

14

# И Н С Т И Т У Т ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН С С С Р

И Я Ф 62 - 72

В.А.Гапонов, А.И.Грищенко, С.С.Жуковский,

Б.М.Корабельников

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТРУБКИ С МОЩНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ

Новосибирск

1972

Гапонов В.А., Грищенко А.И., Жуковский С.С.

Корабельников Б.М.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТРУБКИ С МОЩНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ

### А Н Н О Т А Ц И Я

В работе описана установка и первые эксперименты по исследованию электрической прочности вакуумного промежутка при наличии мощного пучка электронов.

Единичные включения проведены при напряжении до 400 кВ, приложенном в течение 1 сек, и токе до 10а в режиме рекуперации энергии.

При сбросе пучка на мишень проведены одиночные включения при напряжении до 350 кВ и токе до 6,3а в течение 0,1 - 0,2сек.

## 1. В в е д е н и е

В 1968 году в ИЯФ СО АН СССР по инициативе академика Г.И. Будкера были начаты работы по получению мегаваттных пучков электронов с энергией сотни КэВ в длительных режимах (до 10 сек. и более).

С этой целью был разработан сильноточный ускоритель ЭСУ-1 рис.1. В основу конструкции ускорителя положен 12-ти фазный выпрямитель; питаемый от 3-х фазной сети переменного тока частотой 50 гц рис.2. На рис.3 изображен трансформатор-выпрямитель ускорителя в процессе сборки, видны три сердечника магнитопровода трансформатора с первичными обмотками, секции вторичных обмоток и полки из оргстекла, на которых смонтированы диодные блоки выпрямителя. Постоянное напряжение выпрямителя вводится фидером в вакуумный объем через проходной изолятор (рис.4). Он состоит из двух секционированных изоляторов 3 и 4 (рис.4 и рис.9) с принудительным разнесением потенциалов омическими делителями. Изоляторы стянуты штангой, которая одновременно служит для ввода высокого напряжения в вакуумный объем.

Габариты изоляторов: вакуумный изолятор (керамический)

$$e = 900 \text{ мм}$$

$$D = 220 \text{ мм}$$

газовый изолятор (из оргстекла)

$$e = 400 \text{ мм}$$

$$D = 260 \text{ мм}$$

В качестве конструктивных материалов деталей, находящихся в вакууме, в основном применялась сталь 1Х18Н9Т, кольца для разнесения потенциалов на керамическом (вакуумном) изоляторе были изготовлены из дуралюминия, мишень из меди.

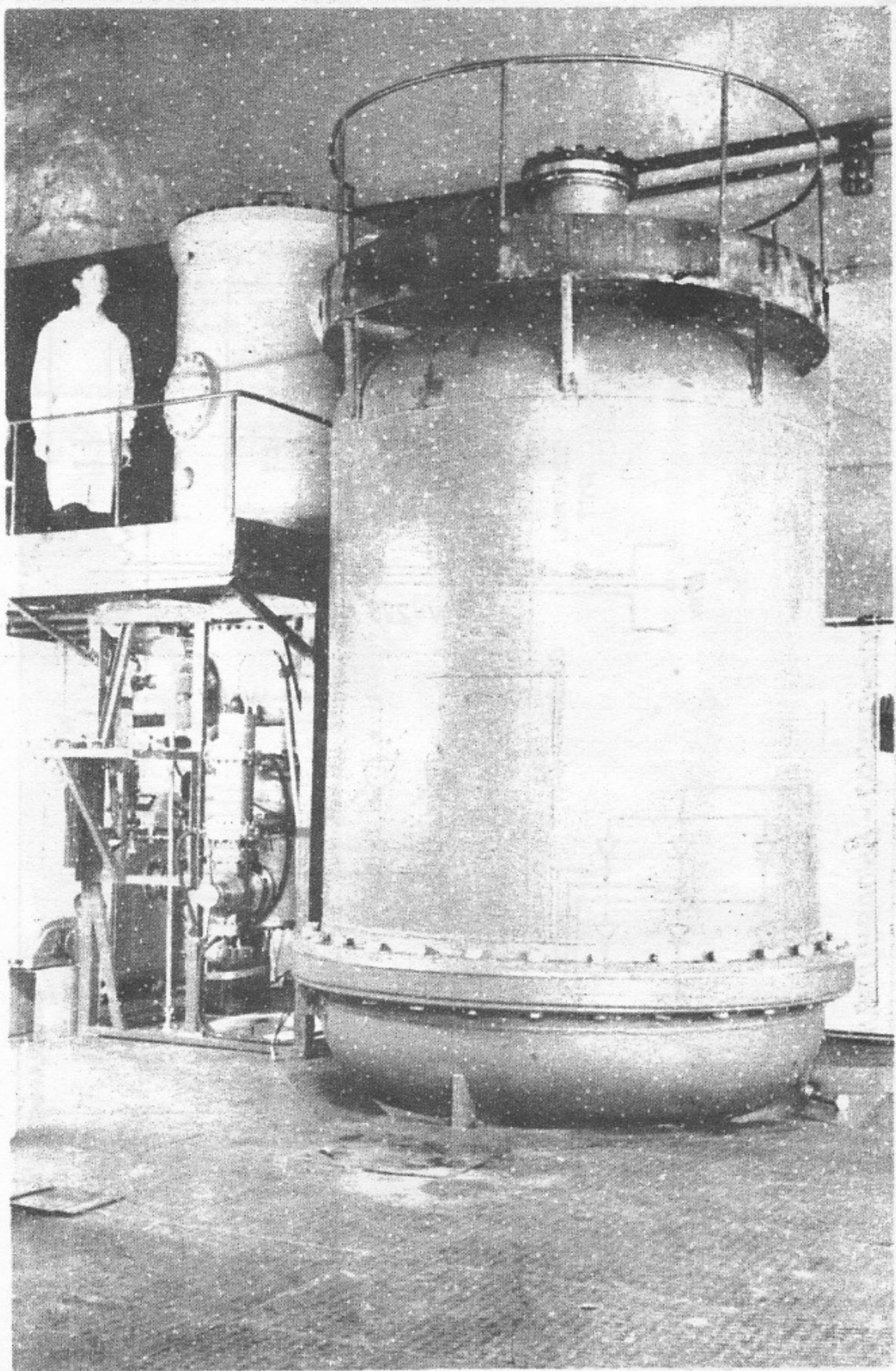


Рис.1. Общий вид установки ЭСУ-1

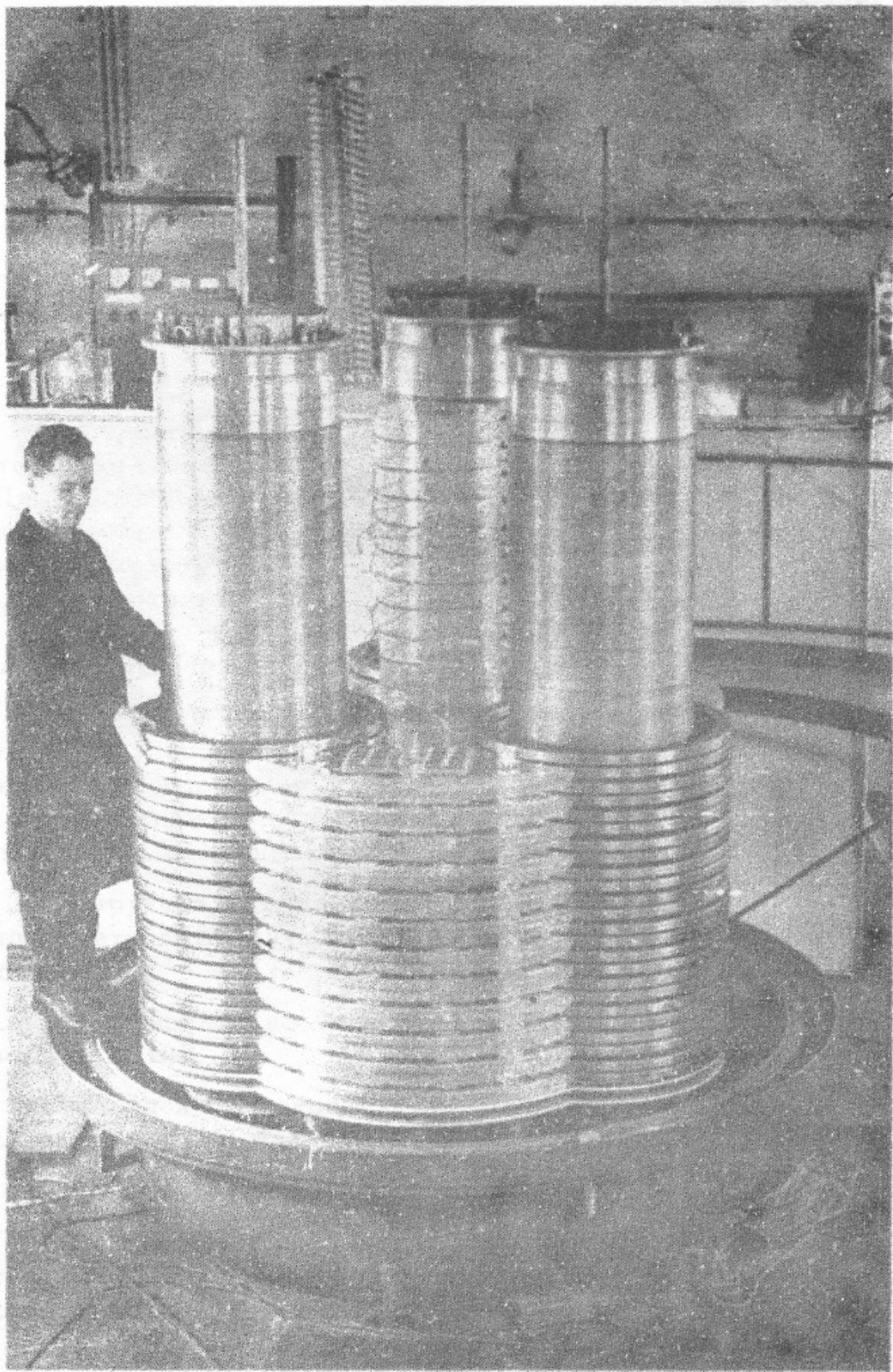


Рис. 3. Трансформатор-выпрямитель в процессе сборки

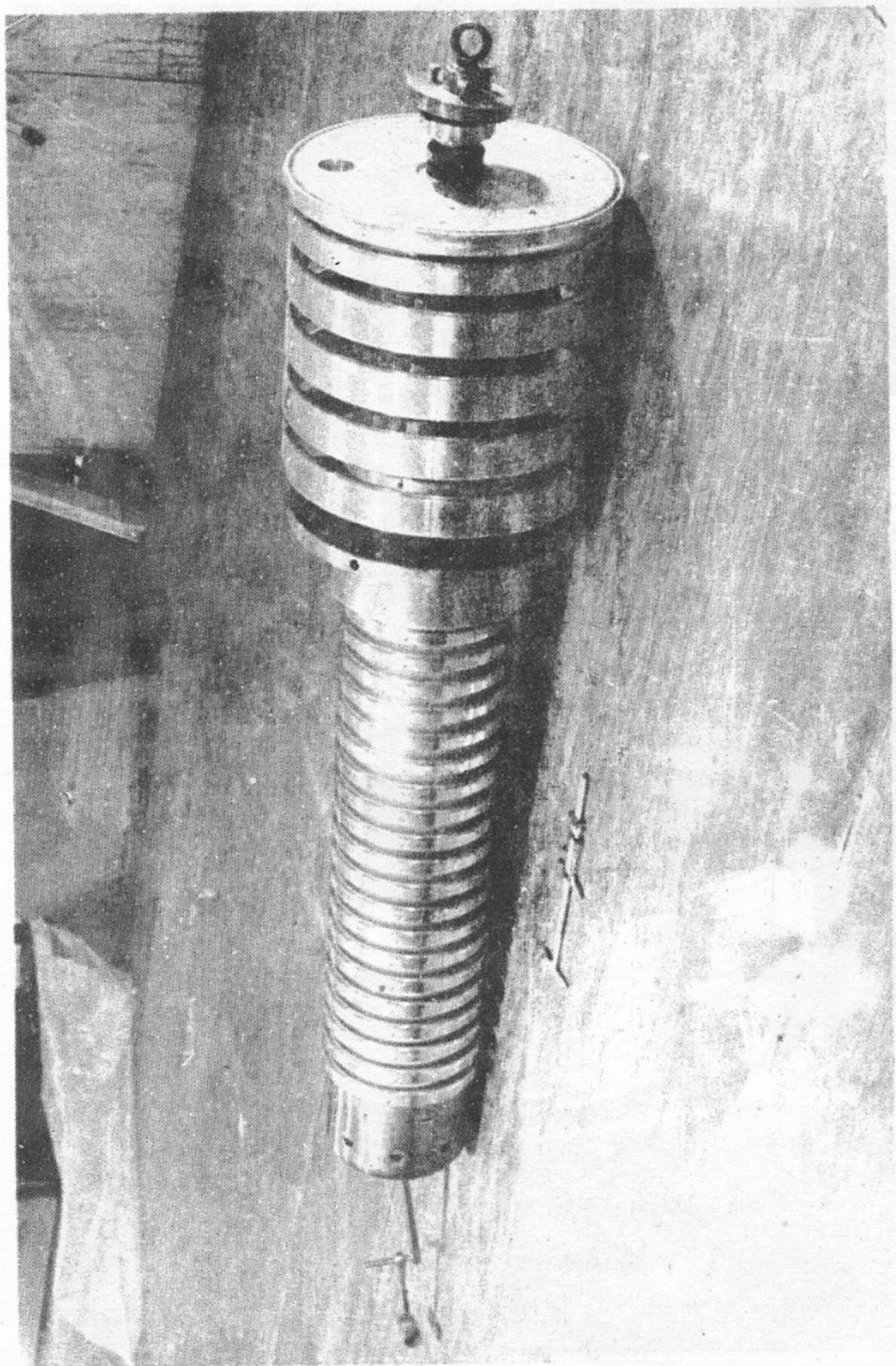


Рис.4. Проходной изолятор

П. Исследование электрической прочности ускорительной трубки в режиме рекуперации энергии электронного пучка

Первоначально выпрямитель ускорителя ЭСУ-1 был смонтирован на основе слаботочных диодов Д-1005-А для проведения высоковольтных испытаний выпрямителя и ускорительной трубки. Ускорительная трубка для режима рекуперации показана на рис.5. В данном эксперименте выпрямитель ускорителя ЭСУ-1 своим положительным потенциалом подключен к аноду (9).

Рекуперация энергии пучка электронов осуществляется за счет торможения электронов в пространстве анод (9) — мишень (7). Для обеспечения посадки электронов на мишень использовался дополнительный выпрямитель с напряжением до 10 кв, задающий напряжение между катодом и мишенью. Для уменьшения тсков вторичных и отраженных электронов с мишени, ухудшающих токопрохождение по тракту, применялся запирающий электрод (8), на который подавался отрицательный потенциал относительно мишени.

Конструкция катодного, анодного узлов и мишени (рис.6,7) позволяла регулировать расстояние катод-анод и анод-мишень для обеспечения необходимой электрической прочности. Мишень для съема тепла охлаждалась водой; снаружи мишень закрыта заземленным стальным цилиндром.

Конструкция катодного узла позволяла без нарушения вакуума выставлять катод пушки, добиваясь наилучшего токопрохождения по тракту.

Анод выполнен из тантала толщиной 1 мм в виде цилиндра диаметром 30 мм.

Схема электронно-оптической системы для формирования и приема на мишень пучка электронов приведена на рис. 8.

Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Данные таблицы 1 для режимов 2 и 3 относятся к одиночным включениям с последующей паузой, требуемой для восстановления высокого вакуума в объеме.

Таблица 1.

	$U_a(kV)$	$I_k = I_M(a)$	$I_a(ma)$	$U_{m-k}(kV)$	$U_{\Sigma}(kV)$	$t(сек)$	$d_{k-A}(cm)$
1	200	5	6	+2	$\frac{1}{3} U_k$	непрерывн. до 10 мин.	3,5
2	200	10	18	+7	$\frac{1}{3} U_k$	1	3,5
3	400	10	50	+10	$\frac{1}{3} U_k$	1	6,5



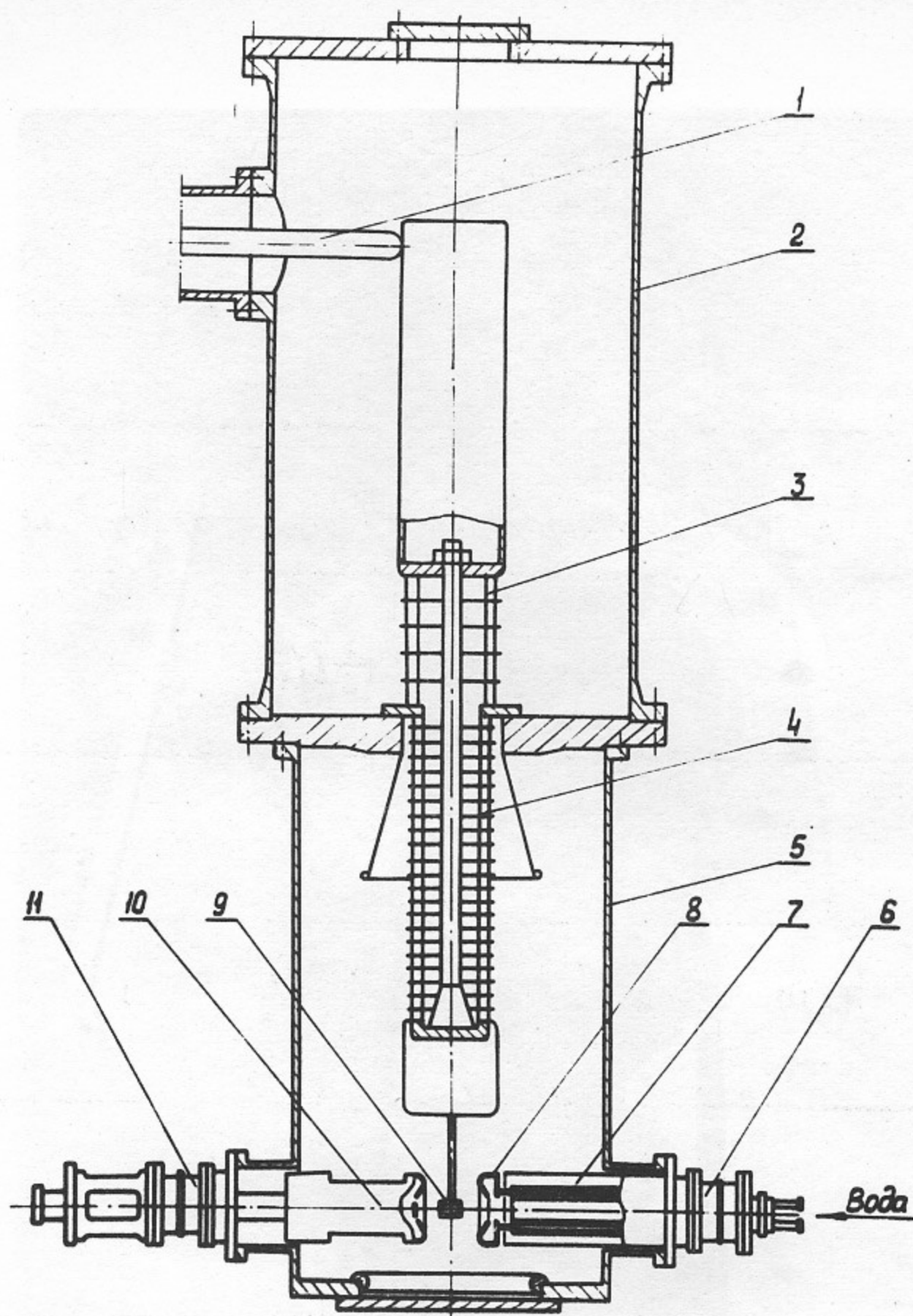


Рис Ускорительная трубка  
для режима рекуперации  
энергии электронного пучка

Рис.5.1-высоковольтный фидер, 2-газовый бак, 3-изолятор из орг-стекла, 4-изолятор из керамики (проходной изолятор), 5-вакуумный бак, 6-изолятор, 7-мишень, 8-запирающий электрод, 9-анод, 10-электронная пушка (катодный узел), 11-изолятор.

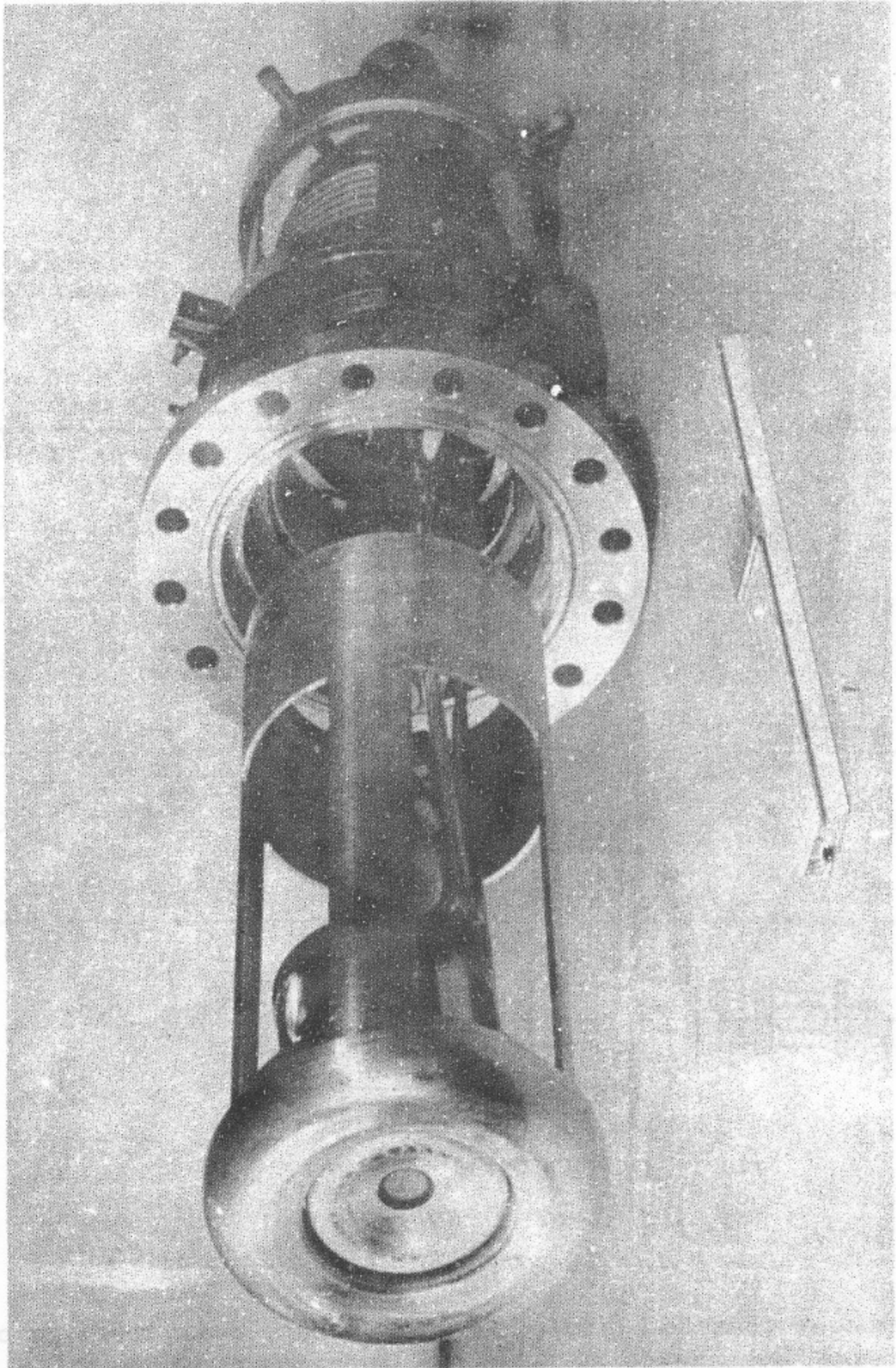


Рис.6. Катодный узел

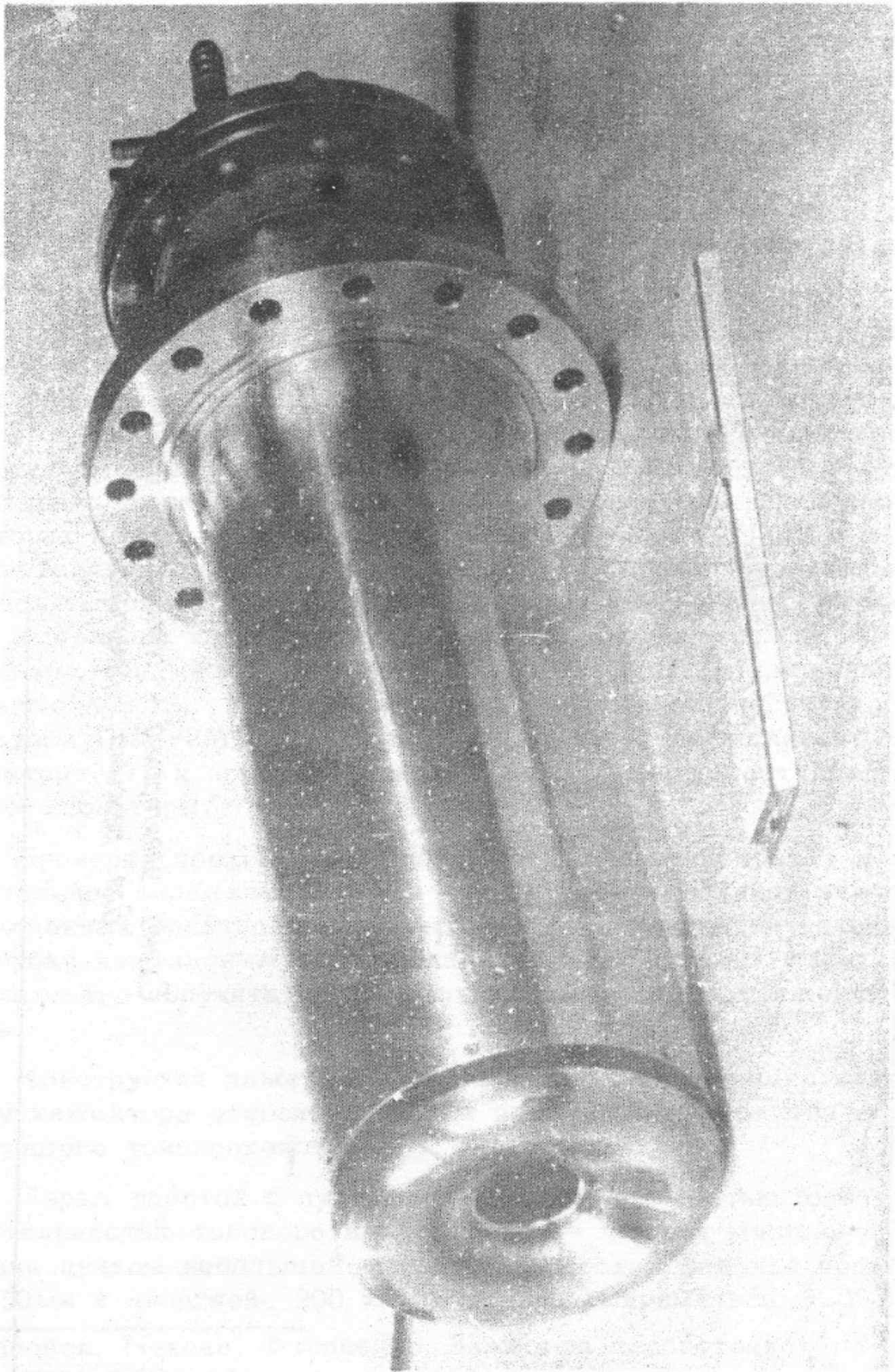


Рис. 7. Коллектор

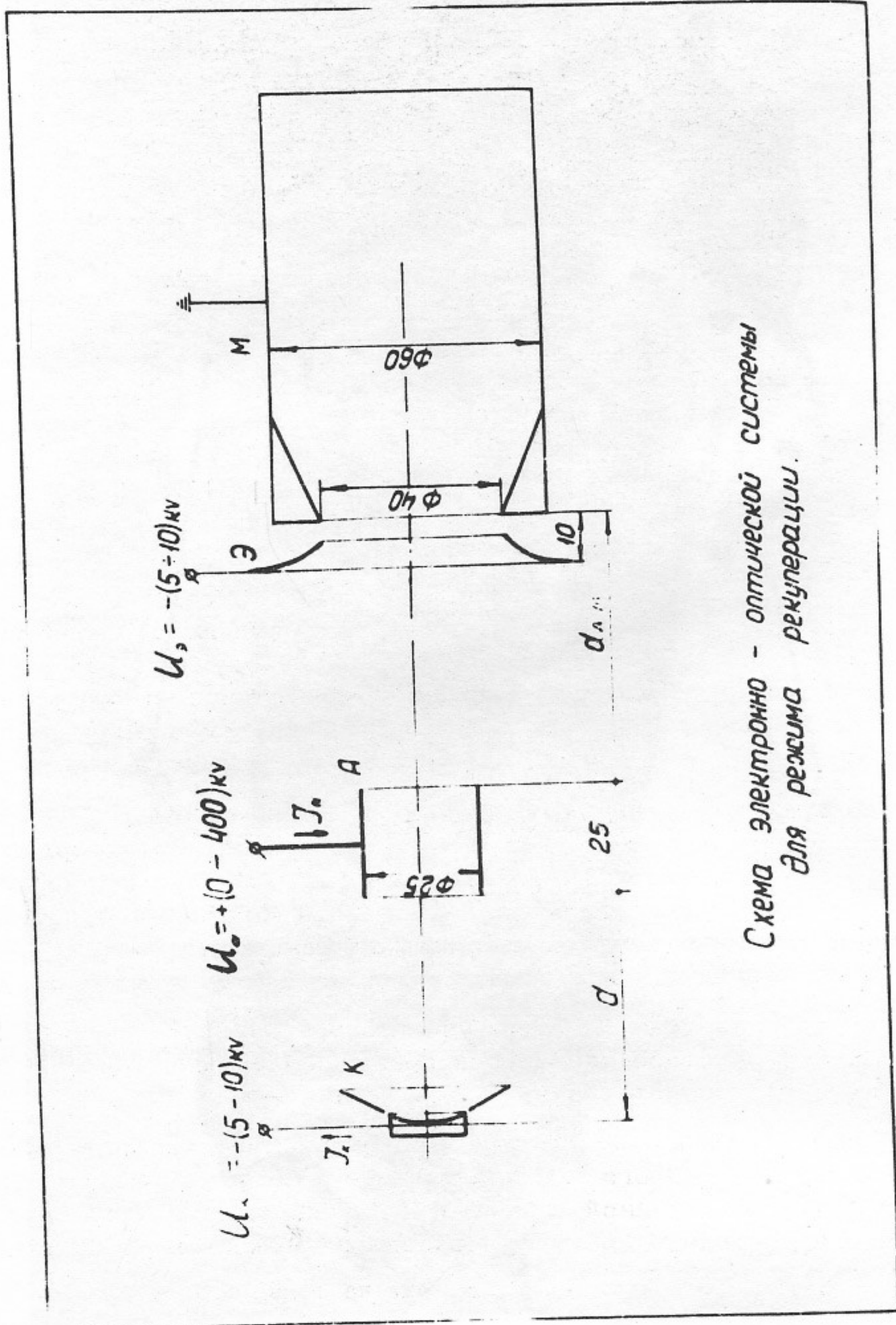


Схема электронно - оптической системы для режима рекуперации.

### Ш. Исследование электрической прочности ускорительной трубки в режиме сброса пучка на мишень

Для режима сброса пучка электронов на мишень выпрямитель ЭСУ-1 был собран на сильноточных диодах ВК-2-10. В этом случае на выходе выпрямителя полярность напряжения была отрицательной. Конструкция ускорительной трубки и мишени приведена на рис. 9.

При данной конструкции проходного изолятора с неразнесенным вакуумным высоковольтным зазором подъем напряжения выше 200 кВ приводил к ухудшению вакуума, росту рентгеновского излучения и, в дальнейшем, к пробоям. Для увеличения электрической прочности высоковольтного вакуумного зазора бак-изолятор и катод-анод была применена экранная сетка<sup>х)</sup>, которая устанавливалась на изоляторах в вакуумном баке по всему периметру. На экранную сетку подавался положительный потенциал до 10 кВ относительно бака одновременно с подачей напряжения на ускоряющий промежуток. Сетка выполнена из вольфрамовой проволоки диаметром 0,5 мм с шагом 30 мм. Применение сетки позволило поднять напряжение без пробоя до 350 кВ. Питание накала инжектора осуществлялось от генератора ГИС-2М на частоте 2400 гц через безжелезный трансформатор (17) и подводилось к пушке (6) внутри штанги, стягивающей изоляторы.

Проверка прохождения пучка по выпускному тракту и экспериментальное определение токов линз в зависимости от энергии пучка ускоренных электронов осуществлялось при питании ускорительной трубки импульсным напряжением  $\tau = (30 \div 100)$  мксек от ГИНа, позволяющего получить прямоугольные импульсы напряжения до 500 кВ.

Конструкция инжекторного узла позволяла осуществлять выставку инжектора относительно оси приемного тракта для обеспечения лучшего токопрохождения.

Перед работой с пучком электронов мощностью более 100 кВт и длительностью токового импульса более 0,1 сек мишень обезгаживалась пучком небольшой мощности (с током в пучке порядка 100-150 ма и энергией 200 кВ). Питание выпрямителя ЭСУ в этом

х) Гапонов, Нехаев, Филоненко. Заявка на изобретение

№ 1661892/26-25 от 31 мая 1971 г.

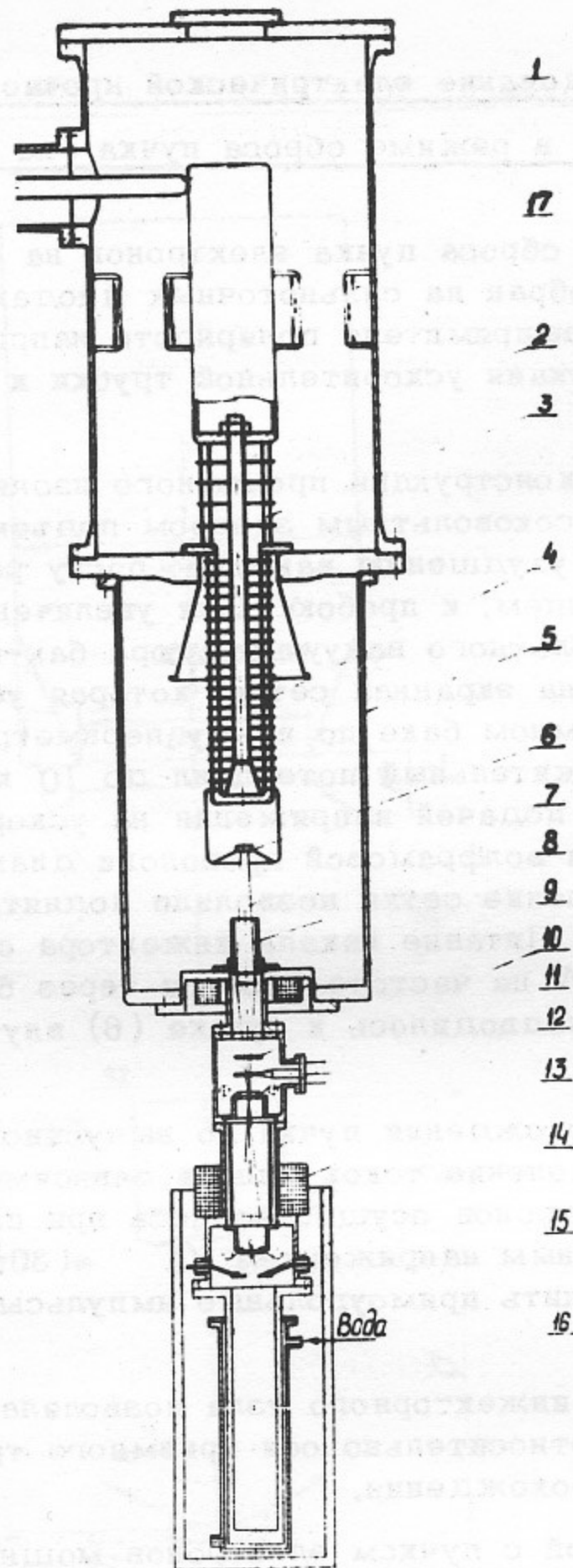


Рис. Ускорительная трубка и  
выпускной тракт

1-высоковольтный фидер, 2-газовый бак, 3-изолятор из оргстекла, 4-изолятор из керамики (проходной изолятор), 5-вакуумный бак, 6-инжектор (электронная пушка, 7-траектория пучка ускоренных электронов, 8-анод, 9-длиннофокусная магнитная линза, 10-датчики положения пучка, 11-устройство перемотки фольги, 12-азотная ловушка, 13-короткофокусная магнитная линза, 14-датчики положения пучка, 15-мишень, 16-радиационная защита, 17-безжелезный трансформатор для питания инжектора.

случае осуществлялось от регулировочного трансформатора РТТ 0,5/250 мощностью 25 квт, рабочий вакуум в объеме держался на уровне  $10^{-5} + 2 \cdot 10^{-5}$  мм.рт.ст. При получении электронных пучков мощностью более 100 квт и временах  $t \geq 0,1$  сек питание ускорителя осуществлялось от мощной сети 10 кв частотой 50 гц.

Длительность токового импульса ограничивалась ухудшением вакуума в объеме до  $10^{-4}$  мм.рт.ст. из-за гажения мишени при нагреве пучком.

Начальный вакуум ( $P_{нач.}$ ) =  $10^{-6}$  мм.рт.ст. создавался двумя титановыми насосами со скоростью откачки по 100 л/сек каждый. Конечное значение вакуума ( $P_{кон.}$ ) определялось натеканием газа из мишени в вакуумный объем ( $V$  бака  $\sim 1 \text{ м}^3$ ).

Для регулирования выходного напряжения выпрямителя ЭСУ использовались отводы первичных обмоток трансформатора.

Для изменения (увеличения или уменьшения) тока при заданном напряжении выпрямителя расстояние катод-анод регулировалось перемещением анода.

Результаты экспериментов приведены в таблице 2.

$E$ (кэВ)	$I_a$	$U_{сетки}$ (кв)	$t$ (сек.)	$r_{к-а}$ (см)	$P_{нач.}$ (мм рт.ст.)	$P_{кон.}$ (мм рт.ст.)
250	4	+7	0,1 + 0,6	6	2 : $3 \cdot 10^{-6}$	$10^{-4}$
300	5	+7	0,06 + 0,25	6	3 : $4 \cdot 10^{-6}$	$10^{-4}$
350	6,3	+7	0,08 + 0,2	6	$4 \cdot 10^{-6}$	$10^{-4}$

Данные таблицы 2 относятся к единичным включениям с последующей паузой по времени для восстановления начального вакуума в объеме.

В заключение авторы выражают благодарность академику Г.И.Будкеру за постановку темы и благодарят всех сотрудников, принимавших участие в конструировании и наладке экспериментальной установки ЭСУ-1.

Устройство состоит из...  
Длина вала...  
Диаметр вала...

Для изготовления...  
Материал вала...  
Диаметр вала...  
Длина вала...

№	Диаметр вала (мм)	Длина вала (мм)
1	10	10
2	10	10
3	10	10

Ответственный за выпуск ГРИЩЕНКО А.И.  
Подписано к печати 25.УШ.72г. МН 00567  
Усл. 0,8 печ.л., тираж 250 экз. Бесплатно.  
Заказ № 62 . ПРЕПРИНТ

Отпечатано на ротационте в ИЯФ СО АН СССР, вг.