

C344.1

C-16

H

11

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

СЗ44.1
С-16

Научно-экспериментальный отдел.

"Утверждаю"

Зам. директора ЛВЭ ОИЯИ

Чувило И.В. / Чувило И.В. /

26 / *Чувило* 1959 года

" ИОНИЗАЦИОННЫЕ КАМЕРЫ ДЛЯ МЯГКОГО
РЕНТГЕНОВСКОГО И γ - ИЗЛУЧЕНИИ".

Начальник сектора *Савицкий*

Исполнитель *Савицкий*

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

-1959 г.-

650 89

ВВЕДЕНИЕ

В практике работы с мощными электронными пушками и рентгеновскими установками, а также при наладке аппаратуры с большими электронно-лучевыми трубками часто возникает задача измерения небольших мощностей доз мягкого рентгеновского излучения в целях защиты персонала.

Выпускаемые промышленностью микрорентгенометры для мягкого рентгеновского излучения рассчитаны на большие мощности доз и для измерения полей излучения в несколько микрорентген в секунду не пригодны.

Прилагаемые к ним ионизационные камеры небольших объемов дают при этом очень малый ток, для измерения которого требуется сложная аппаратура. Чтобы избежать этого, нами были сконструированы ионизационные камеры объемом 2,8 л и 5 л, рассчитанные на подключение к выносному блоку микрорентгенометра типа "Кактус".

К ионизационным камерам, предназначенным для регистрации мягкого рентгеновского излучения, предъявляются следующие требования:

1. Минимальный "ход с жесткостью", т.е. минимальная зависимость ионизации в камере от жесткости излучения в широком диапазоне энергий.

2. Незначительное поглощение излучения стенками камеры.

3. Соблюдение электронного равновесия в камере

Коротко рассмотрим, как эти требования выполнялись при конструировании камер.

I. Ход с жесткостью.

Ионизация, производимая в камере мягким рентгеновским излучением, сильно зависит от эффективного атомного номера материала стенок камеры $Z_{эф}$, так как при малых энергиях излучения преобладает процесс фотоэлектрического поглощения, сечение которого $Z_{эф}^4 \approx 6_{эф}$. Требование минимального хода с жесткостью сводится при выполнении прочих условий к требованию воздухоэквивалентности стенок камеры, т.е. должно выполняться равенство:

$$Z_{эф \text{ возд.}} \approx Z_{эф \text{ стенок}}$$

$$Z_{эф \text{ воздуха}} = 7,25 \quad \text{Состав воздуха} \quad O_{0,4} N_{1,6}$$

Нами были испробованы следующие материалы:

	состав	$Z_{эф}$
1. полиэтилен	$(CH_2)_n$	5,45
2. плексиглас	$(C_5H_8O_2)_n$	6,5
3. целлулоид	$C_{5,3}H_8O_{3,5}N_{0,7}$	6,9
4. Пленка ПК-4	$(C_6H_{11}ON)_n$	6,04
5. Фторопласт	CF_2	8,6

Из них выбраны два материала наиболее подходящих и по $Z_{эф}$ и по условиям прочности, это :

- а) целлулоид $Z_{эф} = 6,9$
 в) пленка ПК-4 $Z_{эф} = 6,04$

2. Ослабление излучения при прохождении через камеру.

Толщина стенок камеры должна быть достаточно мала, чтобы ослабление в них излучения было незначительно. Толщина стенок у описываемых камер была:

у камеры с пленкой ПК-4 — 55 микрон, что соответствует $5,8 \text{ мг/см}^2$

у камеры с целлулоидной пленкой — около 155 микрон, что соответствует 24 мг/см^2 .

Ниже приводятся расчётные данные по ослаблению однородного рентгеновского излучения в этих плёнках. Коэффициенты ослабления взяты из таблиц (I) .

Таблица I

энергия излучения	ослабление в %	
	Пленка ПК-4	целлулоидная пленка
10,5 Кэв	1,5%	5%
19,6 Кэв	0%	1,5%

Как видно из таблиц, ослабление в пленках пренебрежимо мало.

3. Электронное равновесие.

Сконструированные камеры предназначены для работы в широких пучках, когда минимальное расстояние границы пучка от стенок камеры $\geq R_{\text{макс}}$, где $R_{\text{макс}}$ — максимальный пробег фотоэлектронов, или электронов отдачи, полученных в актах

взаимодействия излучения с воздухом. При этом условии, а также при условии воздухоэквивалентности стенок камеры электронное равновесие будет соблюдаться.

Для пучков излучения, ширина которых не удовлетворяет поставленным выше условиям степень выполнения электронного равновесия будет сильно зависеть от энергии излучения. Для мягкого излучения условия соблюдения электронного равновесия будут выполняться лучше, чем для более жесткого.

Конструкция камер.

Из выбранных материалов были изготовлены следующие камеры (см.рис.6).

1) Цилиндрическая камера с плексигласовым каркасом, со стенками из целлулоидной пленки. Диаметр камеры 160 мм, высота 250 мм, объем - 5 л.

2) Камера, аналогичная по размерам и конструкции предыдущей, но со стенками из капроновой пленки ПК-4.

3) Камера цилиндрическая плексигласовая с двумя съемными верхними крышками с целлулоидной и капроновой пленками для измерения направленного излучения; диаметр камеры -160мм, высота - 140 мм , объем - 2,8 л.

На внутренних стенках камер методом втирания нанесен тончайший слой графита.

Целлулоидная и капроновая пленки перед нанесением проводящего слоя слегка увлажнялись плексиглас предварительно смачивался амилацетатом.

Экспериментальные данные.

"Ход с жесткостью" для всех камер снимался на рентгеновских установках РУП-200 и УРС-70 (МИФИ).

Измерения были относительными: ток в исследуемых камерах сравнивался с током в камере, которая с точностью I_x является нормальной (2) для рентгеновского излучения с максимальной энергией до 200 кэВ

Условия измерений следующие:

а) При работе на РУП-200 исследуемая и нормальная камера помещались на расстоянии 86 см от катода трубки.

Окно трубки и масло составляли фильтр, эквивалентный 7 мм *Al*
Камера целиком находилась в поле излучения.

б) При проведении экспериментов на УРС-70 камеры помещались на расстоянии - 50 см от катода трубки.

Окно трубки являлось фильтром, эквивалентным ~ 1 мм *Al*.

Пучок рентгеновских лучей при измерениях был диафрагмирован.

Все измерения сводились к снятию зависимости $I_x/I_{норм} = f(U_{эф})$

где I_x - ток насыщения в исследуемой камере

$I_{норм.}$ - ток насыщения в нормальной камере

$U_{эф}$ - эффективная энергия рентгеновского излучения.

Вид этой зависимости и определяет ход с жесткостью; при

$I_x/I_{норм} = const$ ход с жесткостью отсутствует.

В данной работе ток насыщения измерялся непосредственно только в экспериментах на УРС-70.

В других случаях, чтобы не давать на камеру очень большого напряжения, ток насыщения находился по "универсальной кривой"

для каждой камеры. Как показано в (3) для любой цилиндрической камеры существует универсальная для всех уровней излучения зависимость

$$I/I_{нас} = f(R/R_0)$$

где I - ток в камере при данном напряжении U и на ней.
 $I_{нас}$ - ток насыщения

$$R = \frac{U}{I} ; \quad R_0 = \frac{U_0}{I_0} ,$$

где U_0 и I_0 - напряжение и ток в камере на линейном участке вольтамперной характеристики.

Зная эту зависимость, R_0, U и I , можно всегда найти $I_{нас}$. Нами была исследована эта зависимость для каждой камеры и построены графики, с помощью которых были найдены токи насыщения. На рис. I приведена универсальная зависимость для цилиндрической камеры с капроновой пленкой снятая при различных мощностях дозы излучения.

Эффективная энергия излучения $U_{эф}$ определялась по ослаблению излучения в алюминии. На рис. 2 приведены кривые ослабления излучения $\mu_{эф}$ -ем для режимов трубки УРС-70, на рис. 3 - кривые ослабления излучения при работе на РУП-1. По оси ординат отложено отношение тока в камере после прохождения излучением добавочного фильтра толщиной x мм к току в камере, создаваемому нефильтрованным излучением. По этим кривым находилось $\mu_{эф}$ (тангенс угла наклона кривой ослабления при малых толщинах поглотителя).

Кривые ослабления на УРС-70 снимались нормальной камерой поэтому $\mu_{эф}$ - определенный экспериментально, является

линейным коэффициентом ослабления. При снятии кривых ослабления на РУП-I мы пользовались наперстковой камерой и $M_{эф}$, определенное экспериментально, строго говоря, является линейным коэффициентом истинного поглощения излучения, а не ослабления его. Однако ^{для} излучения (4) в области энергий 10 + 30 Кэв разница между коэффициентами ослабления и поглощения излучения очень мала. Определяемая ею ошибка в энергии $\leq 7\%$ и укладывается в ошибку эксперимента.

Зная $M_{эф}$, $\frac{\mu}{\rho_{ис}}$ можно определить эффективную длину волны $\lambda_{эф}$ (1) и эффективную энергию $U_{эф} = \frac{12,35}{\lambda_{эф}}$.

Полученные экспериментальные данные по определению $U_{эф}$ сведены в табл. В. 2.

$U_{кв макс.}$	УРС-70			РУП-I			
	$M_{эф}$	$\lambda_{эф}$	$U_{эф}$ Кэв	$U_{кв макс}$	$M_{эф}$	$\lambda_{эф}$	$U_{эф}$ Кэв
44	14,84	0,711	17,4	192	2,95	0,4	30,9
38	18,1	0,773	16	184	3,11	0,408	30,2
31,5	24,7	0,865	14,3	158	2,64	0,39	31,6
23	28,8	0,907	13,6	136	4,26	0,46	26,8
15	43,4	1,036	11,9	112,5	5,97	0,52	23,8
				90	6,76	0,544	22,7
				68	11,5	0,65	19,0
				44			17+5%

На РУП-I в режиме 44 кв = $U_{макс}$ кривая ослабления излучения не снималась, т.к. ток с камеры был одного порядка с током утечки схемы.

Однако η эф приближенно может быть принято $17 \pm 5\%$ кэв по аналогии с предыдущими режимами и из плавности кривых "хода с жесткостью". Данные измерений и вычислений по "ходу" с жесткостью сведены в таблицу № 3.

Таблица № 3.

η эф кэв	η нас / η норм.				
	камера цилиндр. со съем- ными крышками	камера цил. с целлул. пленкой	камера цил. с капр.пл.	"Красная" камера	ДИГ-5
31	11,4	14,6	13,75	19	17,35
30,2	10,5	15,5	13,25	19,2	16,95
31,6	10,5	16,1	13,3	19,2	15,6
26,8	10,3	14,9	13,55	18,6	13,25
25,8	10,9	15,9	13,25	18,5	11,35
22,7	11,1	15,7	14,5	17,8	9,95
19,0	10,4	15,85	13,55	16,3	6,52
17,4	9,7	12,2	13,0	12,3	2,14
16	8,6	11,4	12,0	11,3	1,43
14,3	6,7	8,23	9,02	8,9	0,86
13,6	5,1	6,53	6,8	6,4	0,22
11,9	3,2	3,7	3,3	3,5	0,04

Кривые хода с жесткостью даны на графике № 4. Для сравнения в таблице приведены данные "хода с жесткостью" для имеющихся у нас камер: типа ДИГ-5 и "Красной" ("Красная" камера - цилиндрическая с двойными стенками из целлулоидной пленки с напыленным алюминиевым проводящим слоем). На графике № 4

для этих камер так же даны кривые "хода с жесткостью".

Кроме этого были проведены измерения с источниками:

- 1) Ti - 170 U - 84 кэв
 2) Ra^{226} -

Данные измерений даны в табл. 4.

энергия	/ истинное									
	камера целлул. пил.		камера цел. с ПК-4		камера со ст.ми.бр.		Красная		ДИГ-5	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
84 кэв	1,02	14,7	0,956	13,8	0,62	8,9	1,15	16	1,41	19,6
Ra^{226}	1	14,4	0,95	13,7	0,63	9,07	1,04	15	1,04	15

В этой таблице в графе 1 приведено отношение мощности дозы, измеренной исследуемой камерой к действительной мощности дозы, в графе 2 - это же отношение, нормированное к показаниям капроновой камеры при энергии излучения 30 кэв. Выбор капроновой камеры для нормировки ~~у нее~~ обусловлен отсутствием "хода с жесткостью" в пределах ошибок опыта для энергий от 17 до 31 кэв и однородность стенок камеры. Выбор для нормировки цилиндрической целлулоидной камеры изменил бы координаты точек не более чем на 4%, выбор камеры, предназначенной для направленного излучения для нормировки не оправдан из-за неоднородности стенок камеры и изменил бы координаты точек не более чем на 17%.

По данным таблиц 3 и 4 на рис. 5 даны кривые хода с жесткостью в полулогарифмическом масштабе для различных камер в области энергий от 10 кэв до 1 мэв.

Некоторую разницу в показаниях камер для 226 можно объяснить тем, что объемы плёночных камер несколько менее 5 литров.

У целлул. камеры - 4,94 л.

У капр. камер ещё немного меньше.

Ошибки эксперимента.

Ошибки измерений на разных участках кривой различны. В относительных измерениях при работе на УРСе ошибка измерений складывается из.

1) ошибки из-за сшивания результатов полученных на РУП-1 и УРС-70, равной 8%.

2) ошибки из-за неполного соблюдения электронного равновесия не более 2%.

3) Погрешности измерений на "Кактусе", около 3-х %. Среднеквадратичная ошибка σ - 8,8% ~ 9%.

При измерениях на РУП-1 ошибка определяется:

1) Ошибкой в определении тока насыщения по универсальной кривой, - 5%.

2) Погрешностью измерений на "Кактусе" - 3%. Среднеквадратичная ошибка опыта получается σ ~ 6%.

При относительных измерениях с $Tu-170$ абсолютная ошибка не более 5%.

При абсолютных измерениях с Ra^{226} ошибка складывается из приборной ошибки, равной 4,5% и 1% - точности Ra этого источника. Суммарная ошибка получается 5,5%.

ВЫВОДЫ

В результате проделанного можно сделать следующие выводы.

1. Лучшей камерой для измерения мощности дозы мягкого рентгеновского излучения является цилиндрическая камера со стенками из капроновой пленки, которая в интервале энергий от 17 кэв до 1,2 мэв не имеет хода с жесткостью с точностью до ошибок эксперимента.

2. Цилиндрическая камера с целлулоидной пленкой имеет в этом же диапазоне энергий ход с жесткостью $\pm 10\%$.

3. Камера со съёмными крышками обладает ходом с жесткостью до $\pm 17\%$ в интервале энергий от 15 кэв до 1,2 мэв.

4. "Красная" камера и алюминиевая камера ДИГ-5 для измерения мягкого излучения $U_{эф} < 3$ кэв вообще не пригодна из-за большого хода с жесткостью.

5. Если известна энергия излучения, то мощность дозы этого излучения может быть измерена плёночными камерами, используя кривые "хода с жесткостью".

ЛИТЕРАТУРА:

1. Порошков И.В. "Рентгенометрия"
2. Моргулин . Дипломный проект, МИФИ.
3. Иванов В.И. / выступление на семинаре).
4. Радиационная дозиметрия. И.Л. 1958 г. Москва
5. Аглинцев " Дозиметрия ионизирующих излучений".

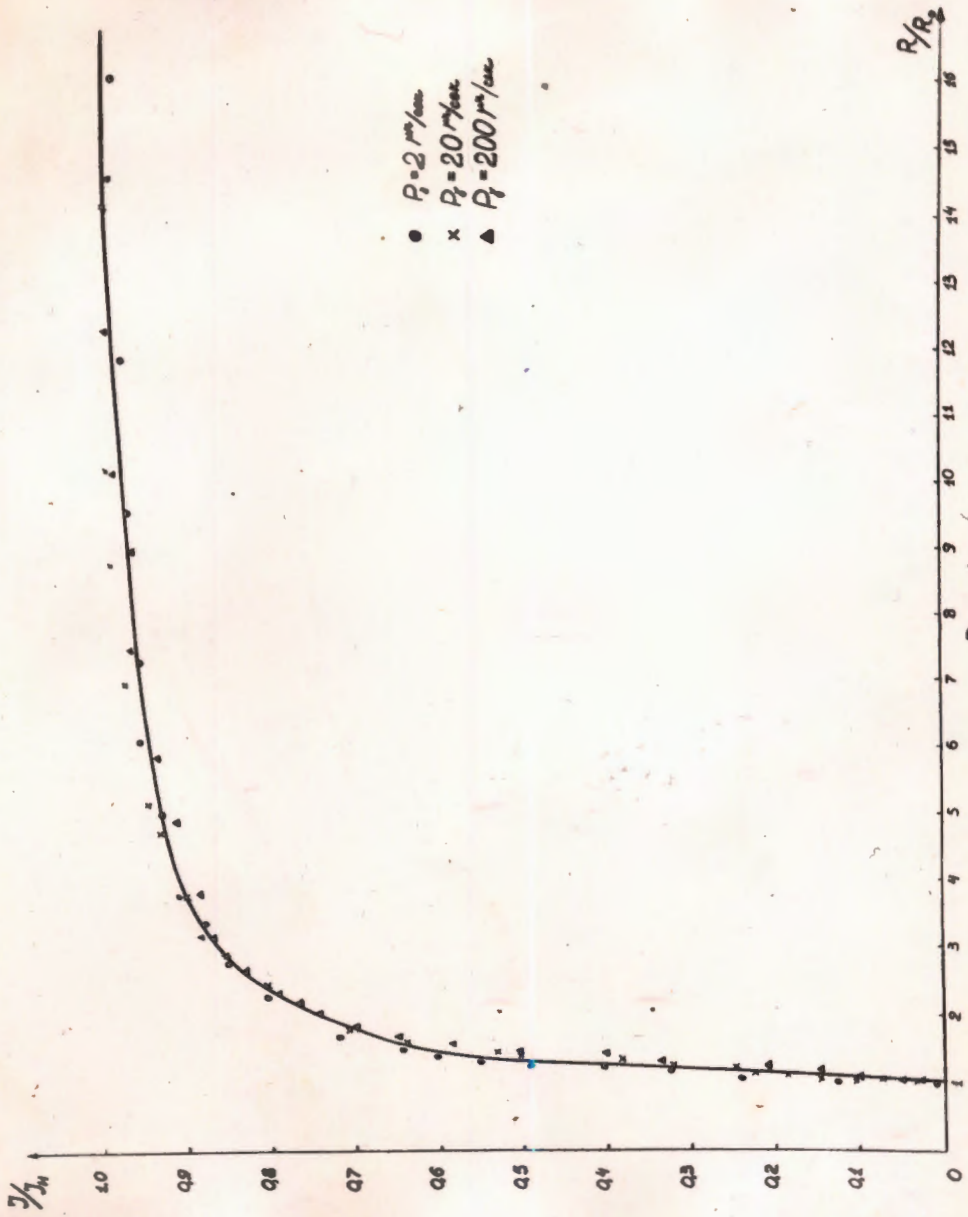


Рис. 1

Универсальная характеристика цилиндрической камеры с капровой пленкой.

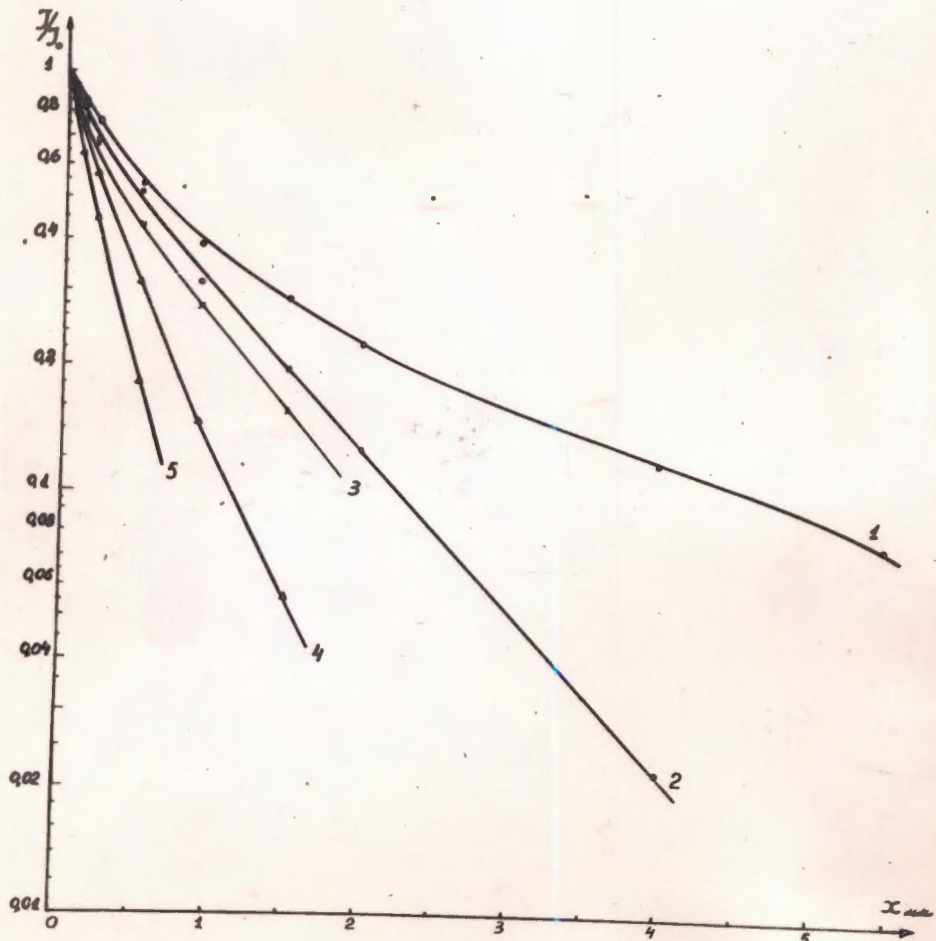


Рис.2

Кривые ослабления излучения алюминием для установки УРС-70.

1. U макс = 44 кВ
2. U макс = 38 кВ.
3. U макс = 31,5 кВ
4. U макс = 23 кВ.
5. U макс = 15 кВ.

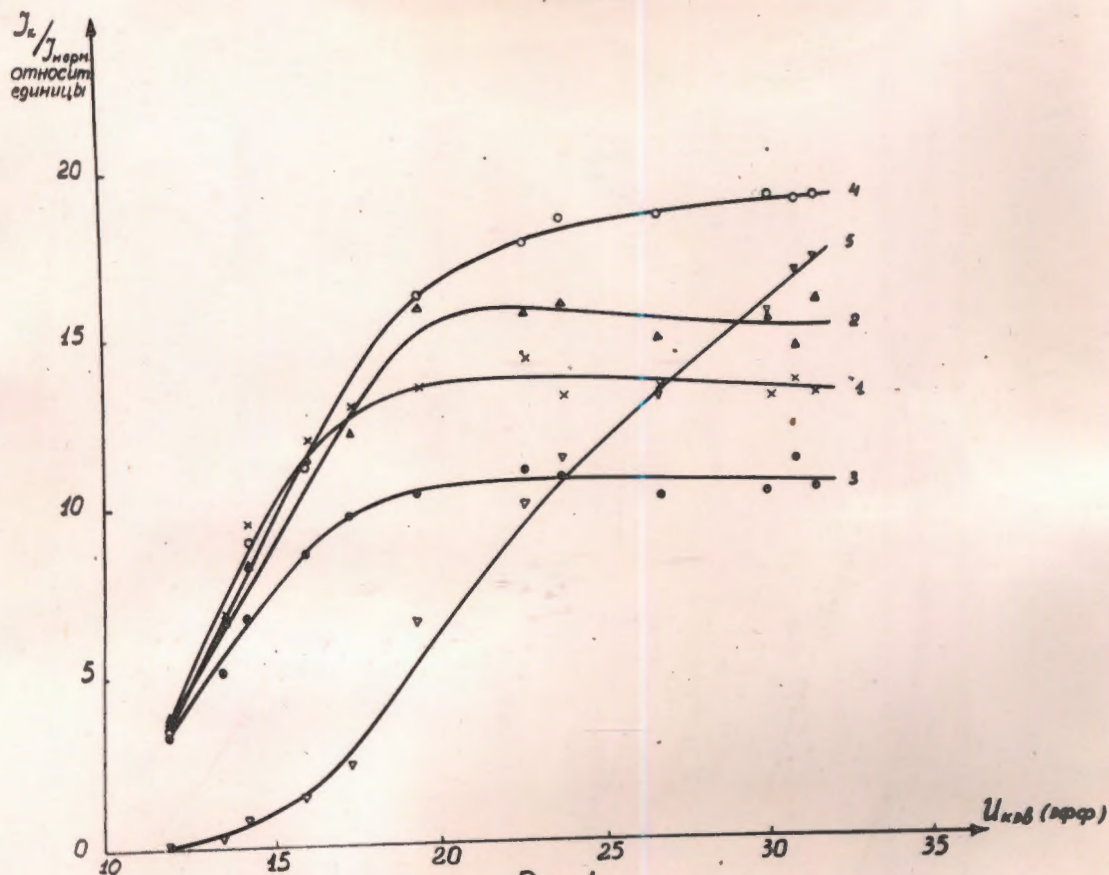
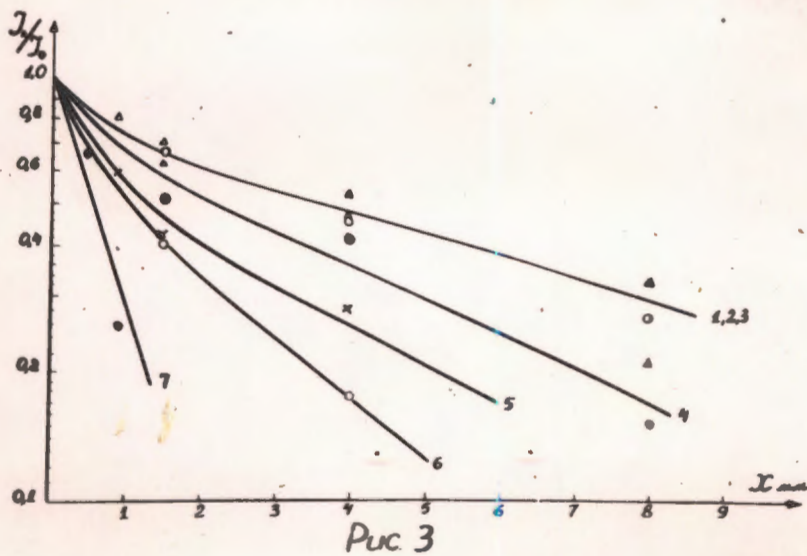


Рис. 4

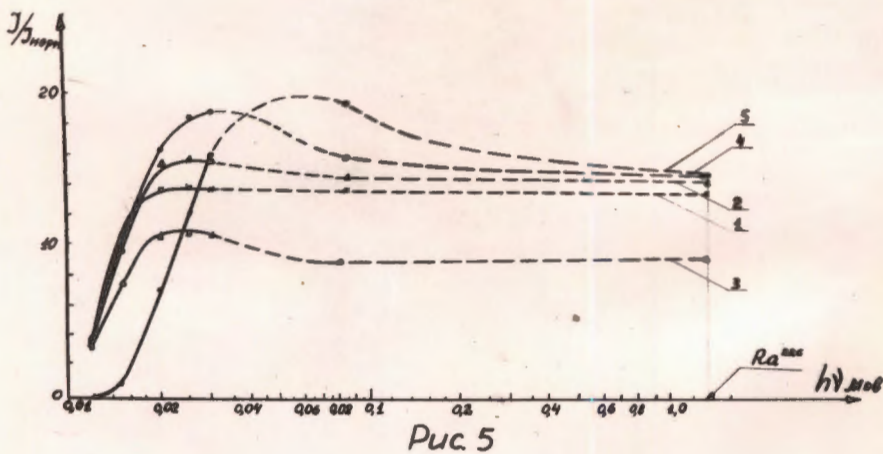
Кривые "хода с жесткостью" для камер.

- 1) Камера с нейлоновой пленкой
- 2) Камера с целлулоидной пленкой
- 3) Камера со съёмными крышками
- 4) "Красная" камера.
- 5) "ДИГ-5".



Ослабление излучения *Al* - ем на РУП-200

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1) <i>U</i> макс = 192 кВ | 5) <i>U</i> макс = 112,5 кВ |
| 2) <i>U</i> макс = 184 кВ | 6) <i>U</i> макс = 90 кВ |
| 3) <i>U</i> макс = 158 кВ | 7) <i>U</i> макс = 68 кВ. |
| 4) <i>U</i> макс = 136 кВ | |



Кривые "хода с жесткостью" для камер.

- 1 - Цилиндрическая камера с капроновой плёнкой
- 2 - Цилиндрическая камера с целлюлоидной плёнкой
- 3 - Камера со съёмными крышками
- 4 - "Красная" камера
- 5 - "ДИГ-5".