

A. 16

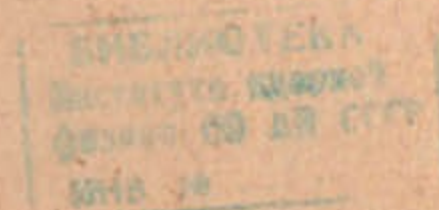
**И Н С Т И Т У Т
Я Д Е Р Н О Й Ф И З И К И С О А Н С С С Р**

И Я Ф 75 - 70

Е.А.Абрамян, С.Б.Вассерман, В.М.Долгушин,

Л.А.Моркин, О.П.Печерский, В.А.Цукерман

**ГЕНЕРАТОР МОЩНЫХ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОН-
НЫХ ПУЧКОВ И РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
(РИУС - 5)**



Новосибирск

1970

Е.А.Абрамян, С.Б.Вассерман, В.М.Долгушин, Л.А.Моркин
О.П.Печерский, В.А.Цукерман

ГЕНЕРАТОР МОЩНЫХ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОННЫХ
ПУЧКОВ И РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
(РИУС-5)

А Н Н О Т А Ц И Я

Описана электрическая схема и конструкция электронного ускорителя РИУС-5, позволяющего получать релятивистские электронные пучки в десятки Ka наносекундной длительности, а также мощные вспышки рентгеновского излучения.

Высоковольтный импульсный генератор на связанных контурах, разрядник-обостритель и ускорительная (рентгеновская) трубка с монолитным изолятором, отлитым из эпоксидной смолы, помещены в котел диаметром 1,8м и длиной 5,5м, заполненный сжатым газом.

На установке получен пучок электронов с максимальной энергией в импульсе 4 Мэв при токах до 30 ка и длительности 40 нсек. Электронный пучок либо выпускался через титановую фольгу в атмосферу, либо тормозился на тяжелой мишени. Доза рентгеновского излучения за импульс достигала 10 р/м.

1. Введение

В последние годы достигнут значительный прогресс в разработке генераторов мощных импульсов электронных пучков и коротких вспышек жесткого рентгеновского излучения большой интенсивности. Они применяются для исследования радиационной стойкости материалов и приборов, быстропротекающих явлений, радиобиологических процессов, а также для накачки лазеров, получения высокотемпературной плазмы и др. Генераторы такого типа работают в диапазоне энергий ускоренных электронов 2-12 Мэв, импульсные токи через трубки составляют десятки и сотни тысяч ампер. Такие установки обычно строятся по схеме: высоковольтный источник питания с формирующей линией (емкостью), разрядник - обостритель, импульсная ускорительная трубка с автоэмиссионным катодом. В качестве источника высокого напряжения используются либо генератор Ван-де-Граафа /1,2/, либо конденсаторный ударный контур по схеме Маркса с удвоением напряжения на линии Блюмляйна /3,4,5/, либо схема Маркса на линиях /6/. Высоковольтный источник питания, как правило, располагается в общем баке с остальными элементами ускорителя, однако известны установки /7/, в которых формирующая линия заряжается от ударного контура, расположенного вне бака. В качестве диэлектрической среды в этих установках используются сжатый газ или трансформаторное масло. В последнее время получены положительные результаты при использовании в качестве диэлектрика хорошо очищенной воды ($\epsilon = 80$) /8/.

В настоящей работе описана установка, в которой в качестве источника высокого напряжения используется импульсный генератор на связанных контурах (трансформатор Тесла) /9/. Первая краткая информация об этой машине приведена в работе /10/. На рис.1 показан схематический разрез установки. В котле (1) расположена импульсная ускорительная трубка (4), высоковольтный электрод-кондуктор (3) и трансформатор (2). Размещенная вне корпуса установки конденсаторная батарея C_1 через воздушные разрядники (P_1 и P_2) разряжается на первичную обмотку (14) трансформатора. В момент, когда напряжение на кондукторе достигает максимального значения, происходит управляемый пробой спускового промежутка (9) между кондуктором и трубкой.

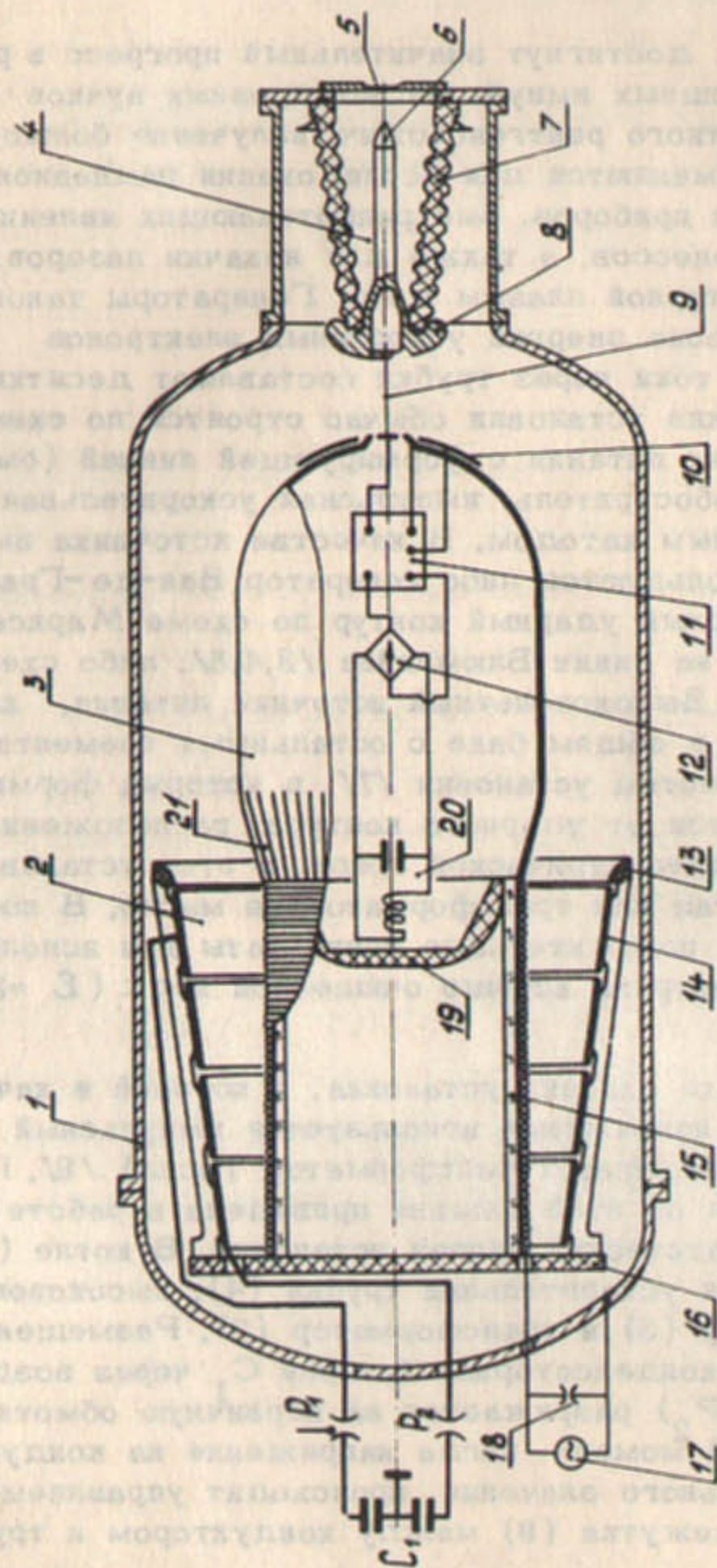


Рис.1. Схематический разрез установки, 1-котел, 2-трансформатор, 3-кондуктор, 4-ускорительная трубка, 5-анод, 6-катод, 7-изолятор, 8-электрод, 9-разрядник-обостритель, 10-емкостной делитель, 11-блок поджига, 12-выпрямитель, 13-электрод, 14-первичная обмотка, 15-вторичная обмотка, 16-изоляционное основание, 17-генератор, 18-разрядник, 19-защитный электрод, 20-колебательный контур, 21-"прозрачная" часть кондуктора, С₁-конденсаторная батарея, R₁ и R₂-воздушные разрядники.

и ёмкость кондуктора разряжается на трубку. Под действием больших градиентов электрического поля катод (6) эмиттирует электроны, которые ускоряются электрическим полем. Далее электроны могут быть заторможены на тяжелой мишени (5) с образованием тормозного рентгеновского излучения или выведены в атмосферу либо в другую камеру через тонкую фольгу.

Ускоритель позволяет получать импульсы тока ускоренных электронов в десятки ка при энергии до 5 Мэв и длительности импульса 40-50 нсек. Энергия, запасаемая в батарее первичного контура, до 10 клж.

Габаритные размеры ускорителя с питающей батареей: диаметр - 2м, длина - 8м, вес ускорителя с батареей - 7 тн, фотография ускорителя приведена на рис.2.

Ниже описаны основные элементы установки, а также методики измерений и экспериментальные результаты, полученные на ускорителе.

П. Генератор высокого напряжения

Как указывалось во введении, в качестве генератора высокого напряжения используются настроенные в резонанс индуктивно связанные колебательные контура, работающие в режиме свободных колебаний при ^{ударном} возбуждении (трансформатор Тесла). Усовершенствования, внесенные в ускорители с высоковольтным генератором такого типа /11/ и опыт постройки и эксплуатации ускорителей этой системы /12,13/ явились хорошими предпосылками для применения высоковольтного генератора на связанных контурах в ускорителе РИУС-5. На рис.3 представлена принципиальная схема генератора и эпюры напряжений на его первичном и вторичном контурах в режиме холостого хода. Форма кривых колебаний соответствует существующему в генераторе коэффициенту связи $k = 0,47$. При такой величине коэффициента связи, с учётом затухания колебаний, в ёмкость, образованную высоковольтным электродом и корпусом ускорителя, к моменту времени t_1 , передаётся 70% энергии, накопленной в батарее С₁.

Параметры элементов схемы высоковольтного генератора:

$$L_1 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ гн}, L_2 = 0,09 \text{ гн}, C_1 = 5 \text{ мкф}, C_{2\text{экв}} = 284 \text{ пф}$$

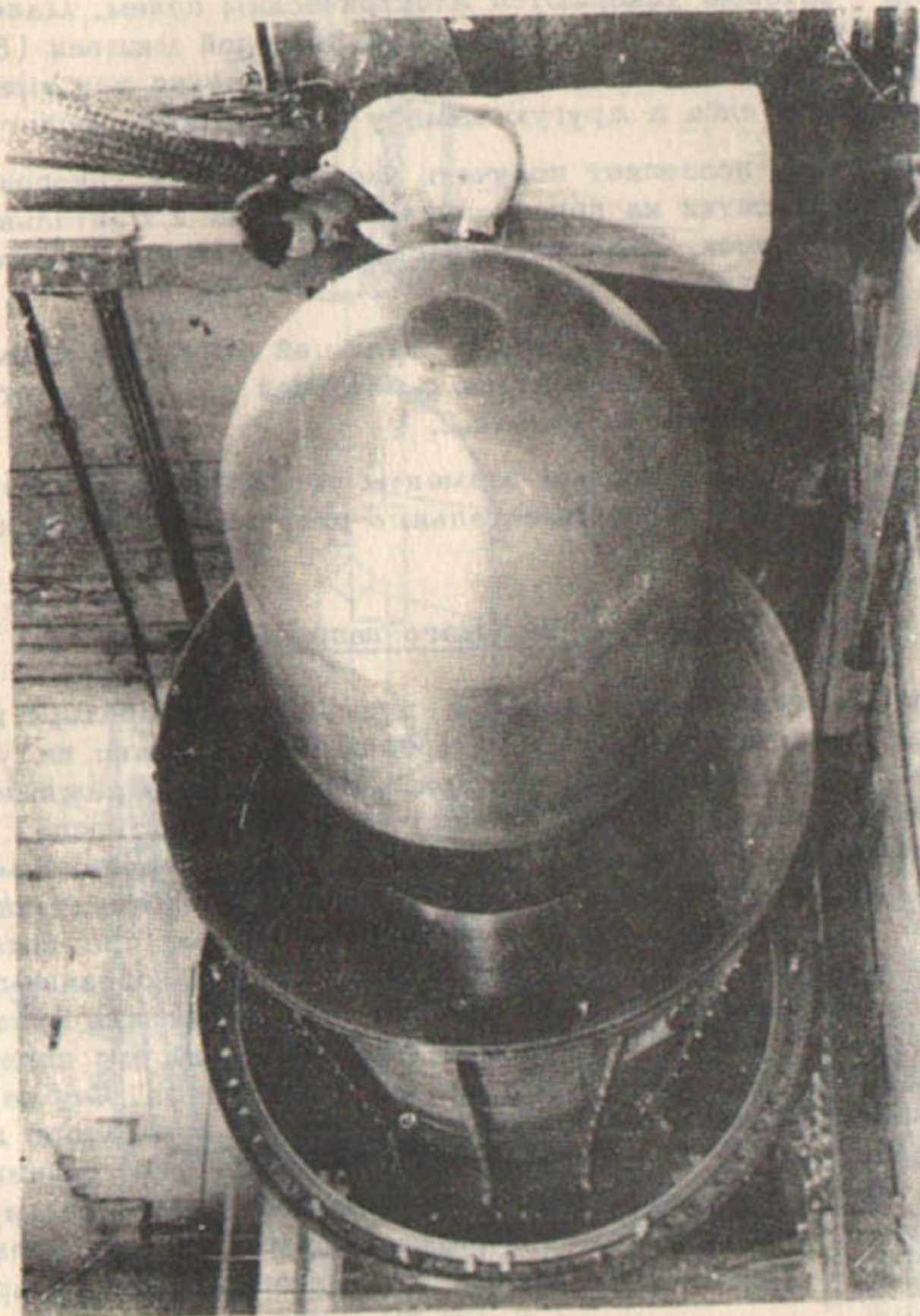


Рис.2. Ускоритель РИУС-5.

(ёмкость кондуктора C_2 , составляющая часть $C_{2\text{экв}}$, равна 220 пф). Коэффициент трансформации равен 125. Длительность одной полуволны колебаний напряжения — 15 мксек; отрезок времени от момента замыкания первичного контура до момента зарядки высоковольтной ёмкости (кондуктора) до максимального напряжения (момент t_1) составляет 22,5 мксек.

Конструкция высоковольтного генератора показана на рис.1. На изоляционном основании (16) закреплены первичная (14) и вторичная (15) обмотки трансформатора. Первичная обмотка имеет 4 витка, закрепленных на стеклотекстолитовых брусках. Для снижения градиентов электрического поля на конце обмотки рядом с последним витком установлен закругленный электрод (13), соединенный с серединой витка. Конструктивно электрод выполнен в виде текстолитового каркаса, на внутренней поверхности которого закреплены тороидально намотанные и прилегающие друг к другу витки эмалированного провода диаметром 1 мм. По наружному диаметру электрода все проводники соединены между собой шинкой. При такой конструкции электрод (13) прозрачен для переменного магнитного потока.

Вторичная обмотка, имеющая 580 витков, намотана в один слой на цилиндрическом каркасе из оргстекла проводом с полиэтиленовой изоляцией. Размеры обмотки: диаметр 80 см, длина 180 см. Высоковольтный конец вторичной обмотки присоединен к кондуктору (3). Примыкающая к обмотке часть (21) кондуктора также должна быть "прозрачной" для переменного магнитного потока, поэтому в этой области он имеет многочисленные надрезы на длину 50 см вдоль образующей. Далее кондуктор переходит в сплошной цилиндр, заканчивающийся полусферой.

При срабатывании разрядника-обострителя потенциал кондуктора практически мгновенно (по сравнению с собственным временем вторичного контура) уменьшается до нуля. В этот момент распределение потенциала вдоль вторичной обмотки оказывается резко неравномерным. Градиент напряжения на последних витках обмотки в этом случае может возрасти более, чем на порядок. Значительное снижение перенапряжений достигнуто установкой соединенного с кондуктором защитного электрода (19), который увеличивает ёмкость последних витков на высоковольтный конец обмотки.

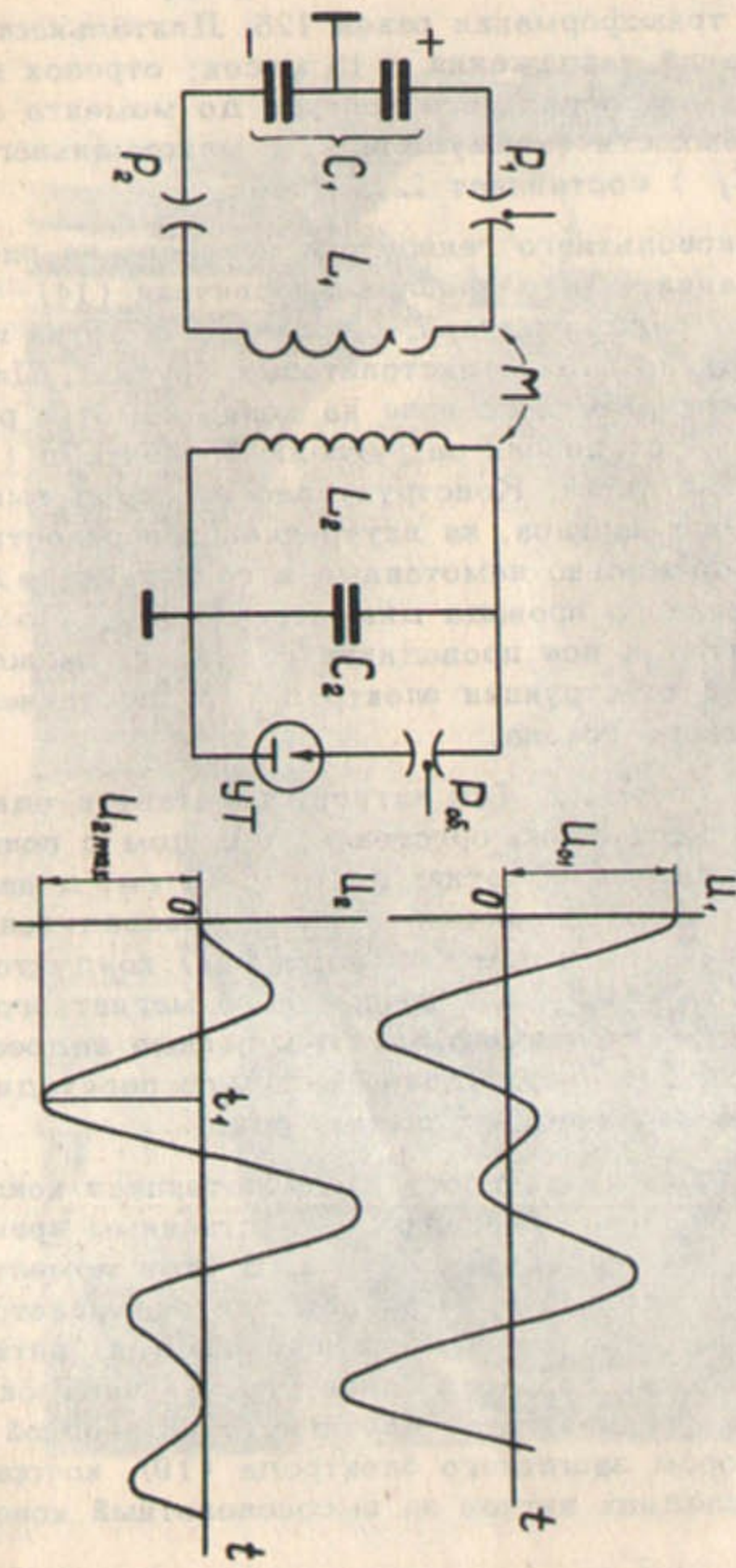


Рис.3. Принципиальная схема генератора и энергии напряжений. C_1 — ёмкость первичного контура, L_1 — индуктивность первичного контура, P_1 — трёхэлектродный разрядник, P_2 — двухэлектродный разрядник, L_2 — индуктивность вторичного контура, C_2 — ёмкость вторичного контура, $P_{\text{об}}$ — разрядник-обостритель, U_T — ускорительная трубка, U_1 — первичное напряжение, U_2 — вторичное напряжение, t_1 — момент пробоя разрядника-обострителя.

Накопительная батарея первичного контура (ёмкость C_1) состоит из двух групп конденсаторов типа КММ 50-2,5 (50 кв ; 2,5 мкф) по 4 конденсатора в каждой группе.

III. Разрядник-обостритель

Занесенная в кондукторе энергия коммутируется на трубку разрядник-обострителем (9, рис.1). Он образован полусферическим электродом ускорительной трубки (8) и вершиной кондуктора (3). Был выбран тригатронный способ поджига разрядного промежутка. В связи с относительно большим временем накачки энергии во вторичный контур трансформатора ($T \approx 30$ мксек) требования по синхронному включению разрядника-обострителя невысоки. Длина газового промежутка разрядника определяется его электрической прочностью и составляет 35 см. Оценки /14, 15/ и измерения, выполненные в ходе экспериментов, показали, что индуктивность канала разряда для данной конструкции спустя 10 — 20 нсек после появления искры лежит в пределах 0,5 — 1 мкГн.

Блок поджига тригатрона (11) включает в себя импульсный трансформатор, накопительный конденсатор ($C=0,5$ мкф, $U=5$ кв) и вакуумное реле ВИР-5С. При коммутации ёмкости на первичную обмотку трансформатора на выходе блока поджига возникает импульс напряжения со следующими параметрами: $U=150$ кв; $T/4=1$ мксек.

В ходе экспериментов была проверена эффективность работы поджига разрядника-обострителя при расположении его на трубке и на кондукторе. В первом случае зарядка первичной ёмкости и запуск коммутирующего ВИРа производится по кабелю РК-18, спирально намотанному на наружную поверхность ускорительной трубки. Во втором случае питание блока поджига и его запуск производится следующим образом: внутри кондуктора (3) расположен дополнительный колебательный контур (20), собственная частота колебаний которого совпадает с частотой вторичного контура трансформатора Тесла. Раскачка этих контуров производится генератором (17), работающим на их резонансной частоте /18/. Напряжение контура (20) выпрямляется мостом (12) и используется для зарядки накопительной ёмкости блока поджига (11). Время зарядки ёмкости при питании от генерато-

ра мощностью 40 вт составляет несколько секунд. В момент высоковольтного импульса рабочий ток вторичного контура (15) замыкается через разрядник (18), напряжение срабатывания которого выше напряжения генератора (17). Синхронизация момента срабатывания схемы поджига осуществляется автоматически импульсом высокого напряжения, часть которого поступает в схему поджига от емкостного делителя (10) через линию задержки, подобранную таким образом, чтобы срабатывание разрядника-обострителя происходило в момент максимума напряжения на кондукторе.

Испытание обоих вариантов поджига показало, что при расположении поджигающей системы на кондукторе (отрицательный электрод промежутка) его работа более эффективна. В этом варианте поджиг позволяет осуществлять пробой промежутка при напряжениях, составляющих менее половины напряжения самопробоя.

1У. Ускорительная трубка

Несмотря на большое количество работ, посвященных вопросам холодной эмиссии и вакуумного пробоя, в настоящее время, по-видимому, не существует общепринятой теории, позволяющей объяснить все процессы, происходящие в ускорительной трубке рассматриваемого типа. Отсутствует возможность рассчитать характеристики ускорительного промежутка, т.е. величину сопротивления промежутка и его изменение во времени при заданном напряжении. В реальных генераторах проблема осложняется еще и тем обстоятельством, что величина и форма кривой напряжения на трубке не заданы, а определяются соотношением между внутренним сопротивлением источника питания (включая индуктивность и сопротивление искры разрядника-обострителя, меняющихся во времени) и динамического сопротивления вакуумного промежутка.

Однако, можно полагать, что интенсивное изучение работы ускорительных трубок рассматриваемого типа, проводимое во многих лабораториях, позволит в ближайшее время получить ответы на многие вопросы, связанные с механизмом работы трубок и, в частности, продвинуться вперед в теории холодной эмиссии и вакуумного пробоя.

Конструкция ускорительной трубки установки РИУС-5 видна на рис.1. Катод (6) установлен на монолитном изоляторе (7). Длина изолятора - 80 см, наибольший диаметр - 60 см. Он изготовлен из эпоксидного компаунда ЭД-6. Наружная и внутренняя поверхности изолятора развиты для увеличения электрической прочности. Катод имеет вид штока переменного диаметра. Со стороны кондуктора он оканчивается полусферическим электродом (8). С другой стороны штока имеется резьбовое отверстие для установки сменных эмиттеров. В полости внутри электрода (8) расположен блок поджига (в случае подачи поджигающего импульса со стороны трубки). В качестве анода трубки используются титановая фольга толщиной 50 мкм и диаметром 80 мм для выпуска электронов в атмосферу либо танталовая пластина толщиной 0,5 - 1 мм для получения тормозного излучения. Геометрия электродов и защитных экранов трубки уточнялись в электролитической ванне для получения возможно более равномерного распределения потенциала вдоль изолятора.

Откачка системы осуществляется вакуумным диффузионным насосом Н5С с азотной ловушкой до давления 10^{-5} мм рт.ст.

У. Корпус и изолирующая среда

Котел ускорителя изготовлен из стали и имеет следующие габаритные размеры: диаметр 180 см, длина 550 см. Он расположен на тележке, облегчающей разборку и сборку установки. Для предотвращения коррозии внутренняя поверхность бака покрыта тонким слоем эпоксидной смолы.

Изолирующей средой ускорителя является 50% смесь элегаза (SF_6) и азота при давлении 14 кг/см². Для сушки газа используется смесь алюмогеля с силикагелем. Накачка газа производится мембранным компрессором МК 4,5/200. Смесь хранится в газгольдере при давлении 16 кг/см².

У1. Результаты экспериментов

На ускорителе РИУС-5 выполнен ряд экспериментов для измерения характеристик ускоренного пучка и рентгеновского излучения.

Были измерены: величина и форма импульсов тока и напря-

жения на ускоряющем промежутке; количество уносимой пучком энергии (джоулей); размер пучка на аноде трубки; интегральная доза за импульс в плоскости окна и на расстоянии 1 м от мишени; просвечивающая способность и форма импульса рентгеновского излучения.

Перечисленные характеристики изучались при различной геометрии иглы, разных величинах промежутка игла-анод и нескольких толщинах мишени. Измерения проводились в диапазоне напряжений на кондукторе высоковольтного генератора от 3 до 7 Мв.

1. Методика измерений

а) Ток пучка электронов измерялся поясом Роговского, расположенным в районе мишени со стороны вакуума (рис.4). Экран (3) защищает датчик от электростатической наводки и от попадания на него электронов. Пояс Роговского имеет следующие параметры: число витков 360, индуктивность 1 мГн, сопротивление нагрузки (с учетом измерительной цепи) 7,2 ом.

Чувствительность датчика составляет:

$$\frac{U_c}{I_{тр}} = \frac{R_H}{W_H} = \frac{7,2}{360} = 0,02 \frac{в}{а} \quad , \text{ где}$$

U_c - напряжение сигнала, $I_{тр}$ - ток пучка, R_H - нагрузочное сопротивление пояса Роговского, W_H - число витков пояса.

б) Напряжение на ускоряющем промежутке измерялось емкостным делителем (рис.4). Обкладка датчика (1), с которой снимается сигнал, имеет емкость на корпус около 6000 пф. Постоянная времени разряда емкости датчика на сопротивление измерительной цепи, равное 150 ом, составляет величину ~ 900 нсек, что много больше длительности импульса напряжения. Чувствительность датчика

$$\frac{U_c}{U_{тр}} = 225 \frac{в}{Мв}$$

где: U_c - напряжение сигнала с датчика, $U_{тр}$ - ускоряющее напряжение на промежутке. Чувствительность датчика устанавливалась предварительной калибровкой емкостного делителя с помощью генератора ВЧ-колебаний.

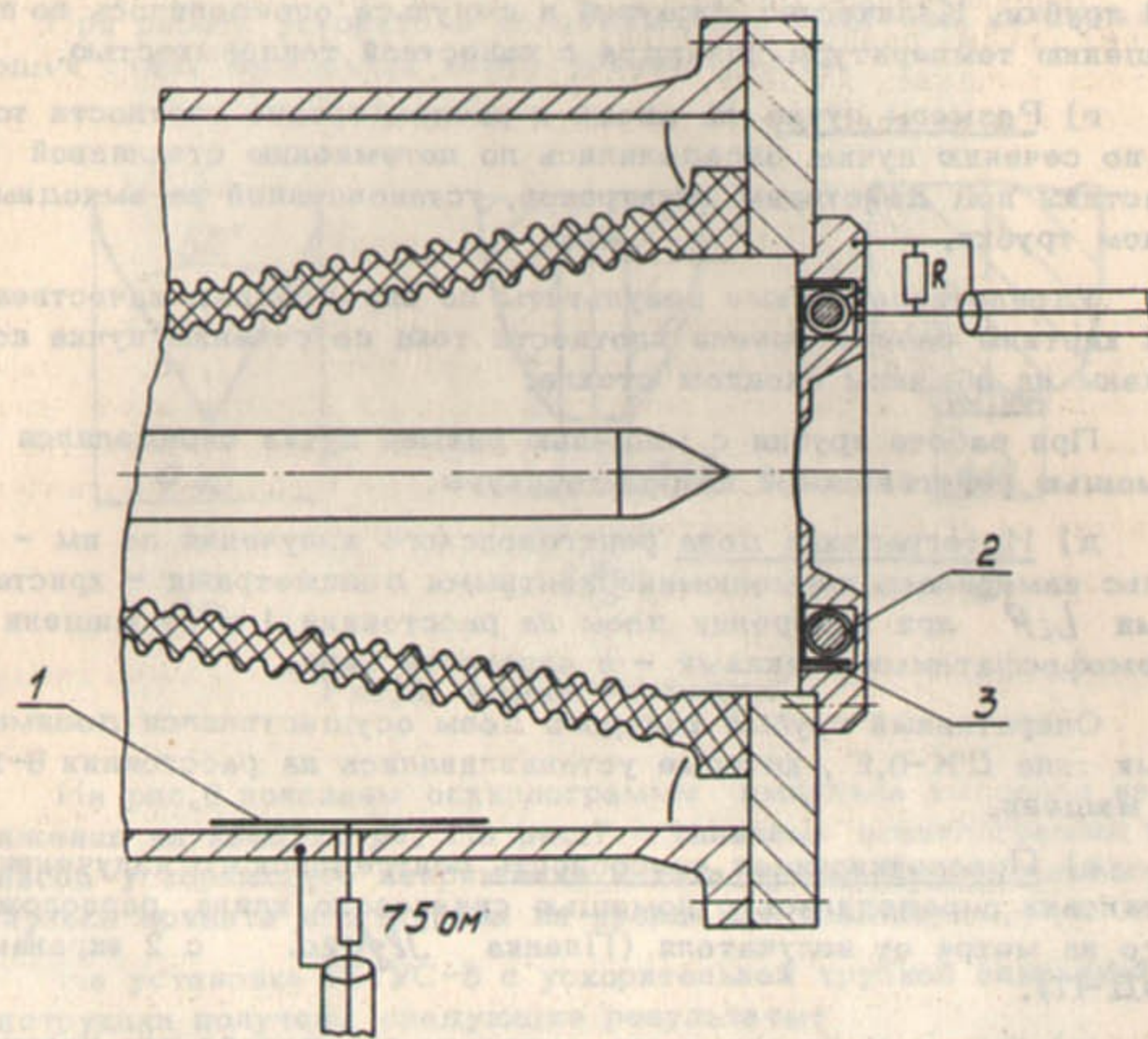


Рис.4. Расположение датчиков $I_{тр}$ и $U_{тр}$. 1 - обкладка емкостного датчика, 2 - пояс Роговского, 3 - экран, R - нагрузочное сопротивление пояса Роговского.

Для наблюдения и фотографирования импульсов тока пучка и ускоряющего напряжения использовались скоростные осциллографы ОК-19М и ОК-21.

в) Величина уносимой пучком энергии измерялась медным цилиндрическим калориметром, установленным за выпускной фольгой трубки. Количество джоулей в импульсе определялось по повышению температуры цилиндра с известной теплоемкостью.

г) Размеры пучка на аноде и распределение плотности тока по сечению пучка, определялись по потемнению стеклянной пластины под действием электронов, установленной за выходным окном трубки.

Удовлетворительные результаты по определению качественной картины распределения плотности тока по сечению пучка получены на обычном оконном стекле.

При работе трубки с мишенью размер пучка определялся с помощью рентгеновской камеры-обскуры.

д) Интегральная доза рентгеновского излучения за импульс измерялась термолюминесцентными дозиметрами - кристаллами LiF при измерении дозы на расстоянии 1 м от мишени и алюмофосфатными стеклами - в плоскости окна.

Оперативный грубый контроль дозы осуществлялся дозиметрами типа ДК-0,2, которые устанавливались на расстоянии 8-10 м от мишени.

е) Прозвечивающая способность рентгеновского излучения установки определялась с помощью свинцового клина, расположенного на метре от излучателя (Пленка *Ilford* с 2 экранами УФД-П).

ж) Форма и длительность импульса рентгеновского излучения контролировалась электронным умножителем ЭЛУ-09.

Кроме перечисленных величин, при работе установки контролировались высокое напряжение на кондукторе и момент срабатывания разрядника-обострителя. Высокое напряжение на кондукторе измерялось по первичному напряжению, до которого заряжались конденсаторы C_1 (как указывалось выше, коэффициент трансформации равен 125) и по напряжению на петле, закрепленной на изоляционной плите (16, рис.1). Этот датчик был предва-

рительно откалиброван. Момент срабатывания разрядника-обострителя определялся по срыву кривой U_2 , снимаемой с описанного датчика (рис.6).

2. Результаты измерений

При работе ускорителя использовались эмиттеры из нержавеющей стали нескольких конфигураций (рис.5).

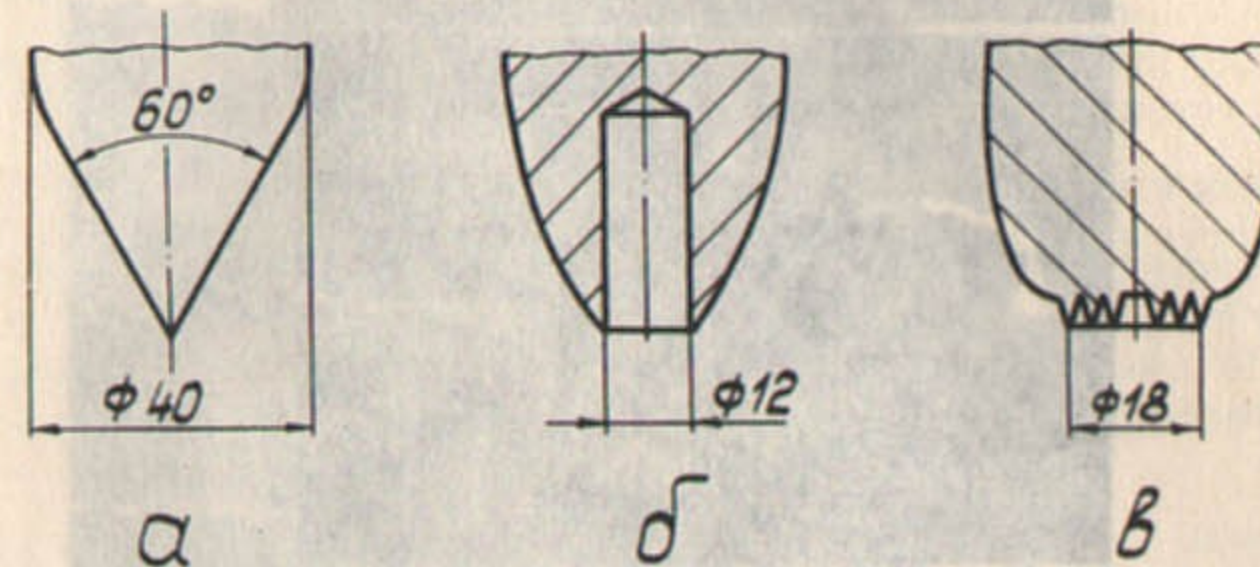


Рис.5. Форма эмиттеров.

На рис.6 показаны осциллограммы импульса высокого напряжения на кондукторе. На рис.7 - типичные осциллограммы импульсов ускоряющего напряжения и тока пучка. За длительность импульса принята его ширина на уровне 0,5 амплитуды.

На установке РИУС-5 с ускорительной трубкой описанной конструкции получены следующие результаты:

напряжение на кондукторе - 7 Мв,

максимум ускоряющего напряжения - 4 Мв,

максимум тока пучка - 30 ка,

длительность импульса тока - 40 нсек,

интегральная доза за импульс -

на расстоянии 1 м - 10 рентген,

на плоскости окна - $20 \cdot 10^3$ рентген,

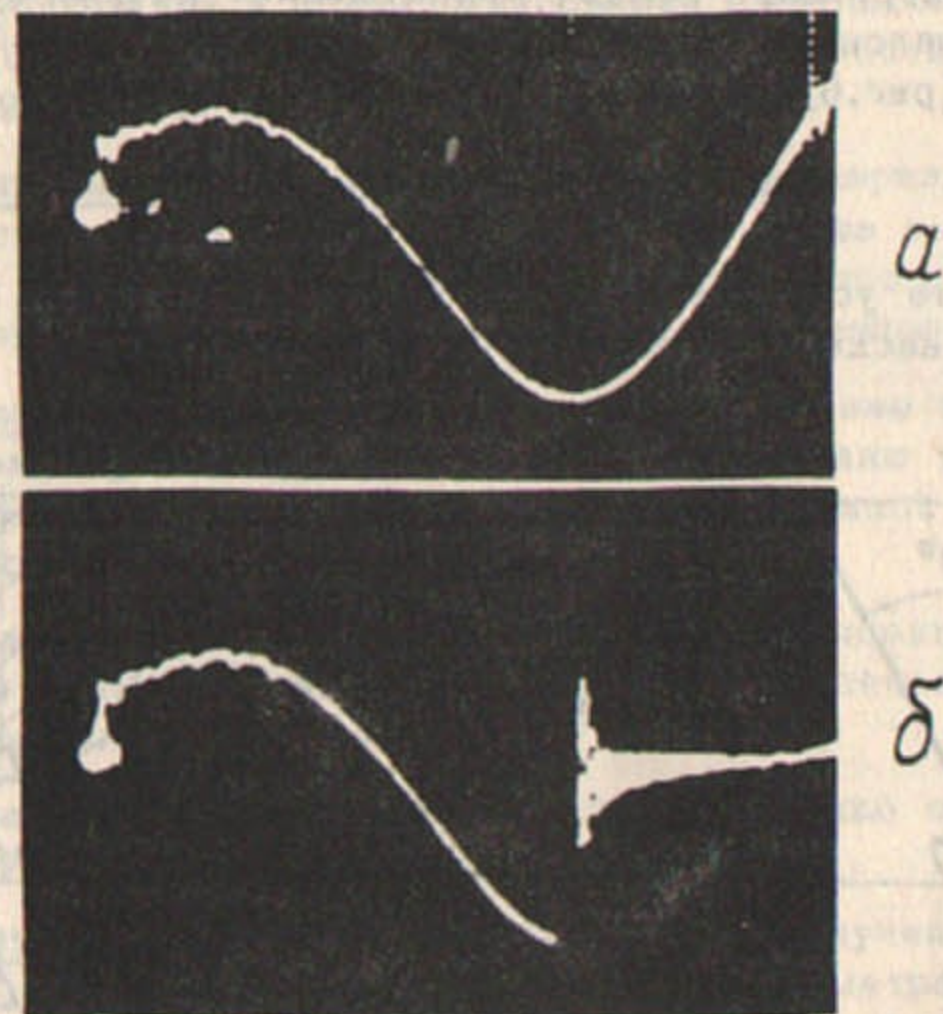


Рис.6. Осциллограммы импульса высокого напряжения на кондукторе, а - при холостом ходе, б - при срабатывании разрядника-обострителя. Развертка - 5 мксек/см.

просвечивающая способность
 одного импульса излучения - 160 мм $P_{\text{в}}$ на 100 см от мишени,
 уносимая пучком энергия в импульсе - 2,5 клж,
 максимум мощности ускоренного пучка - 10^{11} вт,
 максимальная мощность рентгеновского излучения в плоскости окна - $5 \cdot 10^{11}$ р/сек.

Ниже приводятся характеристики пучка и рентгеновского излучения, снятые при напряжении на кондукторе 3 и 4 Мв.

На рис.8 показана зависимость от зазора эмиттер-анод (δ) максимальных значений тока пучка ($I_{\text{тр}}$) и ускоряющего

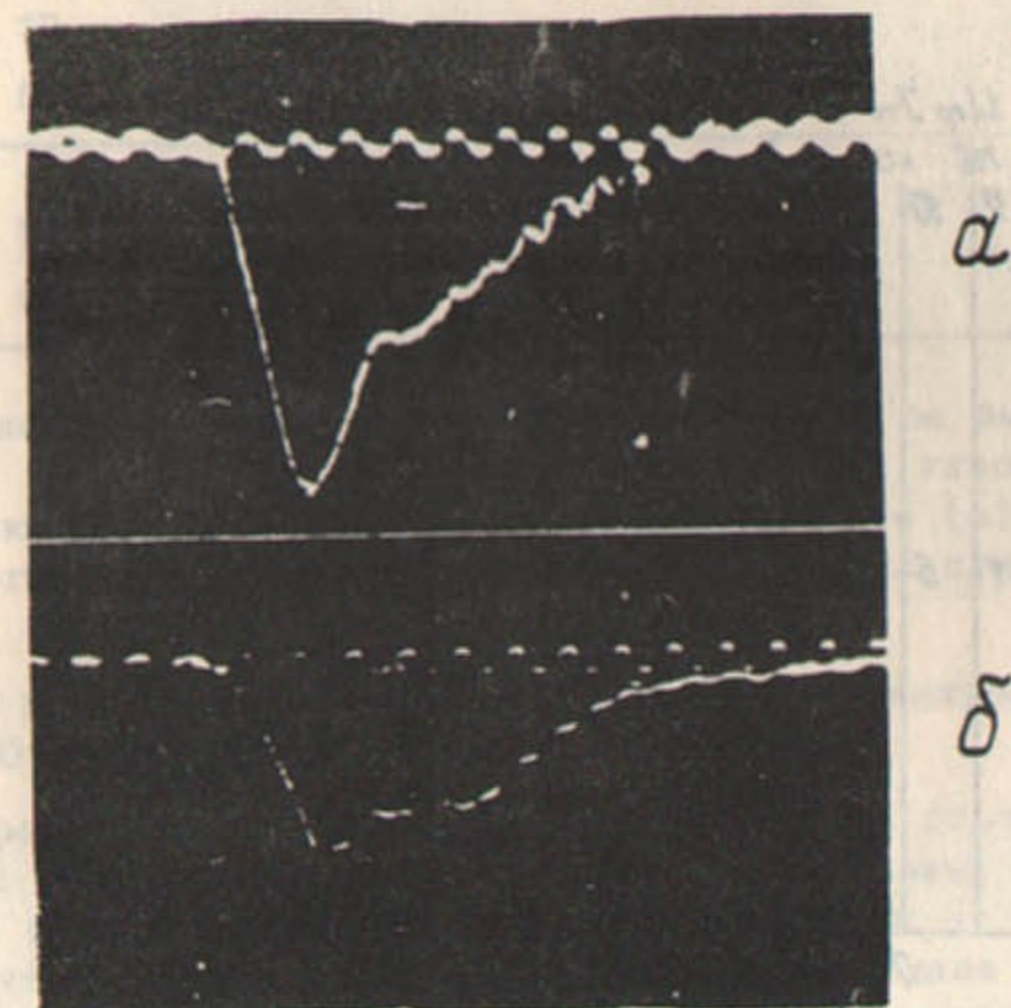


Рис.7. Типичные осциллограммы импульсов ускоряющего напряжения (а) и тока пучка (б). Метки - 100 Мги.

напряжения ($U_{тр}$), а также энергии, уносимой пучком (W); при напряжении на кондукторе 3 Мв. Эмиттер имел форму (б) (рис.5).

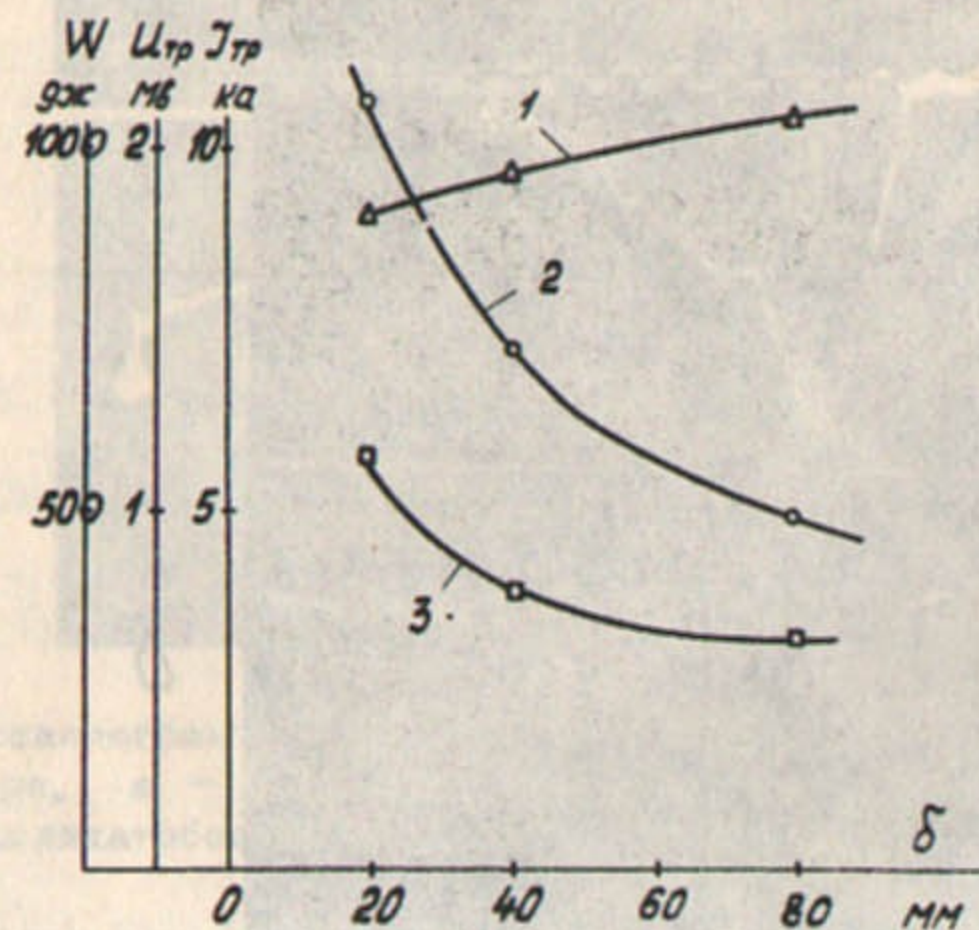


Рис.8. Зависимость от зазора эмиттер-анод (δ) максимальных значений ускоряющего напряжения (1), тока пучка (2) и энергии, уносимой пучком, (3) при напряжении на кондукторе 3 Мв.

В таблице 1 приведены величины токов и напряжений на трубке для различных геометрий эмиттера при $U_2 = 4$ Мв и зазоре $\delta = 40$ мм.

Таблица 1.

Геометрия эмиттера (рис.5)	а	б	в
$U_{тр}$ Мв	2,7	2,6	2,5
$J_{тр}$ ка	10	11,5	15

Поперечные размеры электронного пучка за выпускным окном при $U_2 = 3$ Мв и $\delta = 20$ мм для всех типов эмиттеров составляют 40 - 50 мм, причём эмиттер-острие (а) даёт пучок кольцевого сечения (рис.9). Аналогичная форма пучка описана в [17].

На рис.10 показана фотография пучка электронов, (2 Мэв, 10 ка, 50 нсек), выпущенного в атмосферу.

Характеристики рентгеновского излучения определялись при работе с танталовой мишенью толщиной 0,5-1 мм. Зависимость дозы за импульс на расстоянии 1 м от мишени от величины зазора эмиттер-анод для иглы формы а показана на рис.11. Напряжение на кондукторе - 4 Мв. Угловое распределение дозы при оптимальном зазоре 60 мм видно на рис.12.

магнетронной лампы (рис. 9), а также микротек, установленный в ней (рис. 10) при напряжении на конденсаторе 3 МВ. Диаметр анода 20 мм (рис. 9).

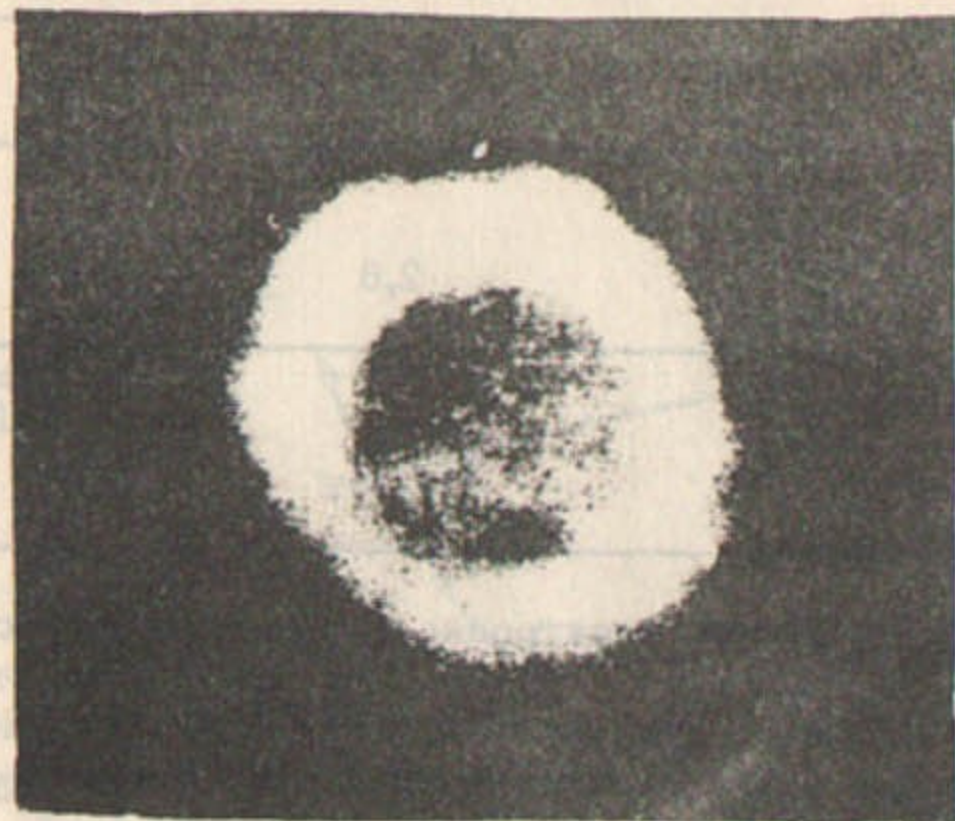


Рис. 9. Сечение пучка при напряжении на конденсаторе 3 МВ. зазоре 20 мм с конического эмиттера (форма - а).

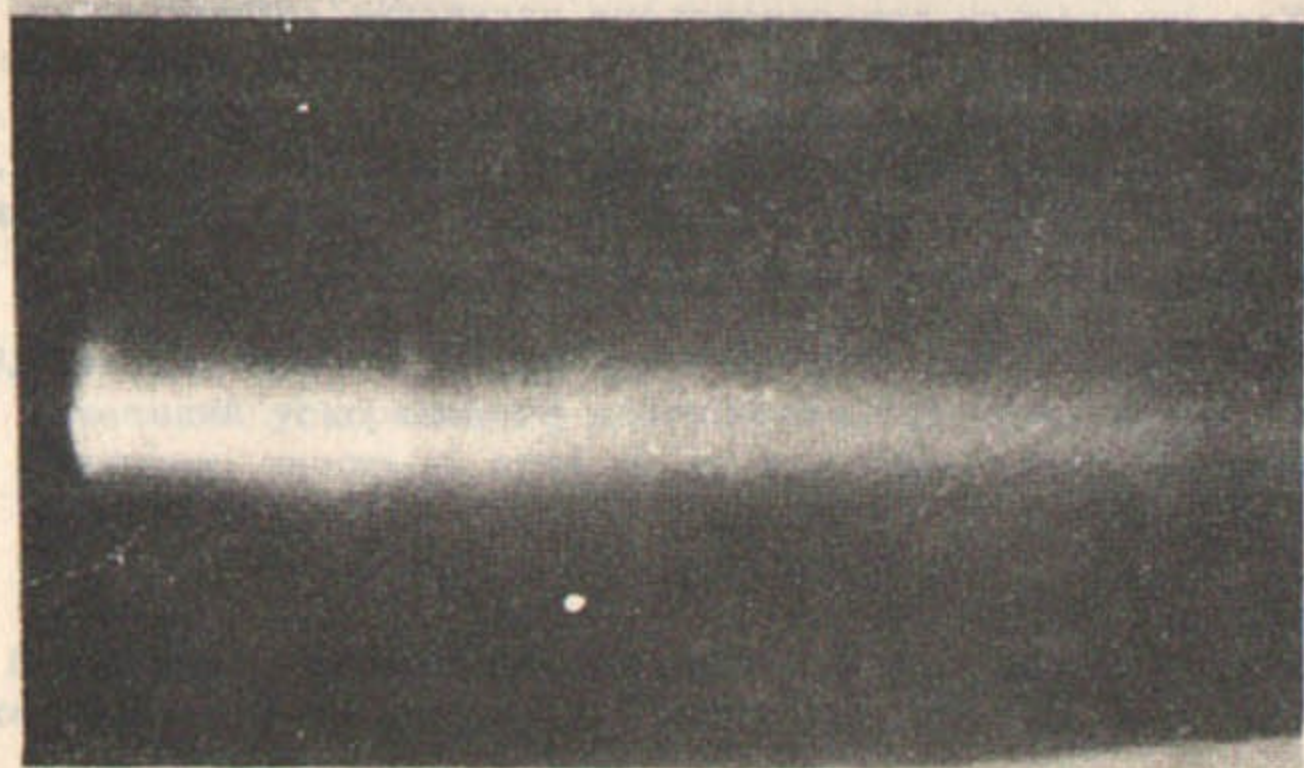


Рис. 10. Пучок электронов, выпущенный в атмосферу (2 МэВ, 10 кА, 50 нсек).

1. J.S. Townsend, *IEEE Trans. on Nuclear Science*, NS-12, 3, 780 (1965).
2. *Nuclear Energy*, 2, 20 (1957).
3. J.H. Martin et al., *Bull. of Amer. Phys. Soc.*, ser. II, 14, 2, 204 (1969).
4. *Rev. Sci. Instrum.*, 38, 11, 1667 (1967).

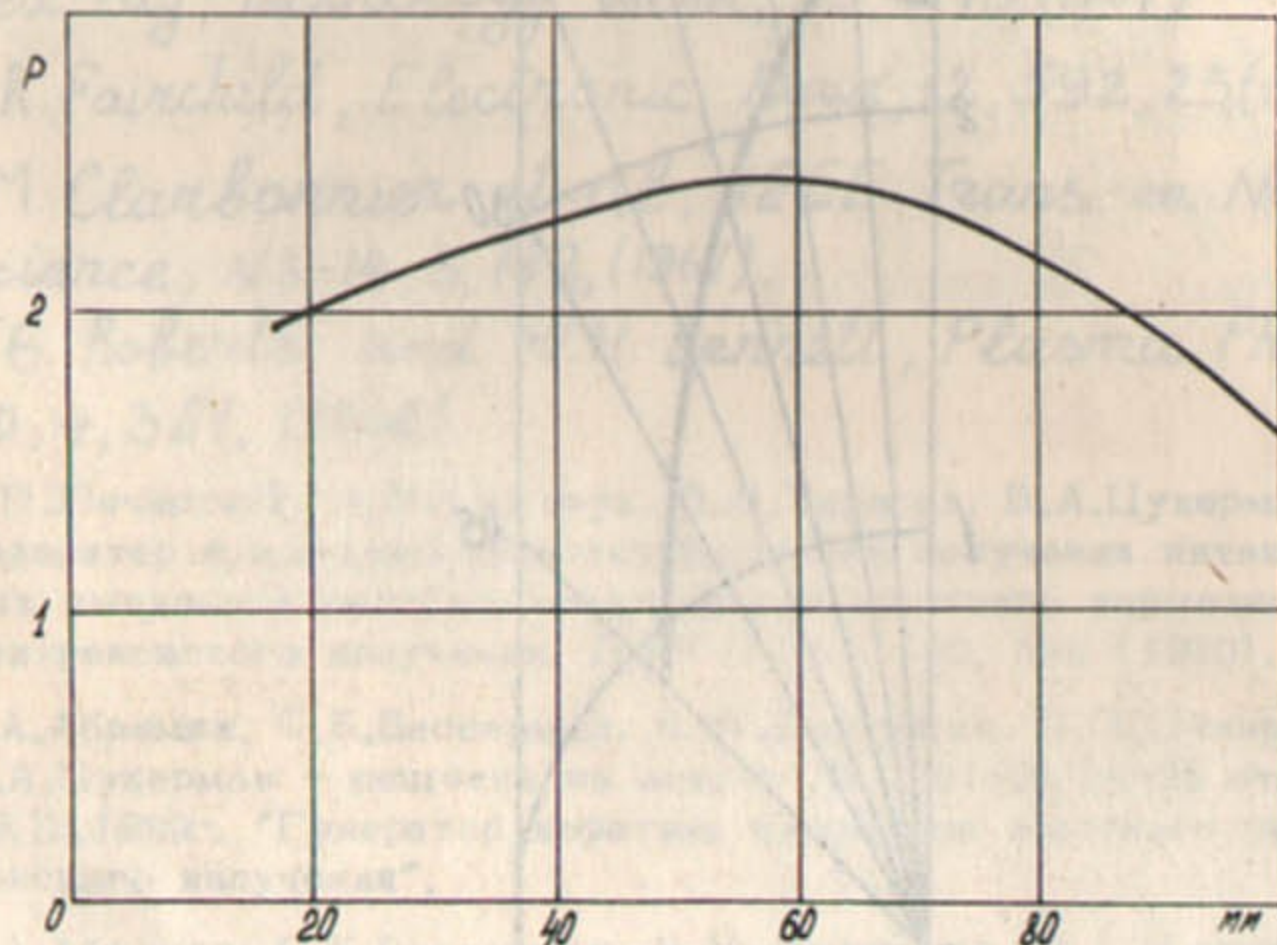


Рис. 11. Зависимость от зазора эмиттер-анод (δ) дозы тормозного излучения за импульс на расстоянии 1 м от мишени при напряжении на конденсаторе 4 МВ.

5. J.K. Fairchild, *Electronics*, 38, 92, 25 (1967).
6. F.M. Claiborne, *IEEE Trans. on Nuclear Science*, NS-12, 3, 780 (1965).
7. T.E. Koffman, *IEEE Trans. on Nuclear Science*, NS-12, 3, 780 (1965).
8. E.A. Gerasimov, V.A. Gerasimov, *Вестник АН СССР*, 1967, 1, 11.
9. E.A. Gerasimov, V.A. Gerasimov, *Вестник АН СССР*, 1967, 1, 11.
10. S.A. Gerasimov, V.A. Gerasimov, *Вестник АН СССР*, 1967, 1, 11.
11. E.A. Gerasimov, V.A. Gerasimov, *Вестник АН СССР*, 1967, 1, 11.
12. E.A. Gerasimov, V.A. Gerasimov, *Вестник АН СССР*, 1967, 1, 11.
13. E.A. Gerasimov, V.A. Gerasimov, *Вестник АН СССР*, 1967, 1, 11.

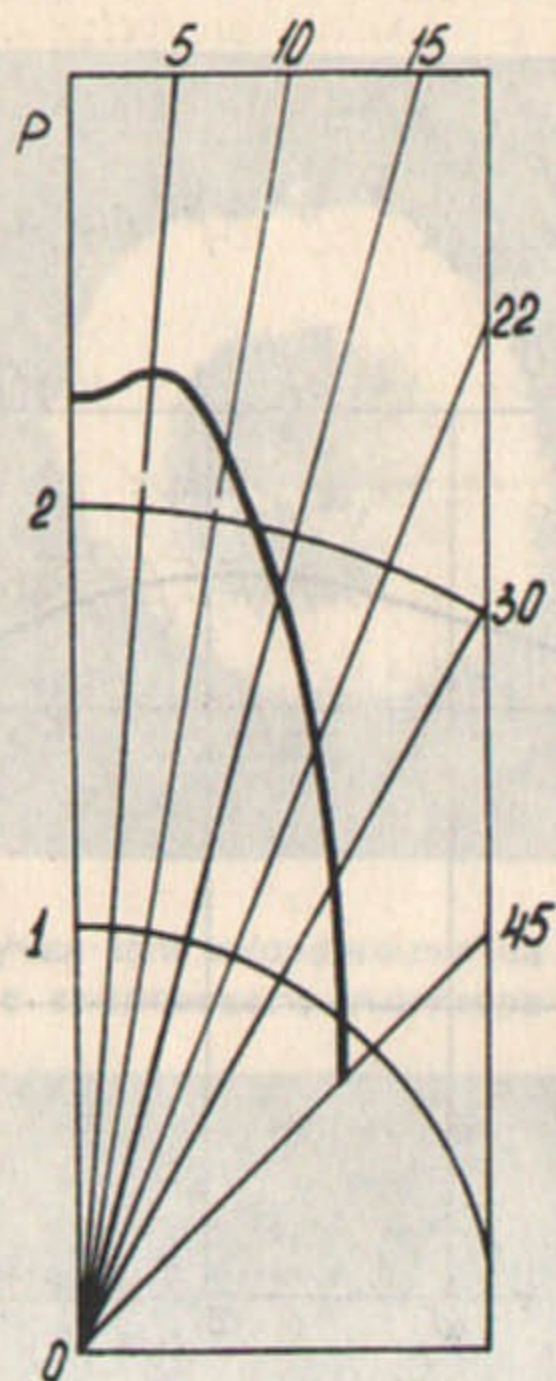


Рис.12. Угловое распределение дозы тормозного излучения.

Л и т е р а т у р а

1. A.S. Denholm, *IEEE Trans. on Nucl. Science*, NS-12, 3, 780 (1965).
2. *Nucleonics*, 25, 1, 20, (1967).
3. T.H. Martin et al, *Bull. of Amer. Phys. Soc.*, ser. II, 14, 2, 204, (1969).
4. Rex Pay, *Technology Week*, 20, 1, 10, (1967)
5. J.R. Fairchild, *Electronic News*, 12, 592, 23, (1967)
6. F.M. Carbonnier et al, *IEEE Trans. on Nucl. Science*, NS-14, 3, 782, (1967).
7. T.G. Roberts and W.H. Bennett, *Plasma Phys.*, 10, 4, 381, (1968).
8. О.П.Печерский, А.М.Сидорук, В.Д.Тарасов, В.А.Цукерман. Генератор с водяным диэлектриком для получения интенсивных импульсов быстрых электронов и жесткого тормозного рентгеновского излучения. ДАН СССР. 192, №6 (1970).
9. Е.А.Абрамян, С.Б.Вассерман, В.М.Долгушин, О.П.Печерский, В.А.Цукерман - решение по заявке № 1257438/26-25 от 19.12.1969г. "Генератор коротких импульсов жесткого рентгеновского излучения".
10. Е.А.Абрамян, С.Б.Вассерман, В.М.Долгушин, Л.А.Моркин, О.П.Печерский, В.А.Цукерман. Генератор коротких импульсов жесткого рентгеновского излучения высокой интенсивности. ДАН СССР 192, № 1 (1970).
11. Е.А.Абрамян, С.Б.Вассерман, В.А.Гапонов, Г.С.Крайнов. Ускоритель заряженных частиц. Авторское свидетельство № В-1878.
12. Е.А.Абрамян, С.Б.Вассерман. Атомная энергия, 23, вып.1. (1967).
13. Е.А.Абрамян, *Nucl. Instr. and Methods*, 59, 22 ÷ 28, (1968).

14. С.И. Драпкина, ЖЭТФ 21, 4, 473, (1951).
15. И.С. Маршак. Импульсные источники света. Госэнергоиздат, 1963.
16. С.Б. Вассерман, В.Г. Вотинцев, Б.Г. Шкляев. Система электропитания устройств, расположенных в области высоковольтного электрода импульсного трансформатора. Авторская заявка, 1970г.
17. S.E. Graybill and S.V. Nablo, *Techniques for the Study of Self-focusing Electron Streams. Proceedings of the 8th Annual Symposium on Electron and Laser Beam Technology, Michigan, April, (1966)*

Ответственный за выпуск В.М. Долгушин

Подписано к печати 9.09.70

Усл. л. печ. л. тираж 250 экз. Бесплатно.

Заказ № 75

Отпечатано на ротационной машине в ИЯФ СО АН СССР, н.в.