

препринт 72

**В.Л.Ауслендер, Н.С.Диканский, М.М.Карлинер,
И.К.Седяров, А.Н.Скринский, И.А.Шехтман**

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

НОВОСИБИРСК 1966

А н н о т а ц и я

В позитрон-электронном 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 не могут быть объяснены потерями в стенках.

В накопительном электрон-позитронном кольце ВЭПП-2 Института ядерной физики (Новосибирск) 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/, но наблюдавшиеся нами явления, по-видимому, объясняются взаимодействием сгустка с другими диссипативными элементами.

Были обнаружены быстрое затухание когерентных колебаний сгустка после удара его инфлектором /4/, а также вертикальная и радиальная неустойчивости. Наблюдение когерентных бетатронных колебаний осуществлялось с помощью телевизионной установки. Проверка когерентности и измерение времен затухания или раскачки бетатронных колебаний производилось с помощью дифференциальных пикап-электродов и усилителя, работающего на частоте $(1-\nu)\omega_s$, где ω_s - частота обращения частиц. Изображение пучка можно было также фотографировать с помощью кинокамеры. Быстрое затухание наблюдалось после удара сгустка инфлектором в вертикальном направлении. Характерной чертой его является постоянство произведения тока пучка (I_0) на время затухания (τ). На рис.1 приведена зависимость произведения $\tau \cdot I_0$ от тока пучка (кривая I). 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 свыше 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 $0,835 \pm 0,02$. Исключения составляют лишь частоты резонансов связи, где быстрого затухания не было вследствие раскогеренирования пучка после удара.

Быстрое затухание когерентных колебаний не может быть объяснено потерями в стенках, т.к. согласно теории, развитой в /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 /3/. Чертеж поперечного сечения камеры с инфлекторными пластинами и пластиной для отсоса ионов показан 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 имеются по две пластины, аналогичных 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 (кривая 2 на рис.1). В /3/ приведена формула, позволяющая вычислить величину произведения $\tau \cdot I_0$. Расчет для ВЭП-2 дает результат близкий к экспериментально найденному.

Как указывалось выше, быстрое затухание наблюдалось в широкой полосе бетатронных частот. При изменении вертикальной бетатронной частоты с помощью магнитного квадрупольа 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 был около 10 ма. При токе свыше 150 ма неустойчивость пропадала. 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 $(1 - \nu_z) \omega_s$. 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, имеющими малую амплитуду колебаний. Затухание колебаний происходит по мере того, как большая часть электронов накапливается 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 высокочастотному кабелю, к другому концу которого через большое сопротивление (несколько мегом) был подсоединен выпрямитель. Длина одного из кабелей оказалась равной примерно 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 /3/, 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 стеночный инкремент.

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 не только исчезла вертикальная неустойчивость, но и время быстрого затухания стало значительно меньше (примерно в 3 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 через 0,5 сек. На этих фотографиях видно, как после затухания пучка в вертикальном направлении возмущаются радиальные колебания. Эти колебания через несколько секунд затухают, причем процесс затухания идет с образованием уплотнения в центре.

Возникновение радиальной неустойчивости препятствовало накоплению тока позитронов больше 2 ма в выбранной рабочей точке по ν_z . Неустойчивость возникала в сравнительно узкой полосе бетатронных частот ($\Delta\nu_z = \pm 2,5 \cdot 10^{-3}$). Увеличением напряжения на пластинах отсоса от 9 кв до 12 кв можно было убрать неустойчивость. Тогда удавалось накопить ток позитронов до 10 ма. Если после этого вновь уменьшить напряжение отсоса, то радиальные колебания самопроизвольно нарастали 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, не могут быть объяснены 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 /3/. 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 $(1 - \nu_z)\omega_s$ 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. Фазу обратной связи можно было регулировать с помощью фазовращателя. После введения обратной связи неустойчивость не возникала вплоть до максимального накопленного позитронного и элект-

ронного токов.

Однако, вследствие несовершенства цепи обратной связи, имеющей большой фазовый набег при изменении ν_z , до энергии эксперимента (380 Мэв) удавалось довести ток позитронов не более 5 ма.

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.

Подписи к рисункам

Рис.1. Зависимость произведения τI_0 от тока пучка.

Рис.2. Сечение вакуумной камеры.
1 - инфлекторные пластины, 2 - пластина для отсоса ионов.

Рис.3. Вертикальная неустойчивость.

Рис.4. Радиальная неустойчивость.

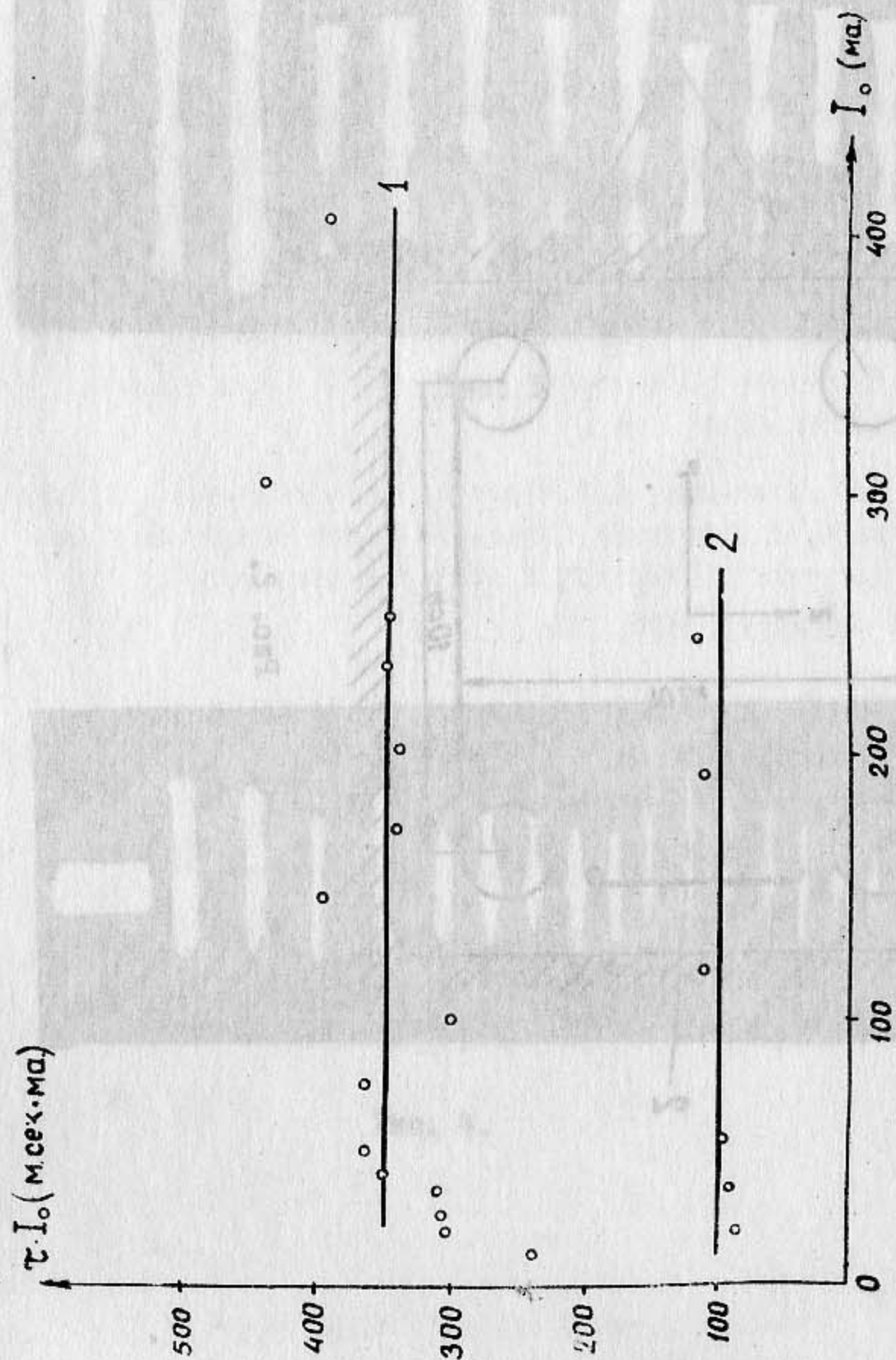


Рис. 1

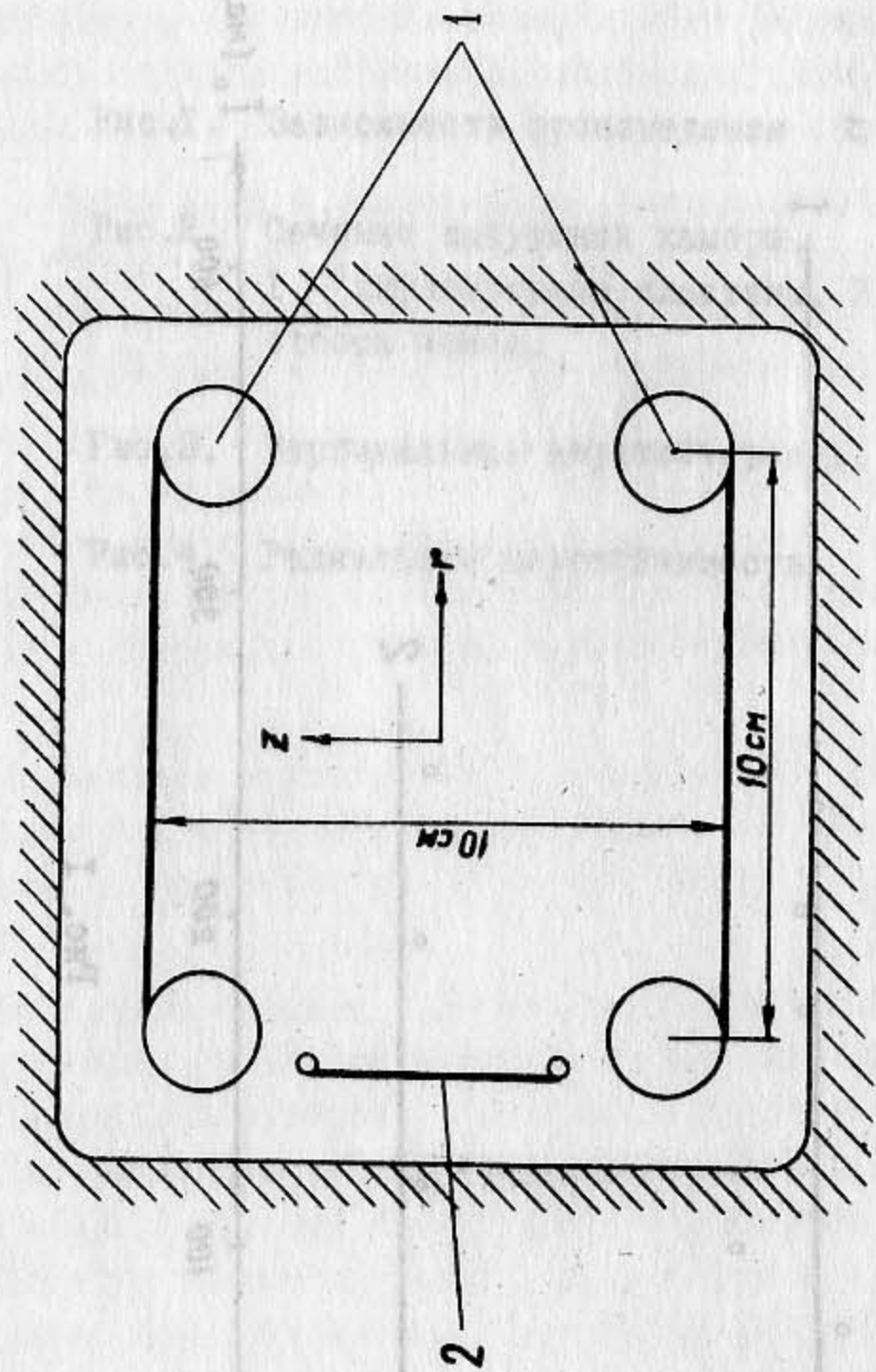


Рис. 2.

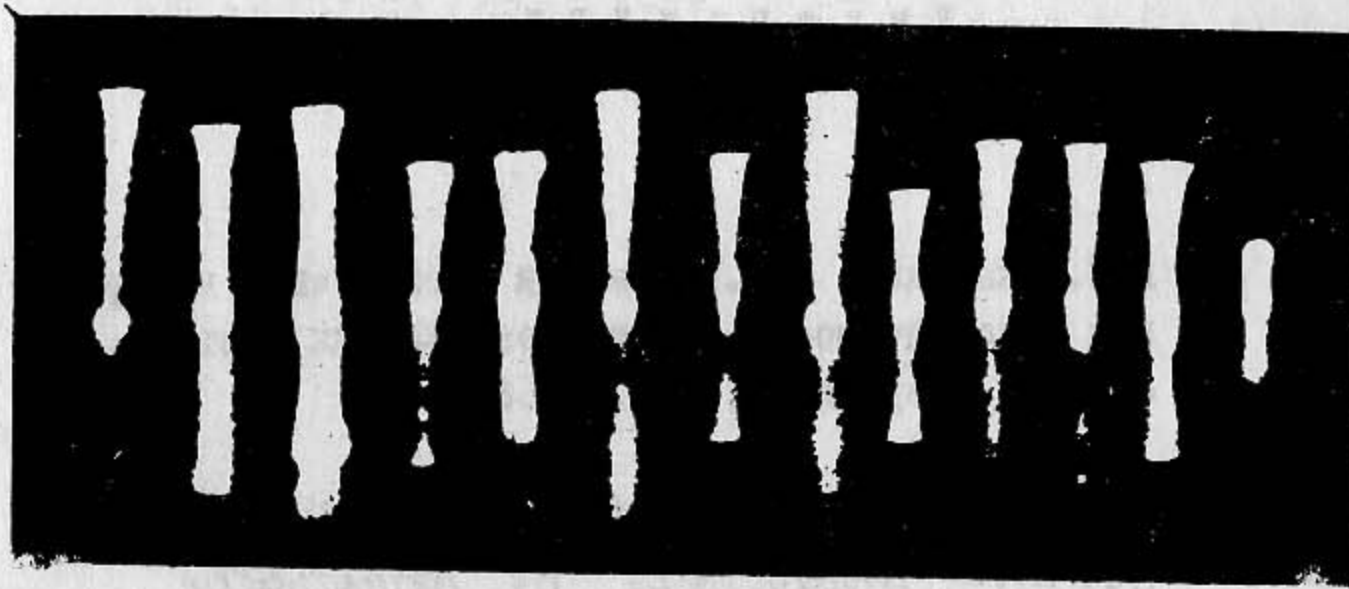


Рис. 3

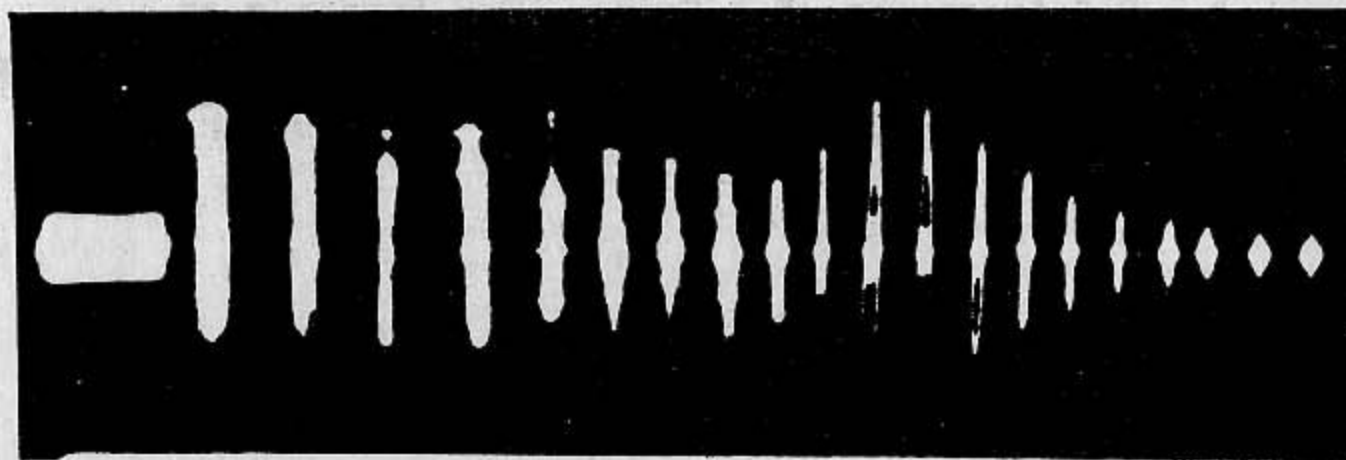


Рис. 4.

Л и т е р а т у р а

1. Н.С.Диканский, А.Н.Скринский "Поперечная когерентная неустойчивость сгустка заряженных частиц". Атомная энергия 21, 176, 1966.
2. E.D. Courant, A.M. Sessler "Transverse Coherent Resistive Instabilities of Azimuthally Bunched Beams in Particle Accelerators", UCRL-16751, 1966.
3. Н.С.Диканский, М.М.Карлинер, А.Н.Скринский, В.Е.Шапиро, И.А.Шехтман "Взаимодействие когерентных бетатронных колебаний с внешними системами".
Препринт, ИЯФ, 1966.
4. В.Л.Ауслендер, Г.А.Блинов, Г.И.Будкер и др. "Состояние работ на позитрон-электронном накопителе ВЭПП-2", Атомная энергия, 19, 502, 1965 г.

Ответственный за выпуск СИЛЬВЕСТРОВ Г.И.
Тираж 170 экз. 0,6 печ.л. Бесплатно
15.XI.66г. нв.

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СО АН СССР