

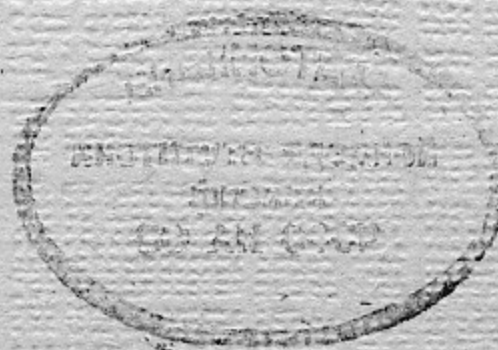
590  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

---

препринт

Г.И.Будкер, Е.А.Кушниренко, А.А.Наумов,  
А.П.Онучин, С.Г.Попов, В.А.Сидоров,  
А.Н.Скринский, Г.М.Тумайкин

## Состояние работ на электронном накопителе ВЭП-1



НОВОСИБИРСК 1965

На прошлой конференции по ускорителям в 1963 г. мы сообщили /1/ о сооружении установки ВЭП-1, предназначенной для экспериментов по рассеянию электронов на электронах до энергии  $2 \times 130$  Мэв. К тому времени на этой установке были проведены первые опыты по накоплению электронов на одну дорожку. В работе, проделанной за последние 2 года, можно выделить следующие основные этапы: накопление электронов одновременно на две дорожки, изучение некоторых эффектов взаимодействия двух пучков /2/ и измерение светимости установки по рассеянию электронов на малый угол. В настоящее время на установке ВЭП-1 начаты эксперименты по рассеянию электронов на электронах в диапазоне углов  $40^\circ - 90^\circ$ .

### I. Установка ВЭП-1

Общая схема установки изображена на рис.1. Её основными элементами являются две спаренные высоковакуумные магнитные дорожки, специальный электронный синхротрон Б-2С, электронно-оптический канал и система однооборотного вывода пучка из ускорителя и ввода его в накопитель. Все эти элементы подробно описаны в наших докладах на прошлой конференции по ускорителям /1,3/.

Магнитные дорожки накопителя имеют радиус 43 см и апертуру  $3 \times 4 \text{ см}^2$ . Против точки касания орбит в общей части полюсов магнита сделаны щели для вывода электронов, рассеянных в месте встречи пучков. Установка расположена таким образом, что медианная плоскость накопительных колец вертикальна и одно

кольцо находится над другим.

Резонаторы накопителя работают на второй гармонике частоты обращения электронов. Кроме резонаторов и инфлекторов каждая магнитная дорожка имеет несколько механических пробников, систему оптического наблюдения пучка, пластины управления положением и поперечными размерами пучков и устройство для изменения частоты бетатронных колебаний частиц. Кроме того, специальной модуляцией высокочастотного напряжения на резонаторах можно увеличивать амплитуду радиально-фазовых колебаний. Вопросы наблюдения пучков электронов в накопителе и управления их параметрами подробнее изложены в другом докладе, представленном на эту же конференцию /4/.

Энергия инжекции электронов в накопителе 43 Мэв. В качестве инжектора используется специальный безжелезный синхротрон Б-2С со спиральным накоплением электронов /3/. Ток выведенного из синхротрона пучка в импульсе длительностью меньше 5 нсек - около 300 ма (больше  $10^{10}$  частиц). Разброс по энергии не превышает 0,2%. Частота повторения импульсов ускорения - один раз в 15 сек.

Большая часть работы с пучком в накопителе проведена на энергии инжекции. В этом случае каждый импульс инжектора использовался для добавления электронов на одну из дорожек накопителя. Работа на более высокой энергии распадается на циклы длительностью около 10 мин. Лишь половина времени цикла идет на измерения; остальное тратится на накопление электронов и изменение напряженности магнитного поля на дорожках.

## 2. Накопление электронов

Несмотря на то, что одним импульсом удавалось инжектировать в накопитель ток свыше 100 ма, средний импульс инъекции не превышает 10 ма. Стабильность режима инъекции оставляет желать лучшего. Максимальный ток на любой из дорожек накопителя доводился до 200 ма. Ограничения наступают из-за неустойчивости во взаимодействии пучка с резонатором /5/.

На рис.2 приведены результаты измерений времени жизни электронов в накопителе в зависимости от величины тока пучка при энергии 43 Мэв.

Рис.3 дает представление о поперечных размерах пучка при энергии 43 Мэв и их зависимости от величины накопленного тока. Измерения выполнены при помощи фотоумножителя и расположенной перед ним быстро двигающейся диафрагмы, на которую спроектировано изображение наблюдаемого пучка. Эти результаты находятся в согласии с оценками ухудшения вакуума в пучке за счет компенсации этого заряда ионами остаточного газа.

Радиальный размер пучка больше аксиального за счет вклада радиально-фазовых колебаний. Их амплитуда тоже растет с увеличением тока пучка, что видно из рис.4, показывающего зависимость азимутальных размеров ступка от величины тока пучка. Измерения проведены с разрешающей способностью около 1 см при помощи электронно-оптического преобразователя. Интересно отметить, что искусственное увеличение поперечных размеров пучка

приводит к уменьшению фазовых размеров сгустка.

При увеличении энергии электронов поперечные размеры пучка уменьшаются, в наших условиях это приводит к увеличению роли Ада-эффекта и резкому сокращению времени жизни пучка. Ситуацию спасает искусственное увеличение радиального размера пучка.

### 3. Измерение светимости

Окончательная настройка установки и контроль за эффективностью процесса встречи проводится по регистрации электрон-электронного рассеяния на малые углы. Большое сечение этого процесса позволяет без существенных затрат времени находить оптимальные условия работы, варьируя многочисленные параметры установки.

Геометрия эксперимента представлена на рис. 5. Каждая магнитная дорожка накопителя имеет два сцинтилляционных счетчика, расположенных на расстоянии четверти бетатронного колебания от места встречи по ходу пучка. Счетчики включены попарно в две схемы совпадений с эффективным временем разрешения  $2\tau = 4,5$  нсек (расстояние между двумя сгустками на орбите).

Система счетчиков регистрирует пары электронов, претерпевших рассеяние на угол около  $1,5^\circ$ . Эффективное сечение рассеяния, интегрированное по углу, охватываемому двумя парами счетчиков, составляет  $\frac{200}{8^2}$  барн, что соответствует 30 мбарн для энергии электронов 43 Мэв. Работа ведется при уровне фона (случайные совпадения) сравнимом с величиной измеряемого эффекта. Измерение фона ведется параллельными схемами совпадений с задержкой в одном из плеч.

Мерой эффективности процесса встречи может служить число отсчетов такой системы, нормированное на интеграл произведения токов двух пучков за время измерений. Удобной единицей измерения этого интеграла оказался кулам (сокращенное от кулон-ампер). За час работы установка может дать до 3 куламов. Средний ток на каждой дорожке около 30 ма. Работа с большими токами нерациональна из-за резкого усиления "эффектов встречи" /2/.

На рис.6 приведены результаты измерения эффективности встречи в зависимости от смещения пучков в радиальном и аксиальном направлениях, а также от разведения сгустков по фазе, форма кривых хорошо согласуется с данными о размерах сгустка. Абсолютная величина счета в несколько раз меньше ожидаемой. Расхождение, по-видимому, можно отнести за счет неточности геометрических условий эксперимента. Предположение о когерентных колебаниях специального вида, снижающих эффективность встречи, противоречит данным по влиянию поперечных размеров пучка на эффективность встречи. Вне зависимости от того вызывается ли увеличение поперечных размеров искусственным возбуждением бетатронных колебаний или "эффектами встречи" /2/, наблюдаемое при этом уменьшение скорости счета хорошо согласуется с вычислениями, сделанными для чисто некогерентных" размеров.

Величина светимости, определяемой как частное от деления наблюдаемой скорости счета на эффективное сечение процесса, составляет по порядку величины  $10^{27}$  см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup>.

Эта величина не противоречит первым результатам экспериментов по двойному тормозному излучению, наблюдаемому при рассеянии электронов на электронах.

#### 4. Первые эксперименты по электрон-электронному рассеянию.

На рис. 6 изображена схема эксперимента по измерению углового распределения рассеяния электронов на электронах в диапазоне углов  $40^{\circ}$ - $90^{\circ}$ . Регистрируемая система состоит из четырех цилиндрических искровых камер с вертикальной осью, проходящей через место встречи пучков. Объектив фотокамеры расположен на той же оси; используемая система призм имеет аксиальную симметрию. Вторая координата трека измеряется при помощи наклонных зеркал, расположенных под искровыми камерами.

Запуск искровых камер производится схемой совпадений, включенной между двумя группами по 5 сцинтилляционных счетчиков.

Телесный угол регистрирующей системы ограничивается апертурой щелей в теле магнита накопителя. Эффективное сечение мелеровского рассеяния, проинтегрированное по этому телесному углу, составляет  $\frac{100}{\gamma^2}$  мбарн.

В первых экспериментах, проведенных на энергии электронов 43 Мэв, система искровых камер срабатывала более 100 раз за кулам; при этом около 10 снимков соответствовало регистрации электрон-электронного рассеяния, что не расходится с нашими представлениями о величине светимости установки. Контрольные измерения с разведением сгустков электронов по фазе показали, что фон не превышает 10%.

## Л и т е р а т у р а

1. В.Н.Байер и др. Международная конференция по ускорителям, Дубна, 1963г, Атомиздат, стр.274.
2. Г.Н.Кулипанов "Экспериментальные данные по взаимодействию пучков при встрече", представлено на Международную конференцию по ускорителям. Фраскати, 1965г.
3. Е.А.Абрамян и др. Международная конференция по ускорителям, Дубна, 1963, Атомиздат, стр.1065.
4. Э.И.Зинин и др. "Система управления и контроля параметров электронных пучков в накопителе ВЭП-1", представлено на Международную конференцию по ускорителям. Фраскати, 1965г.
5. В.Л.Ауслендер и др. Международная конференция по ускорителям. Фраскати, 1965 г.



Подписи к рисункам

Рис.1. Общая схема установки ВЭП-1:

1 - компенсирующие магниты; 2 - магниты накопителя;  
3 - резонаторы; 4 - инфлекторы; 5 - титановый насос;  
6 - наружная вакуумная камера; 7 - квадрупольные линзы;  
8 - коммутирующий магнит; 9 - корректирующая катушка;  
10 - поворотный магнит; II - радиационный и магнитный экран;  
I2 - корректирующие магниты; I3 - инжектор - синхротрон Б-2С.

Рис.2. Зависимость времени жизни электронов от величины тока пучка; энергия 43 Мэв; напряжение на резонаторе 5 кв.

Рис.3. Зависимость радиального ( $\alpha_r$ ) и аксиального ( $\alpha_z$ ) размеров сгустка от величины тока пучка; энергия 43 Мэв.

Рис.4. Зависимость азимутального размера сгустка от величины тока пучка; энергия 43 Мэв; напряжение на резонаторе 5 кв.

Рис.5. Схема расположения счётчиков для регистрации электрон-электронного рассеяния на малые углы:  
1 - место встречи; 2 - сцинтилляторы счётчиков.

Рис.6. Зависимость эффективности встречи от разведения пучков в радиальном (а) и аксиальном (б) направлениях, а также от разведения сгустков по фазе (в). По оси ординат отложено число отсчётов на один милликулам. Измерения велись при токах около 15 ма в каждом пучке; сплошные линии - расчётные кривые; нормировка произведена в максимуме счёта.

Рис. 7. Схема расположенная регистрирующей системы:

1 - вакуумная камера; 2 - искровые камеры; 3 - призмы;  
4 - сцинтилляционные счётчики; 5 - фотокамера;  
6 - магнит верхней дорожки.

Подписи к рисункам

Рис.1. Общая схема установки ВЭП-1:

1 - компенсирующие магниты; 2 - магниты накопителя;  
3 - резонаторы; 4 - инфлекторы; 5 - титановый насос;  
6 - наружная вакуумная камера; 7 - квадрупольные линзы;  
8 - коммутирующий магнит; 9 - корректирующая катушка;  
10 - поворотный магнит; II - радиационный и магнитный экран;  
I2 - корректирующие магниты; I3 - инжектор - синхротрон Б-2С.

Рис.2. Зависимость времени жизни электронов от величины тока пучка; энергия 43 Мэв; напряжение на резонаторе 5 кв.

Рис.3. Зависимость радиального ( $\alpha_r$ ) и аксиального ( $\alpha_z$ ) размеров сгустка от величины тока пучка; энергия 43 Мэв.

Рис.4. Зависимость азимутального размера сгустка от величины тока пучка; энергия 43 Мэв; напряжение на резонаторе 5 кв.

Рис.5. Схема расположения счётчиков для регистрации электрон-электронного рассеяния на малые углы:  
1 - место встречи; 2 - сцинтилляторы счётчиков.

Рис.6. Зависимость эффективности встречи от разведения пучков в радиальном (а) и аксиальном (б) направлениях, а также от разведения сгустков по фазе (в). По оси ординат отложено число отсчётов на один милликулам. Измерения велись при токах около 15 ма в каждом пучке; сплошные линии - расчётные кривые; нормировка произведена в максимуме счёта.

Рис. 7. Схема расположенная регистрирующей системы:

1 - вакуумная камера; 2 - искровые камеры; 3 - призмы;  
4 - сцинтилляционные счётчики; 5 - фотокамера;  
6 - магнит верхней дорожки.

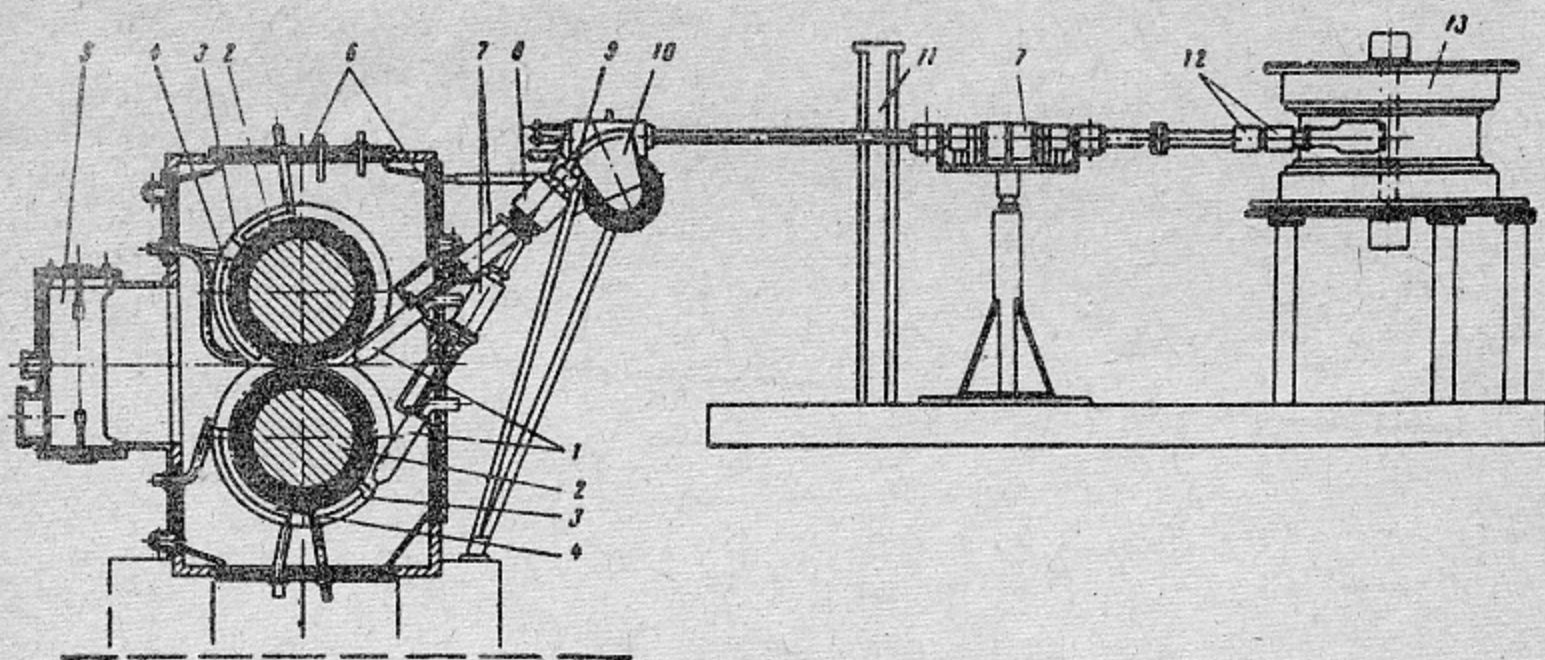


Рис 1

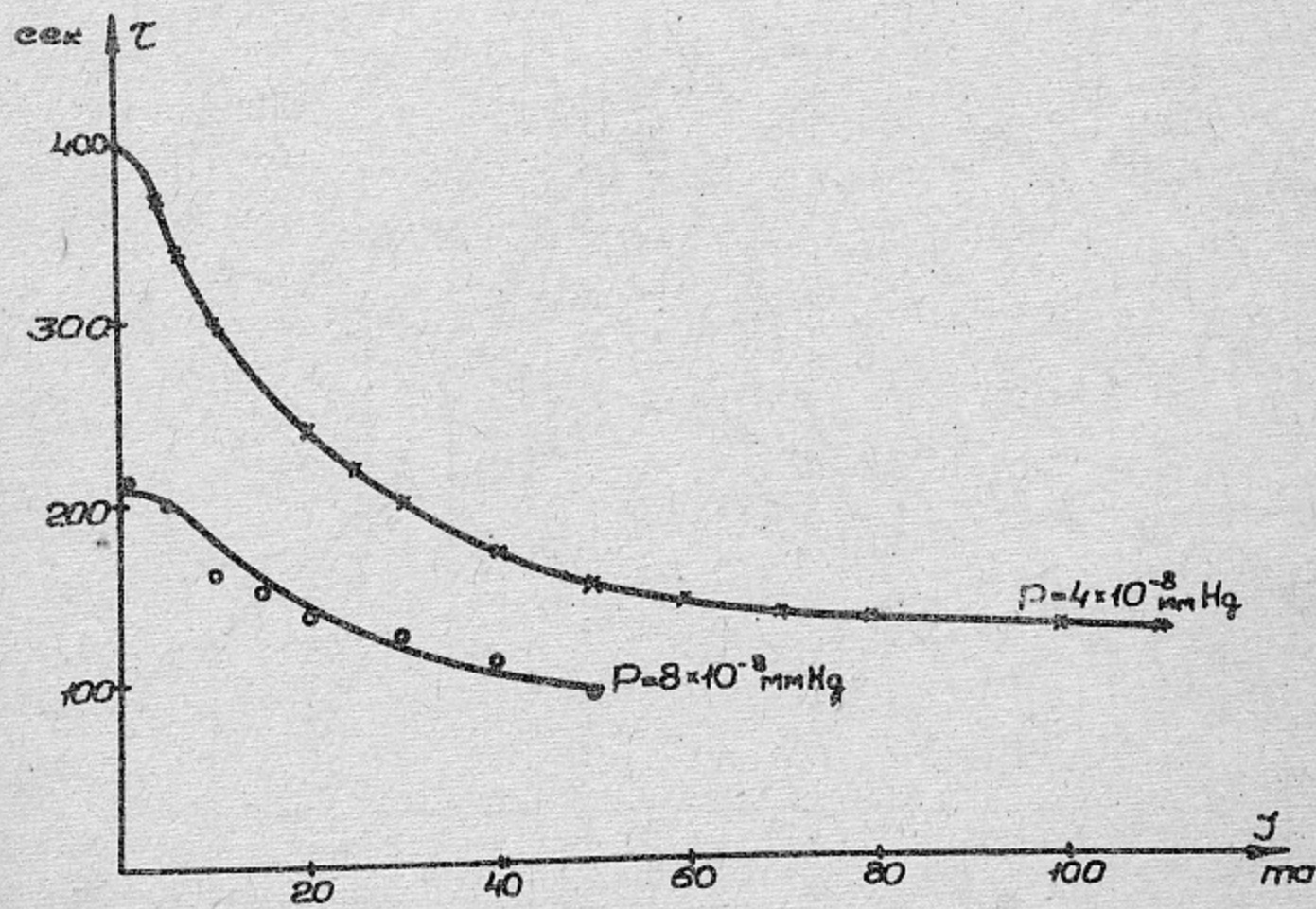


Рис. 2

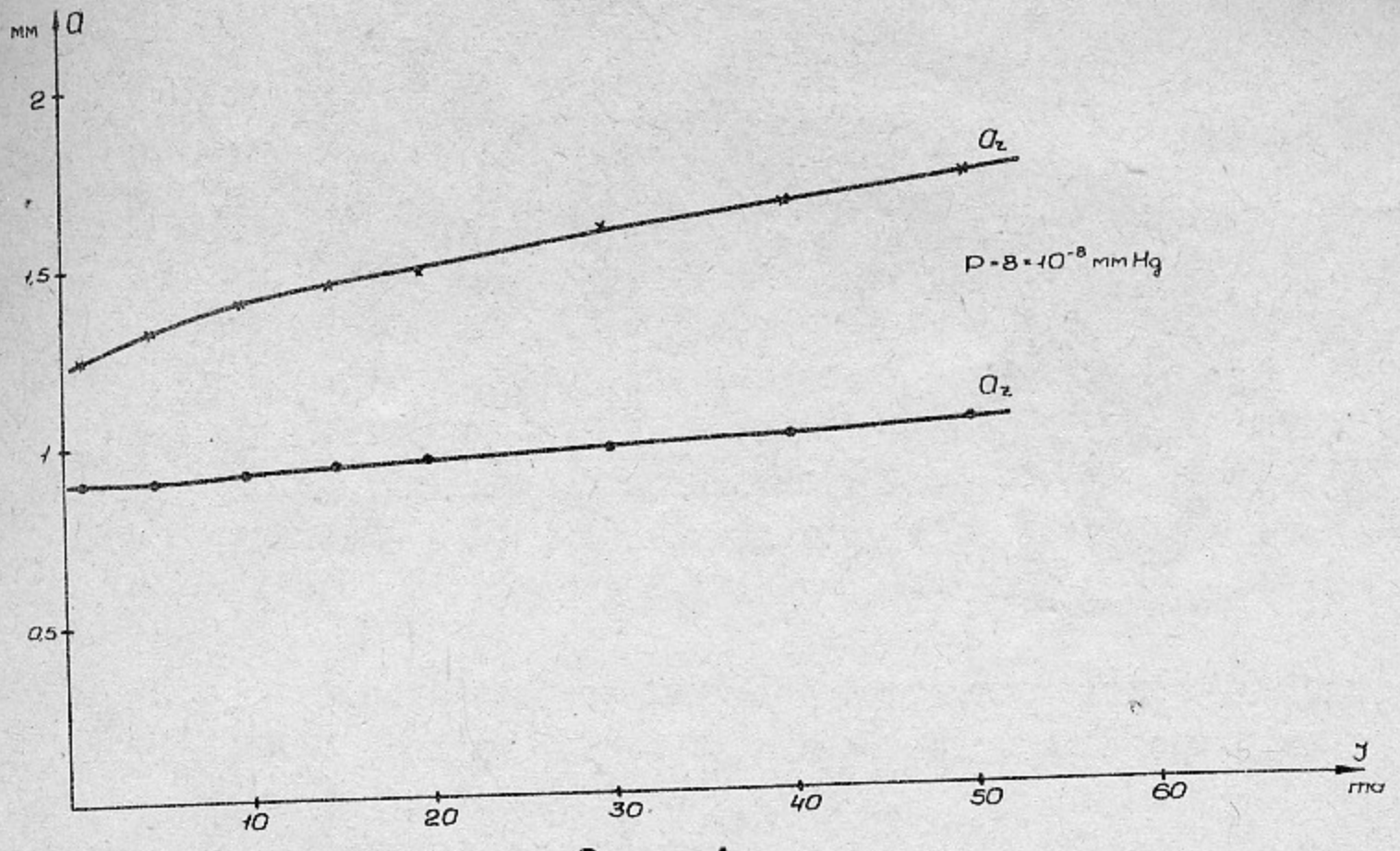


Рис 3

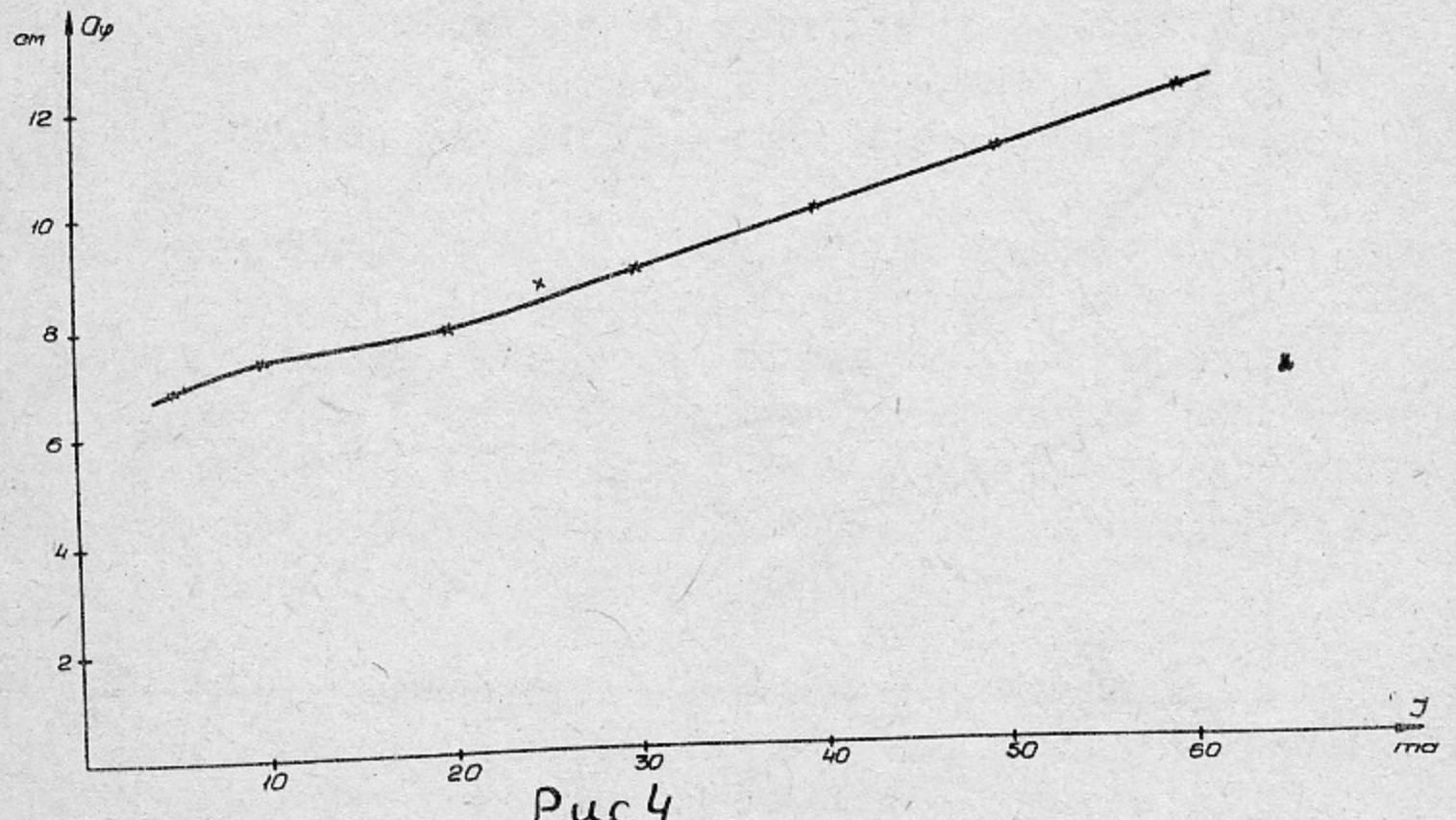


Рис 4

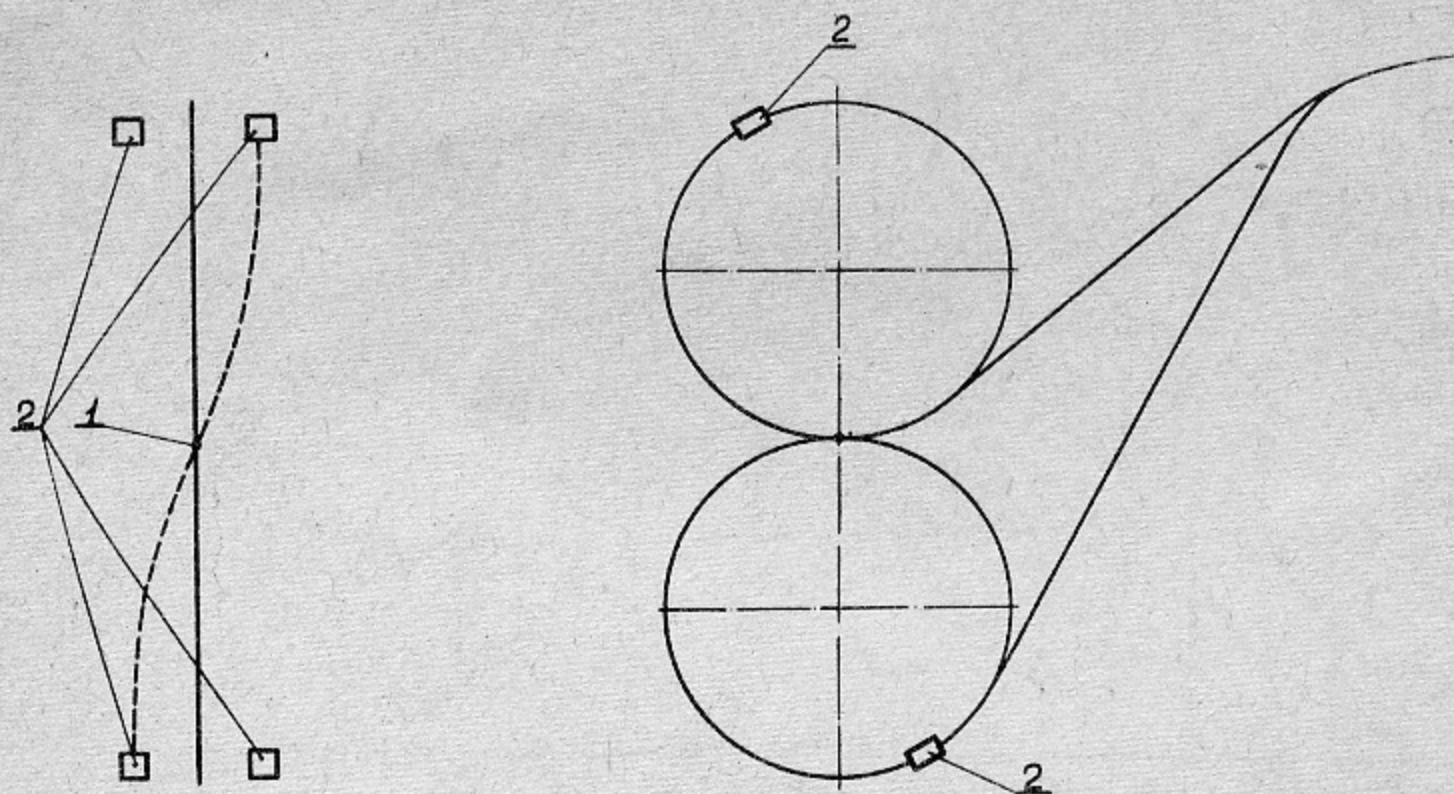


Рис 5

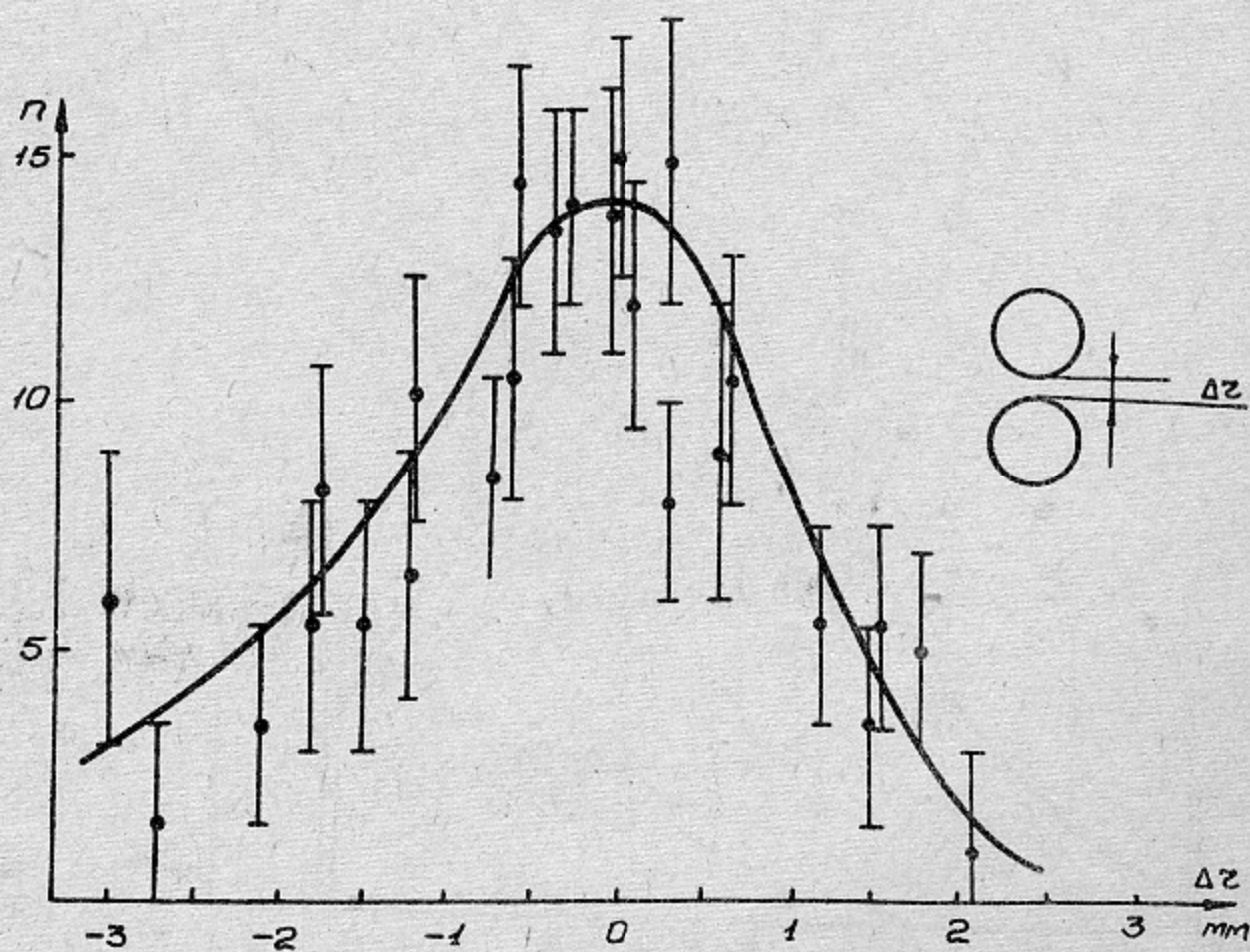


Рис 6а)

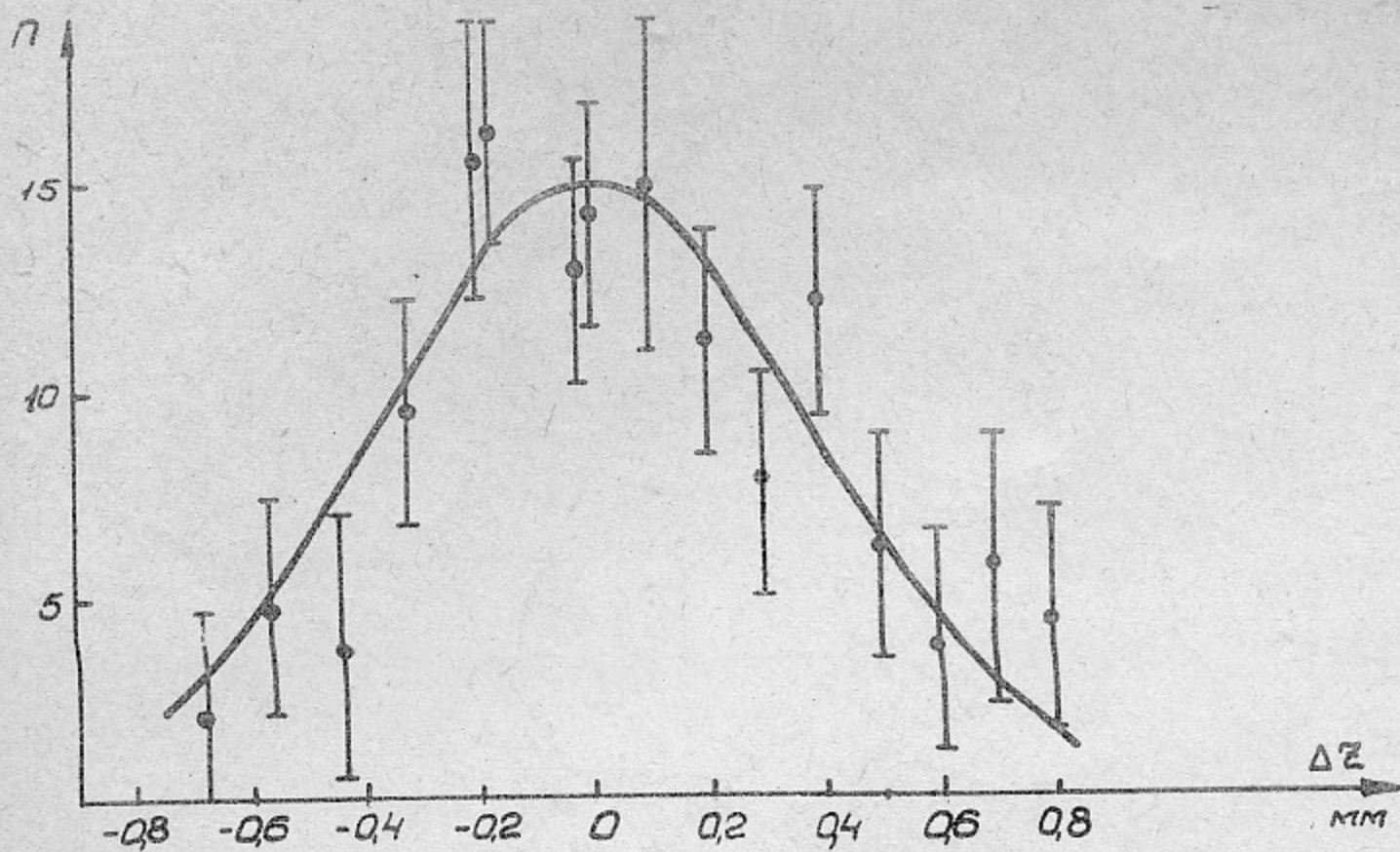


Рис. 6 а)

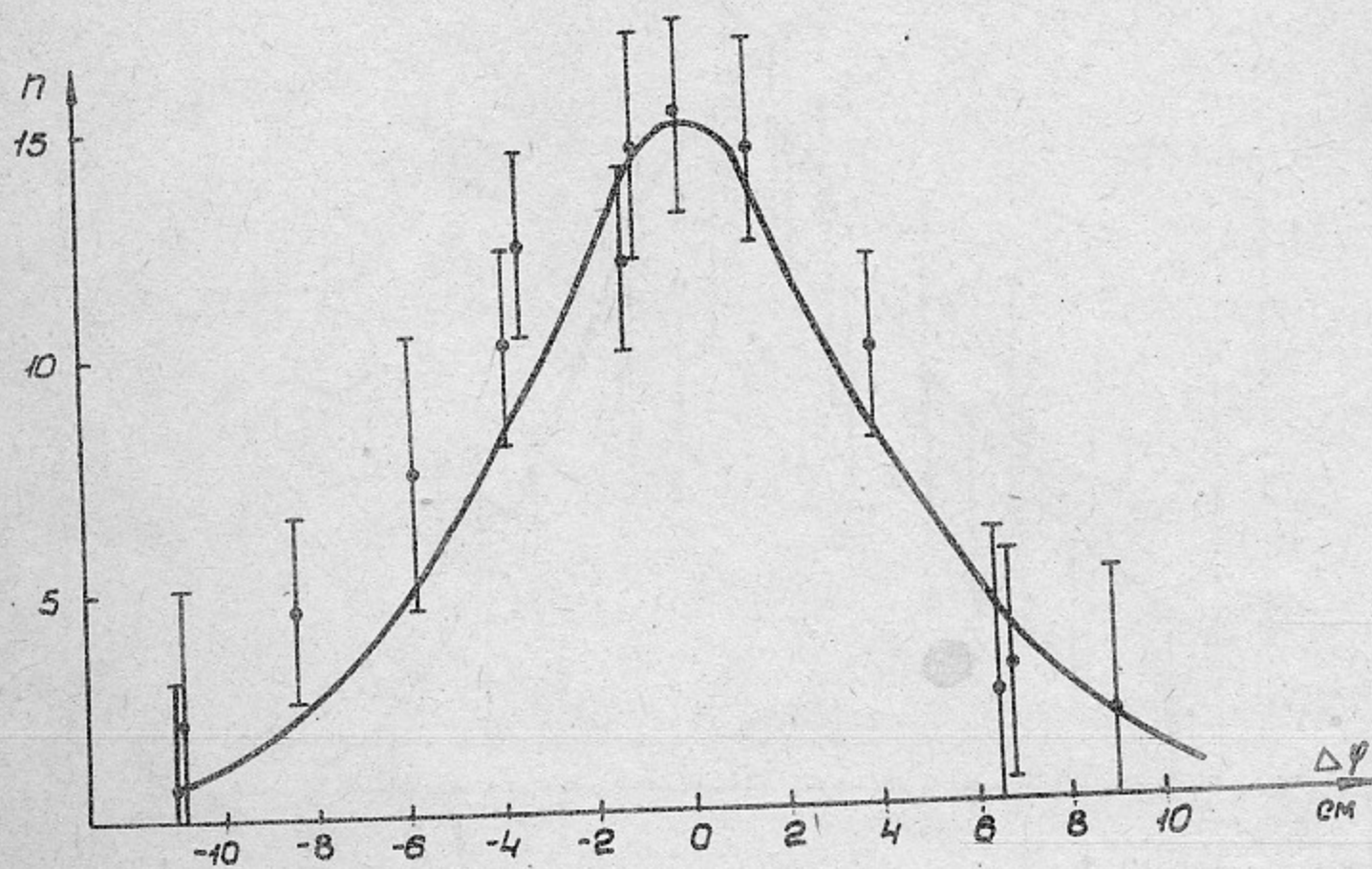


Рис. 6 б)

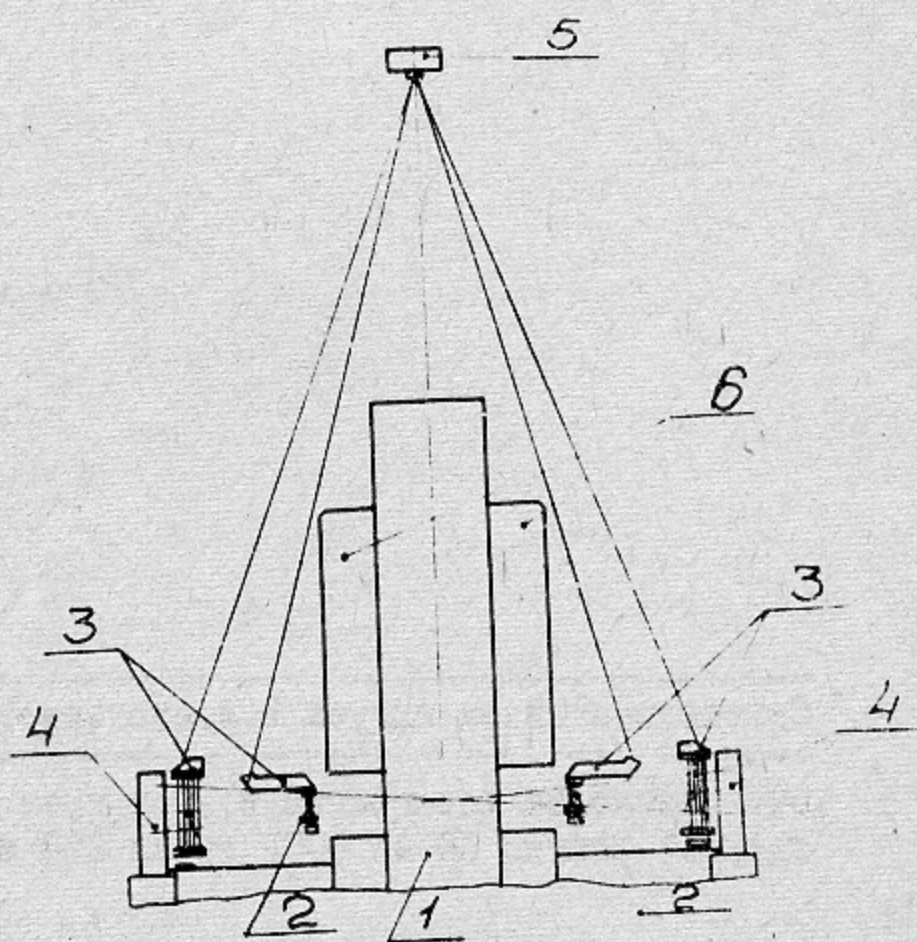
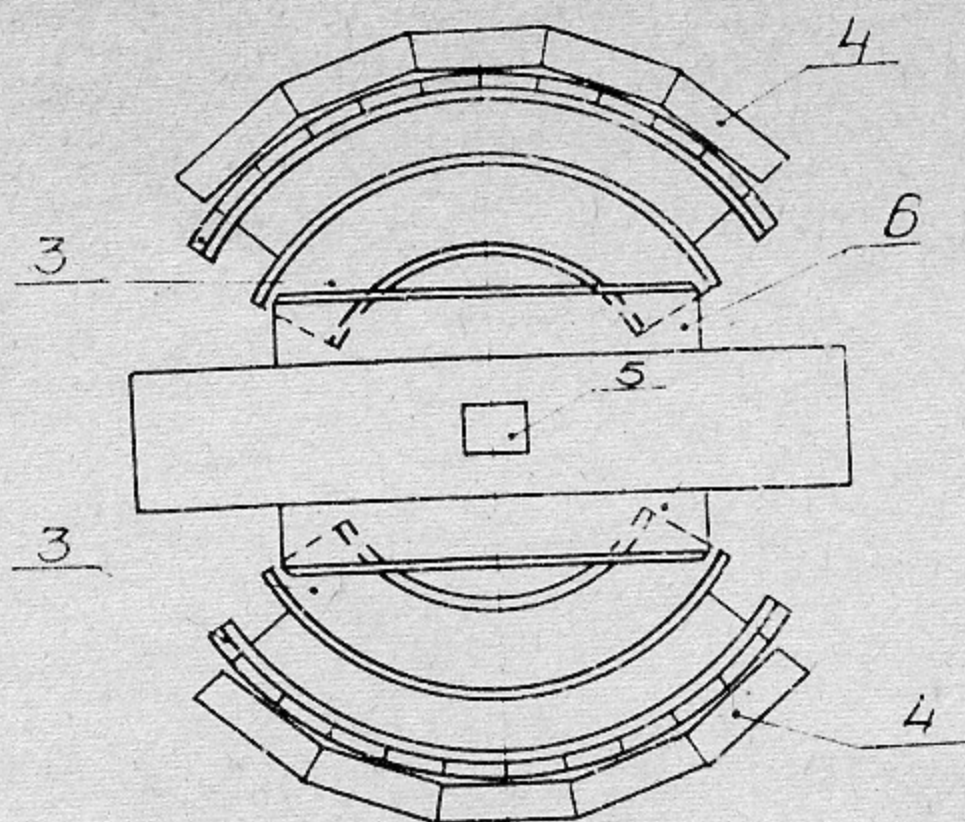


Рис 7

**Ответственный за выпуск В. Л. Ауслендер**

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