

НИКОЧАСТОТНЫЕ ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЗАРЯДА В НАКОПИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ

Е.В.Буляк, В.И.Курилко

Представлены результаты проведенных на электронном накопителе экспериментальных исследований динамики поперечного движения центра суммарного заряда циркулирующего пучка электронов и ионного остова, удерживаемого полем объемного заряда этого пучка.

Как было показано в [1], (см. также соответствующий обзор в [2]), коллективное взаимодействие релятивистских электронных колец с положительными ионами может приводить к развитию электронно-ионных двухпучковых неустойчивостей. В электронных накопителях, обеспечивающих циркуляцию интенсивных токов ($I \gtrsim 100$ мА) в течение достаточно большого времени ($\tau \gtrsim 100$ сек), положительные ионы всегда

накапливаются в результате ионизации остаточного газа электронами циркулирующего пучка и фокусировки их полем объемного заряда этого пучка вблизи его орбиты [3]. Таким образом условия, необходимые для развития коллективных двухпучковых неустойчивостей, в указанных накопителях обеспечиваются автоматически самой системой захвата и удержания циркулирующего пучка электронов.

В настоящей работе изложены результаты проведенных на накопителе Н-100 ХФТИ АН УССР [4] экспериментальных исследований низкочастотных поперечных колебаний суммарного заряда накопленного пучка электронов и удерживаемого этим пучком ионного остова.

Динамика поперечного движения центра пространственного заряда была исследована с помощью двух пар электростатических дифференциальных пикап-электродов, регистрировавших вертикальные и горизонтальные перемещения центра заряда. Сигналы с каждой пары электродов через широкополосные усилители ($\Delta f = 10 \text{ кГц} + 50 \text{ МГц}$) поступали на дифференциальный вход двухлучевого осциллографа и на вход анализатора спектра С4-8. Таким образом были измерены токовые зависимости временных и частотных характеристик радиальных и вертикальных колебаний заряда между электродами для ряда фиксированных значений энергии электронов пучка ϵ и давления остаточного газа в камере p_0 . Результаты этих измерений достаточно хорошо воспроизводились во всем диапазоне изменения указанных внешних параметров ($\epsilon = 60 + 130 \text{ МэВ}$, $p_0 = (3 + 30) \cdot 10^{-8} \text{ тор}$).

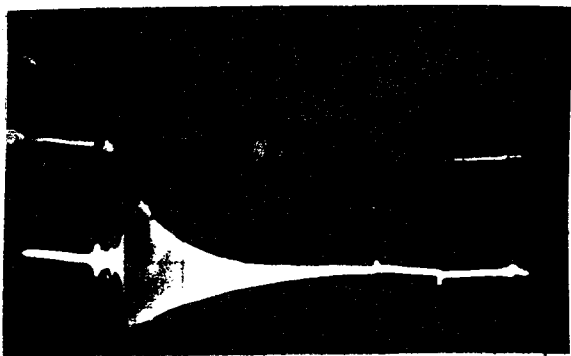


Рис. 1. Оциллограммы радиальных (верхняя) и вертикальных (нижняя) колебаний; развертка — 5 мсек/дел, $I = 100 \text{ мА}$, $\epsilon = 70 \text{ МэВ}$, $p_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ тор}$

Токовые зависимости сигналов с пикап-электродов имеют четко выраженный пороговый характер. При этом значение порогового тока возрастает с увеличением энергии пучка от $I_{\text{пор}} = 40 + 50 \text{ мА}$ при $\epsilon = 70 \text{ МэВ}$ до $I_{\text{пор}} = 70 + 80 \text{ мА}$ при $\epsilon = 120 \text{ МэВ}$; зависимости величины порогового тока от давления остаточного газа в камере замечено не было. При относительно небольших превышениях накопленного тока над пороговым значением, соответствующим данной энергии, сигналы на пикап-электродах появляются спорадически; по мере дальнейшего увели-

чения тока частота появления сигналов и степень регулярности их следования растут; при токах порядка 1 А частота следования сигналов близка к 100 Гц; сигналы на вертикальных и горизонтальных парах электродов возникают одновременно и подобны по форме. Характерный вид таких сигналов, сфотографированных с экрана осциллографа, приведен на рис. 1; соответствующий частотный спектр представлен на рис. 2. Как видно из этих рисунков, поперечные колебания заряда в системе имеют вид уединенных импульсов со временами нарастания порядка единиц микросекунд и временами спада порядка десяти миллисекунд (при $p_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ тор). Время затухания колебаний не зависит от тока и энергии пучка, однако уменьшается с ростом давления остаточного газа в вакуумной камере. Частотные спектры горизонтальных и вертикальных движений суммарного заряда идентичны: оба являются линейчатыми с характерными частотами $f_1 = 100 + 130$ кГц и $f_2 = 180 + 230$ кГц (от всплеска к всплеску локализация каждой линии в спектре изменяется в указанных пределах, амплитуды сигналов при этом не остаются постоянными); интенсивность сигналов в области частот порядка единиц мегагерц и выше указывается пренебрежимо малой.

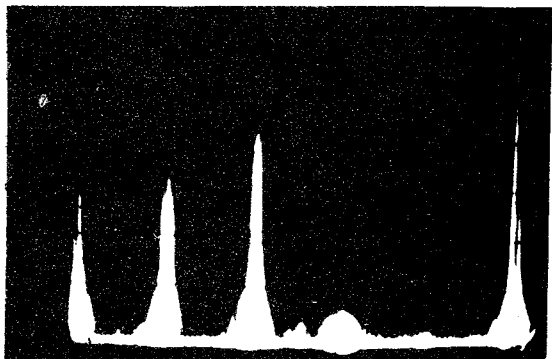


Рис. 2. Спектр низкочастотных колебаний. Крайние пики — частотные метки, соответствующие $f_0 = 0$ кГц (левая) и $f_{max} = 500$ кГц (правая)

В целом совокупность приведенных экспериментальных данных свидетельствует о том, что в системе электронный пучок — ионный фон накопителя электронов имеет место неустойчивость положения центра суммарного объемного заряда (пучка и ионного остова) относительно равновесной орбиты. Однако развитие этой неустойчивости не сопровождается потерей интенсивности циркулирующего пучка электронов. Результаты измерений динамических характеристик наблюдаемой неустойчивости свидетельствуют о том, что в ее возникновении и развитии существенную роль играют ионы остаточного газа, удерживаемые объемным зарядом пучка. Для количественного сопоставления данных эксперимента и предсказаний теории [1, 2] необходимы более детальные исследования, в первую очередь, массового состава ионного остова, динамики ионизации остаточного газа электронами, профилей распределения плотности накопленного пучка и ионного остова по сечению

камеры, а также степени недокомпенсации объемного заряда пучка ионами.

Авторы выражают благодарность Я.Б.Файнбергу, К.Н.Степанову, А.Н.Лебедеву и С.М.Криворучко за стимулирующие обсуждения результатов работы, а также Н.Н.Мочешникову и В.В.Маркову — за помощь в подготовке и проведении эксперимента.

Поступила в редакцию
8 августа 1981 г.

Литература

- [1] *Budker G.J. Relativistic stabilized Electron Beam. Prof. of CERN Symposium on High Energy Accelerators. Geneva, 1956, 2, 68.*
 - [2] *Саранцев В.П., Перельштейн Э.А. Коллективное ускорение ионов. М.: Атомиздат, 1979.*
 - [3] *Буляк Е.В., Курилко В.И., Марков В.В., Мочешников Н.И. Исследование поперечных колебаний интенсивного пучка в накопителе. VII Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц. Аннотации докладов, изд. ОИЯИ, Дубна — 1980, стр. 30.*
 - [4] *Григорьев Ю.Н., Гришаев И.А., Довбня А.Н. и др. Накопитель электронов с энергией 100 МэВ. АЭ, 1967, 23, 531.*
-