

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 10^3 , 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. КУЛИЦАНОВ,
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.

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

УДК 621.384.612

ного излучения, взаимодействием с остаточным газом и характеристиками установок. Хотя эти вопросы теоретически уже рассматривались в работах [1—3], однако экспериментальные результаты были недостаточно полными или совсем отсутствовали. В настоящей работе приводятся параметры пучков при разных интенсивностях накопленных токов, т. е. в отсутствие коллективных эффектов. Чтобы исключить влияние опасных резонансов частоты бетатронных колебаний были выбраны достаточно далеко от них. Описанные измерения сделаны на электронном накопителе ВЭП-1 и электронно-позитронном накопителе ВЭПП-2.

Для измерения поперечных размеров использовалась оптическая система с фотоумножителем и подвижной диафрагмой. Предельное разрешение $\sim 0,15$ мм для ВЭП-1 и $0,3$ мм для ВЭПП-2 обусловлено конечной протяженностью области наблюдения.

Для измерения фазового размера применялся электронно-оптический преобразователь; изображение с его экрана развертывалось другим электронно-оптическим преобразователем (диссектором). Величину азимутальной протяженности сгустков и форму распределения можно было наблюдать непосредственно на экране осциллографа. Достигнутое разрешение составляло ~ 2 см.

Функция распределения плотности частиц как в поперечном, так и в продольном направлении с хорошей точностью описывается кривой Гаусса (рис. 1). В этом случае за размер сгустка удобно принять удвоенное среднеквадратичное отклонение частиц в сгустке от равновесного положения, равное

$$2\delta(r, z, L) = 2 \left(\frac{\sum a_i^2}{2} \right)^{1/2},$$

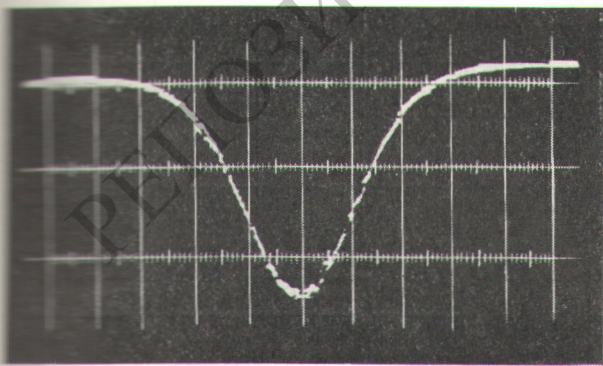


Рис. 1. Осциллограмма плотности распределения частиц.

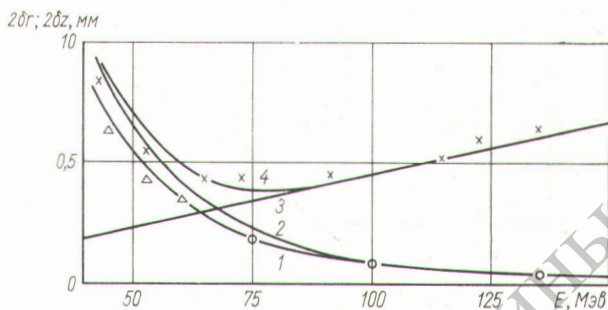


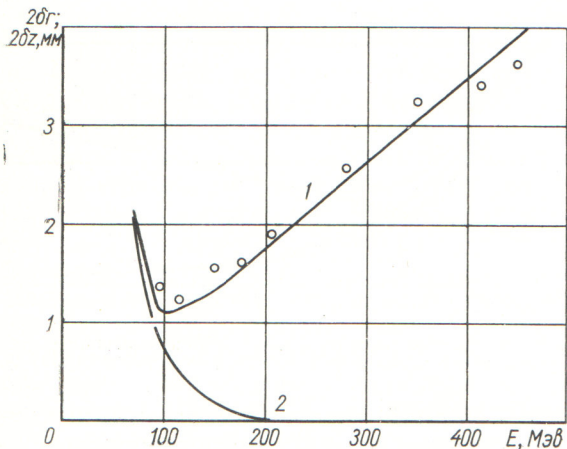
Рис. 2. Результаты расчета и измерений поперечных размеров в зависимости от энергии, $p \approx 3 \cdot 10^{-8}$ м.п.ст. (ВЭП-1).

где a_i^2 — средний квадрат амплитуды колебаний, обусловленных соответствующим процессом. При малых интенсивностях установившиеся размеры сгустка определяются рассеянием на остаточном газе и квантовыми флуктуациями излучения совместно с затуханием колебаний.

На рис. 2 приведены расчетные кривые поперечных размеров пучка в зависимости от энергии (ВЭП-1). Кривыми 1 и 2 обозначены зависимости, характеризующие соответственно аксиальный и радиальный размеры, обусловленные многократным рассеянием. Влияние квантовых флуктуаций на радиальный размер характеризуется прямой линией 3. В аксиальном размере квантовые флуктуации дают пренебрежимо малый вклад, и поэтому они не учитываются. Расчетные кривые для радиального (см. кривую 4) и аксиального размеров хорошо согласуются с результатами эксперимента. Аксиальный размер очень быстро уменьшается с ростом энергии и становится меньше предела разрешения измерительной системы, поэтому экспериментальные точки при энергии выше 75 Мэв получены из зависимости времени жизни от тока вследствие взаимного рассеяния [4]. Оценки сделаны при токе $I = 2$ ма. При энергии $E = 135$ Мэв (ВЭП-1) аксиальный размер определяется также при измерении светимости установки в зависимости от аксиального расстояния между пучками.

Аналогичные измерения поперечных размеров были проведены на ВЭПП-2 (рис. 3). Экспериментальные точки достаточно хорошо соответствуют расчетным кривым.

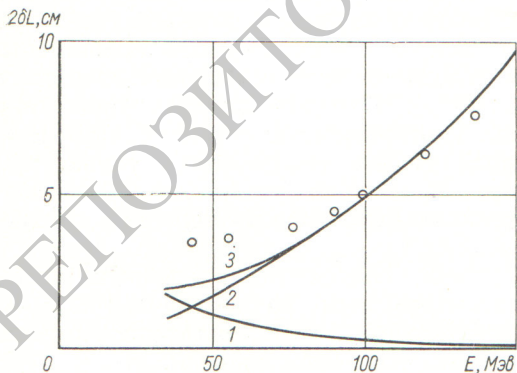
Некоторые трудности при сравнении результатов расчета и измерений связаны с точным измерением вакуума. Показания измерительных приборов не соответствуют среднему вакууму вдоль орбиты. Средний вакуум оцени-



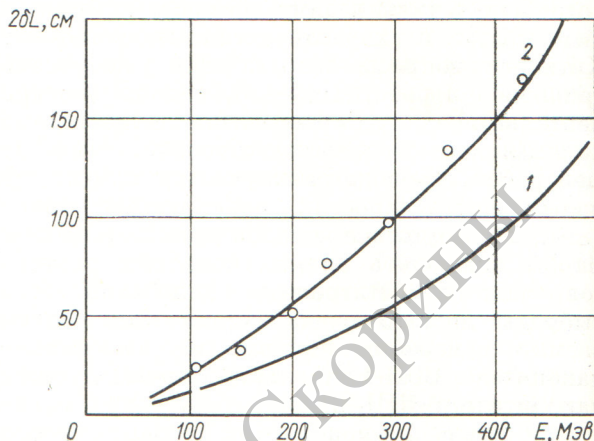
Р и с. 3. Результаты расчета и измерений поперечных размеров в зависимости от энергии при $I_e \approx 100 \text{ мкА}$ (ВЭПП-2): 1 — $2\delta r$; 2 — $2\delta z$.

вается по времени жизни накопленного пучка. На ВЭП-1 вакуум в области взаимодействия также оценивался по интенсивности тормозного излучения электронов на остаточном газе.

Энергетический разброс электронов в сгустке обусловлен квантовыми флуктуациями и рассеянием на электронах атомов остаточного газа, которое сказывается при низких энергиях. Результаты расчета и измерений приведены на рис. 4 и 5. На ВЭП-1 при малых энергиях наблюдается некоторое отклонение экспериментальных данных от расчетных. Это, вероятно, обусловлено влиянием шумов ускоряющей системы.

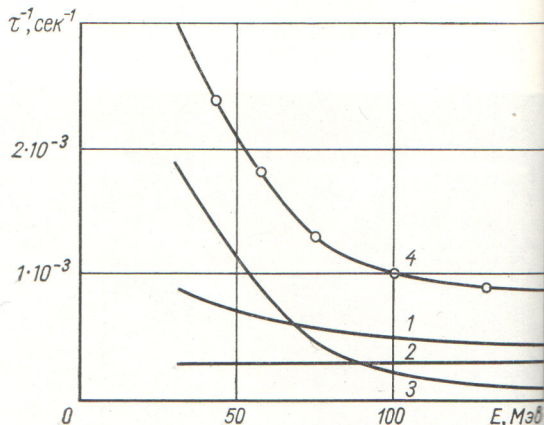


Р и с. 4. Результаты расчета и измерений фазового размера в зависимости от энергии, $U = 4 \text{ кВ}$ (ВЭП-1): 1 — влияние рассеяния на электронах атомов остаточного газа; 2 — влияние квантовых флуктуаций излучения; 3 — результирующая расчетная кривая; \circ — экспериментальные значения.



Р и с. 5. Результаты расчета и измерений фазового размера в зависимости от энергии (ВЭПП-2): 1 — $U = 10 \text{ кВ}$; 2 — $U = 3 \text{ кВ}$.

Время жизни при малых интенсивностях определяется взаимодействием с остаточным газом, если напряжение на резонаторе выбрано достаточно большим, чтобы избежать потерь вследствие раскачки радиально-фазовых колебаний квантовыми флуктуациями излучения. Основной вклад, как видно из рис. 6, дает неупругое рассеяние на электронах атомов остаточного газа (кривая 1), тормозное излучение (кривая 2) и однократное рассеяние на ядрах (кривая 3). При сравнении экспериментальных и расчетных данных (кривая 4) необходимо точно знать апертуру, напряжение на резонаторе, давление и состав остаточного газа. Точность измерения апертуры методом некогерентной раскачки составляет $\sim 5\%$. На-



Р и с. 6. Время жизни в зависимости от энергии при малом токе, $U = 4 \text{ кВ}$; $p = 3 \cdot 10^{-8} \text{ мм рт. ст.}$; апертура $10 \times 14 \text{ см}^2$ (ВЭП-1).

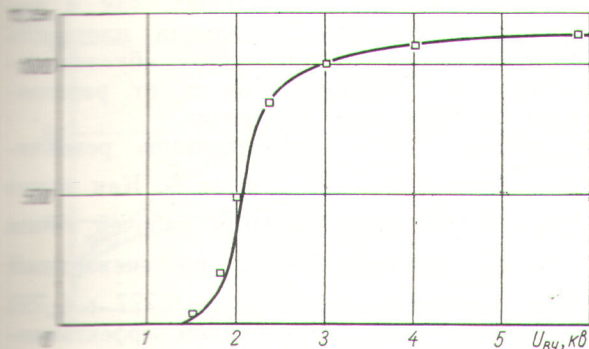


Рис. 7. Результаты расчета и измерений времени жизни от экспериментального напряжения при $E = 155 \text{ Мэв}$ (ВЭП-1).

напряжения на резонаторе находилось из данных измерения частоты радиально-фазовых колебаний с точностью $\sim 2\%$. При расчетах средний заряд ядер остаточного газа предполагался равным 7,5. Кривые построены для такой плотности остаточного газа, чтобы

Зависимость времени жизни и размеров пучка от числа частиц в накопителе

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

Экспериментально исследовалась зависимость времени жизни и размеров пучка электронов и позитронов от числа частиц в пучке при разных условиях в отсутствие когерентных колебаний. Из полученных данных выделены эффекты, связанные с рассеянием частиц сгустка друг на друге. Результаты расчета хорошо согласуются с данными эксперимента. Исследовалось влияние компенсирующих ионов на параметры электронного пучка.

В настоящей работе приводятся результаты измерения параметра электронных и позитронных пучков при больших интенсивностях на установках ВЭП-1 и ВЭП-2 [1, 2]. На этих установках были накоплены достаточно большие электронные токи (соответственно 0,5 и 2а) и позитронный ток $\sim 20 \text{ ма}$, при которых наблюдаются эффекты, обусловленные наличием большого числа частиц. Хотя основное внимание в проблеме накопления в настоящее время уделяется вопросам различных неустойчивостей, в настоящей работе они рассматриваться не будут.

При больших интенсивностях существенный вклад вносит взаимное рассеяние внутри сгу-

экспериментальная точка при $E = 43 \text{ Мэв}$ совпала с расчетной. В результате было получено хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных во всем диапазоне энергий.

На рис. 7 показано влияние квантовых флуктуаций на время жизни при большой энергии. При напряжении на резонаторе $U = 2 \text{ кв}$ влияние квантовых флуктуаций является определяющим.

Поступила в Редакцию 26/ХІ 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. П. Будкер и др. «Атомная энергия», 19, 498 (1965).
2. С. Bernardini et al. Phys. Rev. Lett. 10, 104 (1963).
3. А. А. Комар и др. «Труды ФИАН», XXII, 222 (1964).
4. В. Л. Ауслендер и др. См. настоящий выпуск, стр. 203.

УДК 621.384.612.4:621.384.60

стка [3, 4], взаимодействие с ионами, а при больших энергиях — ухудшение вакуума вследствие гажения стенок камеры от воздействия мощного синхротронного излучения. Суммарное время жизни определяется соотношением

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_{\text{Ада}}} + \frac{1}{\tau_{\text{ион}}} + \frac{1}{\tau_{\text{гаж}}}, \quad (1)$$

где τ_0 — время жизни при малом токе.

Вклад каждого из членов, входящих в выражение, зависит от энергии, вакуума, напряжения на ВЧ-резонаторе, скорости откачки и пр. Если бы размеры сгустков не зависели от тока, то три последних члена, входящие в выражение, росли бы линейно с током, однако из-за увеличения продольных и поперечных размеров $1/\tau_{\text{Ада}}$ и $1/\tau_{\text{ион}}$ растут значительно медленнее.

Продольный размер увеличивается из-за многократного рассеяния внутри сгустка [4]. Были рассчитаны продольные размеры сгустков в установке ВЭП-1 при энергии 43; 75 и 135 Мэв. Как видно из рис. 1, получено хорошее соотношение экспериментальных