

СЗ45Л1

С-20

4963 / 2-76

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА

13/II-76



P9 - 10054

В.П.Саранцев, В.С.Александров, Л.Н.Беляев,
Л.С.Барабаш, Г.В.Долбилов, А.К.Красных, В.И.Миронов,
В.Г.Новиков, Г.Радонов, А.П.Сумбаев, С.И.Тютюнников,
В.П.Фартушный, А.А.Фатеев, А.С.Щеулин

ПЕРВЫЙ ЭТАП НАЛАДКИ ПРОТОТИПА
КОЛЛЕКТИВНОГО УСКОРИТЕЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ
Часть II

1976

P9 - 10054

В.П.Саранцев, В.С.Александров, Л.Н.Беляев,
Л.С.Барабаш, Г.В.Долбилов, А.К.Красных, В.И.Миронов,
В.Г.Новиков, Г.Радонов, А.П.Сумбаев, С.И.Тютюнников,
В.П.Фартушный, А.А.Фатеев, А.С.Щеулин

ПЕРВЫЙ ЭТАП НАЛАДКИ ПРОТОТИПА
КОЛЛЕКТИВНОГО УСКОРИТЕЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ
Часть II



1. Введение

В экспериментах по формированию электронных колец в адгезаторе прототипа коллективного ускорителя тяжелых ионов ОНМУ ОИЯИ электроны инжектировались в импульсное магнитное поле на радиус $r_{in} = 40$ см. Мгновенная орбита корректировалась в точке ее пересечения с равновесной орбитой ($r = 35$ см). Ток инжекции составлял 200–300 А при энергии электронов $E_{in} \approx 1,8$ МэВ ($\gamma_{in} \approx 4,5$) и длительности импульса ~ 20 нс.

Вариации показателя спада магнитного поля производились путем изменения напряжений и времен включения ступеней сжатия. Коррекция p вблизи радиуса ($r = 35$ см) осуществлялась изменением положения катушек I ступени.

Для определения равновесного радиуса и радиального размера сечения кольца (по времени наплывания при сжатии) использовались перемещаемые по радиусу зонды различных типов (флажки). Регистрировались высадившийся заряд и тормозное γ -излучение.

Диагностика кольца на малых радиусах ($r \leq 6$ см) производилась с помощью датчика инфракрасного излучения (ИК-датчик). Оптическая система датчика позволяла проводить визуальные наблюдения за кольцом в видимом диапазоне синхротронного излучения на радиусах $r \sim 4$ см. Линейное увеличение оптической

системы в плоскости датчика $Y \approx 1$, поле зрения – круг диаметром 30 мм. В некоторых измерениях использовалась собирающая (полевая) линза.

Описание основных узлов КУТИ: инжектора электронов, камеры адгезатора, инфлектора, корректора, магнитной системы адгезатора и системы ее питания – приведено в работах ^{1,2/}.

2. Измерение равновесного радиуса электронного кольца

Равновесный радиус (соответствующий электронам с энергией, равной средней, и нулевой амплитудой бетатронных колебаний) определялся тремя способами: (1) по тормозному γ -излучению при наплывании кольца на флажок, (2) по электрическим сигналам с флажка и (3) с помощью датчика инфракрасного излучения.

На рис. 1 показаны типичные осциллограммы сигналов с ФЭУ (а), импульса напряжения (б) и токового импульса (в) с флажка, установленного на радиусе 15 см. На рис. 2 отложены времена начала и окончания импульсов с ФЭУ для различных радиусов. Конечные токи лежат близко к расчетной зависимости $r(t)$ для $\gamma_{in} = 4,5$ (сплошная кривая). Измерения по γ -излучению и изменению напряжения на емкости, подключенной к флажку, давали одинаковые результаты в пределах ошибок измерений.

Измерение конечного радиуса электронного кольца в присутствии внутренней фокусирующей трубы ($r_T = 3,6$ см) и выбор режима работы магнитной системы производились с помощью ИК-датчика и ФЭУ. Характерные осциллограммы сигналов при различных напряжениях IV ступени сжатия $U_4 = 11 \div 15$ кВ приведены на рис. 3. При $U_4 \leq 11$ кВ на осциллограммах виден характерный двойной пик γ -излучения от развала кольца при разжатии ("обратная высадка") (рис.3а). С увеличением напряжения появляются импульсы γ -излучения от частичной высадки на трубу ($t \leq 1,45$ мс

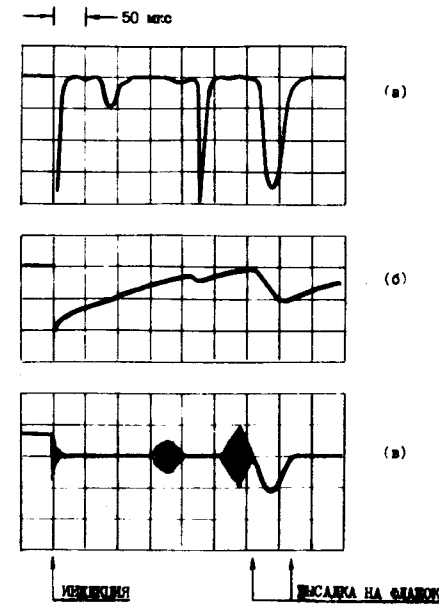


Рис. 1. Импульсы γ -излучения (а), напряжения (б) и тока (в) при наплывании электронного кольца на флажок ($r = 15$ см) при сжатии.

после инжекции), импульс с ИК-датчика деформируется (рис. 3б,в). При $U_4 \leq 15$ кВ кольцо полностью высасывается на трубу – сигнал "обратной высадки" отсутствует (рис. 3г).

В этих измерениях использовалась собирающая линза, т.е. датчик регистрировал излучение из всего поля зрения оптической системы (область радиусов от 3 до 6 см).

На рис. 4 показаны осциллограммы сигналов с ИК-датчика без собирающей линзы при различных напряжениях IV ступени. На радиусах $r \geq 4,5$ см ($U_4 < 15$ кВ) сигналы имеют характерную двугорбую форму, которая связана с двукратным прохождением сечения кольца через поле зрения датчика: при сжатии и разжатии.

На том же рисунке показаны построенные по осциллограммам зависимости $r(t)$ при разных напряжениях IV ступени.

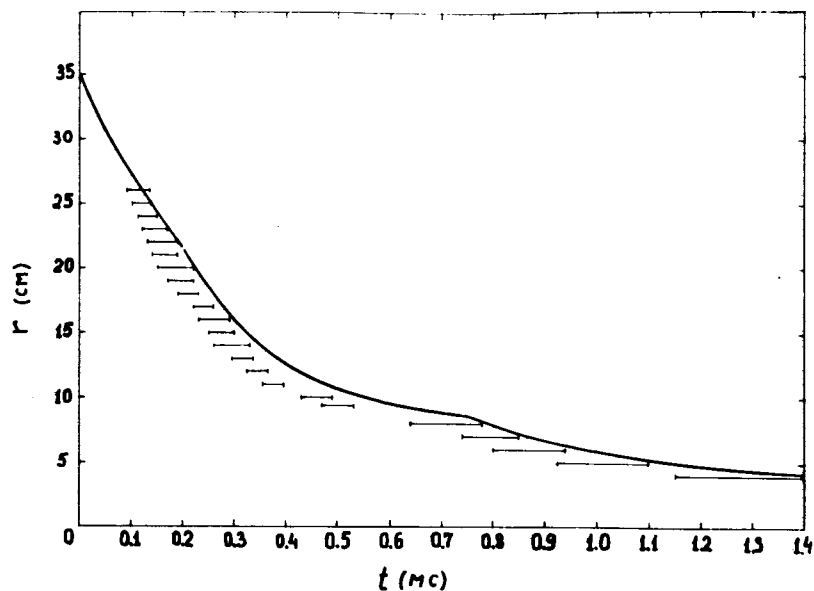


Рис. 2. Радиус электронного кольца как функция времени. Сплошная кривая - расчетная зависимость $r(t)$ для $\gamma_{in} = 4,5$.

3. Измерение размеров поперечного сечения

Радиальный размер сечения определялся по длительности сигнала γ -излучения, возникающего при наплывании электронного кольца на флажок в процессе сжатия:

$$a_r \approx \Delta t \cdot \dot{r},$$

где Δt - длительность сигнала γ -излучения, \dot{r} - скорость сжатия. На рис. 5 показана зависимость $a_r(r)$, полученная из результатов измерения равновесного радиуса (рис. 2). Большие значения a_r объясняются тем, что в этих экспериментах электроны в кольце имели большие амплитуды бетатронных коле-

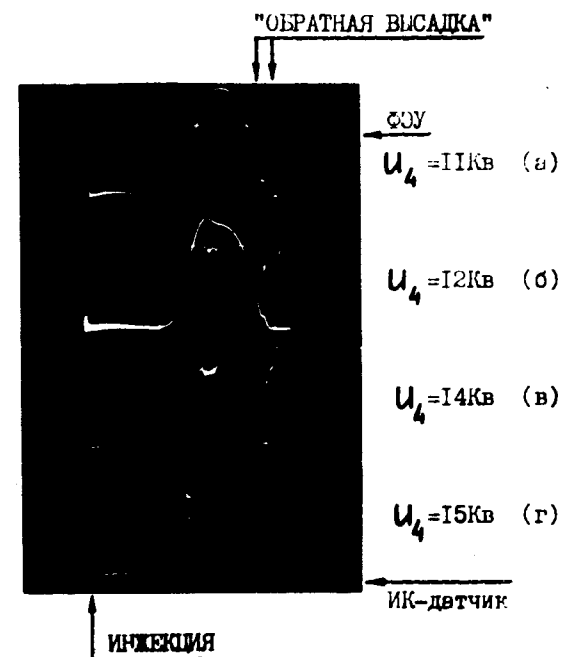


Рис. 3. Осциллограммы сигналов с ФЭУ (верхний луч) и ИК-датчика с полевой линзой при различных напряжениях IV ступени.

баний, вызванные раскачкой пучка на азимутальной неоднородности магнитного поля и прохождением резонанса $\nu_z = \frac{1}{2}$. После устранения азимутальной неоднородности и коррекции p -траектории повторных измерений для радиусов, больших 6 см, не проводилось, т.к. основной интерес представляют значения размеров сечения в конце сжатия.

Непосредственно из рис. 4 с учетом конечных размеров ИК-датчика ($3 \times 3 \text{ мм}^2$) получим $a_r \approx 3 \text{ мм}$ для $r \approx 4 \text{ см}$.

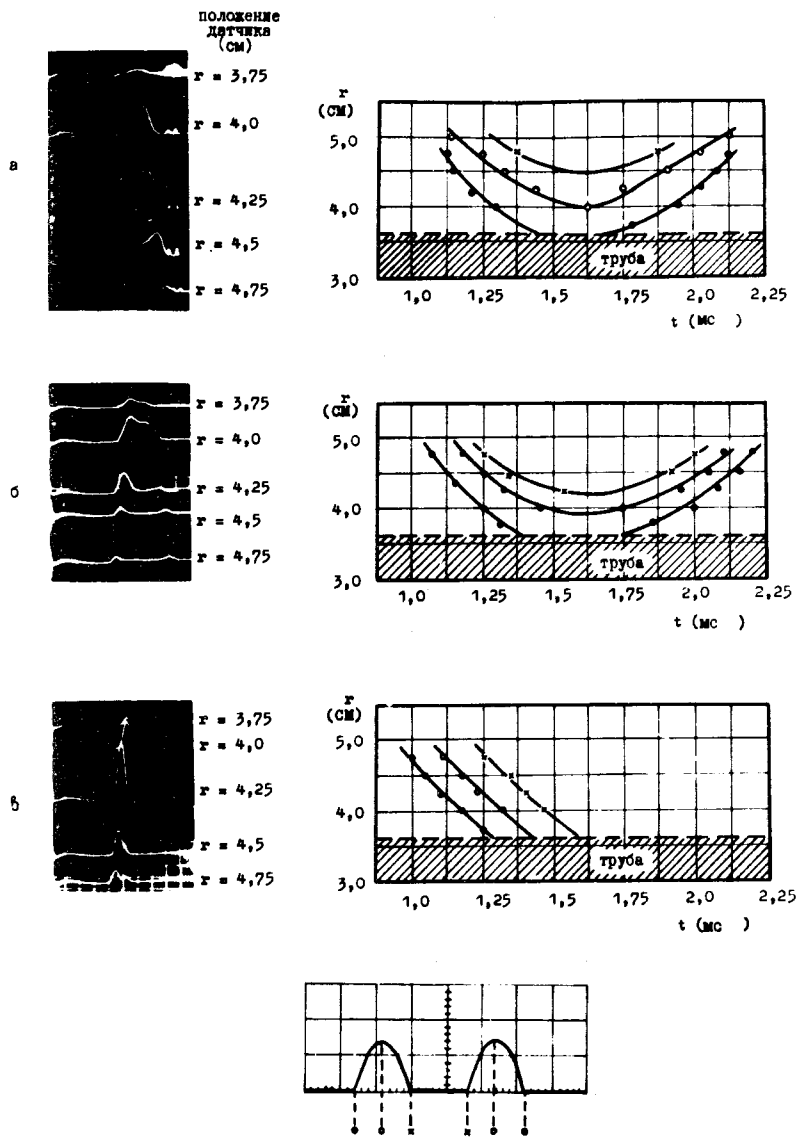


Рис. 4. Сигналы с ИК-датчика (без полевой линзы) на различных радиусах при разных напряжениях IV ступени и соответствующие им зависимости $r(t)$: а - $U_4 = 11$ кВ, б - $U_4 = 13,5$ кВ, в - $U_4 = 15$ кВ.

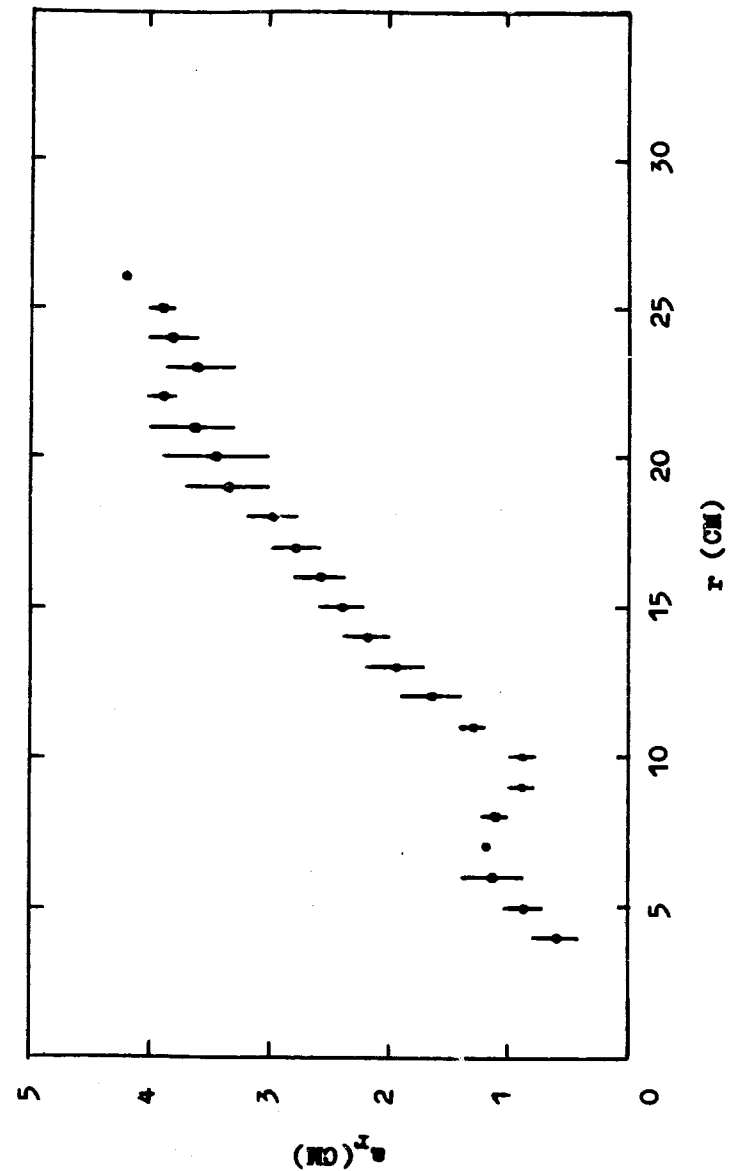


Рис. 5. Поведение радиального размера сечения электронного кольца.

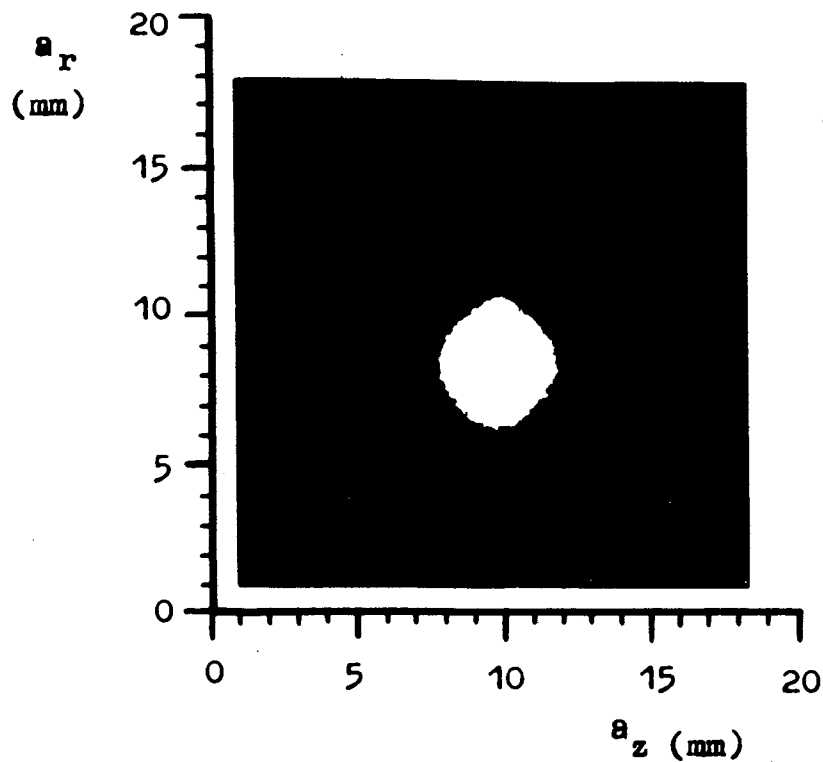


Рис. 6. Сечение кольца в синхротронном свете ($r \approx 4$ см).

Рис. 6. представляет собой фотографию сечения кольца в видимом диапазоне синхротронного излучения.

4. Потери электронов при сжатии

В первых экспериментах по формированию электронных колец в адгезаторе сжатие сопровождалось большими потерями электронов. В отдельных случаях потери в первые ~ 30 мкс после инжекции превышали 80% от захваченного числа частиц. Этот результат был связан с раскачкой пучка на азимутальной неоднородности магнитного поля в области инфлектора,

возникающей при включении II ступени, и высадкой электронов в основном на корректор. После замены медного экрана инфлектора на экран из нержавеющей стали потери практически не наблюдались.

На рис. 7 приведены зависимости амплитуды γ -сигнала от времени включения устройства сброса пучка /1/: точки - в присутствии медного экрана, сплошная кривая - установлен экран из X18H9T. Амплитуда γ -сигналов, отнормированная с учетом их длительностей, пропорциональна количеству электронов в кольце в момент включения устройства сброса (до $t \approx 30$ мкс).

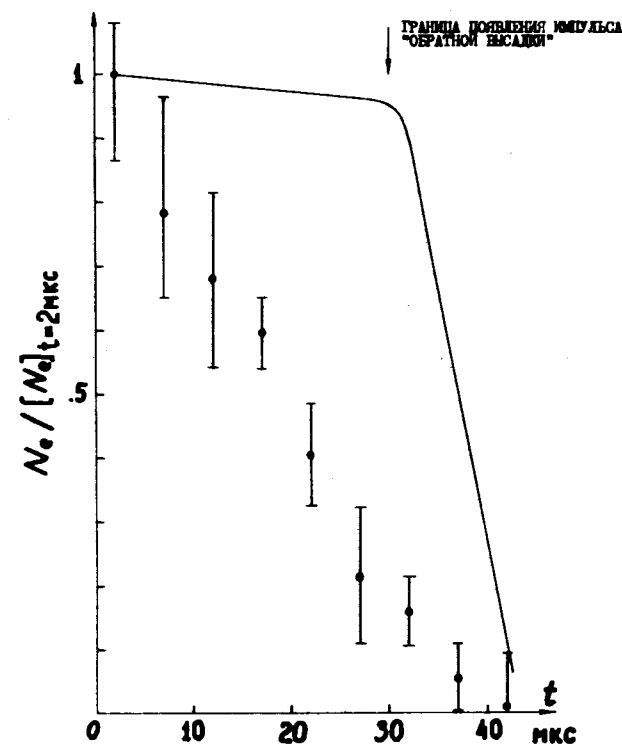


Рис. 7. Зависимость сброшенного числа частиц от времени: точки - в присутствии медного экрана, кривая - экран из нержавеющей стали.

Кроме потерь в первые 30 мкс наблюдались потери и в более поздние времена. На рис. 8а показана типичная осциллограмма сигнала с ФЭУ, на которой кроме импульса высадки на флажок ($t = 390-460$ мкс) присутствуют дополнительные импульсы, свидетельствующие о потере электронов. Времена потерь: $60 \div 100$ мкс, $160 \div 200$ мкс, $230 \div 250$ мкс после инжекции.

Расчетная n -траектория для данного режима показана на рис. 8б. Реальная n -траектория, как это следует из магнитных измерений ^{3/}, проходит на 10-30% выше расчетной. Электронное кольцо при сжатии должно было пересекать параметрический резонанс $2\nu_z = 1$ ($n = 0,25$) и разностный резонанс $2\nu_z - \nu_r = 0$ ($n = 0,2$), с которыми и связаны первые 2 импульса потерь.

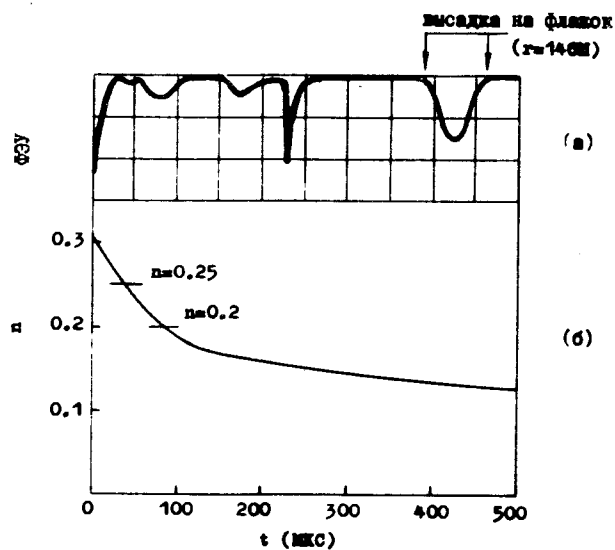


Рис. 8. Потери электронов при сжатии двумя ступенями - (а), (б) - расчетная n -траектория.

Третий пик связан с потерями электронов в районе $r = 20$ см, которые вызваны увеличением z -размера кольца за счет сил изображения, имеющих в этом месте максимальный градиент ^{4/}.

Измерение заряда кольца, высаживающегося на флажок до и после прохождения резонансов, показало, что несмотря на сравнительно большие амплитуды y -сигналов, величина потерь не превышала измерений (~20%). Однако, чтобы избежать увеличения аксиального размера сечения в параметрическом резонансе, n -траектория была скорректирована. Коррекция была проведена сближением катушек I ступени и выбором времен включения и напряжений II-IV ступеней.

На рис. 9,10 приведены расчетная n -траектория и осциллограммы сигнала с ФЭУ и токов во II, III и IV ступенях в рабочем режиме.

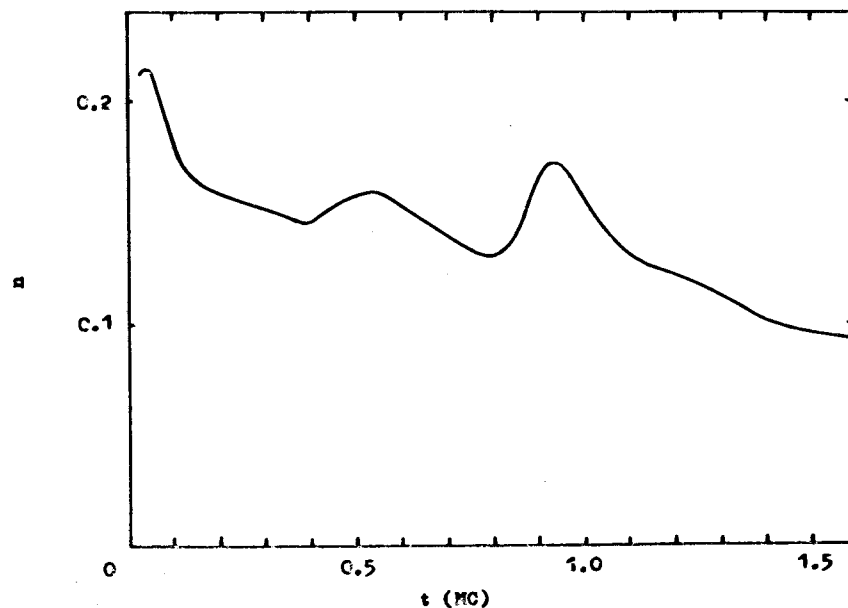


Рис. 9. Скорректированная n -траектория.

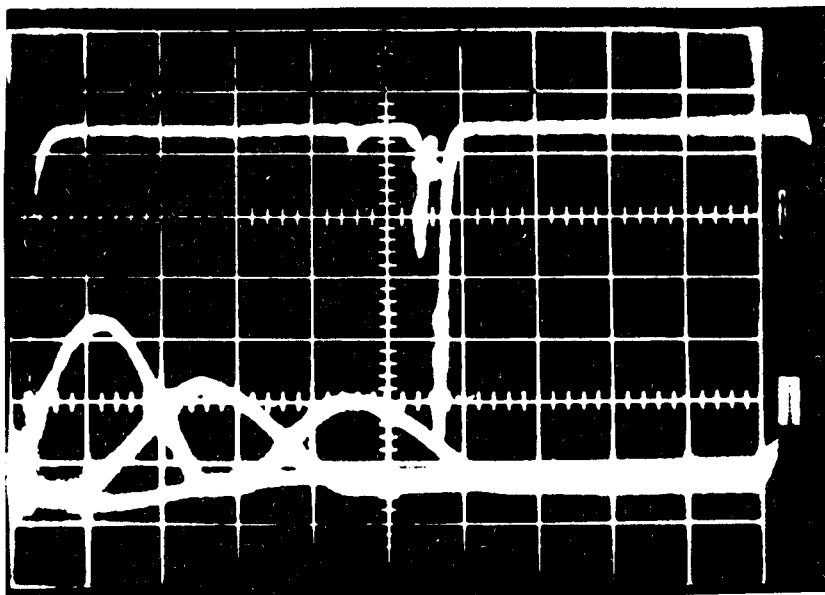


Рис. 10. Сигнал с ФЭУ (верхний луч) и импульсы токов во II-IV ступенях. Скорость развертки 500 мкс/дел.

5. Заключение

В результате устранения азимутальных неоднородностей магнитного поля и коррекции параметров магнитной системы адгезатор прототипа КУТИ обеспечивает захват $\geq 10^{13}$ электронов^{/1/} и формирование электронных колец с параметрами в конце сжатия: $r = 4$ см, $a_r \approx a_z = 2 \div 3$ мм, пригодными для целей коллективного ускорения ионов.

Литература

1. В.П.Саранцев и др. ОИЯИ, Р9-10053, Дубна, 1976.
2. Л.С.Барабаш и др. ОИЯИ, Р9-7697, Дубна, 1974.
3. В.С.Александров и др. ОИЯИ, Р9-8753, Дубна, 1975.
4. В.С.Александров, Ю.И.Алексахин, Н.Ю.Казаринов, В.Г.Новиков, Э.А.Перельштейн, Б.Г.Шинов. ОИЯИ, Р9-9215, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 августа 1976 года.