

50

**И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР**

ПРЕПРИНТ И Я Ф 77 - 69

**Н.С.Диканский, В.И.Кононов, В.И.Куделайнен,
И.Н.Мешков, В.В.Пархомчук, Д.В.Пестриков,
Б.Н.Сухина**

**ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ ПРОСТРАН-
СТВЕННОГО ЗАРЯДА НА ЭЛЕКТРОН-
НОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ**

Новосибирск

1977

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА
НА ЭЛЕКТРОННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Н.С.Диканский, В.И.Кононов, В.И.Куделайнен,
И.Н.Мешков, В.В.Пархомчук, Д.В.Пестриков,
Б.Н.Сухина

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе приведены результаты экспериментов, посвященных выяснению роли эффектов пространственного заряда на скорость затухания, величину продольной силы трения и скорости образования атомов водорода.

Одним из путей получения малого времени затухания является увеличение плотности охлаждающего электронного тока. Однако существует ряд эффектов, которые с увеличением плотности электронного тока могут препятствовать получению малого времени затухания. Так как в проектах протон-антипротонных встречных пучков, основанных на методе электронного охлаждения (ИЯФ, ЦЕРН, Батавия) предполагается использование электронных пучков с плотностью $I \approx 10 \text{ A/cm}^2$, на накопителе НАП-М были проведены эксперименты по изучению влияния пространственного заряда электронного пучка на процесс охлаждения.

Основным эффектом, указывающим на влияние пространственного заряда, является нелинейная зависимость декремента затухания от электронного тока. На рис. 1 приведены полученные в экспериментах зависимости декремента затухания — кривая "а", скорости рекомбинации атомов водорода $-dN/dt$, продольной силы трения — F_{\parallel} от плотности электронного тока, при диаметре катода 10 мм. Здесь же для сравнения приведена зависимость декремента от плотности электронного тока — кривая "б", измеренная ранее для катода диаметром 20 мм.

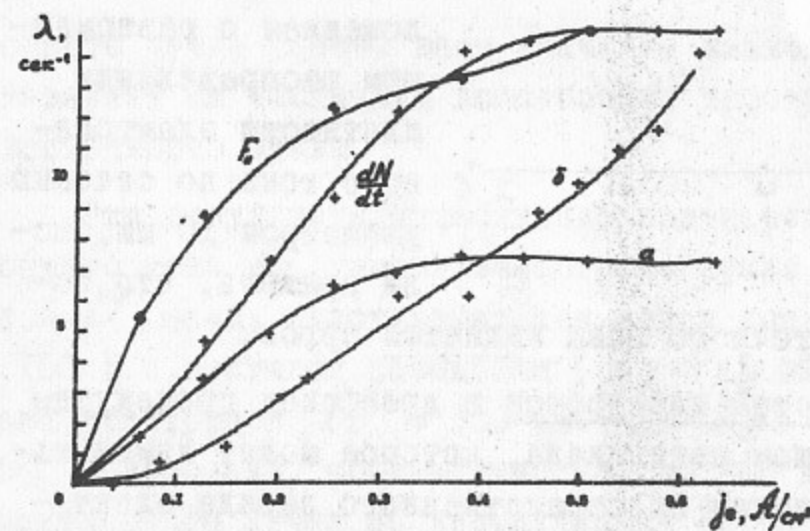


Рис. 1. Зависимость от плотности электронного тока: а — декремента затухания бетатронных колебаний для катода диаметром 10 мм, б — то же для катода диаметром 20 мм, F_{\parallel} — продольной силы, dN/dt — скорости рекомбинации атомов водорода.

Катод, использованный в работе /1/, обладал неоднородной эмиссией по поверхности: основная доля тока была смещена относительно центра пучка на 5 мм и имела размер, примерно, 10 мм. Как видно из сравнения "а" и "б" рис. 1 зависимости декрементов от тока существенно отличаются, что, по-видимому, связано с раз-

личием в распределении пространственного заряда.

Распределение плотности тока по сечению пучка, для катода диаметром 10 мм, изучалось в экспериментах по резонансной экстракции ионов из электронного пучка. Для этого на две параллельные пластины, встроенные в промежуток охлаждения, подавалось одновременно постоянное напряжение 50 В и переменное 10 В (длина пластин 64 см, расстояние между пластинами 6 см). Ток ионов имел максимум на резонансной частоте:

$$f = \left(\frac{ne^2}{2\pi M} \right)^{1/2}$$

Здесь M - масса однозарядного иона, n - плотность электронов в пучке, e - заряд электрона. На рис. 2 приведена зависимость квадрата резонансной частоты от электронного тока.

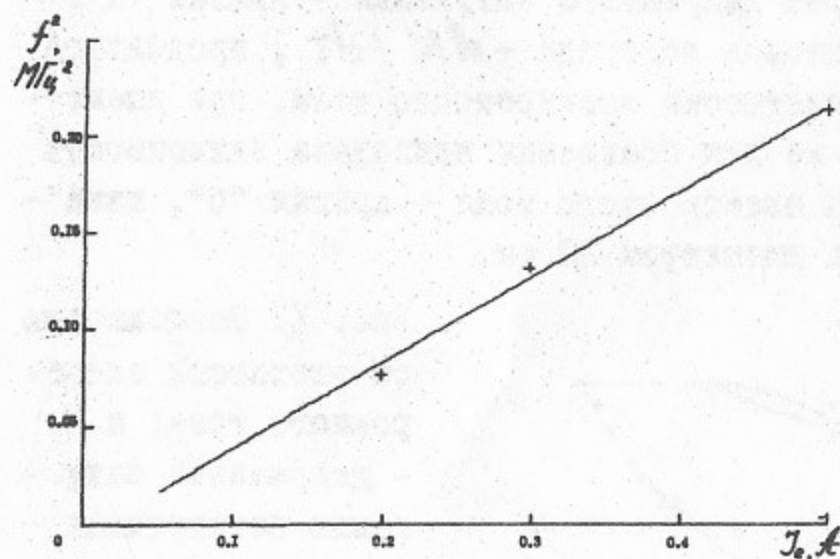


Рис. 2. Зависимость квадрата резонансной частоты от электронного тока.

Результаты этих экспериментов хорошо согласуются с предположением о равномерном распределении плотности электронного тока по сечению диаметром 10 мм, если принять, что ос-

новной компонентой остаточного газа является аргон.

Распределение скоростей электронов в дрейфовом промежутке определяется распределением потенциала, которое может изменяться внешними полями или полем пространственного заряда электронного пучка.

Так как скорости протонов в затухшем пучке равны скоростям электронов, то изменение скоростей электронов приводит к изменению энергии протонов и соответствующему изменению радиуса протонной орбиты. Это свойство малого в поперечном сечении (диаметр пучка 1 мм) затухшего протонного пучка использовалось в работе для измерения распределения скоростей электронов (по-

тенциала) в электронном пучке.

Провисание потенциала в дрейфовом промежутке, обусловленное пространственным зарядом, можно скомпенсировать соответствующим изменением потенциала катода, контролируя эту компенсацию по отсутствию смещения протонного пучка. Этим методом можно определить зависимость потенциала внутри пучка от тока электронов (рис. 3).

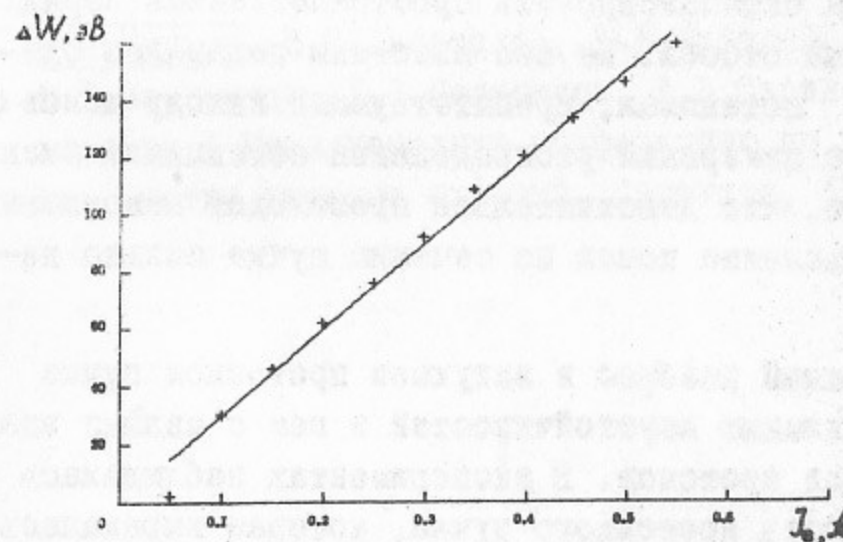


Рис. 3. Зависимость приращения энергии электронов от электронного тока при фиксированном положении затухшего протонного пучка. Ускоряющее напряжение линейно растет с током, и наклон равен 290 В/А. Для нескомпенсированного элект-

ронного пучка расчет даст значение наклона, равное 390 В/А. Это указывает на частичную компенсацию пространственного заряда электронного пучка.

Эти результаты качественно подтверждаются зависимостью ионного тока I_i , вытягиваемого из пучка, от разности потенциалов U между пластинами: ток ионов возникал лишь при $U_1 = 100$ В и достигал насыщения ($I_i \approx 60$ нА) при $U_2 = 260$ В для тока электронов $I_e = 300$ мА. При $I_e = 500$ мА значения U_1 и U_2 возрастали, соответственно, до 240 В и 400 В. Смещение электронного пучка по вертикали на ± 2 мм не приводило к радиальному смещению затухшего протонного пучка, при дальнейшем смещении возникало заметное радиальное смещение протонов.

В экспериментах с катодом диаметром 10 мм обнаружилась сильная зависимость декрементов затухания от радиального положения затухшего протонного пучка. Быстрое затухание наблюдалось в области шириной 3 мм. Влияние пространственного заряда на декремент затухания может быть связано с возрастанием эффектив-

ного разброса электронов по продольным скоростям на размере протонного пучка. Разница продольных скоростей электронов в центре и на краю нескомпенсированного электронного пучка составляет $0,5 \cdot 10^{-3} \cdot v_0$ для $I_e = 300$ мА и энергии электронов 32 КэВ. Такой разброс, как показали прямые измерения [2], приводит к уменьшению декрементов вдвое.

Проведенные эксперименты указывают на существенное влияние пространственного заряда электронного пучка в процессе охлаждения даже при плотностях тока $300 + 600$ мА/см². Поэтому была предпринята попытка скомпенсировать пространственный заряд пучка с помощью пластин отсоса. На обе пластины подавался одинаковый отрицательный потенциал, препятствующий выходу ионов с участка охлаждения. Из измерений распределения потенциала электронного пучка следует, что действительно происходит накопление ионов, однако, распределение ионов по сечению пучка сильно неоднородно.

Малый энергетический разброс в затухшем протонном пучке может приводить к появлению неустойчивостей в нем с малыми значениями пороговых токов протонов. В экспериментах наблюдалась продольная неустойчивость протонного пучка, которая выражалась в самопроизвольной группировке. Эта неустойчивость возникала при максимальных декрементах затухания поперечных колебаний, при протонном токе 10 мкА и электронном токе 300 мА. Эта неустойчивость не приводила к потере пучка, так как радиальные колебания не превышали 0,5 мм. На рис. 4 показан сигнал с интегрального пикап-электрода, после синхронного детектирования с опорной частотой, сдвинутой относительно частоты обращения на 160 Гц. Кривая "а" соответствует протонному току 10 мкА, кривая "б" — 40 мкА при электронном токе 300 мА. Видно, что время нарастания неустойчивости составляет 30 мсек при токе протонов 40 мкА.

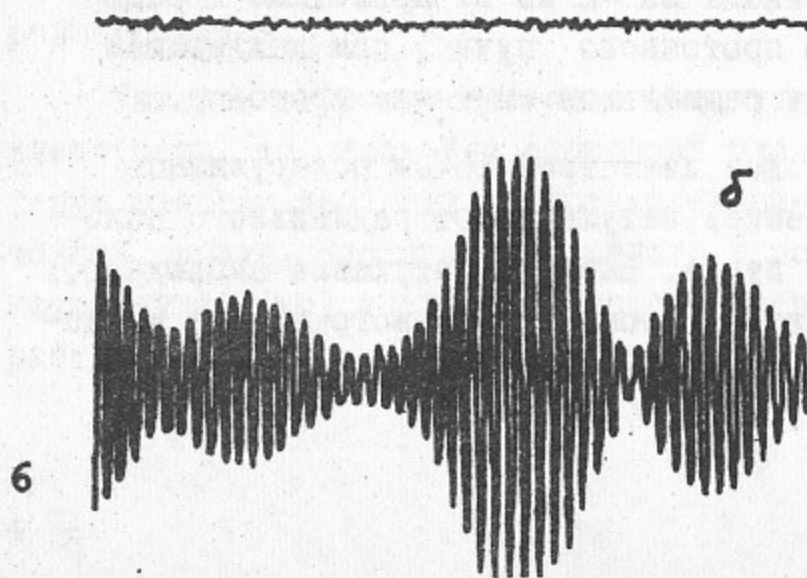


Рис. 4. Сигнал с интегрального пикап-электрода: а — протонный ток 10 мкА, б — протонный ток 40 мкА, электронный ток 300 мА, время развертки 0,7 сек.

Л и т е р а т у р а

1. Г.И.Будкер, А.Ф.Булушев, Н.С.Диканский, В.И.Кононов, В.И.Куделайнен, И.Н.Мешков, В.В.Пархомчук, Д.В.Пестриков, А.Н.Скринский, Б.Н.Сухина. Доклад на пятом Всесоюзном совещании по ускорителям заряженных частиц, Препринт ИЯФ 76-92, Новосибирск, 1976 г.
2. Г.И.Будкер, Н.С.Диканский, В.И.Куделайнен, И.Н.Мешков, В.В.Пархомчук, Д.В.Пестриков, А.Н.Скринский, Б.Н.Сухина. Доклад на X Международную конференцию по ускорителям заряженных частиц высоких энергий. Серпухов, 1977 г.

Работа поступила - 31 мая 1977 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.ПОПОВ
Подписано к печати 12.УШ-1977 г. МН 02919
Усл. 0,4 печ.л., 0,3 учетно-изд.л.
Тираж 250 экз. Бесплатно
Заказ № 69.

Отпечатано на ротапринтере ИЯФ СО АН СССР