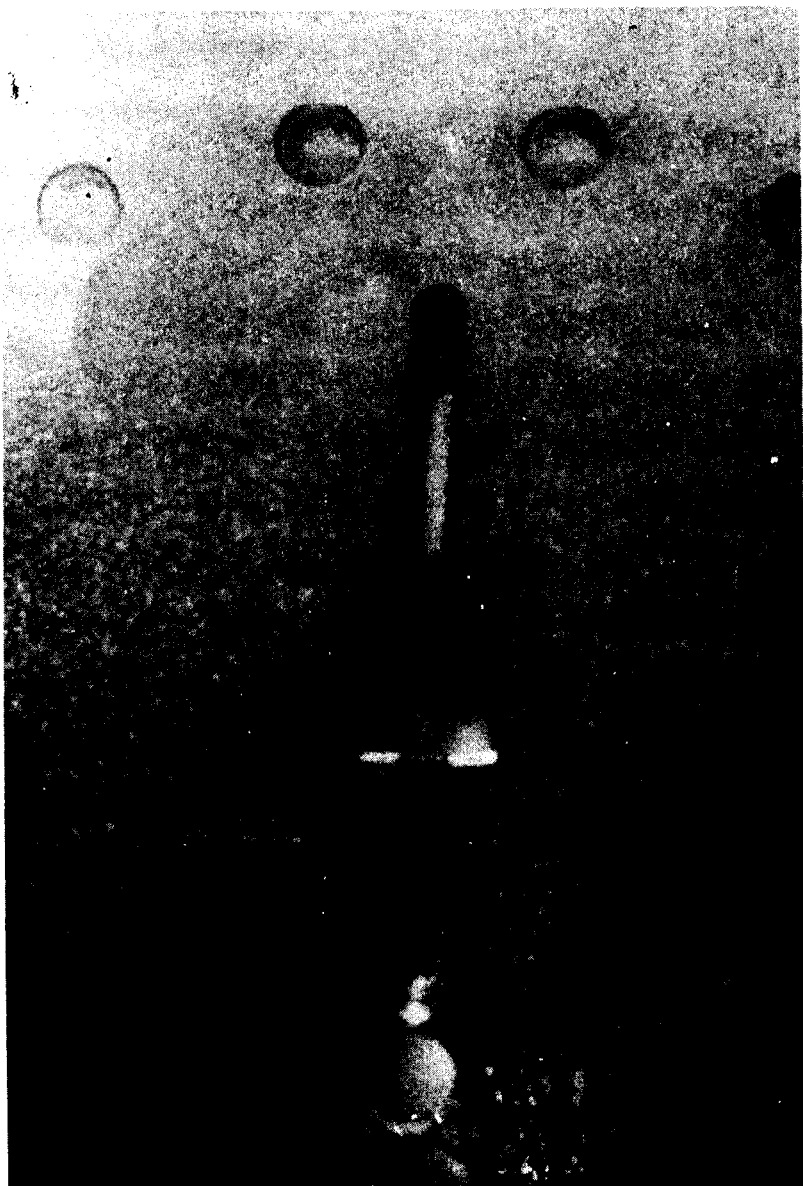


Рис. 4. След пучка в канавке оптимальной длины.

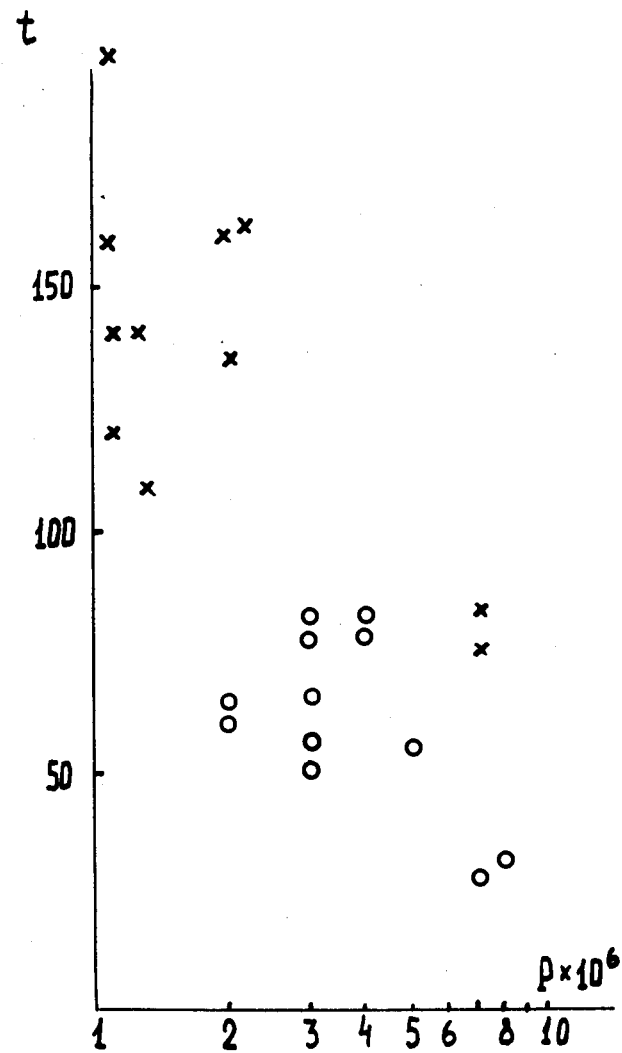


Рис. 5. Диаграмма, иллюстрирующая влияние давления в камере (тор) и диаметра катода на срок службы резонатора микротрона (час).  
 o - катод диаметром 3 мм; x - катод диаметром 4 мм.