

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

препринт

Э.И.Зинин, Л.С.Коробейников, Г.Н.Кулипанов,
Б.Л.Лазаренко, Ю.Г.Матвеев, С.Г.Попов,
А.Н.Скринский, Т.П.Стародубцева, Г.М.Тумайкин

**Система управления и контроля параметров
электронных пучков в
электрон-электронном накопителе ВЭП-1**

НОВОСИБИРСК 1965

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

Э.И.Зинин, Л.С.Коробейников, Г.Н.Кулипанов,
Б.Л.Лазаренко, Д.Г.Матвеев, С.Г.Попов,
А.Н.Скринский, Т.П.Стародубцева, Г.М.Тумайкин

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ
ПУЧКОВ В ЭЛЕКТРОН-ЭЛЕКТРОННОМ НАКОПИТЕЛЕ ВЭП-1

(Доклад, представленный на Международную конференцию
по ускорителям. Италия. Фраскати).

Новосибирск,
1965 г.

А Н Н О Т А Ц И Я

Приводится краткое описание системы управления параметрами электронных пучков в электрон-электронном накопителе ВЭП-I; описываются применяемые методы наблюдения и контроля параметров пучков.

Возможность проведения физических экспериментов в установке со встречными пучками в значительной степени зависит от точности управления и измерения основных параметров накопленных пучков. Ниже приводится описание основных систем, применяемых на различных этапах наладки и физических исследований комплекса ВЭП-1 /1/.

I. Для изучения процесса захвата и накопления частиц необходимо знать величину впускаемого тока, угловую расходимость и поперечные размеры пучка, его энергии и энергетический разброс, положение и угол на выходе из электроннооптического канала.

Количество впускаемых частиц с точностью 30% определялось непосредственным измерением заряда, попавшего на свинцовый пробник. При числе частиц в импульсе 10^{10} с помощью таких пробников легко проверяется правильность фазирования системы впуск-выпуск и измеряется длительность сгустка. Такие пробники вводятся в апертуру электронно-оптического канала и накопителя в тонкостенных вакуумноплотных металлических трубках. В них же можно помещать фотопленки для точного измерения формы и распределения плотности по поперечному сечению пучка. Для быстрого контроля и подстройки применяются дистанционно-управляемые многоламельные свинцовые пробники с одновременной регистрацией в каждом импульсе заряда, попавшего на отдельную дольку. Такие пробники расположены на входе в накопительную дорожку и через половину длины волны радиальных бетатронных колебаний для контроля соответствия энергии электронов магнитному полю накопительной дорожки.

Наблюдение за первыми оборотами захваченного тока ведется по регистрации синхротронного излучения фотоумножителем с временем разрешения лучше 9 нсек (время одного оборота). Диафрагмиро-

вание апертуры позволяет измерять остаточные амплитуды бетатронных колебаний захваченного пучка.

Измерение величин захваченного и накопленного токов производилось в основном также по регистрации синхротронного излучения фотоумножителем. Калибровка сигнала проводилась по одному электроду при энергии 100 Мэв. Необходимая величина перекрытия диапазонов 10^{10} - 10^{11} достигается комбинированным применением оптического ослабителя, делением выходного сигнала с фотоумножителя и изменением его чувствительности. Точность измерения тока $\sim 10\%$.

Для измерения накопленного тока применяются и электростатические пикап-электроды, основным достоинством которых является независимость величины сигнала от энергии частиц.

П. Для точной настройки места встречи пучков необходимо регулировать положение равновесных орбит обеих дорожек и взаимное фазовое положение сгустков с точностью значительно лучшей их естественных размеров $/I/$.

Управление радиальным положением орбит осуществляется:

а) регулированием радиусов равновесных орбит можно менять взаимное положение пучков в месте встречи на ± 4 мм. Изменение частоты ускоряющего напряжения в этом диапазоне производится без перестройки усилителя в.ч. мощности;

б) созданием азимутальных искажений магнитного поля дополнительными витками (рис.1). Один из витков воздействует на оба пучка, меняя их относительное положение на ± 4 мм, другой сдвигает орбиту верхней дорожки. Комбинируя токи в обоих витках можно выставить точку соприкосновения орбит по центру щели для рассеянных электронов. Включение магнитной системы и корректирующих

витков по одному и тому же циклу позволяет сохранять взаимное радиальное положение пучков с точностью 0,3 мм.

Для управления аксиальным положением орбит используются медные пластины, укрепленные на полюсах магнитов, через которые пропускается ток (рис.2); они позволяют сдвигать равновесную орбиту на ± 2 мм в каждой дорожке при энергии 100 Мэв и осуществлять пересечение пучков под углом 10^{-2} радиана. Взаимное положение орбит воспроизводится с точностью 0,1 мм.

Контроль положения орбит в месте встречи ведется оптической системой с телевизором (рис.3) с точностью 0,5 мм и более точно дистанционно-управляемой диафрагмой, расположенной в месте встречи. Критерием пересечения пучков служит одновременность гибели их при движении диафрагмы; взаимное положение пучков при этом выставляется с точностью 0,1 мм. Аналогичные диафрагмы, расположенные на других азимутах, позволяют контролировать положение равновесных орбит с точностью 1 мм.

Дополнительно проводилась корректировка орбит на азимутах, где установлены счетчики под малыми углами.

Если через любую пару пластин аксиальной регулировки пропускать токи разной величины, сохраняя их сумму, то не меняя аксиального положения пучков, можно регулировать частоты бетатронных колебаний. Пределы регулировок $\pm 0,12$, плавность и точность воспроизведения $5 \cdot 10^{-4}$.

Точное измерение частот (точность 10^{-4}) производится резонансной раскачкой пучка. Достаточно создать в области занятой пучком напряженности электростатического поля 10^{-2} в/см, чтобы заметить по телевизору увеличение его размеров. Высокочастотное

напряжение раскачки амплитудой около 0,2 в подается на аксиальные пластины.

При работе на второй гармонике на каждой дорожке вращается по 2 сгустка. Выравнивание числа частиц в каждой паре сгустков производится кратковременным (на десятках микросекунд) снятием высокочастотного напряжения. Потери частиц при этом практически отсутствуют. Контроль равенства числа частиц в сгустках проводится по нулю сигнала с пикап-электрода, приемник которого настроен на I-ую гармонику частоты обращения.

Относительное азимутальное положение сгустков регулируется фазосдвигающими линиями, стоящими перед оконечным каскадом усилителя мощности. Система обратной связи поддерживает разность фаз с точностью $1^{\circ} - 2^{\circ}$. Контроль и первоначальная настройка производилась с помощью оптической системы и электронно-оптического преобразователя. Преобразователь используется в режиме непрерывной круговой развертки, напряжение которой берется от тракта питания резонаторов.

III. Измерение светимости и сравнение ее с расчетной предполагает знание основных параметров встречающихся пучков.

Таковыми параметрами помимо значения накопленных токов являются их геометрические размеры.

Возможность управления размерами оказалась полезной для увеличения времени жизни и изучения эффектов встречи.

Радиальными размерами мы управляем подачей в промежутки между циклами впуска на инфлектор импульсов длительностью порядка времени оборота с регулируемой амплитудой ($U = 1 - 10$ кв) и частотой повторения ($f = 50 + 3 \cdot 10^3$ гц). При этом размер пучка меняется как $\langle a^2 \rangle^{1/2} \sim U \sqrt{f \tau_3}$, где

τ_3 - время затухания бетатронных колебаний.

Аналогично регулируется вертикальный размер. Результирующие колебания, по-видимому, некогерентны. Это подтверждается, в частности, соответствующим увеличением времени жизни пучка, обусловленным Ада-эффектом /2/.

Поперечные размеры грубо можно определять по изображению на экране телевизора. Точные измерения производятся с помощью фотоумножителя и расположенного перед ним вращающегося диска со щелью 0,2 мм, на который спроектировано увеличенное изображение наблюдаемого пучка.

Электрический импульс с фотоумножителя соответствует по форме закону распределения плотности электронов по сечению пучка в выбранном направлении (рис.4). Разрешение не хуже 0,1 мм. Хорошее представление о форме и размерах сгустка дает фотографирование пучка с последующим фотометрированием.

Фазовые размеры сгустков определяются с помощью электронно-оптического преобразователя. При фотометрировании фотографий с экрана преобразователя можно получить распределение частиц по длине сгустка (рис.5). Получено временное разрешение $3 \cdot 10^{-11}$ сек, что соответствует 1 см длины сгустка.

Регулировка фазовых размеров производится модуляцией амплитуды ускоряющего напряжения с частотой, равной удвоенной частоте радиально-фазовых колебаний. Некогерентное увеличение фазового размера получается при импульсной модуляции подаваемого напряжения.

Для контроля и изучения когерентных эффектов, как поперечных, так и радиально-фазовых, применяются электростатические пикап-электроды. Обнаружение когерентных фазовых колебаний и измерение

их амплитуд проводилось с помощью интегральных пикап-электродов, сигнал с которых после усиления подается на вход частотного детектора. Дифференциальные пикап-электроды с выделением из сигнала бетатронной или разностной частоты применяются для обнаружения когерентных бетатронных колебаний. При токах до 100 ма не было обнаружено когерентных поперечных колебаний в пределах точности наших измерений (0,1 мм).

Важным параметром накопленного пучка является время жизни, зависящее от многих параметров накопителя, величины накопленного тока и эффектов, связанных со взаимодействием пучков. Непрерывный контроль времени жизни ведется с помощью специальной электронной схемы, берущей логарифмическую производную сигнала, пропорционального току на дорожке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.И.Будкер, Е.А.Куширенко и др. "Состояние работ на электронном накопителе ВЭП-1", доклад на настоящей конференции.
2. *C. Bernardini, G. F. Corazza et al.*
Phys. Rev. Lett. 10, 407 (1963)

Подписи к рисункам

Рис.1. Схема расположения витков регулирующих радиальное положение орбит.

Рис.2. Схема расположения пластин, регулирующих аксиальное положение орбит.

Рис.3. Схема оптической системы

1,9) телевизионная камера

2) диск со щелью

3) фотоумножитель

4,8) разделительное зеркало

5,7,11,15) линзы

6) электроннооптический преобразователь

10,16) зеркало

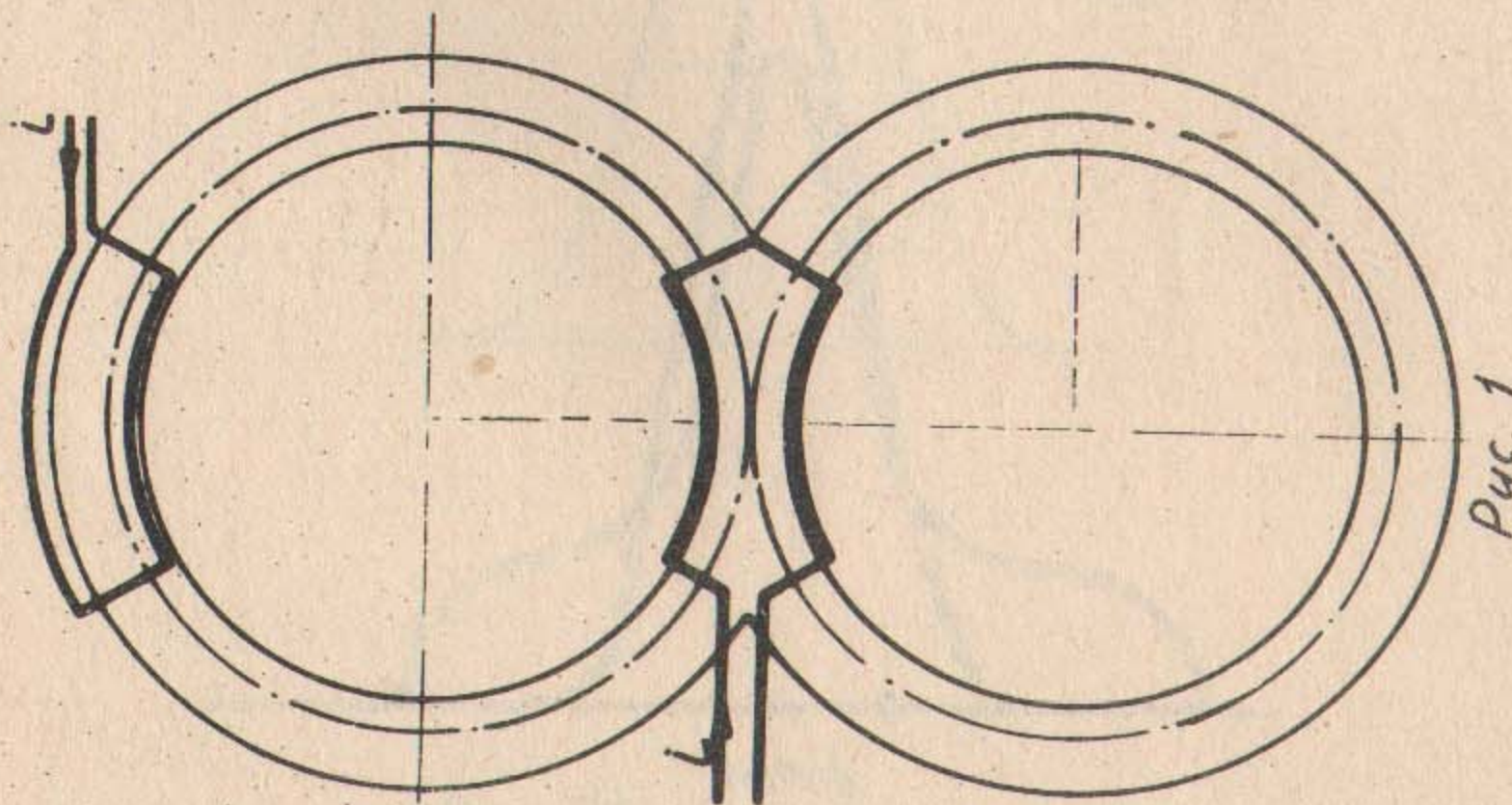
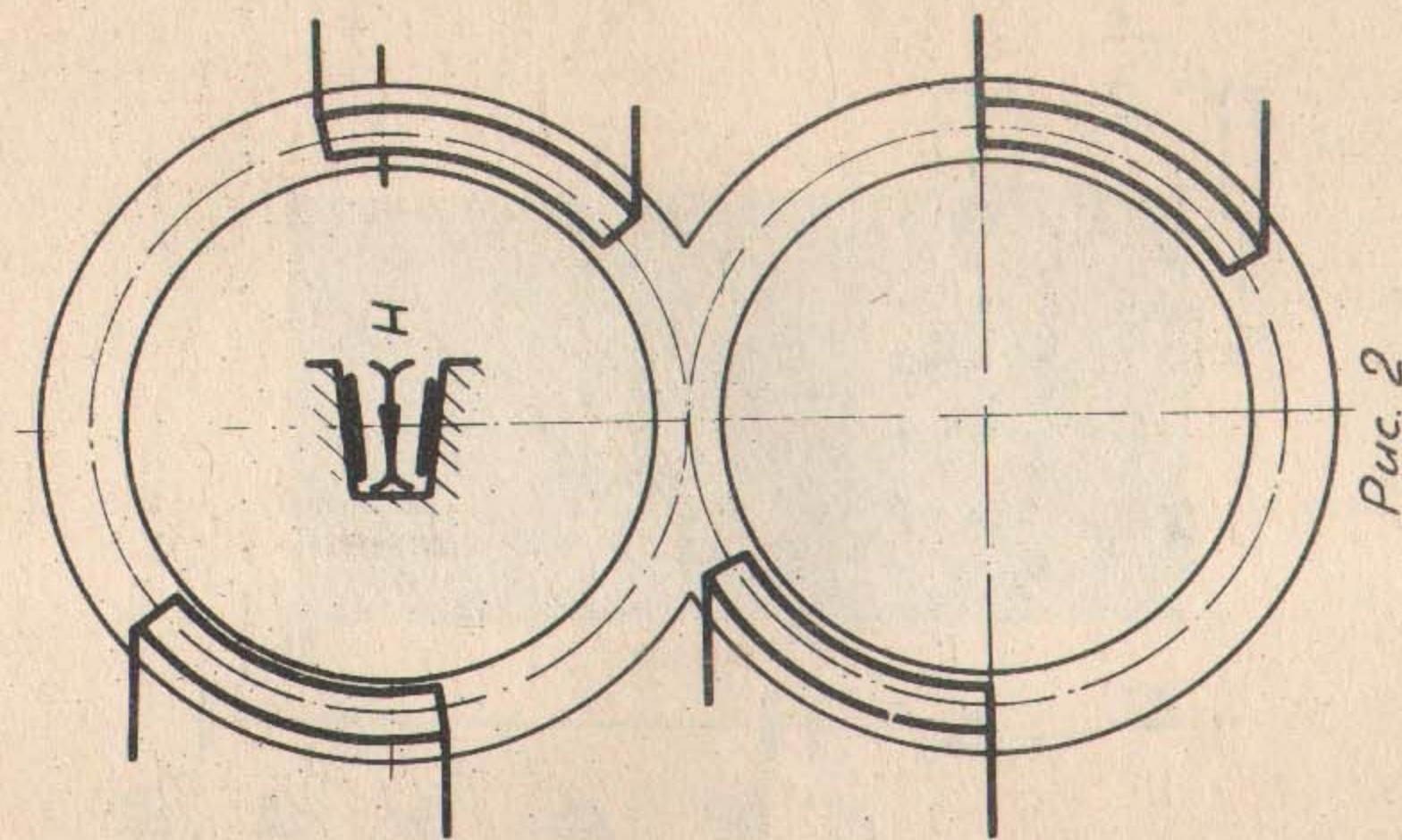
12,14) окно

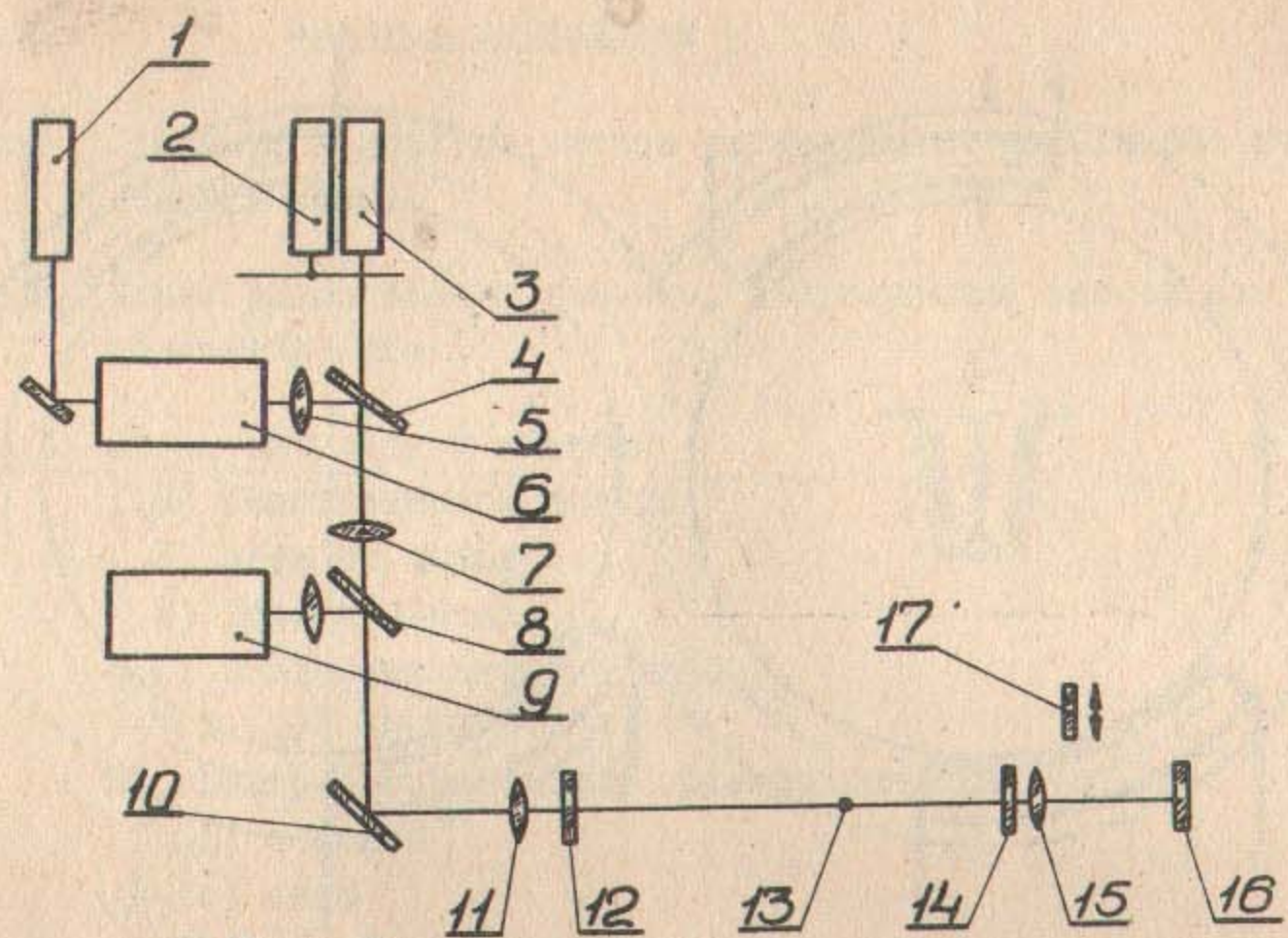
13) область взаимодействия

17) подвижное зеркало

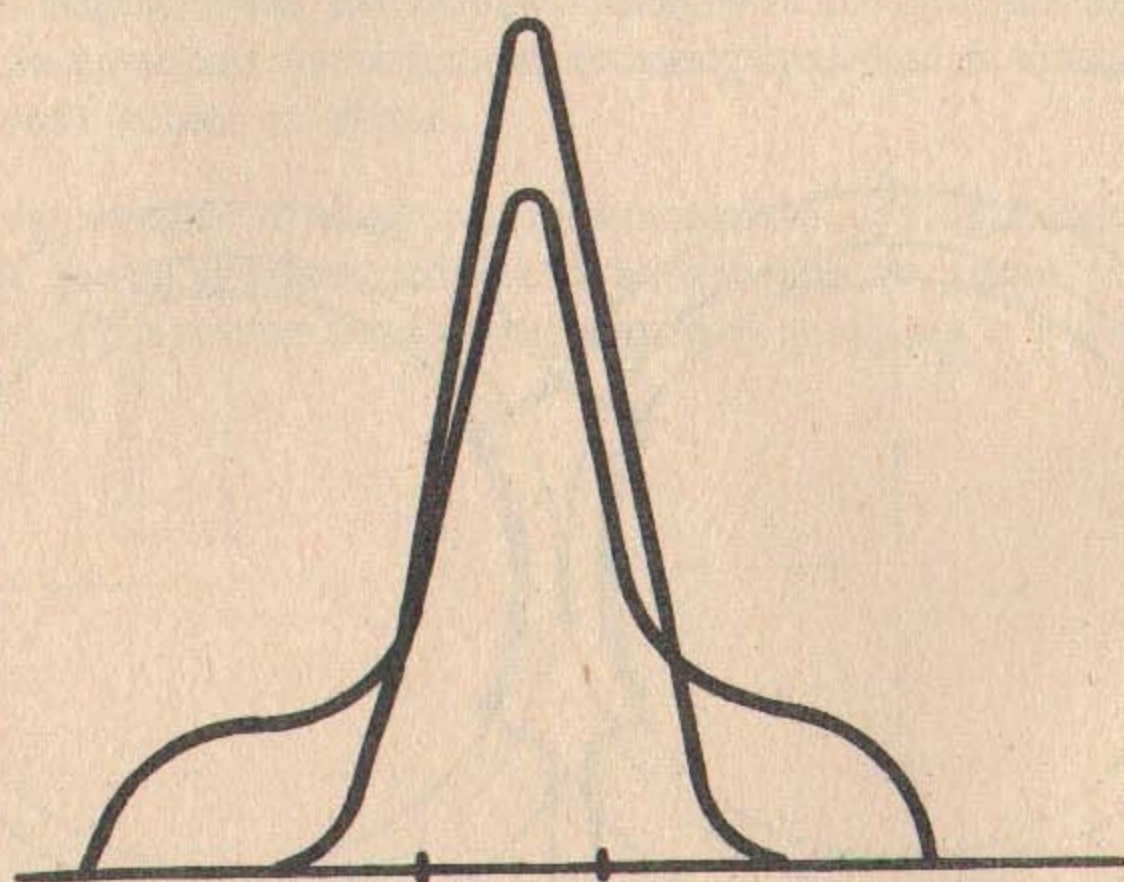
Рис.4. Распределение плотности электронов по сечению пучка, измеренного посредством детеметрирования и вращающегося диска со щелью.

Рис.5. Фотография с электронно-оптического преобразователя и распределение плотности электронов по длине сгустка (результат фотометрирования фотографии с ЭОПа).

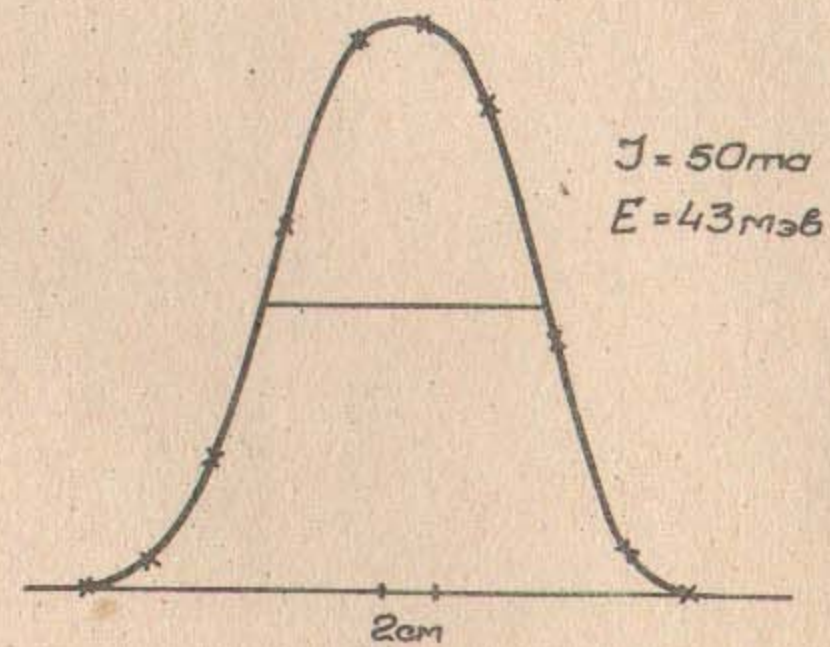
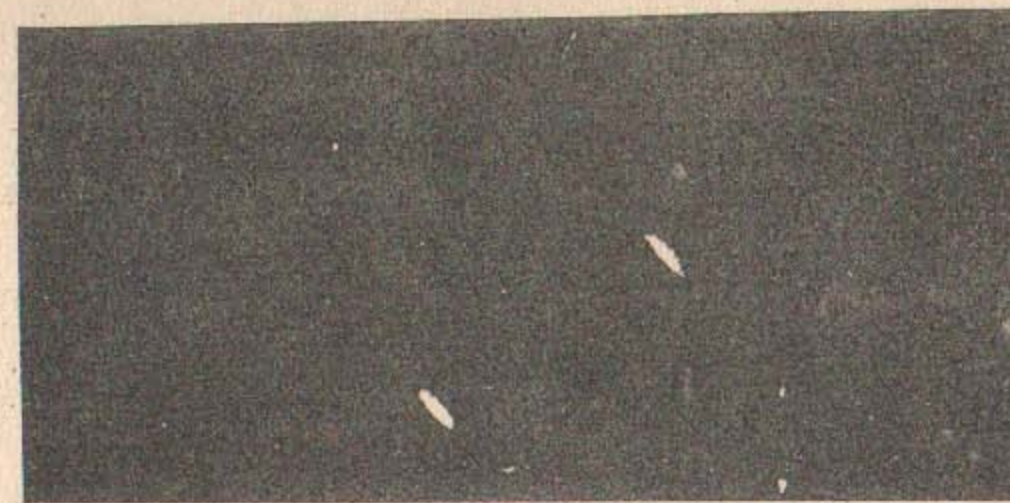




Puc. 3.



1mm Puc. 4.



Puc. 5

Ответственный за выпуск В.Л.Ауслендер

Отпечатано на роталпринте в Институте
ядерной физики СО АН СССР, тираж 200 экз.