

Изучение самовозбуждения и ускоренного затухания когерентных поперечных колебаний в накопителе ВЭПП-2

В. Л. АУСЛЕНДЕР, Н. С. ДИКАНСКИЙ, М. М. КАРЛИНЕР,
И. К. СЕДЛЯРОВ, А. Н. СКРИНСКИЙ, И. А. ШЕХТМАН

УДК 621.384.60:621.384.612.4

В накопителе ВЭПП-2 было обнаружено явление ускоренного затухания когерентных вертикальных бетатронных колебаний после удара инфлектором, а также вертикальная и радиальная когерентные неустойчивости. Определены условия возникновения неустойчивостей и опробованы некоторые способы их подавления. Показано, что наблюдаемые эффекты нельзя объяснить потерями в стенках.

В накопительном электрон-позитронном кольце ВЭПП-2 наблюдались некоторые когерентные эффекты, связанные с бетатронными колебаниями пучка накопленных частиц.

Как известно, когерентные бетатронные эффекты могут быть вызваны потерями в стенках вакуумной камеры [1, 2]. Однако наблюдавшиеся нами явления, по-видимому, объясняются взаимодействием сгустка с другими диссипативными элементами.

Было обнаружено быстрое затухание когерентных колебаний сгустка после удара его инфлектором [3], а также вертикальная и радиальная неустойчивости. Наблюдение когерентных бетатронных колебаний осуществлялось при помощи телевизионной установки.

Проверка когерентности и измерение времен затухания или раскачки бетатронных колебаний проводились посредством дифференциальных пикап-электродов и усилителя, работающего на частоте $(1 - \nu)\omega_s$, где ω_s — частота обращения частиц. Пучок можно было также фотографировать кинокамерой. Быстрое затухание

наблюдалось после удара сгустка инфлектором в вертикальном направлении. Характерной чертой процесса является постоянство произведения тока пучка I_0 на время затухания τ . На рис. 1 приведена зависимость произведения τI_0 от тока пучка (кривая 1). Экспериментальные точки достаточно хорошо ложатся на прямую, параллельную оси абсцисс, кроме малых токов, где время затухания определяется разбросом собственных частот отдельных частиц. При увеличении тока пучка выше 500 мА время затухания практически уже не уменьшалось; при этом колебания значительной части электронов затухали некогерентно с временами радиационного затухания.

Время быстрого затухания практически не зависело от частоты бетатронных колебаний при изменении величины ν_z в пределах $0,835 \pm \pm 0,02$. Исключение составляют лишь частоты резонансов связи, где быстрое затухание отсутствовало вследствие потери когерентности пучка после удара.

Быстрое затухание когерентных колебаний не может быть объяснено потерями в стенках, так как согласно теории, развитой в работах [1, 2], при $0,5 < \nu_z < 1$ потери в стенках должны вызывать неустойчивость, а не затухание. Вероятно, причиной быстрого затухания является взаимодействие сгустка с инфлекторными пластинами, нагруженными на волновое сопротивление [4]. Схема поперечного сечения камеры с инфлекторными пластинами и пластиной для отсоса ионов показана на рис. 2. Инфлекторные пластины имеются в двух квадрантах накопителя, причем в одном квадранте две пластины, в другом одна. Для разведения электронного и позитронного пучков в остальных двух квадрантах находятся по две пластины, аналогичные инфлекторным. Пластины разведения вначале не были нагружены на волновые сопротивления. Кривая 1 на рис. 1 была получена при несогласованных пластинах разведения. В дальнейшем эти пластины были также нагружены на волновые сопротивления. Это привело к уменьшению времени затухания (см. кривую 2 на

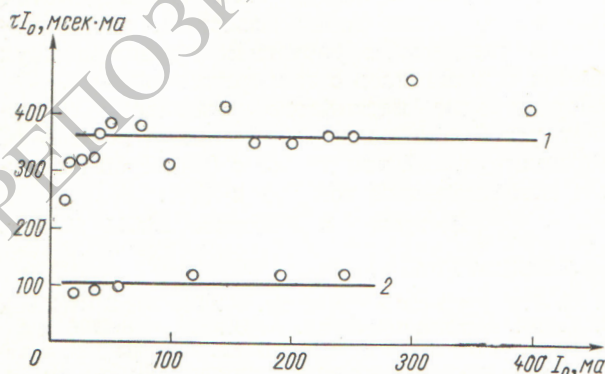


Рис. 1. Зависимость произведения τI_0 от тока пучка.

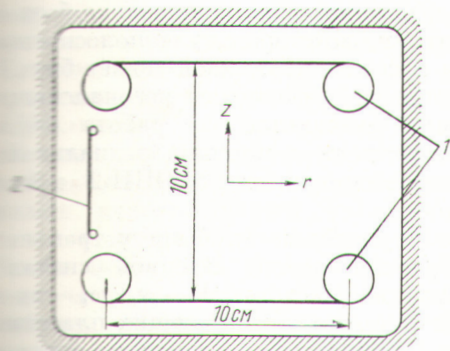


Рис. 2. Сечение вакуумной камеры:

1 — инфлекторные пластины; 2 — пластина для отсоса ионов.

рис. 1). В работе [4] приведена формула, позволяющая вычислять величину произведения τI_0 . Расчет для ВЭПШ-2 дает результат, близкий к полученному экспериментально.

Как указывалось выше, быстрое затухание наблюдалось в широкой полосе бетатронных частот. При изменении вертикальной бетатронной частоты при помощи магнитного квадруполя и путем изменения величины напряжения на ионно-отсасывающей пластине в узкой полосе ($\Delta \nu_z = \pm 2 \cdot 10^{-3}$) была обнаружена неустойчивость вертикальных бетатронных колебаний. Порог по току электронов для этой неустойчивости составлял около 10 ма. При токе выше 150 ма неустойчивость исчезала. В указанных пределах после удара инфлектором вертикальные колебания не затухали. Их амплитуда совершала медленные затухающие колебания с периодом 1—2 сек. Время затухания составляло несколько десятков секунд. В некоторых случаях колебания продолжались 5—10 мин. Во время колебаний на дифференциальных пикап-электродах можно было наблюдать сигнал с частотой около $(1 - \omega_s) \omega_s$.

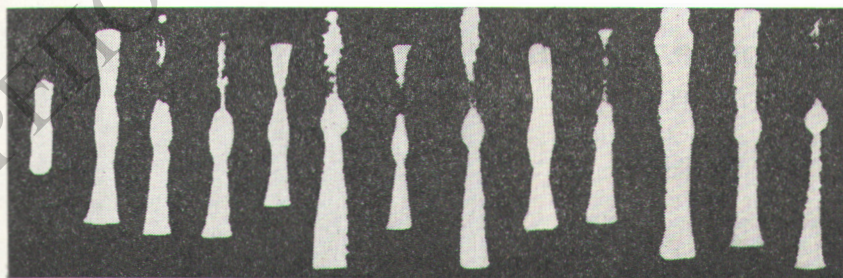


Рис. 3. Вертикальная неустойчивость.

На рис. 3 приведены фотографии сечения пучка, снятые с интервалом 1 сек. Как видно из этих фотографий, в центре сечения пучка имеется уплотнение, образованное частицами с малой амплитудой колебаний. Колебания электронов накапливаются в центральной части сечения.

Вертикальные автоколебания возбуждались только после удара инфлектором. Самопроизвольное возбуждение ни разу не наблюдалось.

В дальнейшем удалось выяснить, что вертикальная неустойчивость связана с цепями питания пластин разведения. Каждая пластина была присоединена к ВЧ-кабелю, к другому концу которого через большое сопротивление (несколько мегом) был подсоединен выпрямитель. Длина одного из кабелей оказалась равной ~ 25 м, что соответствует половине длины волны (в кабеле) при частоте $(1 - \nu_z) \omega_s$. Таким образом, одна из пластин разведения была нагружена на резонансную нагрузку с максимумом активной составляющей сопротивления на частоте $(1 - \nu_z) \omega_s$. Согласно условию устойчивости, полученному в работе [4], такая нагрузка может вызвать неустойчивость. Инкремент этой неустойчивости в узкой полосе частот оказался больше декремента быстрого затухания, что свидетельствует о большой величине инкремента, значительно превышающего степенный инкремент.

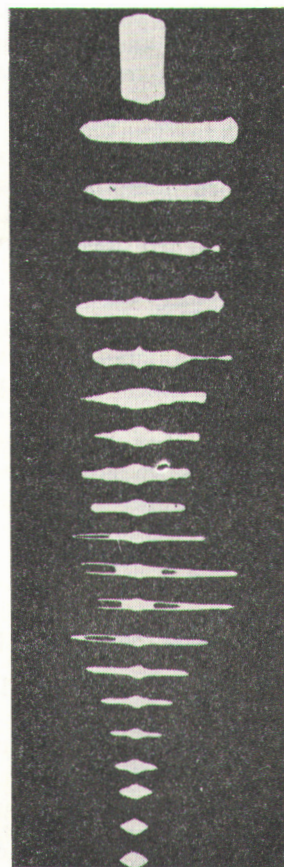


Рис. 4. Радиальная неустойчивость.

Замыкание разводящих пластин на землю вблизи от накопителя приводило к исчезновению вертикальной неустойчивости. В дальнейшем все пластины разведения были нагружены на согласованные нагрузки через большие емкости. В результате этого исчезла вертикальная неустойчивость и время быстрого затухания стало значительно меньшим (примерно в три раза). Радиальная неустойчивость пучка позитронов имела порог по току около 2 ма. Колебания появлялись после удара инфлектором, когда вертикальный размер пучка за счет затухания уменьшался.

На рис. 4 приведены фотографии сечения пучка, снятые с интервалом 0,5 сек. Видно, как после затухания пучка в вертикальном направлении возбуждаются радиальные колебания. Эти колебания через несколько секунд затухают, причем процесс затухания сопровождается образованием уплотнения в центре.

Возникновение радиальной неустойчивости препятствовало накоплению тока позитронов больше 2 ма в выбранной рабочей точке по v_r . Неустойчивость возникала в сравнительно узкой полосе бетатронных частот ($\Delta v_r = \pm 2,5 \cdot 10^{-3}$). Путем увеличения напряжения на пластинах отсоса от 9 до 12 кВ можно было устранить неустойчивость. В этом случае удавалось накопить ток позитронов до 10 ма. Если после этого вновь уменьшить напряжение отсоса, то радиальные колебания самопроизвольно увеличатся за времена порядка нескольких миллисекунд, вызывая сброс большей части накопленного тока.

Радиальная неустойчивость электронного пучка наблюдалась при значительно больших токах (порядка 20 ма) при включенном отсосе ионов. При выключенном отсосе ионов неустойчивость не возникала.

Описанные явления радиальной неустойчивости, по-видимому, нельзя объяснить конечной проводимостью стенок камеры. Об этом

свидетельствуют, во-первых, значительно большие инкременты и, во-вторых, узкополосность наблюдаемого эффекта. Причиной может быть, вероятно, один из вариантов резонансного взаимодействия, указанных в работе [4]. Однако непосредственная причина радиальной неустойчивости в накопителе ВЭПП-2 пока не выяснена.

Радиальная неустойчивость была устранена введением обратной связи. Входной сигнал обратной связи на частоте $(1 - v_r) \omega_s$ снимался с одной из ионно-отсасывающих пластин и подавался на специальные радиально-отклоняющие пластины через усилитель с коэффициентом усиления около 10^4 , работающий на частоте 7,5 МГц. Фаза обратной связи регулировалась при помощи фазовращателя. После введения обратной связи неустойчивость не возникала вплоть до максимального накопленного позитронного и электронного токов. При подъеме энергии до 380 МэВ (энергия эксперимента) удавалось сохранять ток позитронов не более 5 ма вследствие несовершенства цепи обратной связи, меняющей сдвиг фазы при изменении v_r .

Экспериментальные данные, приведенные в этой работе, позволяют сделать вывод, что взаимодействие пучка с диссипативными элементами накопителя может быть более существенным, чем взаимодействие со стенками камеры за счет конечной проводимости последних.

Поступила в Редакцию 26/XI 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Диканский, А. Н. Скринский. «Атомная энергия», 21, 176 (1966).
2. E. Courant, A. Sessler. Transverse Coherent Resistive Instabilities of Azimuthally Bunched Beams in Particle Accelerators. UCRL-16751, 1966.
3. В. Л. Ауслендер и др. «Атомная энергия», 19, 502 (1965).
4. Н. С. Диканский и др. См. настоящий выпуск, стр. 188.

Время жизни и размеры электронного (позитронного) пучка в накопителе при малом токе

В. Л. АУСЛЕНДЕР, Э. И. ЗИНИН, Г. В. КУЛИПАНОВ,
С. И. МИШНЕВ, С. Г. ПОПОВ, А. Н. СКРИНСКИЙ,
Г. М. ТУМАЙКИН, Ю. М. ШАТУНОВ

Приведены результаты экспериментального изучения времени жизни и размеров пучка в диапазоне токов, при которых эти параметры не зависят от числа частиц. Исследована зависимость параметров от энергии, напряжения на резонаторе и т. д. Получено хорошее согласие экспериментальных данных с расчетными.

УДК 621.384.612

Основные параметры пучков электронов или позитронов в накопительных кольцах — геометрические размеры и время жизни — определяются величиной радиационного затухания, квантовыми флуктуациями синхротрон-