

Дисциплина «Источники рентгеновского излучения»

Кафедра электронных приборов и устройств

Потрахов Николай Николаевич

*Санкт-Петербургский
Государственный
Электротехнический
Университет (ЛЭТИ)*



Содержание

Лекция 1 - Открытие рентгеновского излучения (РИ). Свойства РИ. Спектр и интенсивность РИ.

Лекция 2 - Ослабление РИ. Взаимодействие РИ с веществом. Фотоэффект. Эффект Комптона.

Лекция 3 - Расчет спектра РИ. Доза РИ: экспозиционная, поглощенная и эффективная. Методы измерения. Технические средства измерения

Лекция 4 - Рентгеновские трубки (РТ). Классификация. Обозначение. Основные характеристики.

Лекция 5 - Конструкции РТ. Основные узлы.

Лекция 6 - Расчет и конструирование РТ. Технология производства.

Лекция 7 - Способы и источники питания РТ.

Лекция 8 - Визуализация рентгеновского изображения. Приемники рентгеновского изображения: аналоговые и цифровые. Характеристики рентгеновского изображения.

Лекция 9 - Рентгеновские аппараты. Цифровые рентгенодиагностические комплексы.

Лекция 10 - Способы получения рентгеновского изображения. Стандартная рентгенография. Микрофокусная рентгенография.

Лекция 3

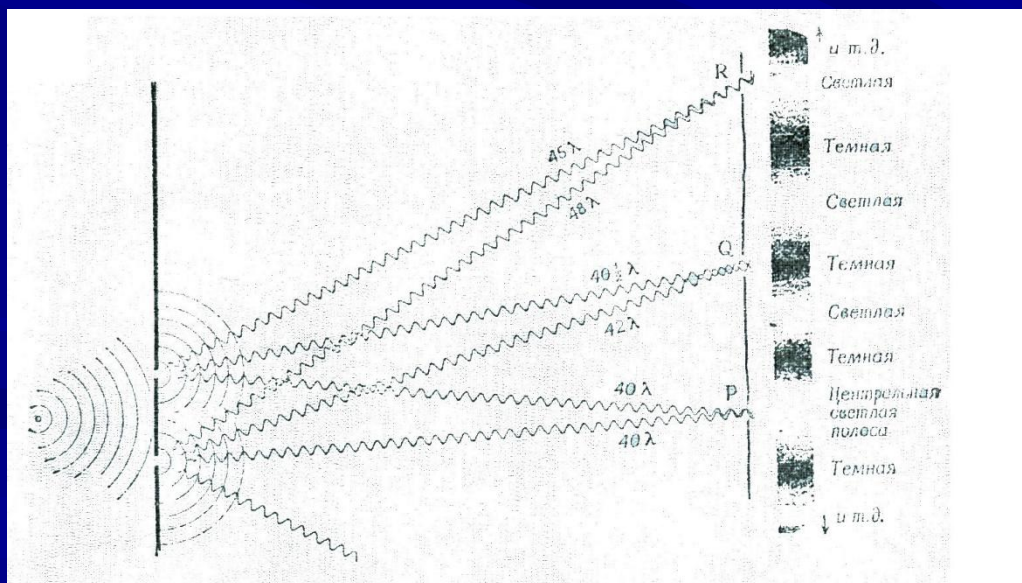
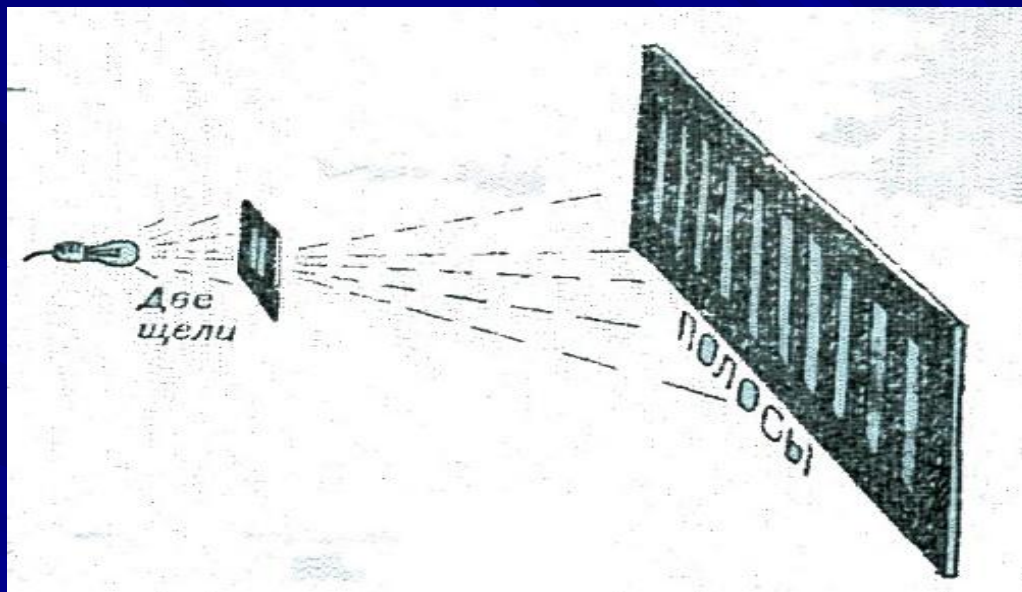
Расчет спектра РИ.

Доза РИ: экспозиционная,
поглощенная и эффективная.

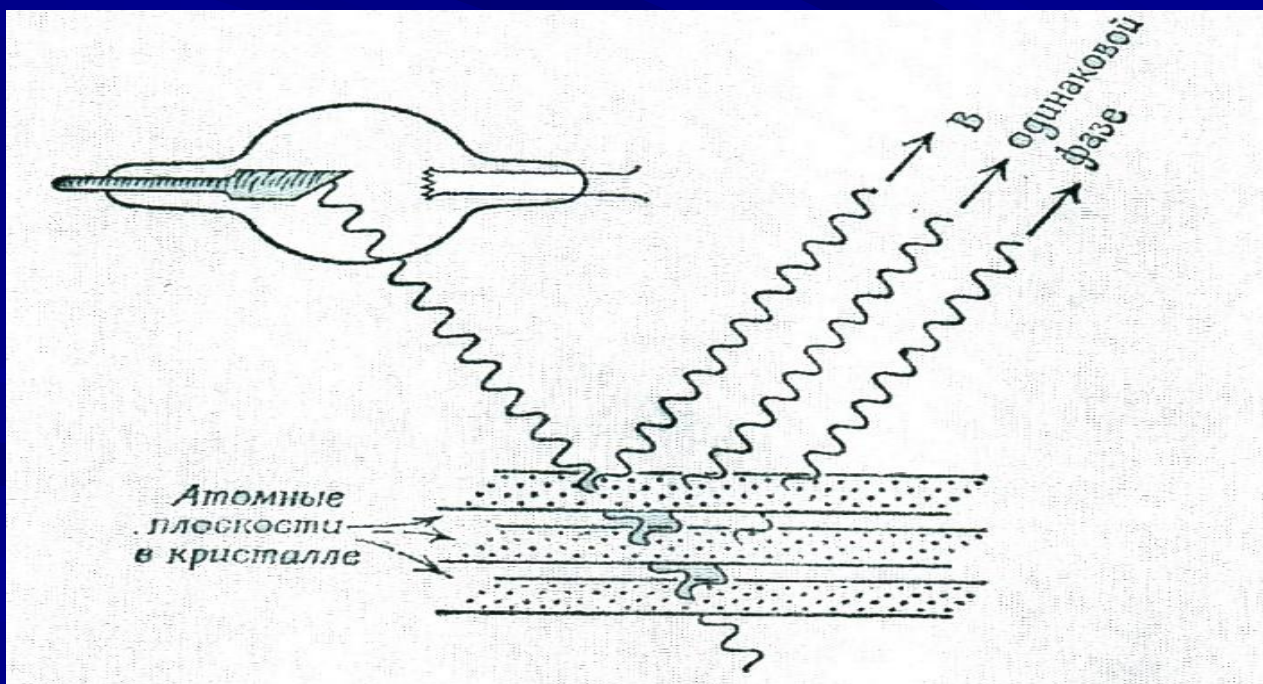
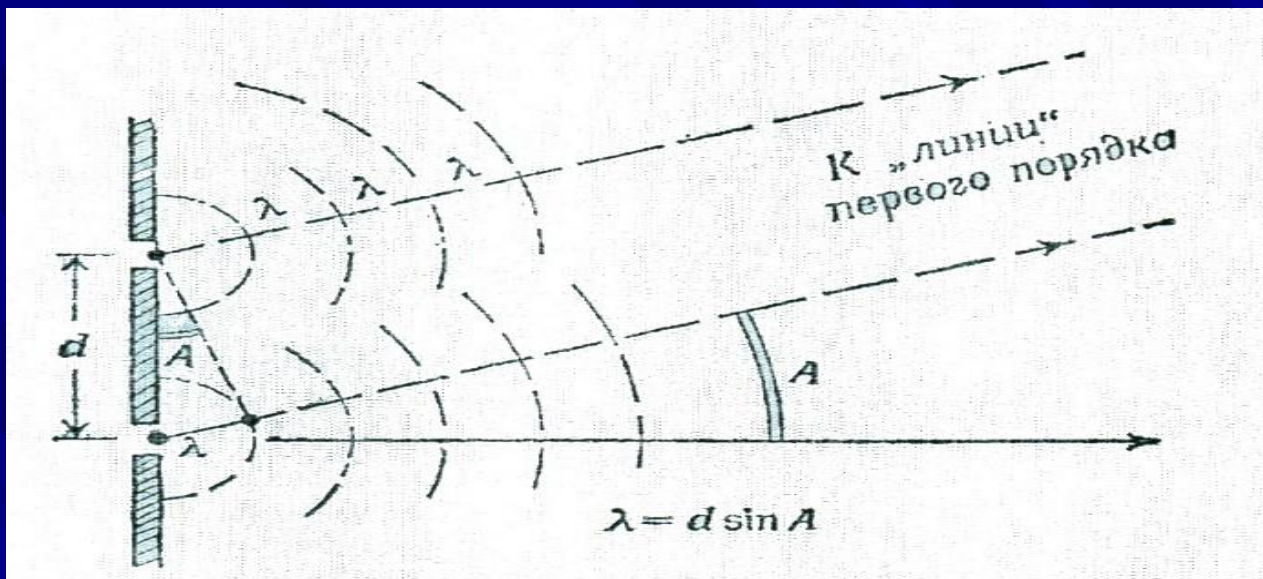
Методы измерения.

Технические средства
измерения

Интерференция электромагнитного излучения

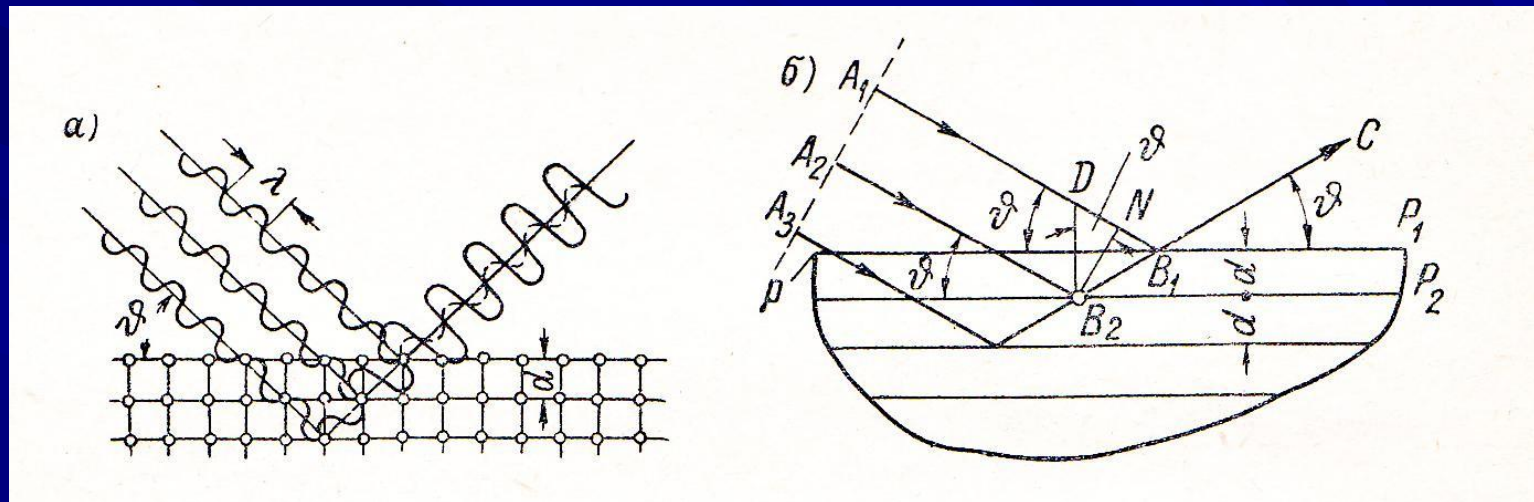


Интерференция электромагнитного излучения



Интерференция рентгеновского излучения

1. Экспериментальные исследования Рассеивание РИ атомами монокристалла - отражение квантов РИ атомными плоскостями.



$$n\lambda = 2d \sin \varphi$$

Вывод формулы 😊?

$$n = 1; \quad \lambda = 2d \sin \varphi_1$$

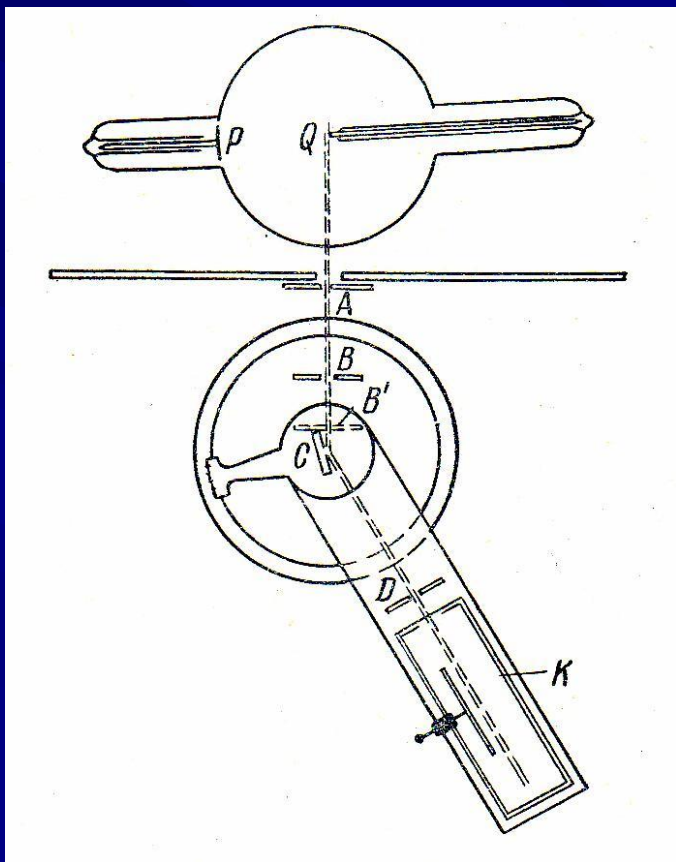
Первый порядок отражения

$$n = 2; \quad \lambda = d \sin \varphi_2$$

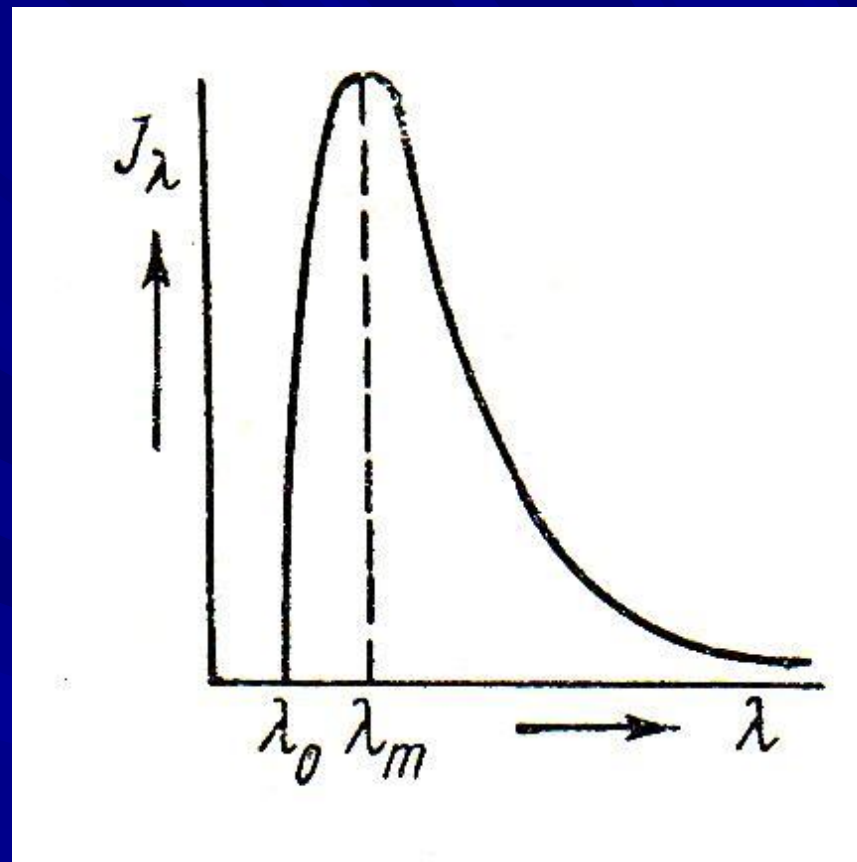
Второй порядок отражения

$$\varphi_2 > \varphi_1$$

Исследование спектра РИ



Ионизационный
спектрометр Брегга



Одновременное измерение
интенсивности и длины волны
РИ

Соотношение углов поворота монокристалла и ионизационной
камеры $\varphi_m \varphi_k$?

Исследование спектра РИ

1900 г., Бюэн и Хэнт

В соответствии с квантовым механизмом возникновения РИ

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda};$$

$$W = eU;$$

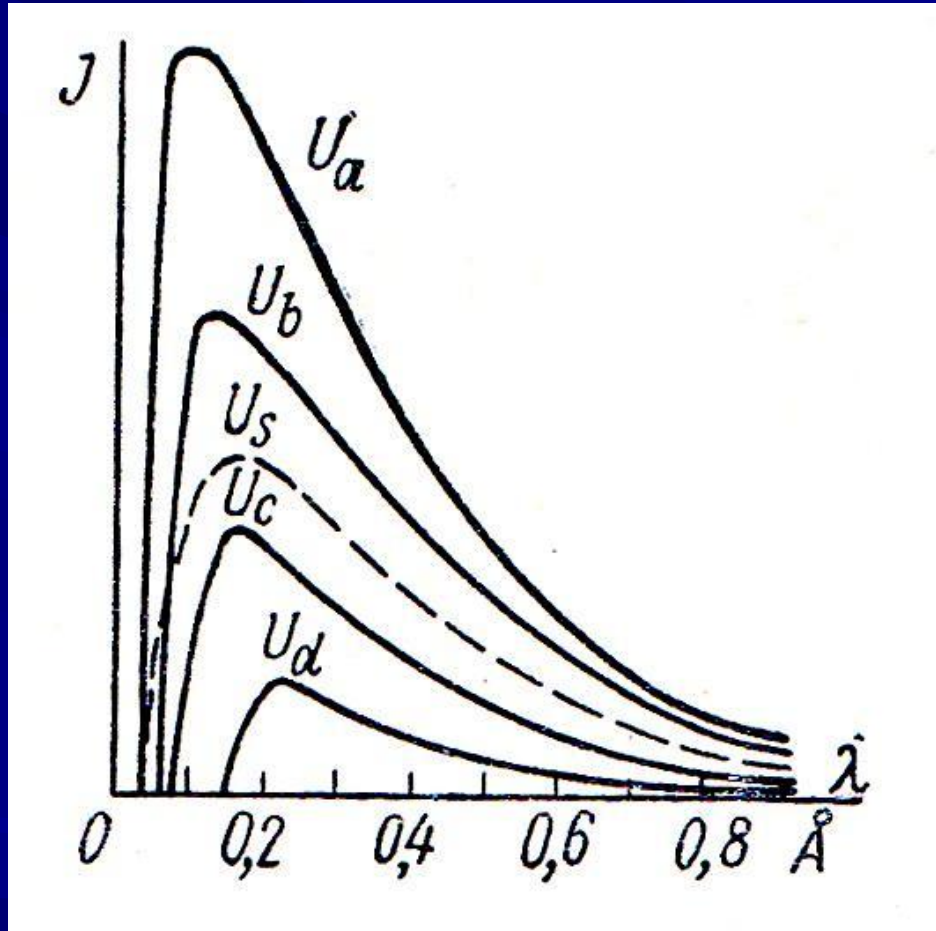
$$h \frac{c}{\lambda} = eU;$$

$$\lambda_{\text{мин}} = \frac{hc}{eU},$$

где $h = 9,13 \cdot 10^{-35}$ Дж·с (постоянная Планка), $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

$$\lambda_{\text{мин}} [\text{нм}] = \frac{1,24}{\text{кВ}}]$$

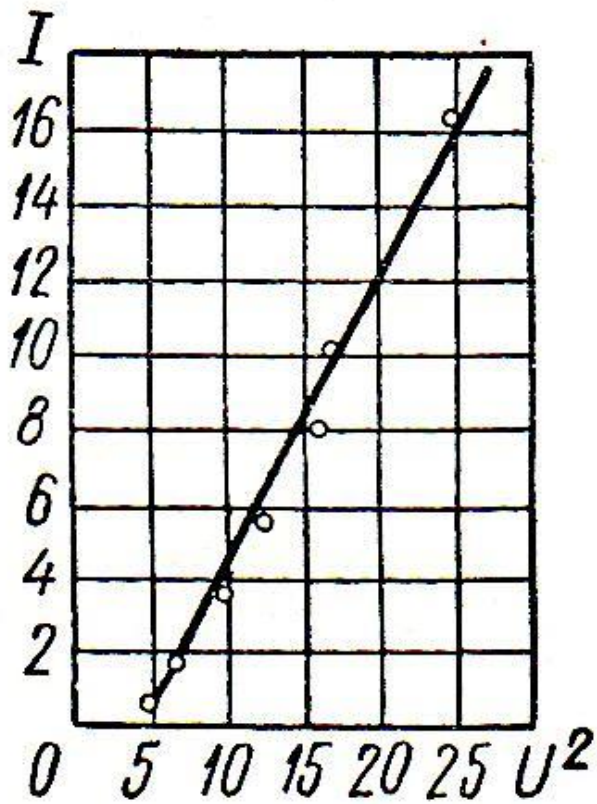
Зависимость интегральной интенсивности РИ от формы напряжения



$$I = \int_{\lambda_{\text{мин}}}^{\lambda} J_{\lambda} d\lambda$$

Интегральная интенсивность РИ – площадь под кривой
спектральной интенсивности РИ
Форма U_s ?

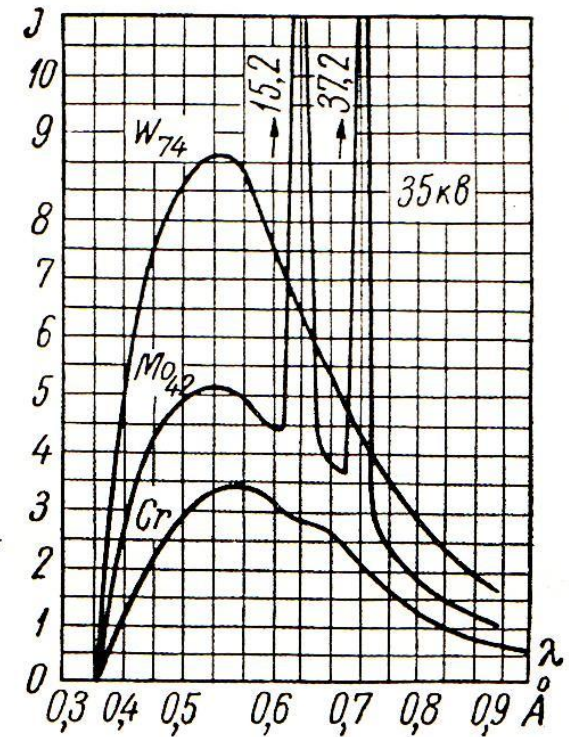
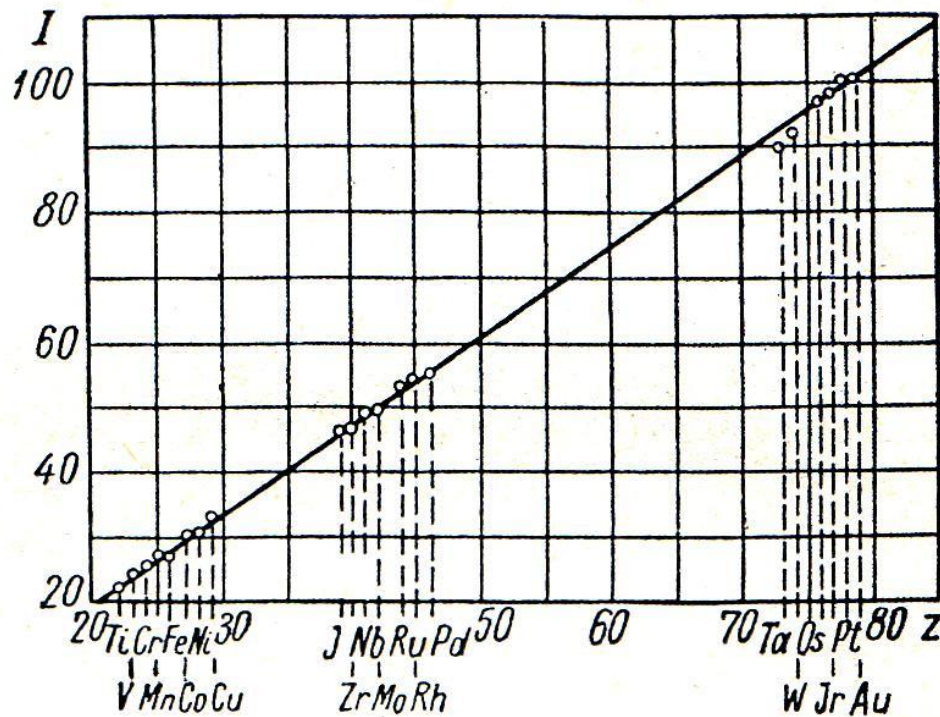
Зависимость интегральной интенсивности РИ от напряжения на трубке



$$I = k_1 U^2$$

Зависимость интегральной интенсивности РИ от материала мишени трубки

1908 г., Кей



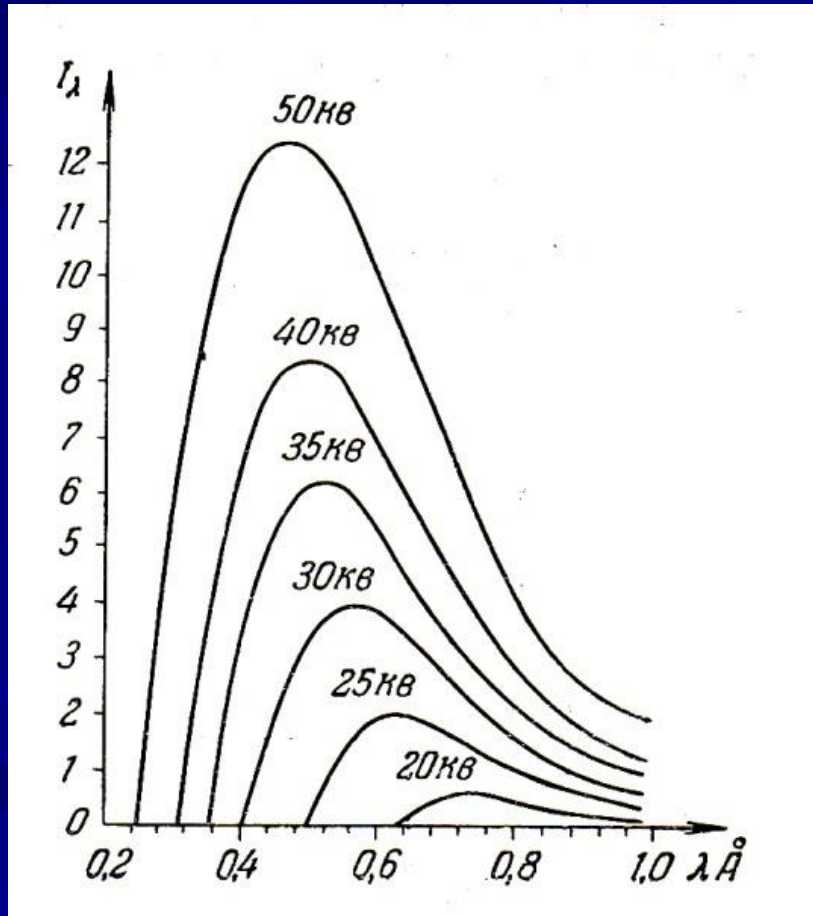
$$I = k_2 Z$$

Распределение энергии РИ по спектру

2. Теоретические исследования.

Спектральная интенсивность РИ

1923 г., Крамерс (1894-1952); 1924 г., Вентцель (1898-1978)



$$J_\lambda = \frac{kc^2 Z}{\lambda_0^3 (\lambda - \lambda_0)}$$

$$\lambda(J_{\text{макс}}) = \frac{3}{2} \lambda_0$$

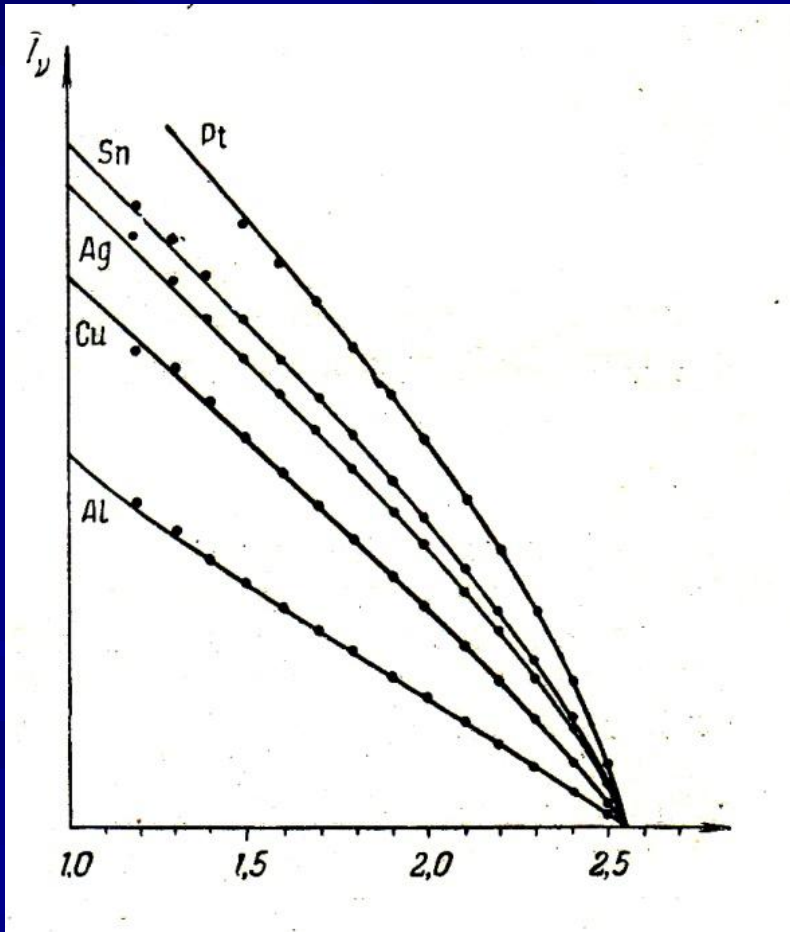
Распределение энергии РИ по спектру

2. Теоретические исследования.

Спектральная интенсивность РИ

1923 г., Крамерс (1894-1952); 1924 г., Вентцель (1898-1978)

Формула Крамерса



$$J_\nu = kiZ(\nu_0 - \nu)$$

Интегральная интенсивность РИ

$$\int_0^{v_0} Kizdv = \int_0^{v_0} kiz(v_0 - v)dv = kiz \frac{v_0^2}{2} = \quad ,$$

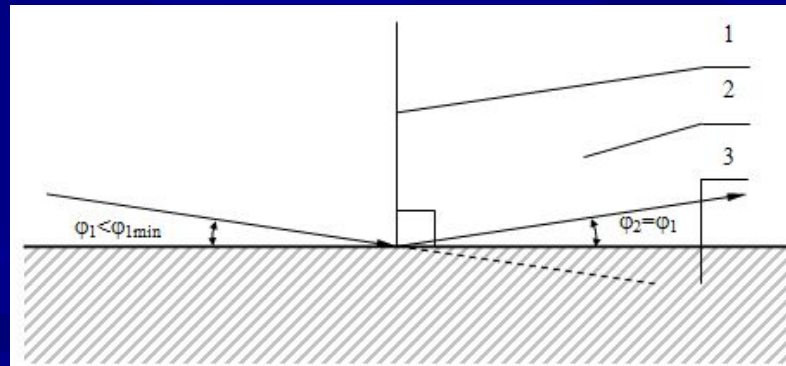
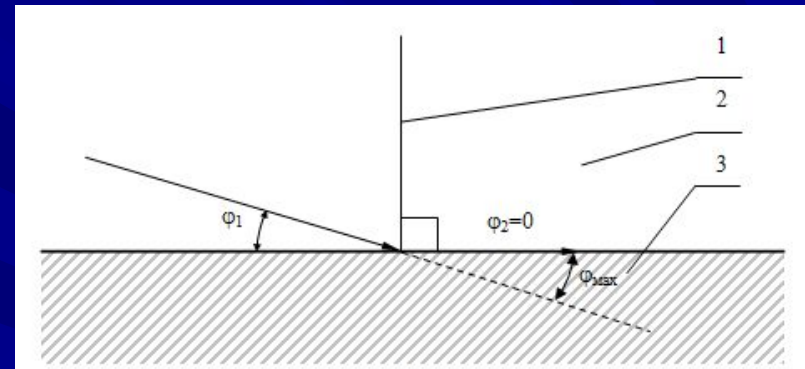
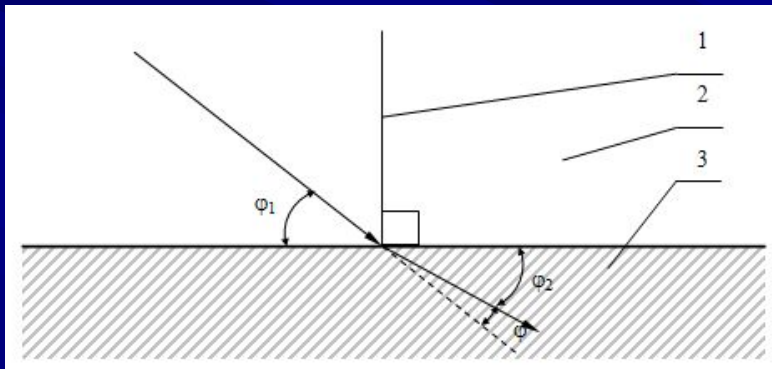
$$I = \frac{KizU^2}{R^2},$$

где K – коэффициент пропорциональности, i – ток трубки,
 Z – порядковый номер мишени, U – напряжение на трубке, R – расстояние
до точки измерения.

Преломление РИ

$$n\lambda = 2d \sin \varphi$$

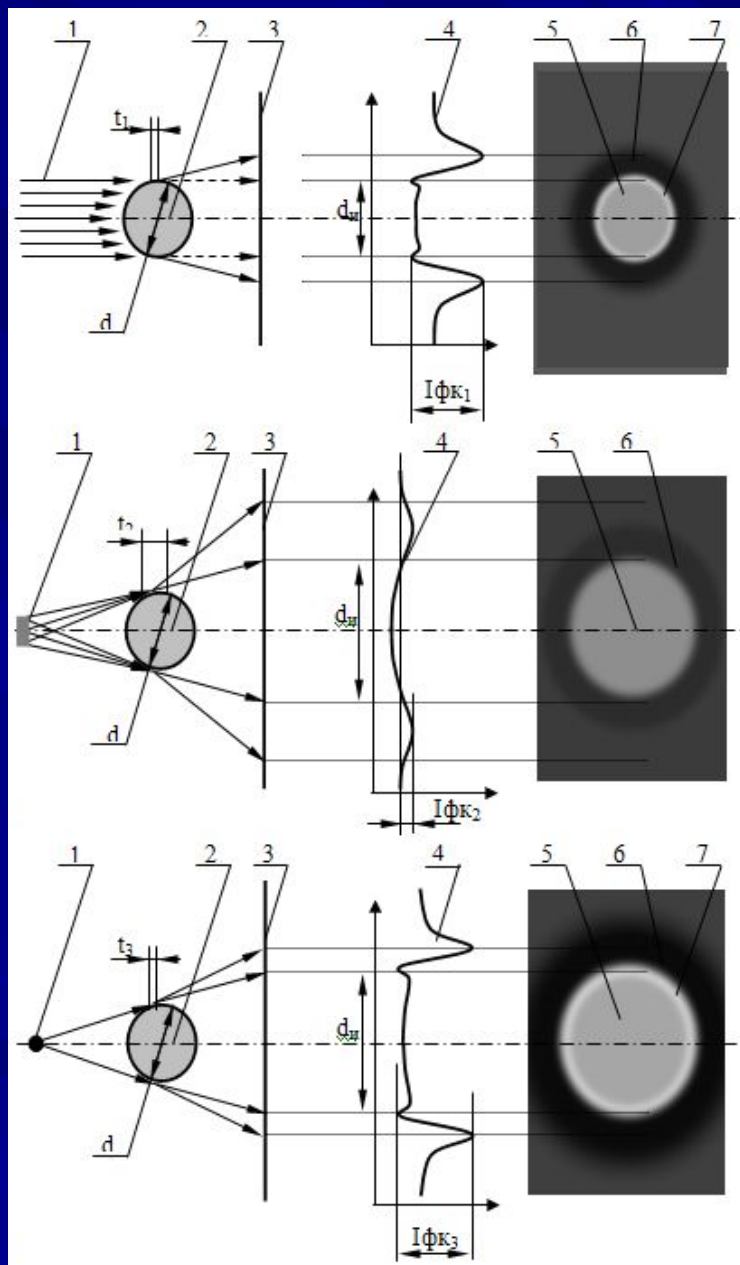
$$\frac{\sin \varphi}{n} = \frac{\lambda}{2d} \neq \text{const}$$



Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом объекта на границе раздела сред.

1 - нормаль к поверхности объекта, 2 - воздушная среда, 3 - вещество объекта; φ_1 - угол падения излучения, φ_2 - угол преломления, φ - угол отклонения.

Преломление РИ



Преломление РИ

Полное внутреннее отражение. Показатель преломления

E, кэВ	$\lambda,$ нм	Кальций		Пирит		Никель		Алюминий		Серебро	
		$\delta \cdot 10^6$	$\delta/\lambda^2 \cdot 10^6$	$\delta \cdot 10^6$	$\delta/\lambda^2 \cdot 10^6$	$\delta \cdot 10^6$	$\delta/\lambda^2 \cdot 10^6$	$\delta \cdot 10^6$	$\delta/\lambda^2 \cdot 10^6$	$\delta \cdot 10^6$	$\delta/\lambda^2 \cdot 10^6$
6,4	0,19	13,9	3,7			35,5	9,2				
8,1	0,15	8,8	3,7	17,6	7,5	18,7	7,9	8,4	3,5		
8,9	0,14			13,2	6,9	17	8,8				
9,7	0,13					14,8	9,11			21,5	11,3
17,5	0,07	2,0	4,0	3,4	6,7			1,7	3,4		
19,7	0,06			2,9	7,2					5,9	11,7

$$\frac{\delta}{\lambda^2} = const$$

Преломление РИ

Зависимость угла полного внутреннего отражения

$$\varphi_0 = \sqrt{2\delta}$$

Длина волны излучения λ , нм/ энергия E , кэВ	Материал	$\delta \cdot 10^6$	$\varphi_0, ^\circ$
0,07/17,5	Al	1,68	4,6
0,07/17,5	Cu	5,95	8,4
0,07/17,5	Ag	5,85	8,4
0,07/17,5	C	1,23	3,9
0,15/8,32	Al	8,4	10

Расчет спектра РИ

В общем случае спектр излучения трубки является результатом сложения двух составляющих: тормозного и характеристического спектров рентгеновского излучения.

Спектральная плотность потока тормозного излучения $N_t(E)$ [квант/(с·ср·кэВ)] - зависимость количества квантов от их энергии рассчитывается по формуле Крамерса.

$$N_t(E) \approx Z \cdot i_A \cdot \frac{1.5 \cdot 10^{-16}}{E} \cdot \left(\frac{E_0}{E} - 1 \right)$$

Поток характеристического излучения N_{xq} [квант/(с·ср)] в спектре первичного излучения определяется выражением

$$N_{xq} = k_1 \cdot i_A \cdot \frac{\gamma \cdot \omega_q \cdot p \cdot G}{Z} \cdot \left(\frac{A_0}{E_q} - 1 \right)^{1.67},$$

где k_1 - константа, равная $5 \cdot 10^{14}$; Z - атомный номер материала мишени рентгеновской трубки; i_A - анодный ток трубки; E_0 - энергия ускоренных электронов; E_q - энергия ионизации q -уровня; $G = 1 - (7 \cdot Z - 80) / (14 \cdot Z - 80)$; ω_q - выход флуоресценции q -уровня; p - доля флуоресценции данной характеристической линии; $\gamma = 3.8 \cdot 10^{-2}$ для К-серии характеристического излучения и $\gamma = 0.11$ для L-серии

Расчет спектра РИ

В общем случае ослабление потока рентгеновского излучения слоем вещества описывается выражением

$$N(E) = N_0(E) \cdot \exp(-\mu(E) \cdot X)$$

где $N_0(E)$ – спектральная плотность потока излучения до ослабления в слое [квант/(с·ср·кэВ)], $\mu(E)$ – линейный коэффициент ослабления потока квантов с энергией E [см⁻¹], X – толщина ослабляющего слоя [см].

Общая формула для расчета линейного коэффициента ослабления имеет вид:

$$\mu(E) = \tau(E) + \mu_{\text{к}}(E) + \mu_{\text{нк}}(E)$$

Расчет спектра РИ

Зависимость τ в диапазонах энергий квантов между краями поглощения

можно описать с помощью полиномов типа:

$$\tau(E) = \sum_{i=0}^4 \tau_i E^{-i}$$

Спектральную зависимость коэффициента когерентного рассеяния σ_K

можно описать с помощью полинома типа:

$$\sigma_K(E) = (1 + \sigma_4 E)(\sigma_0 + \sigma_1 E + \sigma_2 E^2 + \sigma_3 E^3)^{-1}$$

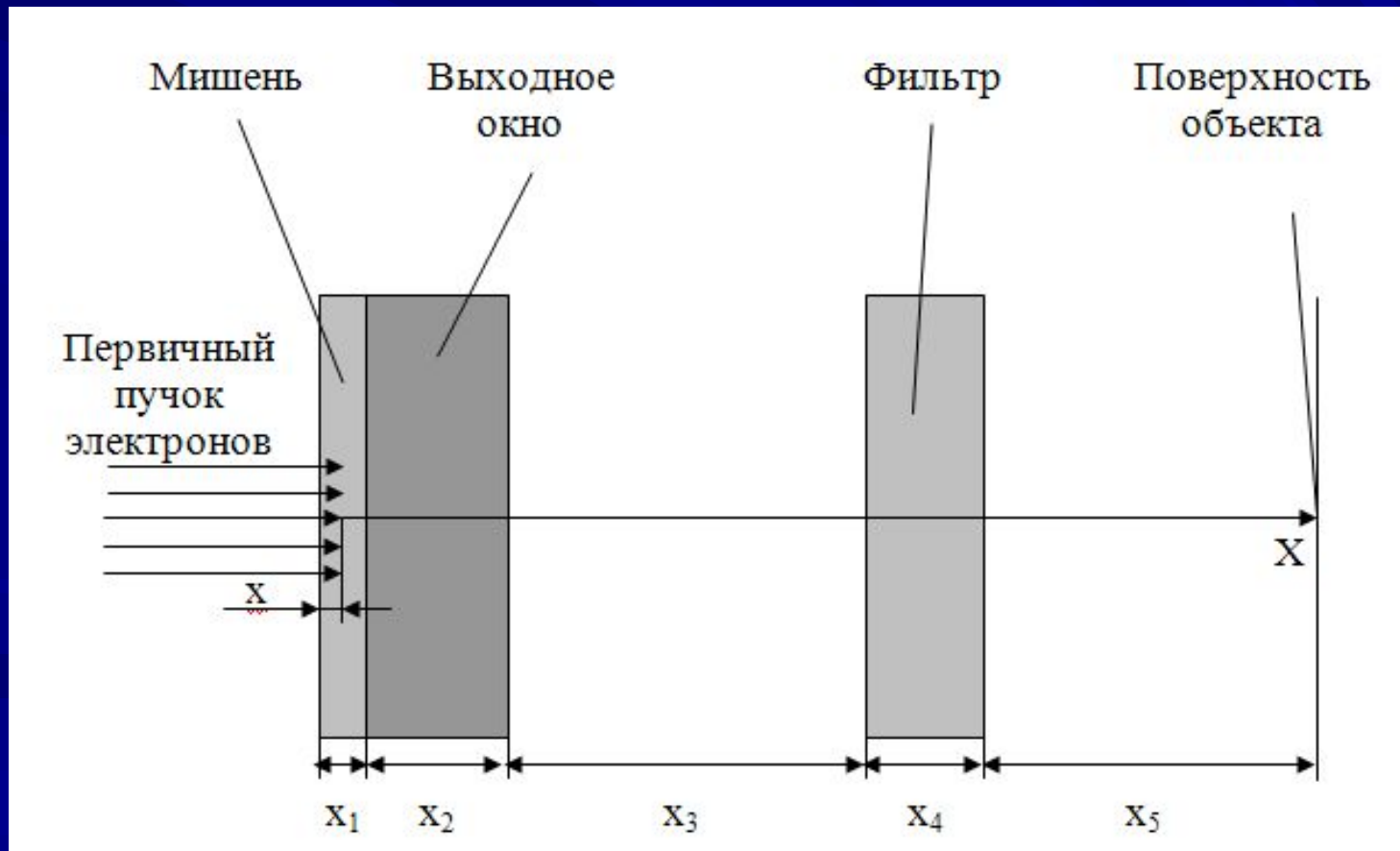
Спектральная зависимость коэффициента некогерентного рассеяния σ_{HK}

описывается полиномом типа:

$$\sigma_{HK}(E) = \left(\frac{\sigma_0}{E} + \sigma_1 + \sigma_2^{-1} E \right)^{-1}$$

Расчет спектра РИ

Сложение спектров тормозного и характеристического излучения дает идеализированный спектр излучения рентгеновской трубки в зависимости от таких параметров, как ток, напряжение и материал мишени трубки.



Расчет спектра РИ

Спектральную плотность потока квантов тормозного излучения рентгеновской трубки с прострельным анодом можно рассчитать по выражению

$$N(E) = Z \cdot i_A \cdot \left(\frac{E_0}{E} - 1 \right) \exp(-x_1 - x) \cdot M \times \\ \times \exp\left(-\frac{E}{E_0}\right) \cdot \exp(-x_2) \cdot \mu_4(E) \cdot \exp(-x_3) \cdot \mu_5 + \text{возд}$$

а поток характеристического излучения – по выражению:

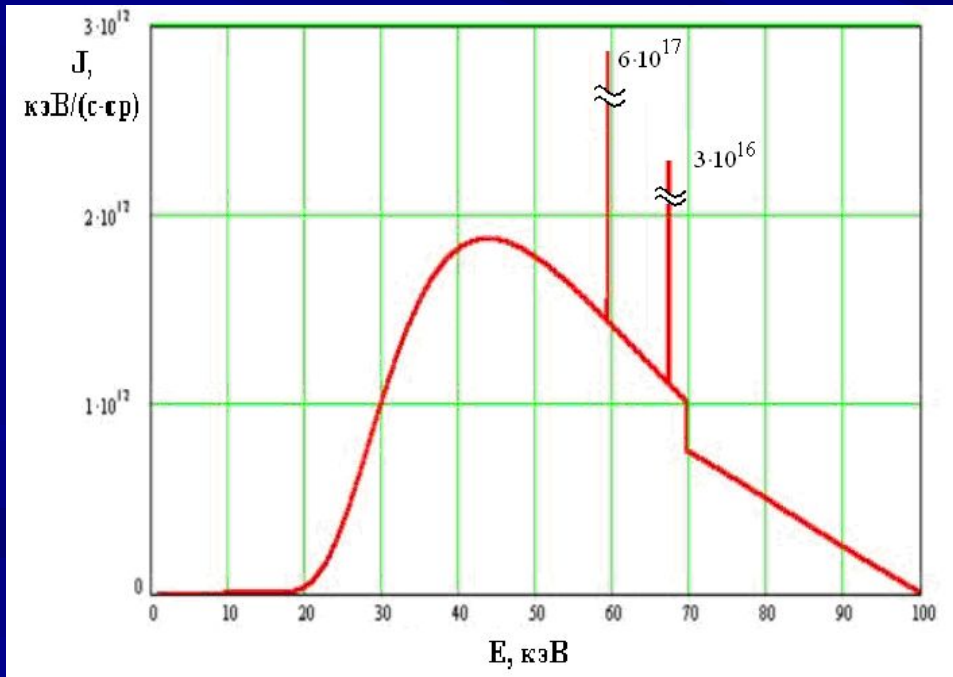
$$N_{\text{ХИ}}(E) = i_A \cdot \frac{\gamma \cdot \omega_q \cdot p \cdot G}{Z} \cdot \left(\frac{E_0}{E_q} - 1 \right)^{1.67} \cdot \exp(-x_1 - x) \cdot M_q \times \\ \times \exp\left(-\frac{E}{E_0}\right) \cdot \exp(-x_2) \cdot \mu_4(E) \cdot \exp(-x_3) \cdot \mu_5 + \text{возд}$$

Расчет спектра РИ

суммарное количество квантов в потоке излучения:

$$N(E) dE N \quad N_x + \sum_q q$$

суммарная энергию всех квантов у поверхности объекта - интегральная интенсивность излучения:



$$I(E) \int_0^{E_0} N(E) dE \cdot N_x + \sum_q q \cdot q$$

Экспозиционная доза

Доза ионизирующего излучения, экспозиционная $D_{\text{эксп}}$ – характеризуется ионизационным эффектом (полный заряд ионов одного знака), возникающим в единице массы воздуха при полном торможении всех вторичных электронов, которые были образованы квантами рентгеновского излучения.

Экспозиционная доза – измеряется по ионизации сухого атмосферного воздуха, как отношение суммы электрических зарядов одного знака, образовавшихся во всей массе облучаемого воздуха.

Экспозиционная доза – величина, характеризующая поле ионизирующего излучения в данном месте.

Единица экспозиционной дозы – Кл/кг.

Расчет экспозиционной дозы РИ

Под экспозиционной дозой $D_{\text{эксп}}$ понимают количество энергии рентгеновского излучения, затраченной на ионизацию единичного объема воздуха.

$D_{\text{эксп}}$ определяется как отношение суммарного заряда всех видов одного знака Q , созданных в воздухе, к массе воздуха m в указанном объеме V :

$$D_{\text{эксп}} = \frac{Q}{mV} = \frac{Q}{m}, [Кл \cdot кг]$$

Расчет экспозиционной дозы РИ

По традиции используется специальная единица $D_{\text{эксп}}$ – рентген [Р].

1. Принято, что при $D_{\text{эксп}}$, равной 1 Р в воздухе образуется $2,1 \cdot 10^9$ пар ионов.

Величина элементарного заряда $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Суммарный заряд ионов одного знака составляет $3,3 \cdot 10^{-10}$ Кл.

Нормирование на 1 г воздуха (плотность $\rho = 1,3 \cdot 10^{-3}$ г/см³) дает величину $2,58 \cdot 10^{-7}$ Кл·г.

Таким образом, $D_{\text{эксп}}$ 1 Р соответствует $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг.

2. Энергия образования одной пары ионов в воздухе ≈ 34 эВ.

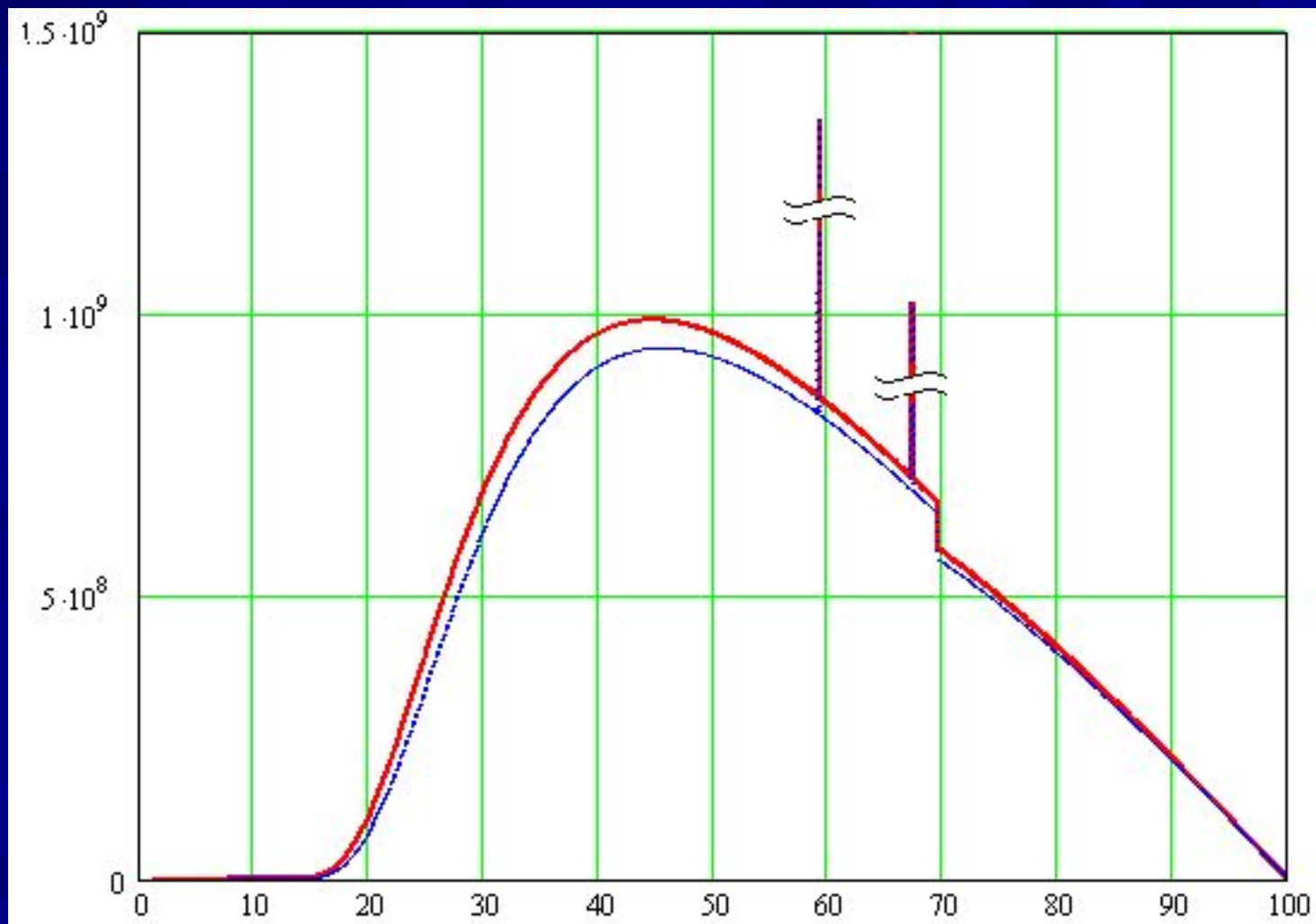
Соответственно, при $D_{\text{эксп}}$ 1 Р 1 см³ воздуха передается энергия $W 7,1 \cdot 10^{10}$ эВ.

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Удельная энергия, поглощенная в одном килограмме воздуха

при $D_{\text{эксп}}$ 1 Р составляет $8,8 \cdot 10^{-3}$ Дж·кг

Расчет экспозиционной дозы РИ



Экспозиционная доза

Еще раз!

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл / кг.}$$

1 Р равен такой $D_{\text{эксп}'}$

при которой в 1 см^3 воздуха, находящегося

при нормальном атмосферном давлении и $0 \text{ }^\circ\text{C}$, образуются ионы,

несущие заряд, равный

1 единице заряда СГСЭ ($\approx 3,3 \cdot 10^{-10}$ Кл) каждого знака.

При $D_{\text{эксп}'}$ равной 1 Р,
в 1 см^3 воздуха образуется $2,1 \cdot 10^9$ пар ионов.

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг};$$

$$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$$

Поглощенная доза

Доза ионизирующего излучения,
поглощенная D - величина энергии ионизирующего излучения, переданная
единице массы вещества.

Единица поглощенной дозы в системе СИ - 1Гр.

1Гр равен дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг
передается энергия излучения 1 Дж

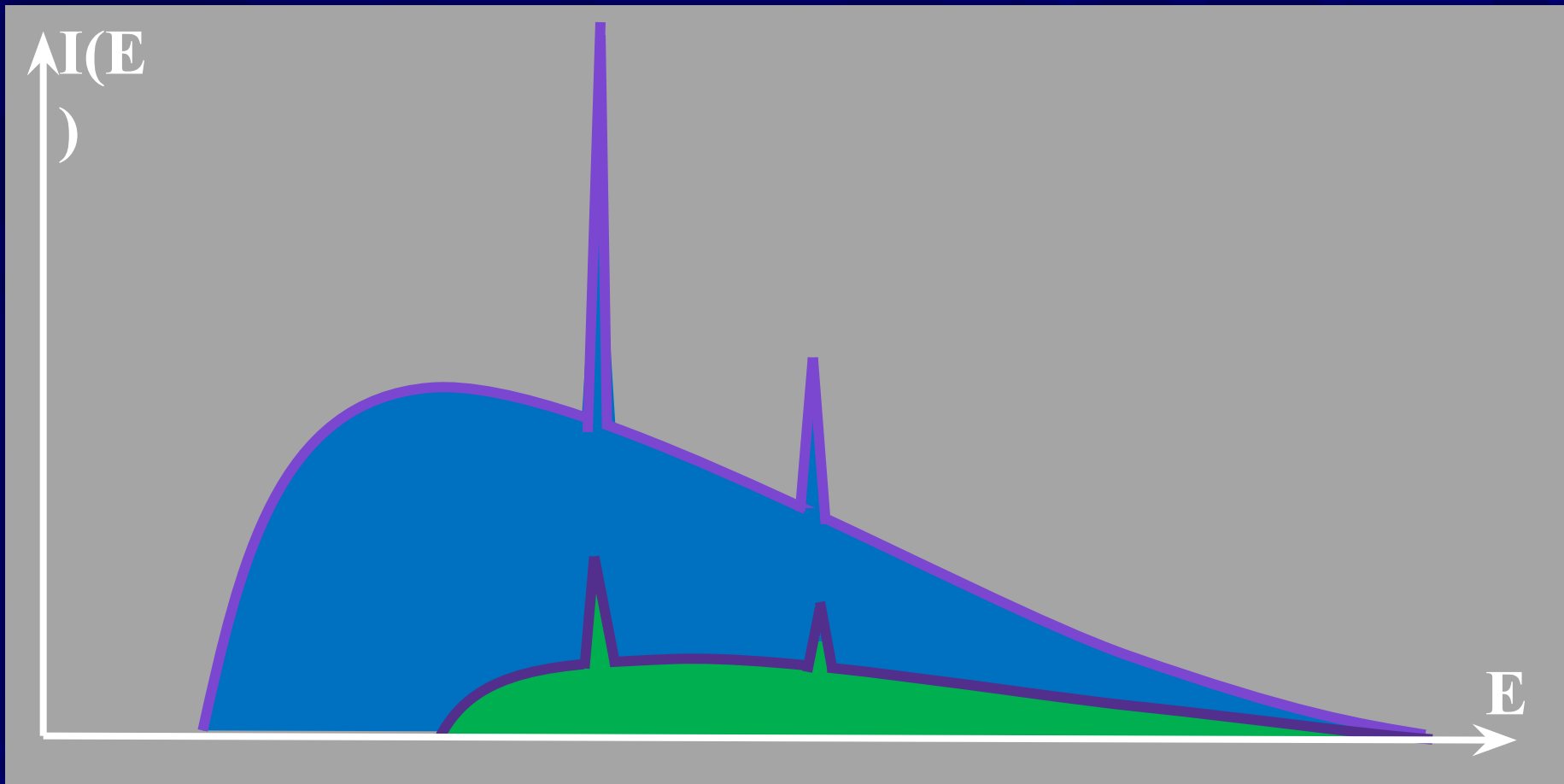
$$[\text{Гр}] = [\text{Дж/кг}].$$

Внесистемная единица 1 Рад

$$1 \text{ Рад} = 10^{-2} \text{ Гр}.$$

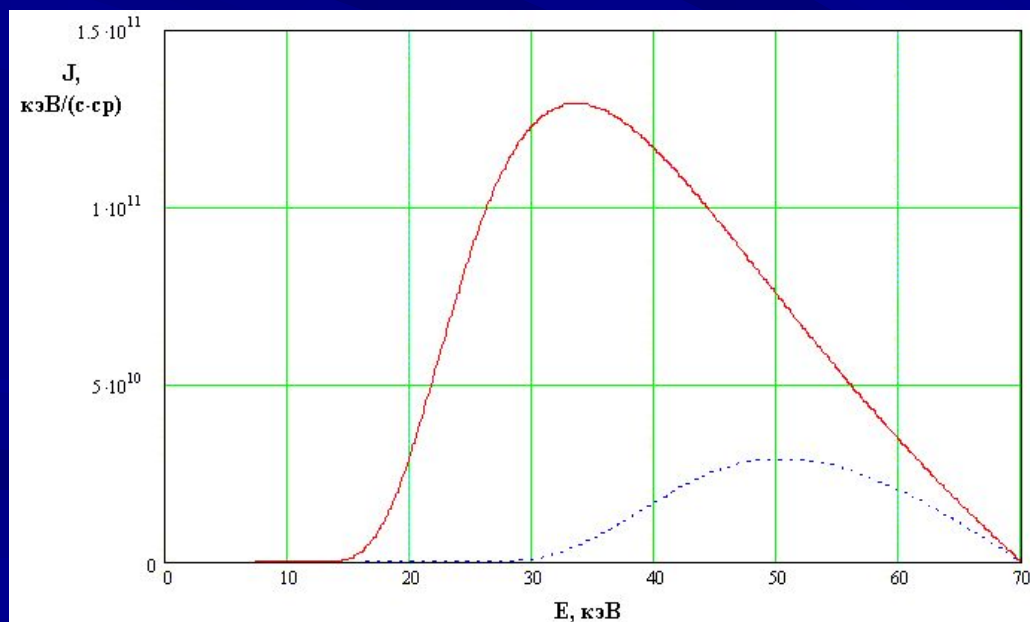
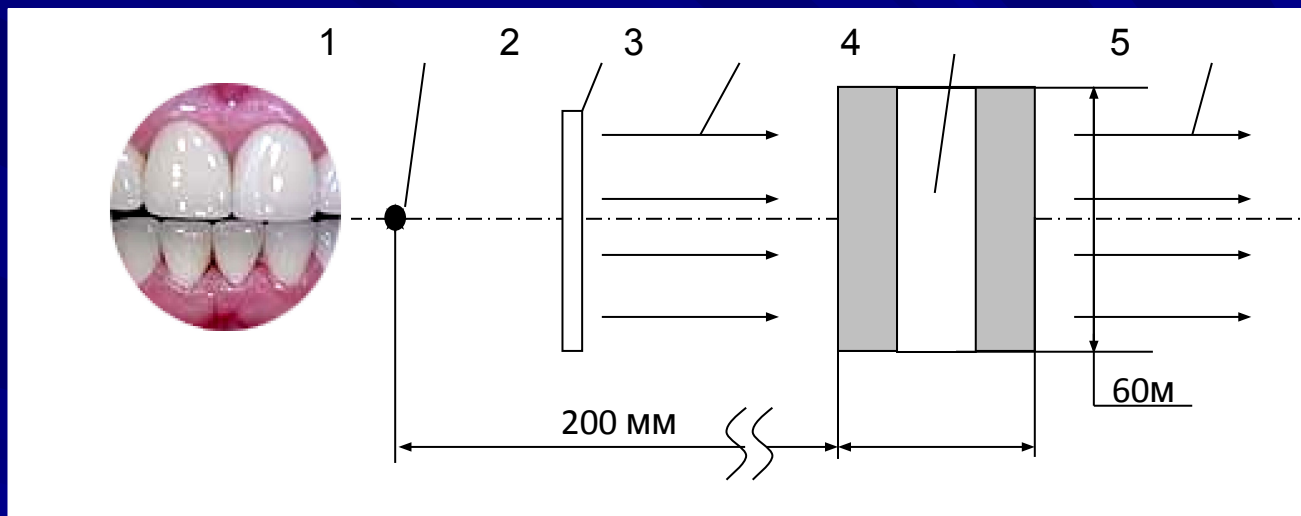
Экспозиционной дозе 1 Р соответствует поглощенная в биологической ткани
доза 0,93 рад

Как рассчитать поглощенную дозу



$$1\text{Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 88 \text{ рентген}$$

Пример расчета поглощенной дозы



Эквивалентная доза

Доза ионизирующего излучения, эквивалентная H - поглощенная доза в органе или ткани D , умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения W_R .

Эквивалентная доза определяет биологическое действие излучения на организм и характеризует степень опасности данного вида излучения.

$$H_{TR} = W_R \cdot D_{TR},$$

где D_{TR} - средняя поглощенная доза в органе или ткани,

W_R - взвешивающий коэффициент.

Единицей эквивалентной дозы в системе СИ - Зв

$$[Зв] = [Дж] / [кг].$$

Внесистемная единица - Бэр

$$1 \text{ Бэр} = 10^{-2} \text{ Зв}$$

Коэффициент качества излучения WR

Усредненный коэффициент относительной биологической эффективности (ОБЭ).

Характеризует опасность данного вида излучения (по сравнению с рентгеновским излучением).

Чем опаснее данное излучение, тем коэффициент больше («коэффициент вредности»).

Значения коэффициента качества ионизирующего излучения определены с учетом биологических последствий хронического облучения человека малыми дозами определенного ионизирующего излучения

Значения коэффициента W_R

Вид излучения	W_R
Кванты любых энергий	1
Электроны, позитроны, бета-излучение	1
Нейтроны с энергией меньше 10 кэВ	5
Нейтроны с энергией 10-100кэВ	10
Нейтроны с энергией 100-2 МэВ	20
Нейтроны с энергией 2-20МэВ	10
Альфа-излучение	20
Осколки деления, тяжелые ядра	20

Эффективная доза

Доза ионизирующего излучения, эффективная E - величина, используемая для оценки риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности.

E - сумма произведений эквивалентной дозы в облучаемых органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты W_T

$$E = \sum W_T \cdot H_T,$$

где H_T - эквивалентная доза в органе или ткани,

W_T - взвешивающий коэффициент для органа или ткани.

Внесистемная единица Бэр

Взвешивающий коэффициент для органа или ткани W_{Ti}

Органы, ткани	Коэффициент
Кожа	0,01
Красный костный мозг	0,12
Толстый кишечник	0,12
Желудок	0,12
Лёгкие	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидная железа	0,05
Половые железы	0,2
Клетки костных поверхностей	0,01
Головной мозг	0,025
Остальные ткани	0,05

Эффективная доза

Единица эффективной и эквивалентной доз
ионизирующего излучения в системе СИ зиверт,
используется с 1979 г.

В общем случае 1 зиверт — это количество энергии, поглощённое
килограммом конкретной биологической ткани (W_{Ti}),
равное по воздействию поглощённой дозе рентгеновского излучения в
1 Гр ($W_R = 1$)

Острая лучевая болезнь

- При дозе 1-2 Гр – ОЛБ I (легкой) степени;
- При дозе 2-4 Гр – ОЛБ II (средней) степени;
- При дозе 4-6 Гр – ОЛБ III (тяжелой) степени;
- При дозах выше 6 Гр – ОЛБ IV (крайне тяжелой) степени, при этом выделяют формы ОЛБ:
 - ✓ Доза 6-10 Гр (переходная форма) – тяжелый костномозговой синдром и поражение кишечника (выживание возможно в редких случаях при адекватном лечении),
 - ✓ Доза 10-20 Гр (кишечная форма) – желудочно-кишечный синдром, гибель через 8-16 суток;
 - ✓ Доза 20-80 Гр (токсемическая форма) – сосудистые расстройства и нарушения метаболизма (капилляртоксикоз) – гибель на 4-7 сутки;
 - ✓ Доза выше 80 Гр (церебральная форма) – судороги и неврологические расстройства – гибель в первые часы или до 3-х суток.

Нормативы

категория А - персонал, обслуживающий источники ионизирующих излучений (операторы АЭС, физики-ядерщики, моряки атомных подводных лодок и другие);

категория Б - ограниченная часть населения (люди, живущие вблизи ядерных объектов, на территориях, загрязненных радионуклидами, а также гражданские и военные летчики);

категория В - население.

Годовые предельные дозы облучения:

для лиц категории А	- 20 мЗв (2 бэр)
для лиц категории Б	- 5 мЗв (0,5 бэр)
для лиц категории В	- 1 мЗв (0,1 бэр)

Методы измерения

Основная количественная характеристика РИ –
поглощенная веществом энергия излучения.

Поглощенная энергия излучения определяется поглощенной дозой.

Для измерения поглощенной дозы излучения – дозиметрии используются
следующие основные методы:

- ионизационный;
- калориметрический;
 - химический;
- фотографический;
- сцинтилляционный;
- люминесцентный;
- полупроводниковый

Ионизационный метод дозиметрии

Ионизационный метод основан на способности РИ производить ионизацию облучаемого вещества.

Ионизация осуществляется «свободными» электронами, возникающими при взаимодействии РИ с атомами вещества.

В качестве детектора излучения используется ионизационная камера.

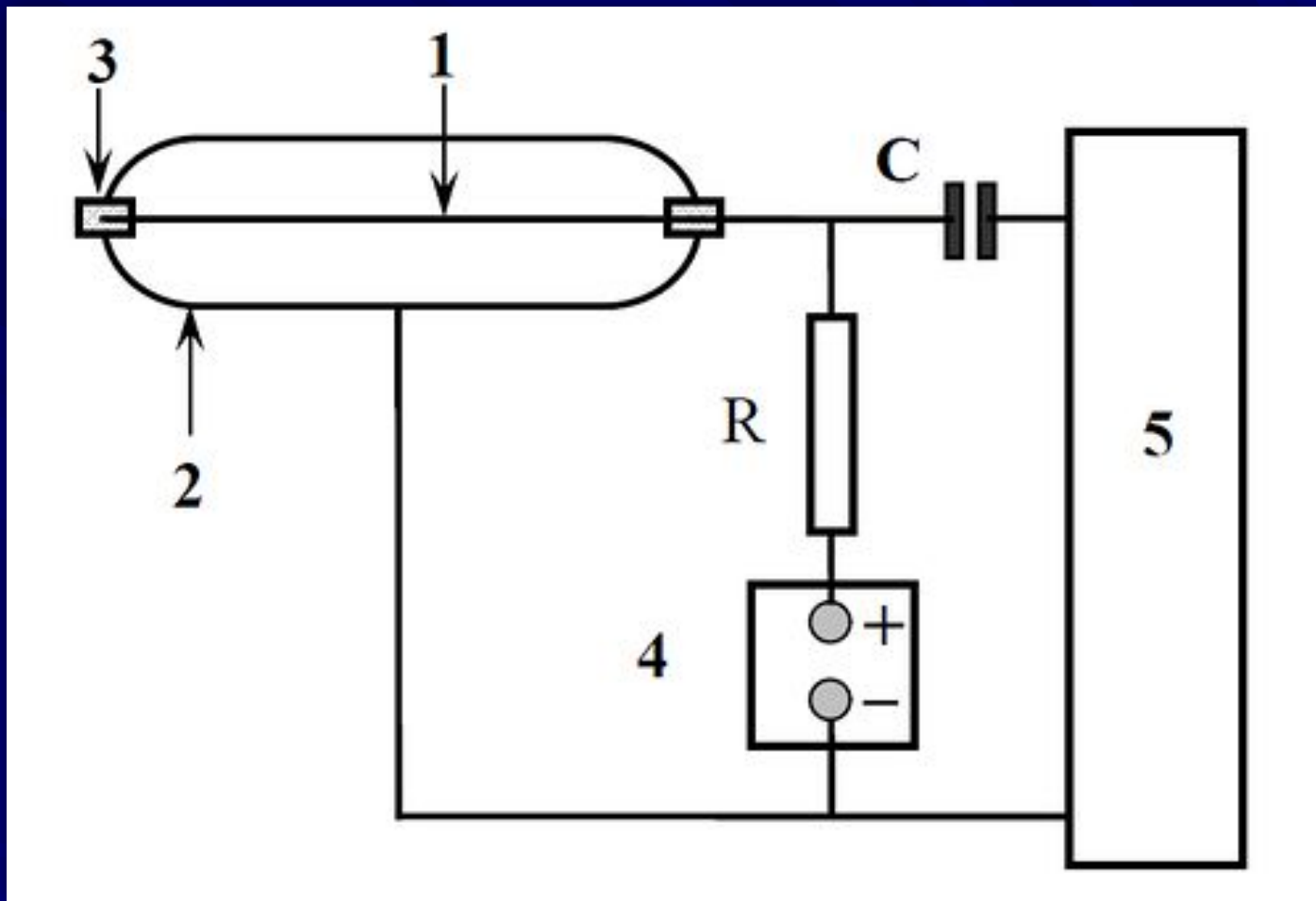
При экспозиционной дозе 1Р на 1 см³ ионизационный ток равен $\sim 3 \cdot 10^{-10}$ А = 3 нА.

Конденсаторный дозиметр КДМ

Индивидуальный дозиметр ДК – 0,2

Измеритель дозы и мощности дозы ИДМД-1

Измерение экспозиционной дозы



1 - анод 2 - катод

3 - изолятор 4 - источник питания

5 - система регистрации

Калориметрический метод дозиметрии

Калориметрический метод основан на измерении количества тепла, выделяемого под действием РИ в облучаемом веществе.

При полном поглощении РИ веществом количество выделяемого тепла вещества пропорционально поглощенной энергии излучения.

Для нагрева 1 г H_2O на 1°C экспозиционная доза РИ должна быть равна
 $\sim 5 \cdot 10^5 \text{ P}$

Химический метод дозиметрии

Химический метод основан на количественной оценке химических реакций, происходящих под действием РИ в облучаемом веществе.

Ферросульфатная химическая система – раствор соли FeSO_4 в кислоте H_2SO_4 .

Под действием РИ двухвалентное Fe^{**} окисляется и переходит в трехвалентное Fe^{***} .

Радиационно-химический выход реакции:
15,6 ионов на 100 эВ энергии излучения.

Концентрацию образовавшихся ионов трехвалентного железа определяют по изменению оптической плотности раствора

$$M = \lg \frac{I_{\text{необл}}}{I_{\text{обл}}}$$

Фотографический метод дозиметрии

Фотографический метод основан на способности РИ вызывать почернение облучаемого фотоматериала.

Под действием РИ происходит восстановление атомов металлического серебра.

В процессе химического проявления восстановленное серебро вызывает почернение фоточувствительного слоя рентгеновской пленки.

В процессе химического закрепления не восстановленное серебро ударяется из фоточувствительного слоя.

Фотопленочный дозиметр ИФКЗ

Сцинтилляционный метод дозиметрии

Сцинтилляционный метод основан на возникновении вспышек – сцинтилляций оптического излучения (света) в некоторых веществах – сцинтилляторах при поглощении РИ.

Сцинтилляции обусловлены переходом возбужденных (ионизованных) под воздействием РИ атомов вещества сцинтиллятора в исходное – нормальное состояние.

Используются органические (полистиролы) и неорганические сцинтилляторы (CsI: Tl, NaI:Tl, ZnS:Ag).

Сцинтилляционные дозиметры ДРГЗ – 01, 02, 03, 04

Люминесцентный метод дозиметрии

Люминесцентный метод основан на накоплении в веществе люминофора энергии за счет образования под воздействием РИ свободных электронов и дырок.

Накопленная энергия освобождается при последующем нагреве люминофора – термолюминесценция или освещении определенным участком спектра оптического излучения – фотолюминесценция.

Мерой поглощенной дозы РИ служит:

- изменение окраски или оптической плотности люминофора;
- свечение люминофора.

Термолюминофоры LiF:Ag , CaF:Mg .

Фотолюминофоры NaCl:Ag .

ТЛД -дозиметр

Полупроводниковый метод дозиметрии

Полупроводниковый метод основан на переходе электронов под воздействием РИ из валентной зоны полупроводника в зону проводимости.

При подаче напряжения на электроды p-n - перехода возникает электрический ток, образованный свободными электронами в зоне проводимости и дырками в - валентной зоне.

Сила тока пропорциональна мощности дозы РИ.

Принцип действия полупроводникового дозиметра аналогичен ионизационному.

Чувствительность полупроводникового детектора выше на три порядка, чем ионизационного

Технические средства.
Дозиметры рентгеновского и
гамма-излучения серии
ДКС-АТ и ДКГ-РМ

Назначение

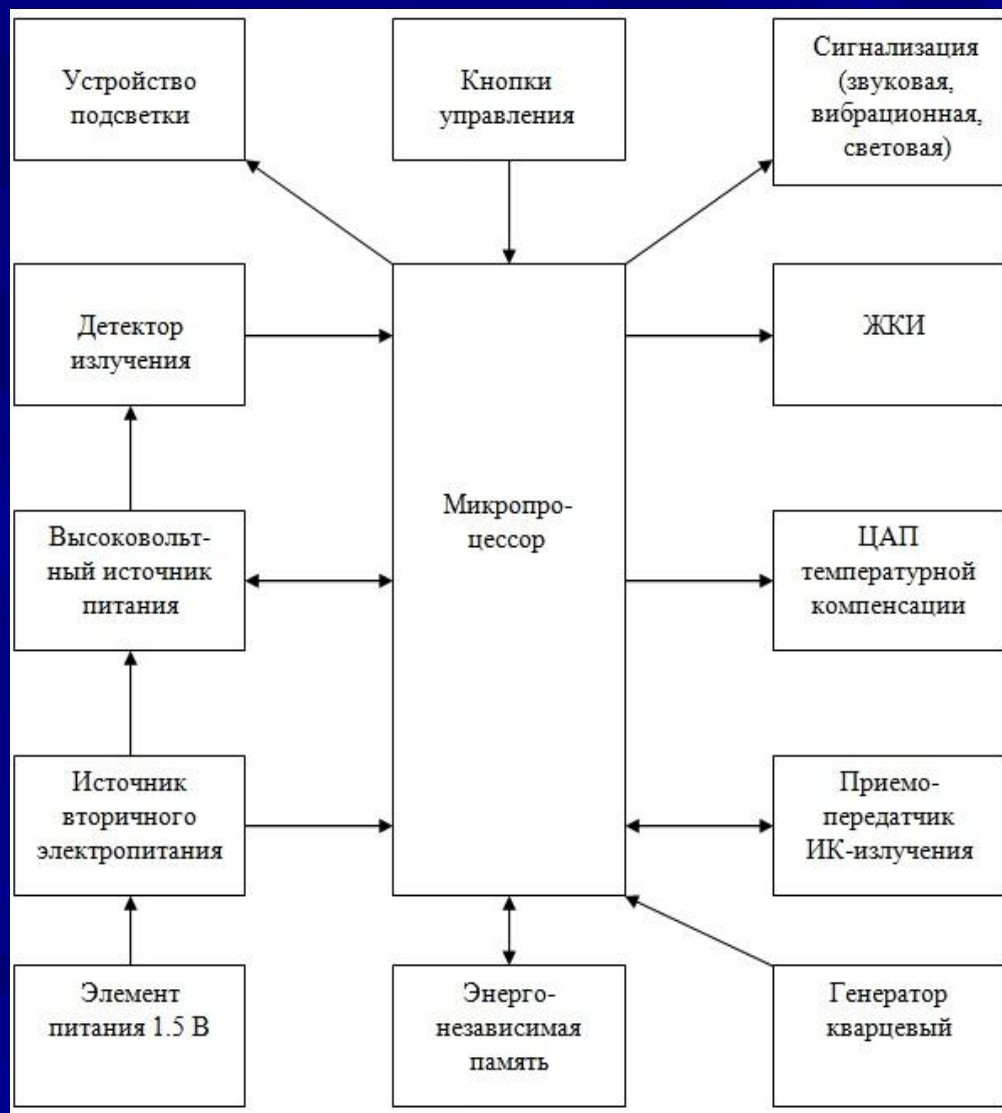
Дозиметры рентгеновского и гамма-излучения серии ДКС (ДКС-АТ1121, ДКС-АТ1121А, ДКС-АТ1123, ДКС-АТ1123А) и ДКГ (ДКГ-1621А, М, МА) предназначены для:

- контроля состояния средств защиты гамма- и рентгеновских установок непрерывного, кратковременного и импульсного действия;
- обнаружения, локализации и дозиметрии источников рентгеновского и гамма-излучения;

Дозиметры измеряют:

- мощность амбиентной дозы непрерывного рентгеновского и гамма-излучения; . мощность амбиентной дозы кратковременно действующего излучения;
- среднюю мощность амбиентной дозы импульсного излучения (только ДКС-АТ1123, ДКС-АТ1123А);
- амбиентную дозу рентгеновского и гамма-излучения.

Устройство и принцип действия дозиметра



Типовая структурная схема

Условия эксплуатации

Рабочие условия:

- температура окружающего воздуха, от -35 до $+40$ $^{\circ}\text{C}$;
- атмосферное давление от 66 до $106,7$ кПа (от 498 до 800 мм рт.ст.);
- относительная влажность воздуха от 30 до 90% .

Нормальные условия:

- температура окружающего воздуха, $+20$ $^{\circ}\text{C}$;
- атмосферное давление $101,3$ кПа;
- относительная влажность воздуха 60% .

Технические характеристики

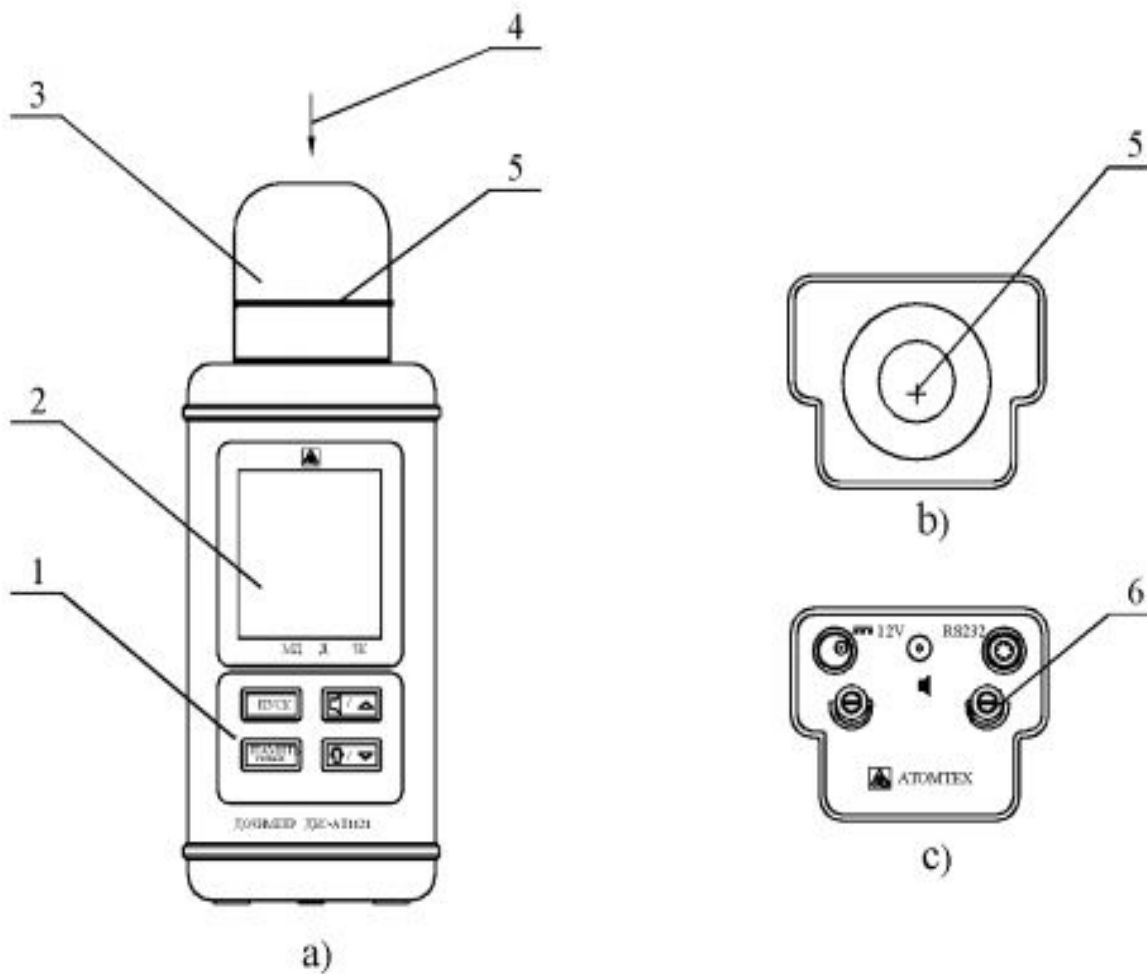
- измеряемая мощность дозы непрерывного излучения от 50 нЗв/час до 10 Зв/час;
- средняя мощность дозы импульсного излучения (при мощности дозы в импульсе до 1,3 Зв/с и длительности импульса не менее 10 нс) от 1 мкЗв/ч до 10 Зв/ч; ДКС-АТ1123А от 1 мкЗв/ч до 5 Зв/ч;
- доза рентгеновского излучения от 50 нЗв до 10 Зв.

Диапазон энергий регистрируемого рентгеновского и гамма-излучения:

ДКС-АТ1121, ДКС-АТ1123 от 15 кэВ до 10 МэВ;

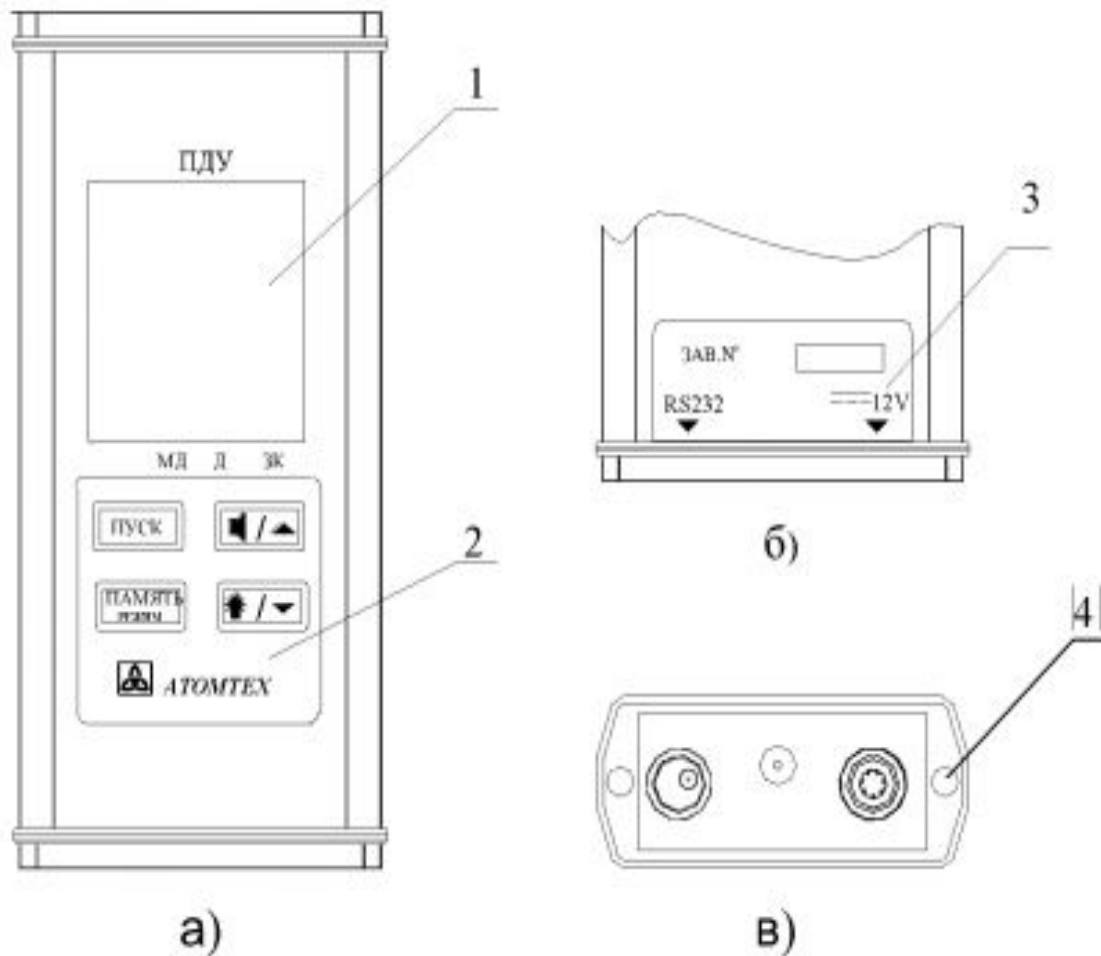
ДКС-АТ1121А, ДКС-АТ1123А от 20 кэВ до 10 МэВ

Внешний дозиметров серии ДКС



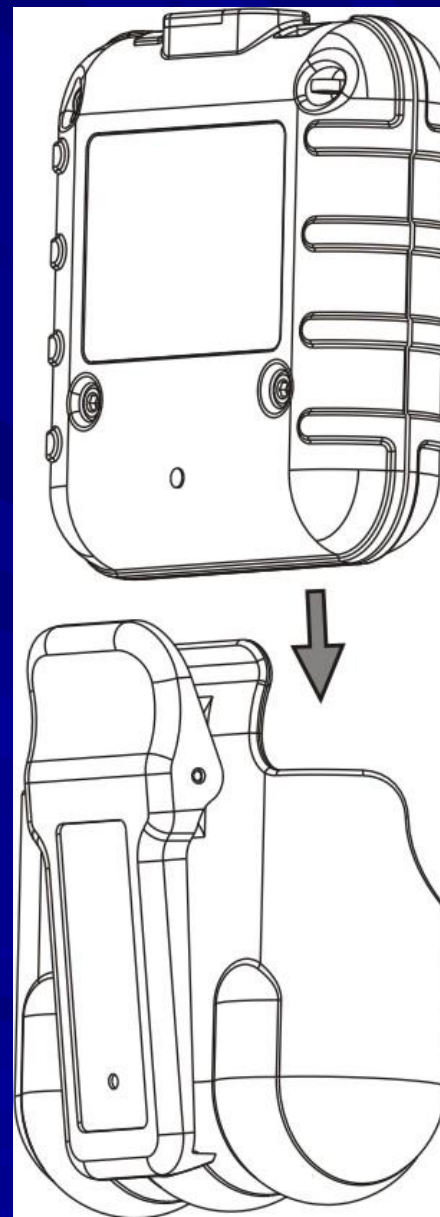
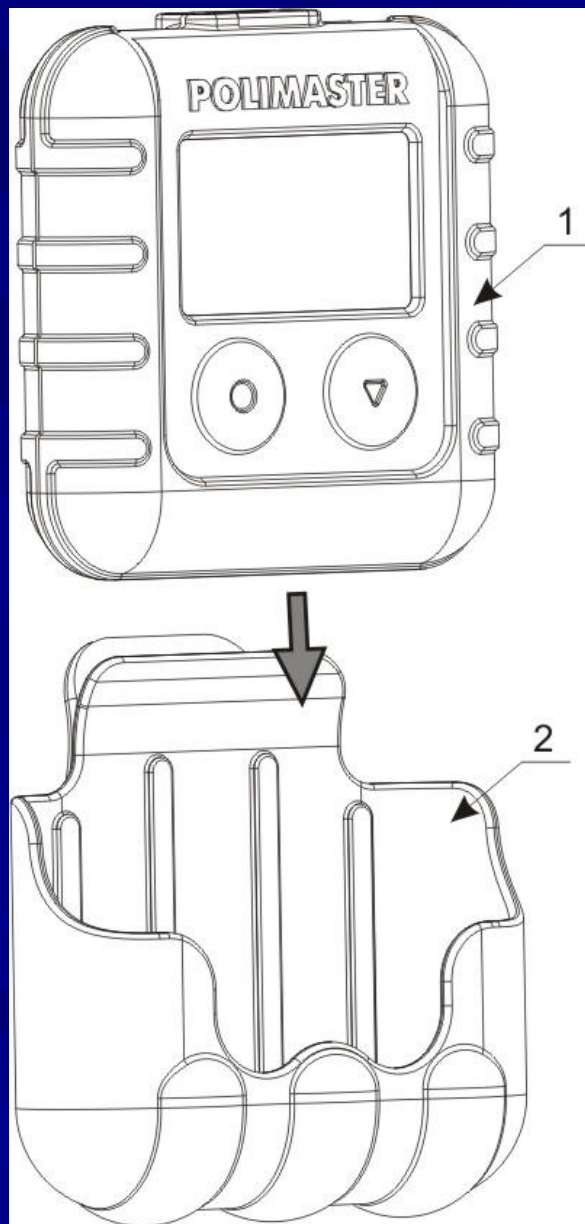
- 1 - панель управления; 2 - табло ЖКИ;
3 - защитный колпачок; 4 - направление градуировки;
5 - метки центра детектора; 6 - место пломбирования.

Органы управления

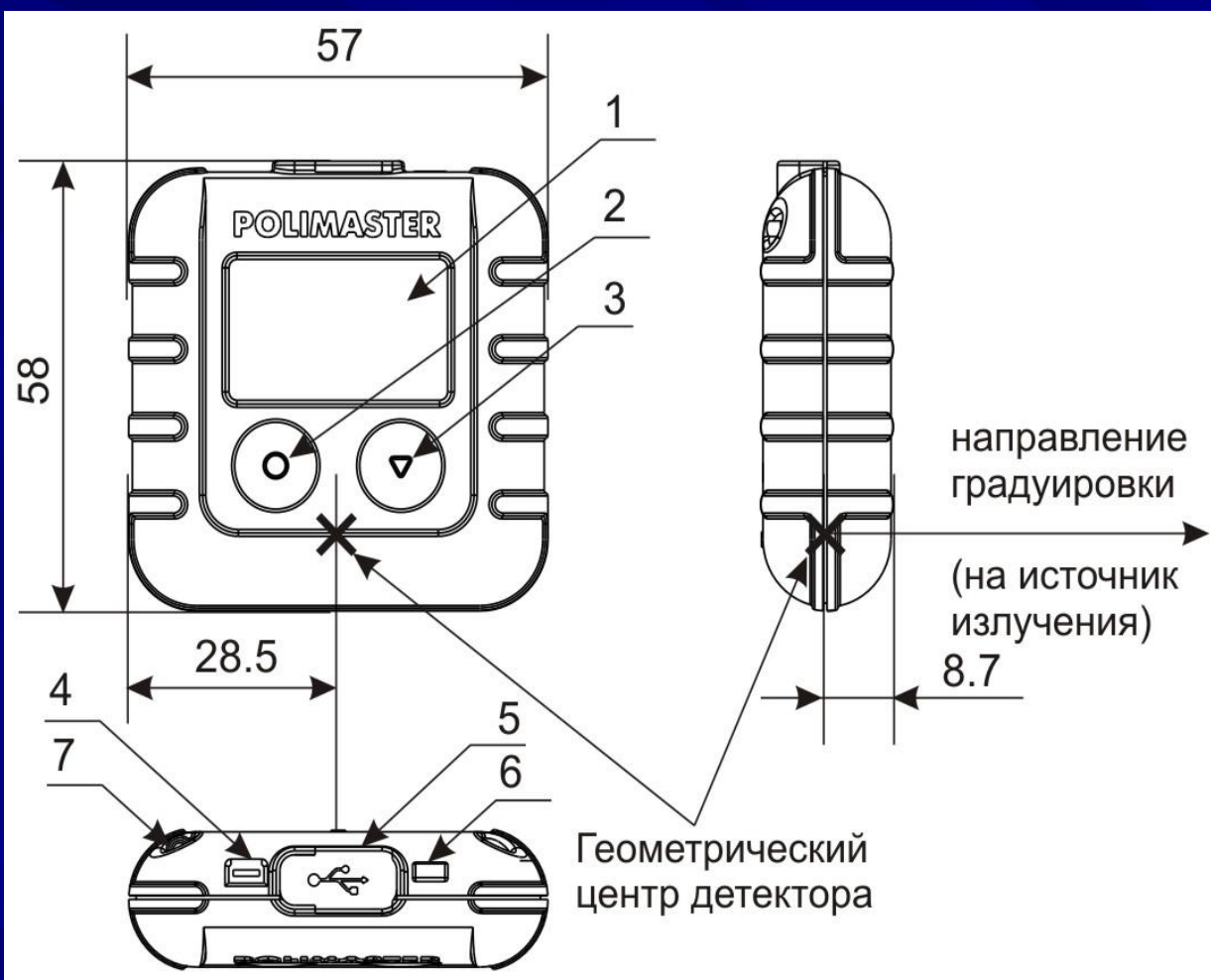


- 1 - табло ЖКИ; 2 - панель управления;
3 - этикетка со стороны задней стенки корпуса;
4 - место пломбирования.

Внешний вид дозиметра ДКГ-РМ1610



Габаритные размеры дозиметра



1 - ЖКИ;

2,3 - кнопки управления;

4 - звуковой сигнализатор;

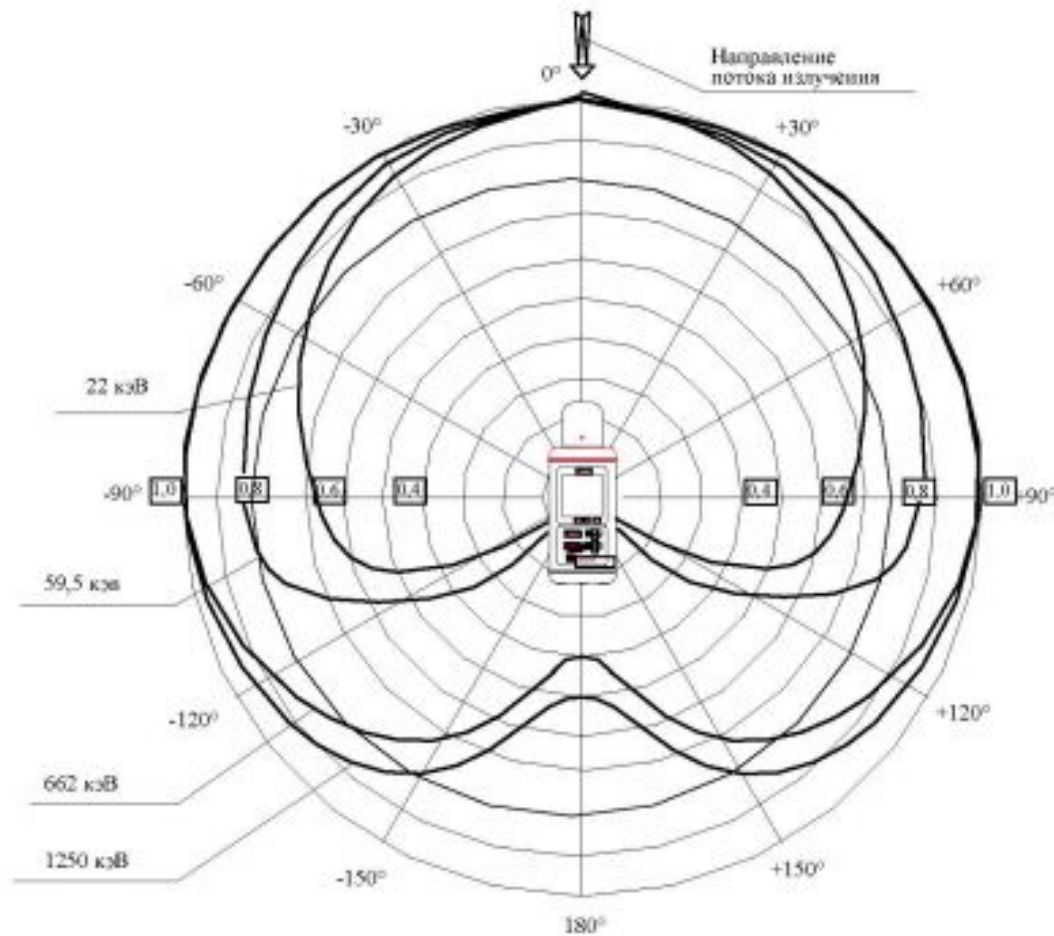
5 - защитная крышка
гнезда разъема USB;

6 - световой
сигнализатор;

7 - место крепления
страховочного шнура с
клипсой.

Диаграмма направленности

Типовая зависимость чувствительности дозиметров от угла падения излучения относительно направления градуировки



Внешний вид термолюминесцентных дозиметров



Назначение

ТЛД - дозиметры предназначены для измерения эффективной дозы ионизирующего излучения в целях индивидуальной дозиметрии.

Дозиметр состоит из пластмассового корпуса, внутри которого располагается кассета с тремя термолюминесцентными детекторами на основе LiF: Mg, Ti , которые размещаются на антропоморфном гетерогенном фантоме человека.

Устройство и принцип действия

Принцип работы дозиметра основан на запасании энергии детекторами под действием ионизирующего излучения. Запасенная энергия высвечивается при нагревании детектора в виде светового излучения. Амплитуда максимума интенсивности светового излучения пропорциональна поглощенной дозе излучения. Измеряя амплитуду максимума интенсивности светового излучения в области дозиметрического пика или интегральную светосумму под пиком, получают искомое значение индивидуального эквивалента дозы для предварительно откалиброванных дозиметров.

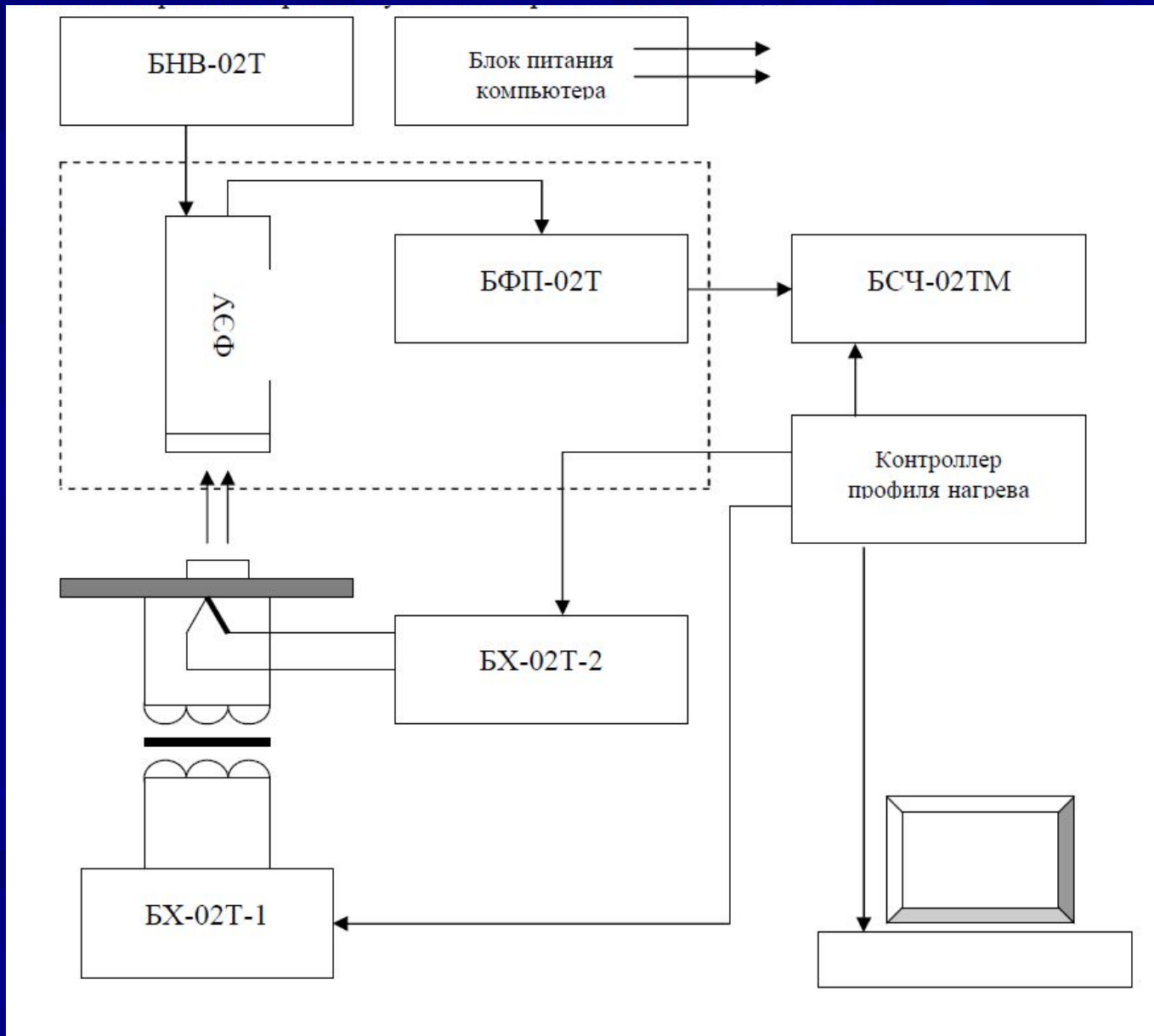
Технические характеристики

Порог регистрации, мЗв, не более	0,05
Воспроизводимость (коэффициент вариации показаний) при дозе облучения 10 мЗв, не более, %	7,5
Линейность в диапазоне доз от 0,05 мЗв до 1,5 Зв, не более, %*	10
Энергетическая зависимость показаний:	
- в диапазоне от 15 до 100 кэВ, не более, %	25
- в диапазоне от 100 до 10000 кэВ, не более, %	5
Воздействие света на дозиметр в течение 24 час при освещенности 1000 Вт/м ² не приводит к отклонению нулевой точки более чем на, мЗв	0,05
Воздействие света на дозиметр в течение 168 час при освещенности 1000 Вт/м ² не приводит к отличию от показаний дозиметров хранящихся в темноте более чем на, %	5
После хранения в течение 30 сут нулевая точка отклоняется не более чем на, мЗв (самооблучение)	0,05

Технические характеристики

После облучения фотонами (60 ± 5) кэВ в двух перпендикулярных плоскостях, значения чувствительности для углов падения 20° , 40° и 60° относительно нормального падения не отличаются от значения чувствительности, соответствующей нормальному падению более чем на, %	15
Полученные значения для дозиметров, облученных в начале или конце периода хранения отличаются от условно истинного значения, не более:	
- при хранении в течение 30 суток в нормальных условиях, %	5
- при хранении в течение 90 суток в нормальных условиях, %	10
- при хранении в течение 30 суток при $+50^\circ\text{C}$ и относительной влажности 65 %, %	20
- при хранении в течение 30 суток при $+20^\circ\text{C}$ и относительной влажности 90 %, %	20
Полученные значения для дозиметра, снятые после падения с высоты 1 м на цементный пол, не отличаются от значений полученных в нормальных условиях более чем на, %	10
Многократность использования детектора, без его разрушения, не менее, циклов	200

Структурная схема



Внешний вид

