

Рис. 1. Результаты расчета и измерений времени жизни от ускоряющего напряжения при $E = 155$ Мэв (ВЭП-1).

приближение 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

экспериментальная точка при $E = 43$ 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 $U = 2$ кв влияние квантовых флуктуаций является определяющим.

Поступила в Редакцию 26/XI 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.

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

УДК 621.384.612.4:621.384.60

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.

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

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

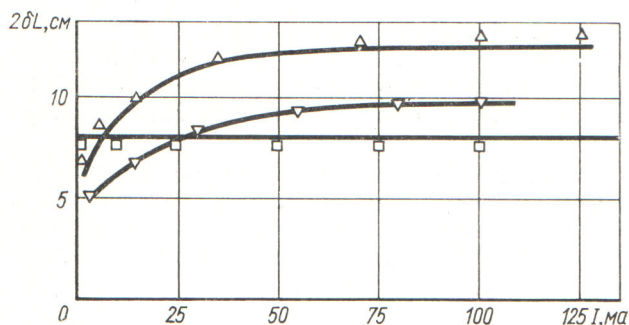
где τ_0 — время жизни при малом токе.

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 $1/\tau_{\text{Ada}}$ 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

В настоящей работе приводятся результаты измерения параметра электронных и позитронных пучков при больших интенсивностях на установках ВЭП-1 и ВЭПП-2 [1, 2]. На этих установках были накоплены достаточно большие электронные токи (соответственно 0,5 и 2а) и позитронный ток ~ 20 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.

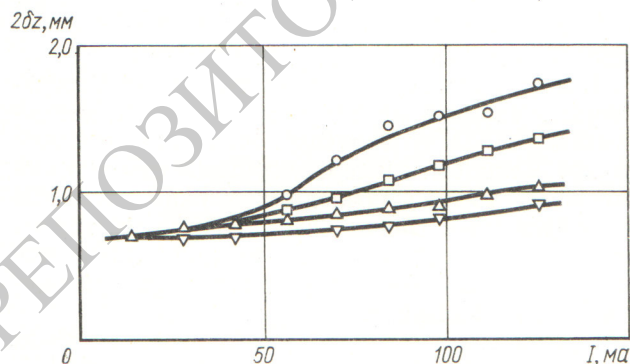
При больших интенсивностях существенный вклад вносит взаимное рассеяние внутри сгу-



Р и с. 1. Результаты расчета и измерений длины сгустков в зависимости от тока при энергии на установке ВЭП-1:
 △ — 43 Мэв; ▽ — 75 Мэв; □ — 135 Мэв.

и расчетных данных. Оказалось, что при энергии $E = 43$ Мэв продольный размер при токах выше 10 ма больше, чем при энергии 75 и 135 Мэв. При энергии выше 135 Мэв из-за малого времени затухания и большого поперечного импульса взаимное рассеяние дает пренебрежимо малый вклад, и продольный размер определяется только квантовыми флуктуациями синхротронного излучения.

При больших интенсивностях становится заметным влияние ионов, компенсирующих пространственный заряд пучка. Присутствие ионов ведет к ухудшению эффективного вакуума в области, занятой пучком, и изменению фокусирующих сил, следствием чего является увеличение поперечных размеров с ростом тока. Чтобы разделить эти два эффекта на установке ВЭП-1 при $E = 43$ Мэв, были сняты зависимости поперечных размеров от тока при разных частотах аксиальных ν_z и радиальных ν_r бетатронных колебаний. Ионы увели-

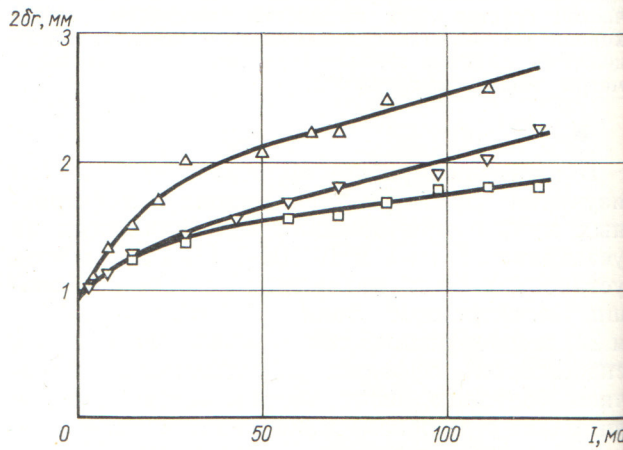


Р и с. 2. Результаты измерений аксиального размера в зависимости от тока при $E = 43$ Мэв для разных частот бетатронных колебаний (ВЭП-1):
 ○ — $\nu_z = 0,792$; □ — $\nu_z = 0,788$; △ — $\nu_z = 0,778 \div 0,759$;
 ▽ — $\nu_z = 0,753$.

чивают частоты как аксиальных, так и радиальных колебаний. Предельная плотность электронов на равновесной орбите, обусловленная этим увеличением, зависит от расстояния до «работающего» резонанса.

В нашем случае «работающими» резонансами являются $\nu_z = \frac{4}{5}$ и $\nu_r = \frac{2}{3}$. Как видно из рис. 2, по мере удаления рабочей точки от $\nu_z = \frac{4}{5}$ влияние ионов на аксиальный размер уменьшается и при $\nu_z = 0,777 \div 0,753$ определяется только изменением эффективного вакуума. При $\nu_z = 0,753$ плотность ионов становится меньше вследствие сильного увеличения радиального размера вблизи $\nu_r = \frac{2}{3}$, как это видно из рис. 3. Вдали от резонанса увеличение радиального размера в большей степени обусловлено увеличением энергетического разброса и соответственно радиального бетатронного импульса вследствие взаимного рассеяния внутри сгустка.

При больших энергиях, когда естественный аксиальный размер очень мал, ионы могут в несколько раз увеличивать его даже в рабочей области по ν . На рис. 4 представлены результаты измерения аксиального размера (ВЭП-1) при $E = 90$ Мэв в зависимости от тока при отсеке ионов с половины окружности и без него. Расчетный размер, равный при малом токе 0,1 мм, увеличивается до 0,4 мм при токе 150 ма, если ионы не удалены из пучка. Разрешение измерительной системы



Р и с. 3. Результаты измерений радиального размера в зависимости от тока при $E = 43$ Мэв для разных частот бетатронных колебаний (ВЭП-1):
 △ — $\nu_r = 0,658, \nu_z = 0,753$; ▽ — $\nu_r = 0,652, \nu_z = 0,759$;
 □ — $\nu_r = 0,629 \div 0,610, \nu_z = 0,778 \div 0,792$.

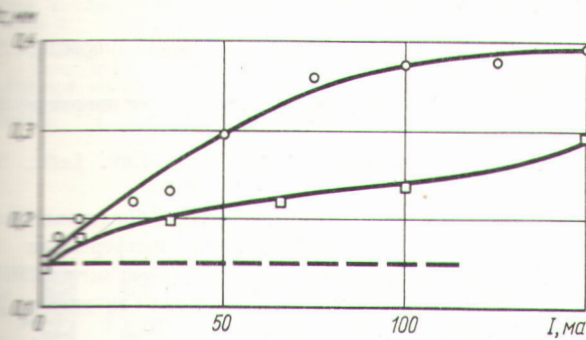


Рис. 4. Результаты измерений аксиального размера в зависимости от тока при $E = 90$ Мэв (разрешение измерительной системы 0,15 мм, $p = 3 \cdot 10^{-8}$ мм рт. ст.):
 ○ — без отсоса ионов; □ — с отсосом ионов.

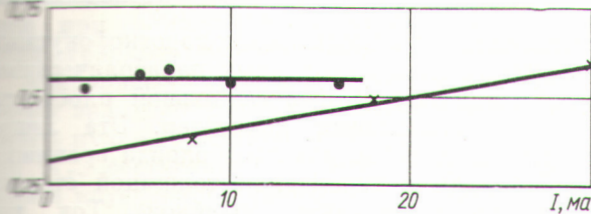


Рис. 5. Результаты измерений аксиального размера электронного (e^-) и позитронного (e^+) пучков в зависимости от тока (ВЭПП-2):
 x — e^- , $E = 150$ Мэв; ● — e^+ , $E = 105$ Мэв.

составляет 0,15 мм, если ионы не удалены из пучка. Разрешение измерительной системы составляет 0,15 мм.

Интересно сравнить поведение аксиального размера для электронного и позитронного пучков на накопителе ВЭПП-2 (рис. 5). Так как в позитронном пучке не накапливаются ионы или электроны, то вертикальный размер позитронного пучка не зависит от тока.

Оценка влияния ионов на размер хорошо согласуется с результатами измерений, если предположить, что все ионы молекулярные, распределение их по поперечному сечению гауссовское, а компенсация полная. Методика измерения поперечных и продольных размеров изложена в работе [5].

Увеличение поперечных и продольных размеров при больших интенсивностях уменьшает влияние ада-эффекта и ионов на время жизни выходящих пучков.

На рис. 6 приведены результаты измерения $1/\tau$ при $E = 90$ Мэв, для которой наиболее заметно влияние взаимного рассеяния. Начиная с токов в несколько миллиампер зависимость отклоняется от линейной из-за увели-

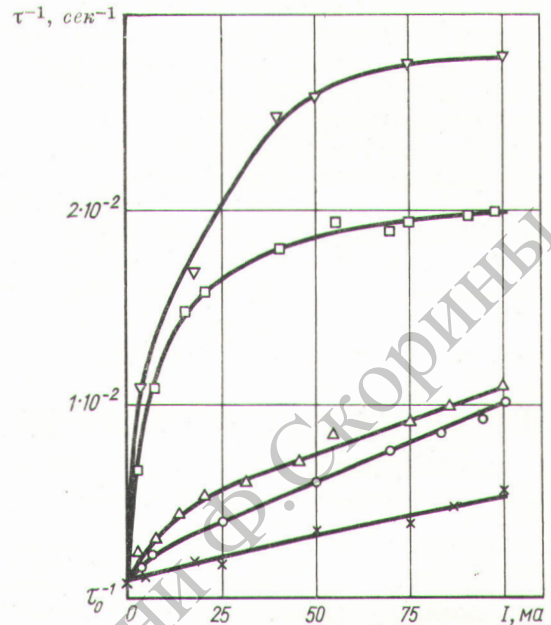


Рис. 6. Результаты измерения $1/\tau$ при энергии 90 Мэв; $p = 3 \cdot 10^{-8}$ мм рт. ст.; напряжение на резонаторе $U = 5 \cdot 10^3$ в (ВЭП-1):

△ — размеры естественные, отсос ионов с половины окружности; □ — размеры естественные, без отсоса ионов; △ — радиальный размер увеличен ($2\delta r = 1,3$ мм); ○ — аксиальный размер увеличен ($2\delta z = 0,75$ мм); × — аксиальный и радиальный размеры увеличены ($2\delta r = 1,3$ мм; $2\delta z = 0,75$ мм).

чения размеров сгустков. Включение отсоса ионов с половины окружности накопителя уменьшает аксиальный размер, в результате чего усиливается влияние ада-эффекта. На этом же рисунке видно, как путем искусственного увеличения радиального и вертикального размеров [5] можно свести к мини-

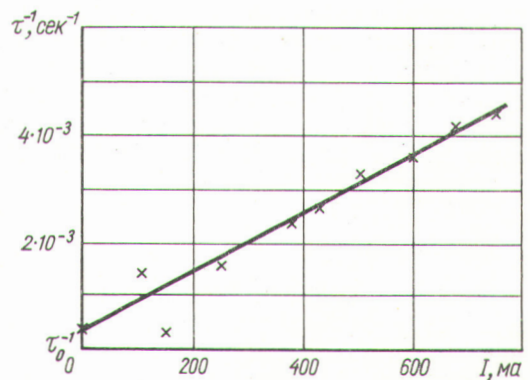


Рис. 7. Результаты измерений времени жизни электронов в зависимости от тока при $E = 150$ Мэв; напряжение на резонаторе $U = 3 \cdot 10^3$ в (ВЭПП-2).

муму действие взаимного рассеяния на время жизни. Зависимость $1/\tau$ хорошо согласуется с данными расчета, что является доказательством некогерентности искусственного увеличения размеров.

В накопителе ВЭПП-2 при энергии выше 150 Мэв основным процессом, ухудшающим время жизни, является гажение стенок вакуумной камеры (рис. 7).

После нескольких ампер-часов тренировки гажение заметно уменьшается.

Поступила в Редакцию 26/XI 1966 г.

Инжекция и накопление позитронов

В. Л. АУСЛЕНДЕР, Т. А. ВСЕВОЛОЖСКАЯ, Л. Л. ДАНИЛОВ, С. И. МИШНЕВ,
А. А. НАУМОВ, Г. И. СИЛЬВЕСТРОВ, А. Н. СКРИНСКИЙ

УДК 621.384.612:539.124.6

Описывается получение и инжекция позитронов в накопитель. Позитронный пучок получается конверсией электронов во внешней мишени и формируется при помощи специальных короткофокусных линз. Впуск частиц в накопитель осуществляется ниже средней плоскости, захват однооборотный. Проводится анализ условий, обеспечивающих максимальный коэффициент захвата, равный $1 \cdot 10^{-4}$ при вертикальной апертуре магнита $\Delta z = \pm 37$ мм и горизонтальной $\Delta R = \pm 30$ мм. Описывается методика и результаты настройки системы получения и инжекции позитронов. Изучаются оптимальные условия захвата и накопления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. И. Будкер и др. «Атомная энергия», 19, 498 (1965).
2. В. Л. Ауслендер и др. «Атомная энергия», 19, 502 (1965).
3. C. Bernardini et al. Phys. Rev. Lett., 10, 407 (1963).
4. H. Bruck, Le Duff. Доклад, представленный Францией на Международной конференции по ускорителям высоких энергий (Фраскати, 1965).
5. Э. И. Зинин и др. «Атомная энергия», 20, 220 (1966).

стоящий из двух специальных короткофокусных магнитных линз (называемых параболическими или X-линзами [1]), в фокальной плоскости которых расположен конвертер. Эта линза представляет собой два параболоида вращения из бериллия с переменной толщиной стенок, соединенных вершинами (шейкой). Ток, направленный вдоль оси параболоидов, создает в пространстве между ними магнитное поле, обеспечивающее аксиально симметричную фокусировку пучка, падающего параллельно оси и проходящего сквозь тонкие стенки линзы.

Первая X-линза фокусирует на конвертер электронный пучок в пятно малого размера, вторая собирает образовавшиеся позитроны в большом телесном угле, образуя параллельный пучок частиц.

Параметры работающих на комплексе X-линз следующие: толщина стенок у места токоподвода 0,12 мм и у шейки 0,20 мм; апертура 20 мм; диаметр шейки 5 мм; ток 120 ка; фокусное расстояние для линзы, фокусирующей электроны с энергией 250 Мэв, $F_{X-I} = 17,5$ см и для линзы, собирающей позитроны с энергией 110 Мэв, $F_{X-II} = 7$ см.

Два впускных магнита, предназначенные для параллельного переноса пучка на высоту 0,62 м, вводят позитронный пучок в магнитное поле накопителя в начале квадранта на равновесном радиусе ниже медианной плоскости. При этом верхний магнит своей внешней стенкой («нож») ограничивает снизу вертикальную апертуру накопителя ($A_z = -37$ мм).

Инфлектор, расположенный во втором от впуска квадранте, уменьшает амплитуду вертикальных бетатронных колебаний впускае-

На установке ВЭПП-2 используется внешняя инжекция позитронов. Электронный пучок, выпущенный из ускорителя-инжектора, формируется электронно-оптическими системами и конвертируется в позитроны в толстой мишени вне накопителя. Затем сформированный позитронный пучок высокой энергии впускается в накопитель ниже средней плоскости. Этот вариант инжекции основан на оптимальном преобразовании фазового объема электронного пучка в позитронный при помощи специальных короткофокусных магнитных линз и на оптимальном впуске последнего в накопитель.

Инжекция

Накопитель ВЭПП-2 находится на расстоянии 11,6 м от ускорителя-инжектора, их медианные плоскости разнесены по вертикали на 0,68 м.

На расстоянии 3,3 м от накопителя расположен так называемый блок конвертера, со-