

**Ауслендер В.Л., Кулипанов Г.Н., Мишнев С.И.,
Попов С.Г., Скринский А.Н., Тумайкин Г.М.**

**Зависимость времени жизни и размеров
пучка от числа частиц в накопителе**

Экспериментально исследована 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; получено хорошее согласие с проведенным расчетом. Исследовалось влияние компенсирующих ионов на параметры электронного пучка.

В данной работе приводятся результаты изучения параметров электронных и позитронных пучков при больших интенсивностях на установках ВЭП-1 и ВЭП-2 /1,2/ в Институте ядерной физики СО АН СССР. На этих установках были накоплены достаточно большие электронные токи (соответственно 0,5 а и 2 а) и позитронный ток ~ 20 ма, при которых сказываются эффекты, обусловленные наличием большего количества частиц. Хотя основное внимание в проблеме накопления в настоящее время занимают вопросы различных неустойчивостей, в данной работе, мы их касаться не будем.

При больших интенсивностях существенный вклад вносит взаимное рассеяние внутри сгустка /3,4/, взаимодействие с ионами, а при больших энергиях ухудшение вакуума из-за галения стенок камеры от воздействия мощного синхротронного излучения. В результате суммарное время жизни определяется следующим соотношением:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_{\text{ионах}}} + \frac{1}{\tau_{\text{ионв}}} + \frac{1}{\tau_{\text{галения}}}$$

где: τ_0 - время жизни на малом токе.

Вклад каждого из членов, входящих в выражение (1), зависит от энергии, вакуума, напряжения на в.ч. резонаторе, скорости откачки и др. Если бы размеры сгустков не зависели от тока, то три последние члена, входящие в выражение (1) росли бы линейно с током, однако из-за увеличения продольных и поперечных размеров $\frac{1}{\tau_{\text{ионах}}}$ и $\frac{1}{\tau_{\text{ионв}}}$ растут значительно медленнее.

Продольный размер увеличивается из-за многократного рассеяния внутри сгустка /4/. Были проведены расчеты продольного размера сгустков в установке ВЭП-1 для энергий 43,75 и 135 Мэв. Как видно из рис. 1 получено хорошее соотношение эксперименталь-

ных и расчетных данных. Оказалось, что при энергии $E = 43$ Мэв продольный размер при токах более 10 ма больше, чем при энергии 75 Мэв и 135 Мэв. При энергии свыше 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 ВЭП-1 при $E = 43$ Мэв, были сняты зависимости поперечных размеров от тока при разных частотах аксиальных (ν_x) и радиальных (ν_z) бетатронных колебаний.

Если предположить, что плотность ионов в центре сгустка будет увеличиваться до тех пор, пока частота бетатронных колебаний не приблизится к опасному резонансу, то размеры можно оценить из следующего соотношения:

$$\delta z(z) = \frac{0,1 I_{\text{ион}} \cdot R \cdot K_z(z)}{\delta z(z) \cdot 2 \nu (\nu_{\text{рез}} - \nu) H(\text{эВ})}$$

где:

$$K_z = \begin{cases} = I & \text{при } \delta z = \delta z \\ = \pi & \text{при } \delta z \ll \delta z \end{cases}$$

$\nu_{\text{рез}} - \nu > 0$ - расстояние до "работающего" резонанса.

В нашем случае "работающими" резонансами являются $\nu_x = \frac{4}{5}$ и

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

При больших энергиях, когда естественный аксиальный размер очень маленький, 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 с отсосом с половины окружности и без него. Расчетный размер, равный при малом токе 0,1 мм, увеличивается до 0,4 мм при токе 150 ма.

Интересно сравнить поведение аксиального размера для электронного и позитронного пучков на накопителе ВЭП-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 являются молекулярными, распределение их по поперечному сечению гауссовским, а компенсация полная.

Методика измерения поперечных и продольных размеров изложена в / 5 /.

Увеличение поперечных и продольных размеров при больших интенсивностях уменьшает влияние "Ада" - эффекта и ионов на время жизни накопленных пучков.

На рис. 6 представлены результаты измерения $\frac{1}{\tau}$ при энергии $E = 90$ Мэв (ВЭЦ-1), для которой влияние взаимного рассеяния наиболее заметно. Начиная с токов в несколько миллиампер, зависимость отклоняется от линейной из-за увеличения размеров сгустков. Включение отсека ионов на $\frac{1}{2}$ 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 действие взаимного рассеяния на время жизни к минимуму. Зависимость хорошо согласуется с расчетами, что является доказательством некогерентности искусственного увеличения размеров.

В накопителе ВЭЦ-2 при энергии свыше 150 Мэв основным процессом, ухудшающим время жизни, является гашение стенок вакуумной камеры (рис. 7).

После нескольких ампер-часов тренировки гашение заметно уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будкер Г.И. и др. Состояние работ на электрон-электронном накопителе ВЭЦ-1. Доклад на конференции во Фраскати, 1965 г.
2. Ауслендер В.Л., Блинов Г.А., Будкер Г.И. и др. Состояние работ на позитрон-электронном накопителе ВЭЦ-2. Доклад на конференции во Фраскати, 1965 г.
3. C. Bernardini et al. *LNF - 63/63*
Phys Rev. Letters 10, 407 (1963).
4. H. Bruk and Le Duff Доклад на конференции во Фраскати, (1965 г.).
5. Э.И. Зинин и др. Доклад на конференции во Фраскати, 1965 г.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис. 1. Результаты расчета и измерений длины сгустков в зависимости от тока при энергиях $E = 43$ Мэв (I), $E = 75$ Мэв. (II) и $E = 135$ Мэв (III) на установке ВЭП-I.

Рис. 2. Результаты измерений аксиального размера в зависимости от тока при $E = 43$ Мэв для разных частот бетатронных колебаний (ВЭП-I).

Рис. 3. Результаты измерений радиального размера в зависимости от тока при $E = 43$ Мэв для разных частот бетатронных колебаний (ВЭП-I).

Рис. 4. Результаты измерений аксиального размера в зависимости от тока при $E = 90$ Мэв. Разрешение измерительной системы $0,15$ мм (ВЭП-I).

Рис. 5. Результаты измерений аксиального размера электронного и позитронного пучков в зависимости от тока (ВЭП-2).

Рис. 6. Результаты измерения $\frac{1}{\tau}$ при энергии 90 Мэв

$U_{e.z.} = 5 \cdot 10^3$ вольт (ВЭП-I).

I - размеры естественные, отсос ионов с $\frac{1}{2}$ окружности.

II - размеры естественные, без отсоса ионов

III - радиальный размер увеличен ($2\delta r = 1,3$ мм),

IV - аксиальный размер увеличен ($2\delta z = 0,75$ мм)

V - аксиальный и радиальный размеры увеличены ($2\delta r = 1,3$ мм; $2\delta z = 0,75$ мм).

Рис. 7. Результаты измерений времени жизни в зависимости от тока при $E = 150$ Мэв, $U_{e.z.} = 3$ кв (ВЭП-2).

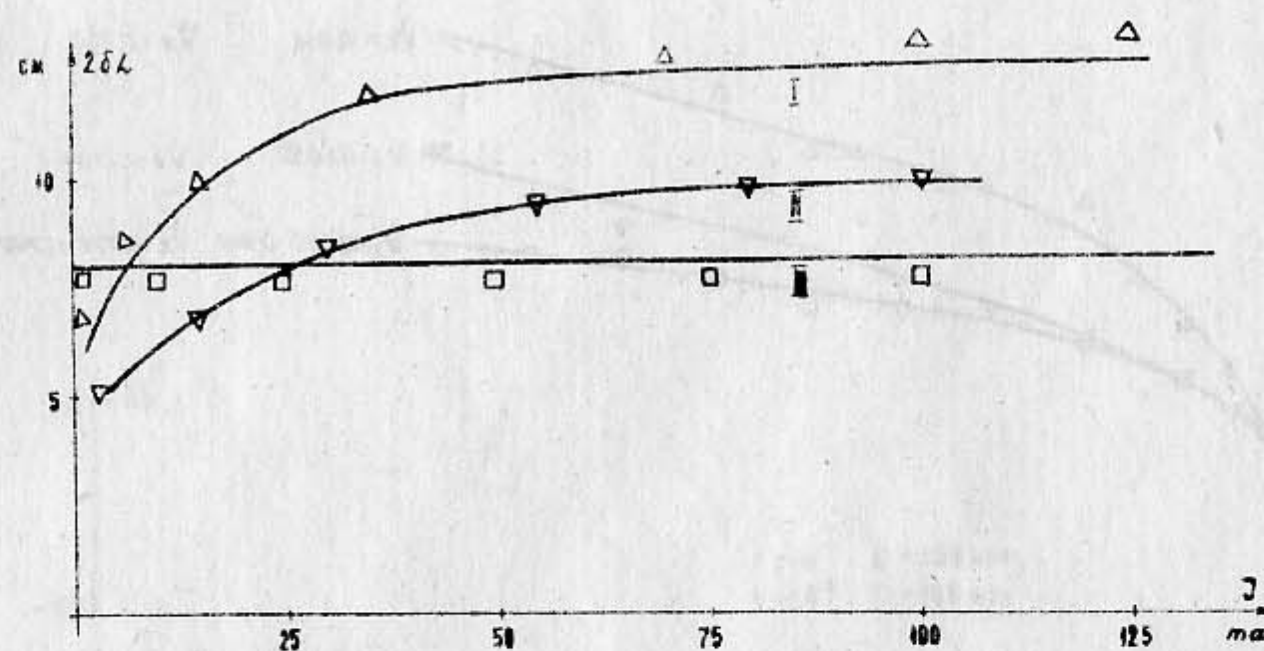


Рис. 1

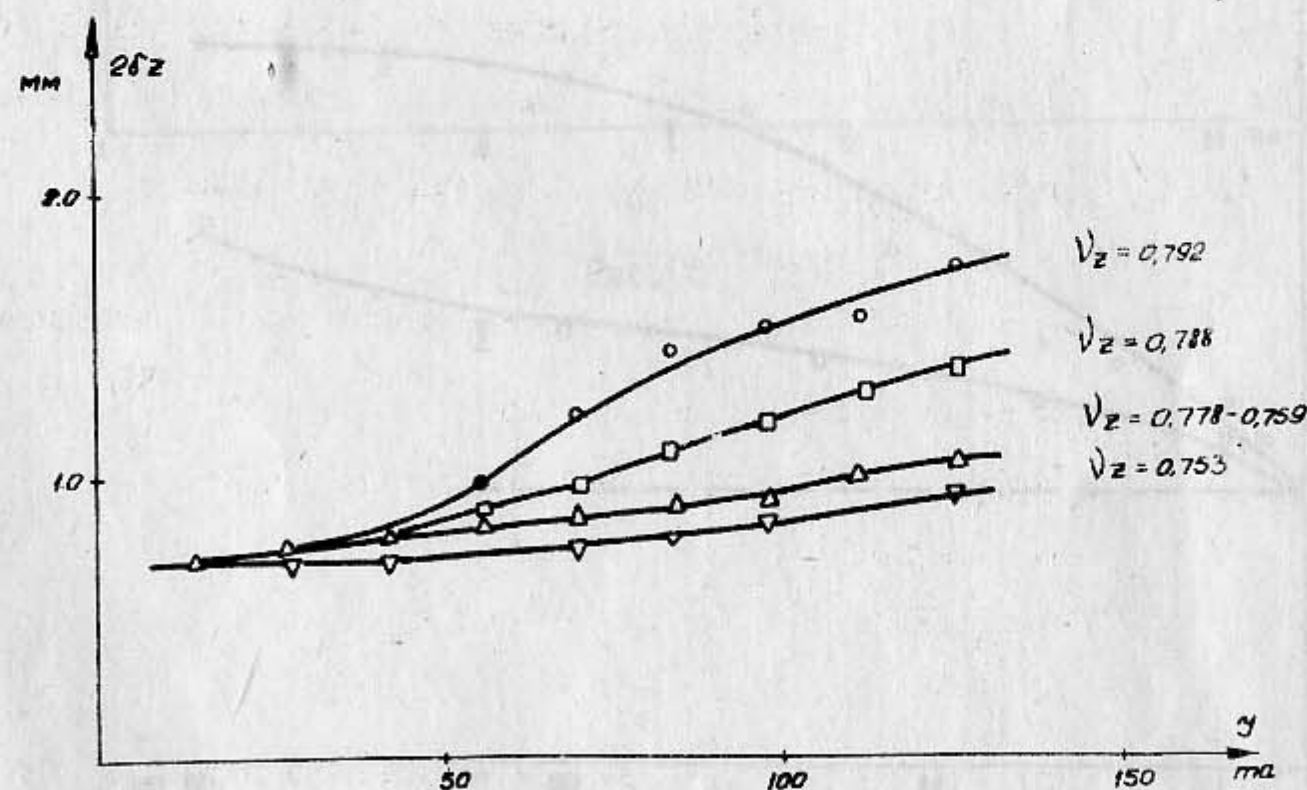


Рис. 2

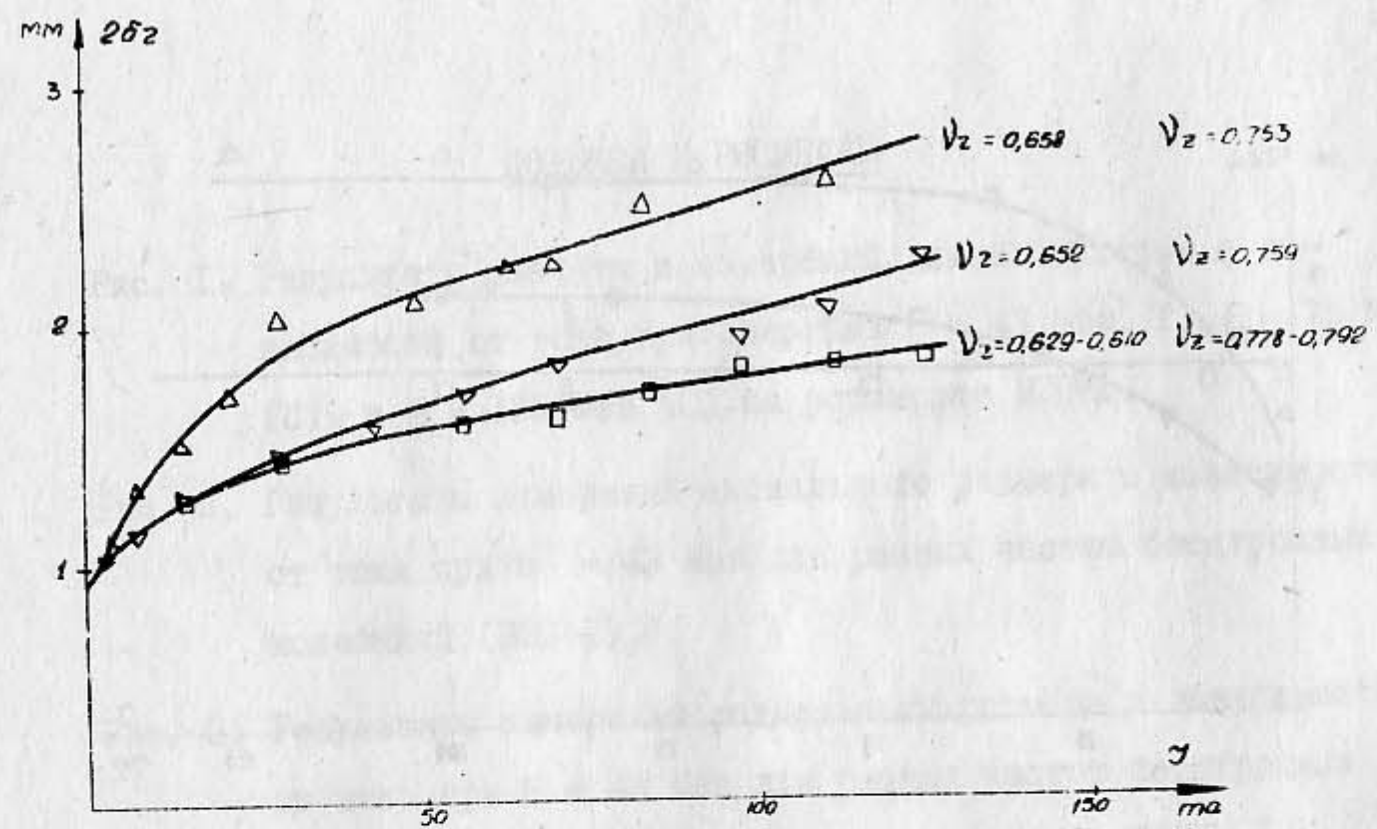


Рис. 3

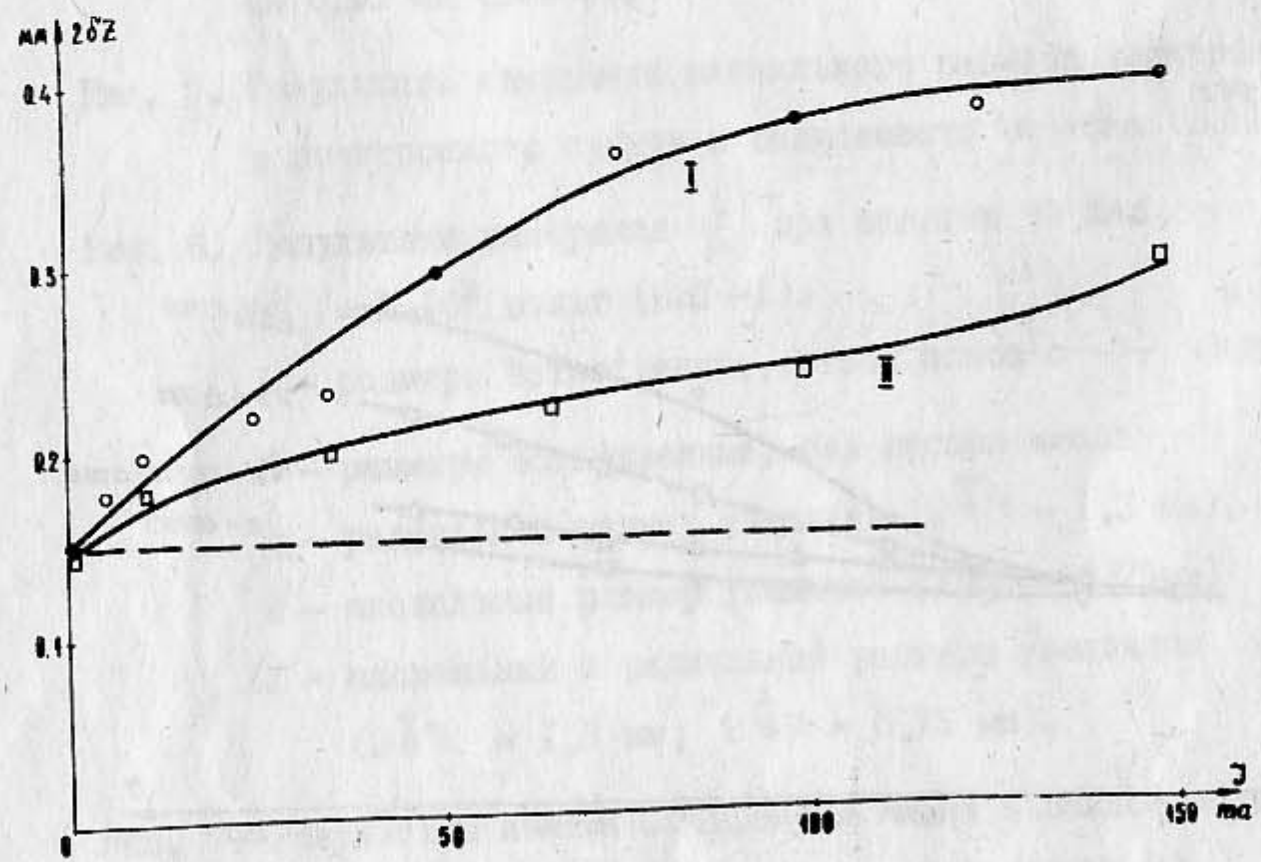


Рис. 4

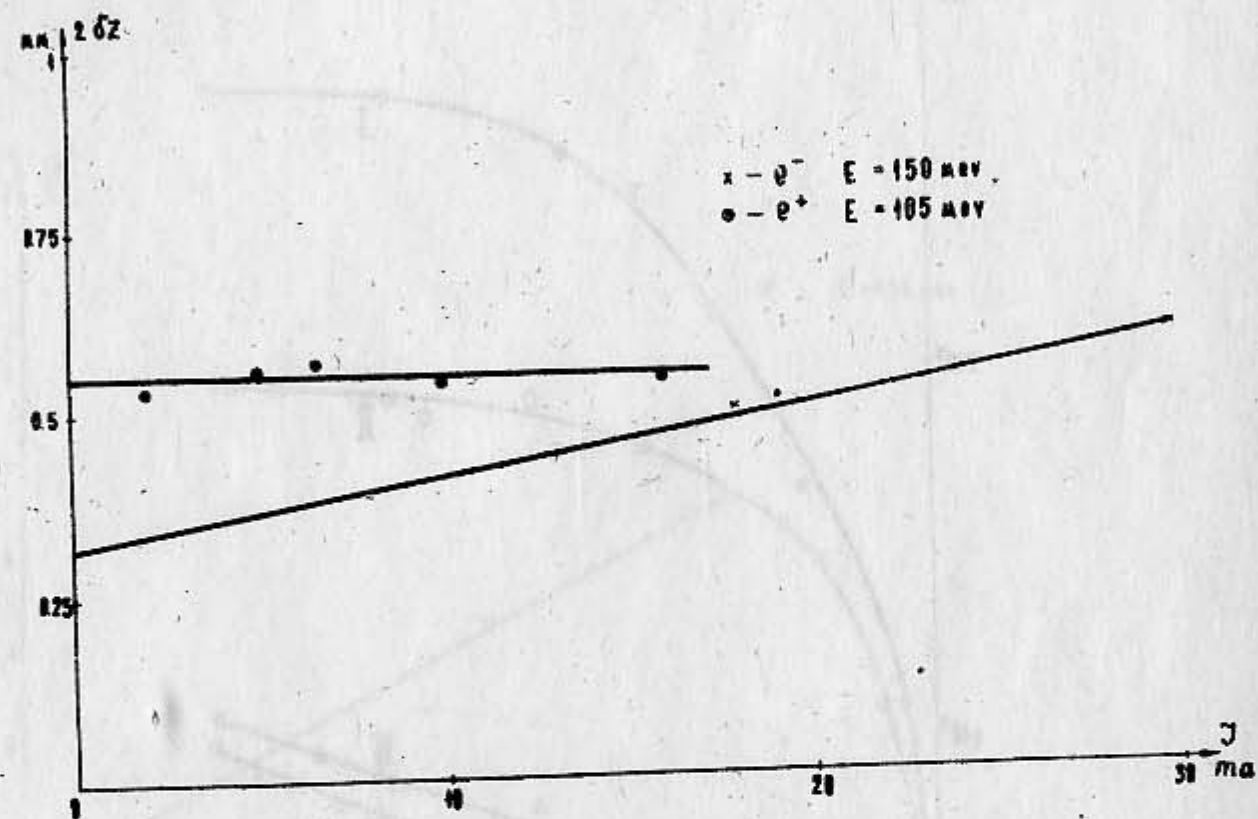


Рис. 5

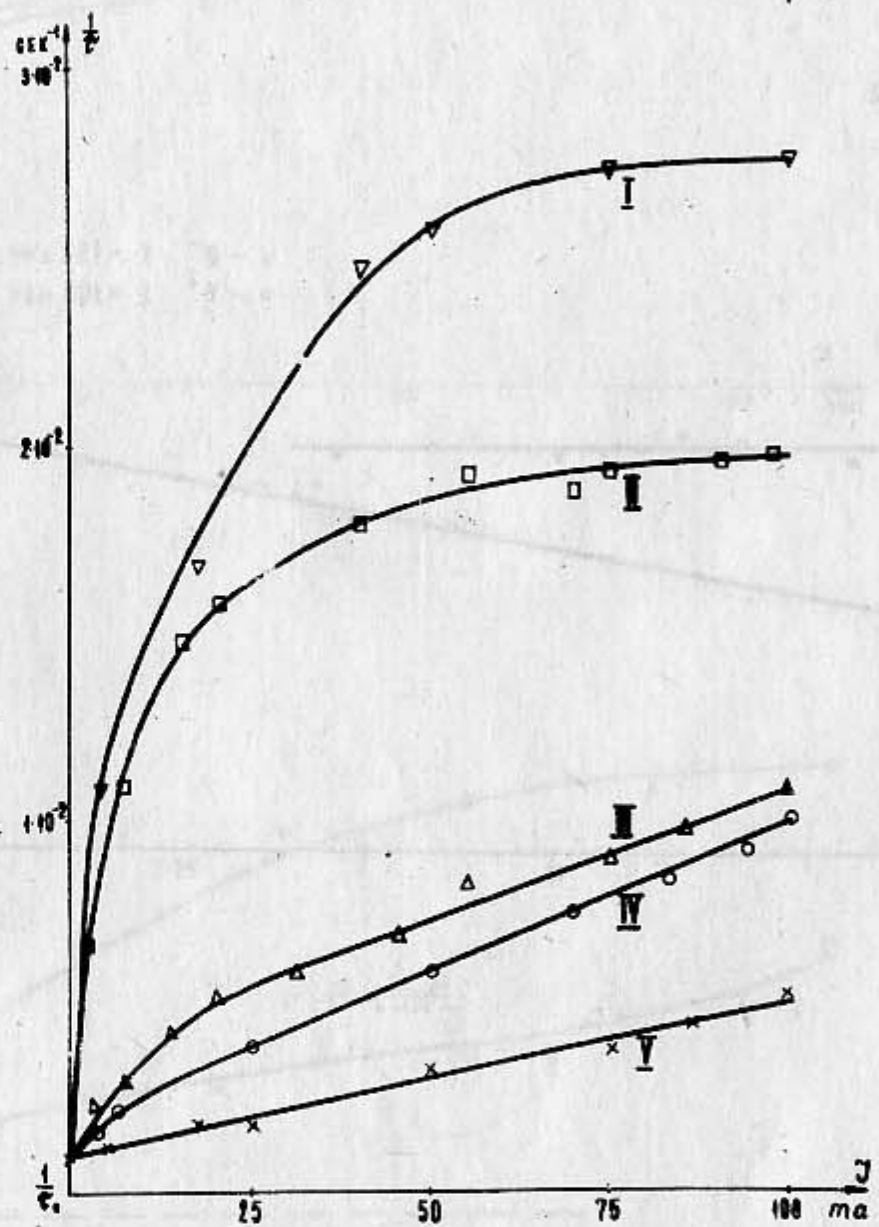


Рис. 6

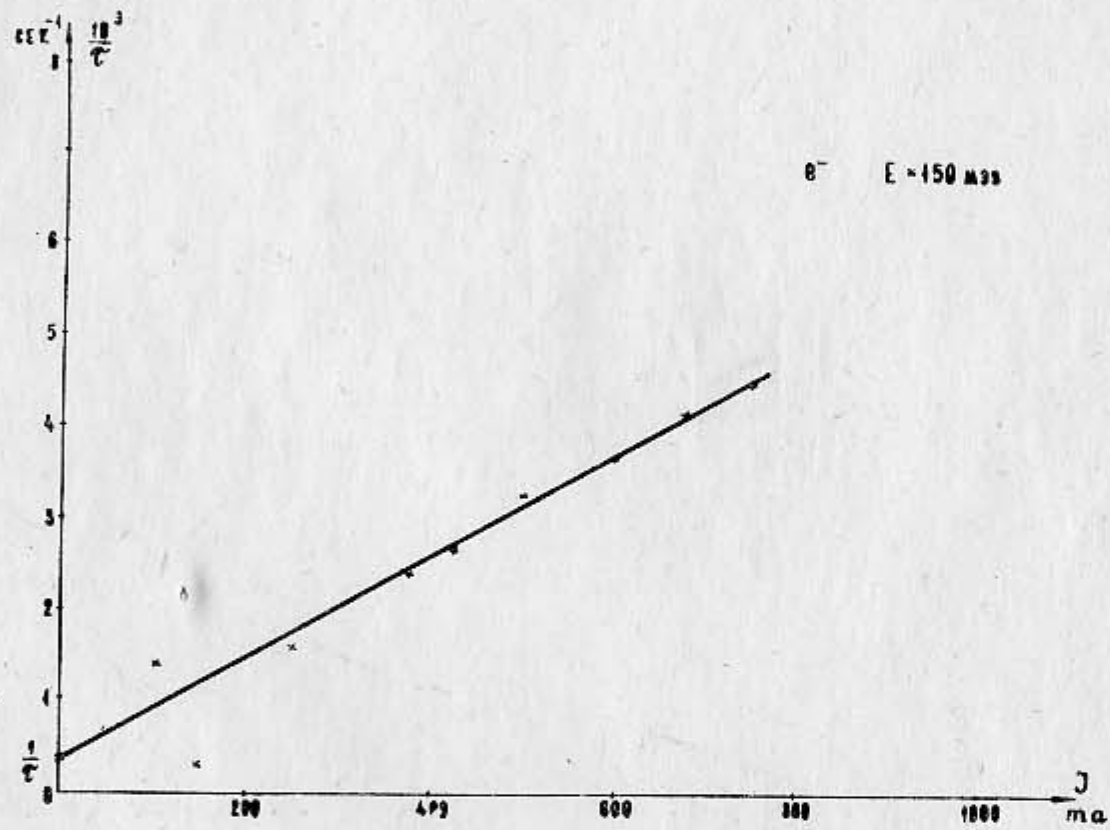


Рис. 7