

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

3643/2-80

4/8-80
9-80-286

А.С.Пасюк, С.Л.Богомолов, В.Б.Кутнер

ИССЛЕДОВАНИЯ
НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛАЗМЫ
В ЦИКЛОТРОННОМ ИСТОЧНИКЕ
МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ

1980

ВВЕДЕНИЕ

Первые генерация колебаний в циклотронном источнике данного типа ^{/1/} была обнаружена в работе ^{/2/}, в которой установлено, что с возникновением колебаний происходит уменьшение выхода многозарядных ионов.

В работах ^{/3,4/} обнаружено, что при определенных условиях возникают колебания тока разряда, амплитуда и частота которых зависят от параметров разряда. Возникновение колебаний привело к уменьшению тока извлекаемых из источника ионов.

Существует ряд теоретических ^{/5,6/} и экспериментальных работ ^{/7-10/}, в которых проводились исследования механизмов возникновения колебаний в плазме дугового разряда и их влияния на процессы в разряде.

Экспериментально установлено существенное влияние колебаний на процессы переноса плазмы поперек магнитного поля, на величину электронной температуры плазмы разряда.

Настоящая работа посвящена исследованию низкочастотных колебаний плазмы в циклотронном источнике многозарядных ионов с целью выяснения взаимосвязи этих колебаний с образованием многозарядных ионов.

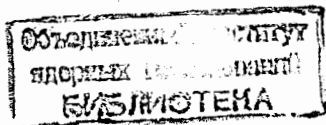
Измерены зависимости амплитуд колебаний плазмы от параметров разряда при одновременной регистрации тока многозарядных ионов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования колебаний проводились в циклотронном источнике на стенде ионных источников ЛЯР ОИЯИ ^{/11,12/}.

Колебания плазмы разряда регистрировались с помощью зондов, вводимых в разрядный канал ионного источника. Расположение зондов на газоразрядной камере схематически показано на рис. 1. Зонд выполнен из нержавеющей стали и представляет собой цилиндр диаметром 1 мм. Торцевая поверхность зонда устанавливалась заподлицо со стенкой разрядного канала.

Анализ спектра колебаний зондовых токов осуществлялся анализатором спектра типа С4-8. Исследовались колебания в диапазоне частот 0-1 МГц. Анализ зарядового состава извлекаемых из источника ионных пучков проводился по методике, описанной в работе ^{/11/}.



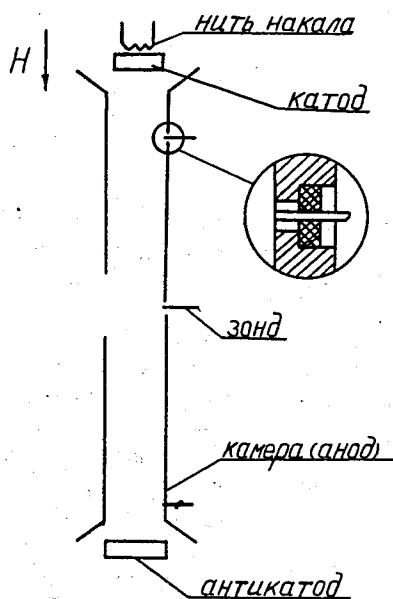


Рис.1. Расположение зондов на газоразрядной камере.

Были получены зависимости выхода ионов Ne , Ar , Kr , Xe различной зарядности и амплитуд колебаний зондовых токов от тока (I_d) и напряжения (U_d) разряда, а также от расхода газа (Q).

Все исследования выполнены в магнитном поле $3,6$ кЭ при постоянном напряжении 17 кВ/ на вытягивающем электроде.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ. ОБСУЖДЕНИЯ

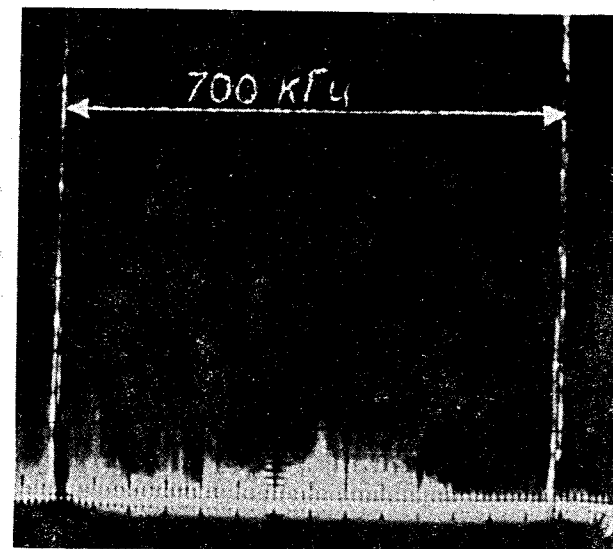
В разряде зарегистрирована генерация колебаний с частотами, занимающими практически весь указанный выше диапазон $0-1$ МГц/. Спектры колебаний содержат как отдельные линии, так и полосы шириной до 100 кГц.

Амплитуды колебаний меняются с изменением параметров разряда в основном сложным образом. Наряду с этим существуют колебания, в изменении амплитуд которых при изменении параметров разряда можно отметить некоторые закономерности. Ниже приведены полученные результаты. На рис.2 представлен типичный спектр колебаний, полученный в разряде на Xe .

Так как исследования проводились с целью выяснения взаимосвязи колебаний с токами многозарядных ионов, извлекаемых из ионного источника, то на рис.3-5 представлены амплитуды колебаний плазмы в области эмиссионной щели. Спектры колебаний в области катода и антикатада аналогичны спектрам в области эмиссионной щели, и отличаются лишь амплитудами. Наибольшую амплитуду имеют колебания в области катода /в $1,5-2$ раза больше, чем в области эмиссионной щели и антикатада/.

Неон. Результаты исследований на Ne представлены на рис.3. По вертикальной оси в относительных единицах отложены ионные токи и амплитуды колебаний различных частот в области эмиссионной щели.

Рис.2. Спектр колебаний плазмы разряда, Xe .



При изменении тока разряда амплитуды колебаний с частотами 300 и 500 кГц имеют максимумы, смещенные относительно максимума тока ионов Ne^{8+} . В спектре колебаний присутствуют также другие частоты $60-70$ кГц/, амплитуды которых слабо меняются при изменении тока разряда. Для колебаний с частотами $100, 200$ кГц и других не обнаружено зависимостей амплитуд от тока разряда.

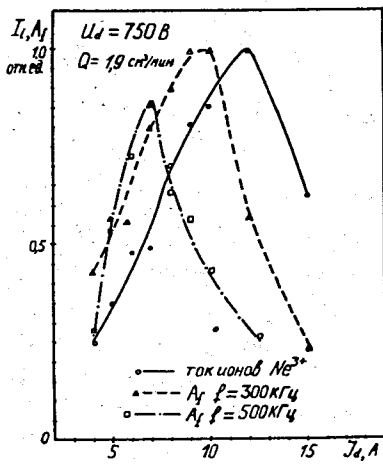
При увеличении > 550 В/ напряжения на разряде ток ионов Ne^{8+} уменьшается, а амплитуда колебаний с частотой 100 кГц возрастает. Для колебаний с другими частотами $200, 300, 500$ кГц и т.д./ характерных зависимостей амплитуды колебаний от напряжения на разряде не обнаружено.

Зависимость амплитуды колебаний с частотой 100 кГц от расхода газа имеет максимум при $Q = 1,8$ см³/мин и минимум при $Q = 1,9$ см³/мин. Ток ионов Ne^{8+} имеет максимум при $Q = 1,9$ см³/мин. Для колебаний с другими частотами характерных зависимостей не наблюдалось. Наличие спада тока ионов при $Q < 1,9$ см³/мин обусловлено неустойчивой работой источника.

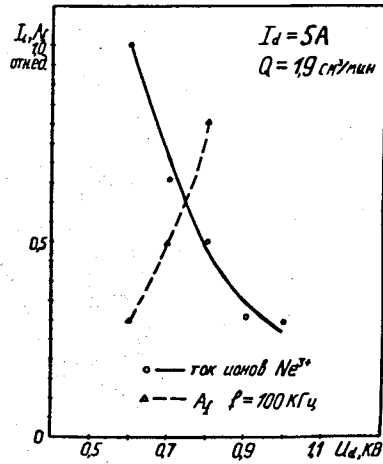
Аргон. Результаты исследований на Ar представлены на рис.4. Наиболее интенсивны колебания с частотами до 100 кГц.

Зависимости амплитуд колебаний с частотами 40 и 60 кГц от тока разряда имеют максимумы, смещенные относительно максимума тока ионов Ar^{8+} . Дополнительно следует отметить непрерывный рост амплитуды колебаний с частотой 25 кГц с ростом тока разряда.

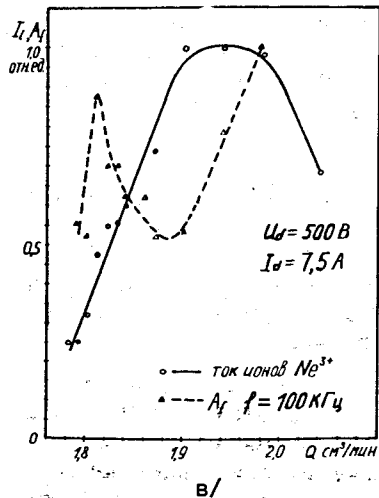
Зависимости амплитуды колебаний с частотой 25 кГц и тока ионов Ar^{8+} от напряжения на разряде имеют максимумы, смещенные друг относительно друга. Зависимость амплитуды колебаний с частотой 200 кГц от напряжения на разряде имеет слабо выраженный максимум, совпадающий с максимумом тока ионов Ar^{8+} .



а/



б/



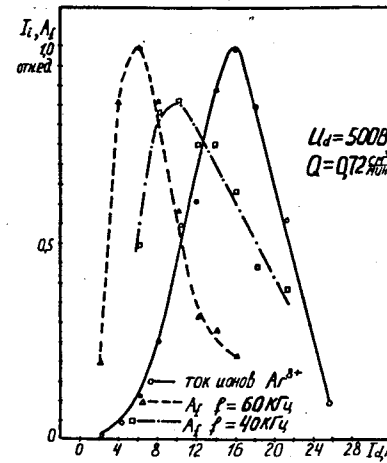
в/

Рис. 3. Зависимости тока ионов Ne^{3+} и амплитуды колебаний зондового тока от: а/ тока разряда; б/ напряжения на разряде, в/ расхода газа.

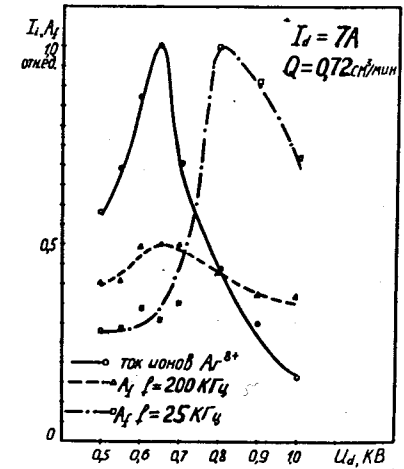
При увеличении расхода газа ток ионов Ar^{8+} уменьшается. Амплитуды колебаний с частотами 40 и 25 кГц имеют максимумы при расходах газа 0,9 см³/мин и 1,0 см³/мин соответственно.

Криптон. Спектры колебаний при исследованиях на Кг содержат большое количество пиков, амплитуды которых при изменении параметров разряда меняются сложным образом. При изменении в широких пределах тока /3-18 А/ и напряжения /0,2-0,9 кВ/ разряда не обнаружено характерных зависимостей амплитуд колебаний от тока и напряжения разряда.

Зависимость амплитуды колебаний с частотой 100 кГц и тока ионов Kr^{8+} от расхода газа носит противоположный характер: ток ионов Kr^{8+} падает, а амплитуда колебаний растет с ростом расхода газа /рис. 5/.



а/



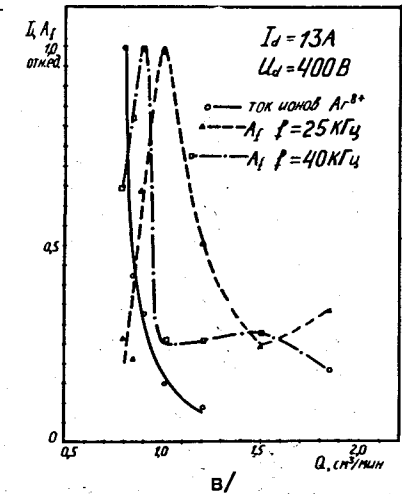
б/

Рис. 4. Зависимость тока ионов Ar^{8+} и амплитуды колебаний зондового тока от: а/ тока разряда; б/ напряжения на разряде; в/ расхода газа.

Ксенон. Результаты исследований на Хе представлены на рис. 6. На рисунках показаны амплитуды колебаний в области катода. При увеличении тока разряда выше 10-11 А происходит рост амплитуды колебаний с частотой 450 кГц и рост тока ионов Xe^{10+} .

Зависимость амплитуды колебаний с частотой 170 кГц от напряжения на разряде имеет минимум при $U_d = 0,7$ кВ. При дальнейшем увеличении U_d происходит рост амплитуды колебаний с частотой 170 кГц и рост тока ионов Xe^{10+} . В спектре присутствуют колебания с частотами 200, 300 кГц и другие, для которых не наблюдается характерных зависимостей амплитуды от напряжения на разряде.

При изменении расхода газа в спектре колебаний постоянно на фоне шумов присутствует пик, частота которого с ростом рас-



в/

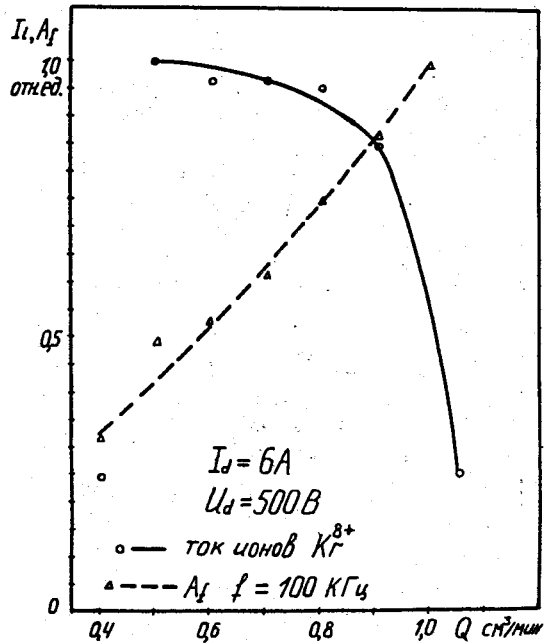


Рис. 5. Зависимость тока ионов Kr^{8+} и амплитуды колебаний зондового тока от расхода газа.

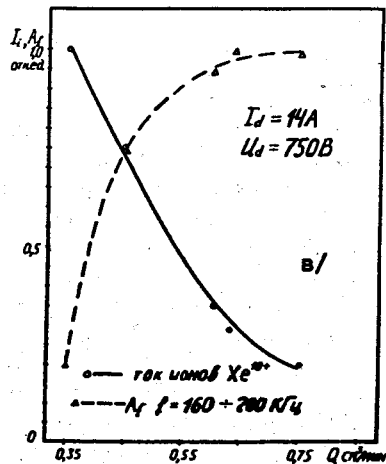
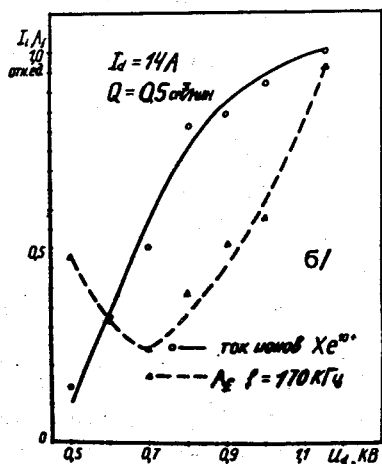
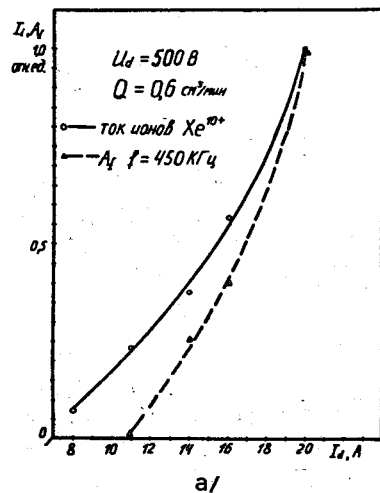


Рис. 6. Зависимость тока ионов Xe^{10+} и амплитуды колебаний зондового тока от: а/ тока разряда; б/ напряжения на разряде; в/ расхода газа.

хода газа уменьшается от 200 до 160 кгц. При этом амплитуда этого пика возрастает, а ток ионов Xe^{10+} уменьшается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из приведенных экспериментальных результатов видно, что при изменении параметров разряда существуют некоторые корреляции между амплитудами отдельных частот и вытянутыми токами многозарядных ионов.

На основании этого можно сделать вывод о том, что усиление или подавление колебаний плазмы с определенными частотами при помощи внешнего источника колебаний может привести к увеличению тока многозарядных ионов, получаемых из данного типа источника.

В заключение авторы выражают благодарность Г.Н.Флерову и Ю.Ц.Оганесяну за постоянное внимание к работе с ионными источниками. Мы благодарим также Ю.П.Третьякова за полезные обсуждения и А.А.Еропкина за изготовление системы зондов и помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пасюк А.С. и др. ПТЭ, 1963, №5, с.23.
2. Морозов П.М. и др. АЭ, 1957, т.2., в.3, с.272.
3. Пасюк А.С. ОИЯИ, 7-3409, Дубна, 1967.
4. Wladimirov A.I., Sayenko W.A., Tretiakov Yu.P. In: Phenomena in Ionized Gases, 1971. 10th Int. Conf., Oxford, England, Sept. 13-18, 1971. Contributed Papers, p.137.
5. Тимофеев А.В. ЖТФ, 1963, т.33, в.8, с.909.
6. Тимофеев А.В., Швилкин Б.Н. УФН, 1976, т.118, в.2, с.273.
7. Наумовец В.Г. и др. Укр. физ. журн., 1970, т.15, в.3, с.377.
8. Габович М.Д. и др. Укр. физ. журн., 1970, т.15, в.4, с.543.
9. Душин Л.А. и др. ЖТФ, 1967, т.37, в.5, с.811.
10. Дубовой А.В. и др. ЖЭТФ, 1965, т.49, в.1., с.27.
11. Пасюк А.С. и др. ОИЯИ, 1523, Дубна, 1964.
12. Пасюк А.С. и др. АЭ, 1968, т.24, в.1, с.21.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 апреля 1980 года.