

ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

► корпускулярное

α- и β- излучение,
потоки ускоренных
электронов,
протонов,
нейтронов

► фотонное

γ –излучение
 $\lambda < 10^{-5}$ нм
рентгеновское
излучение
 $\lambda = (80 - 10^{-5} \text{ нм})$

ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

▶ $E = h\nu$

▶ $\nu = c / \lambda$

▶ $E = h c / \lambda$

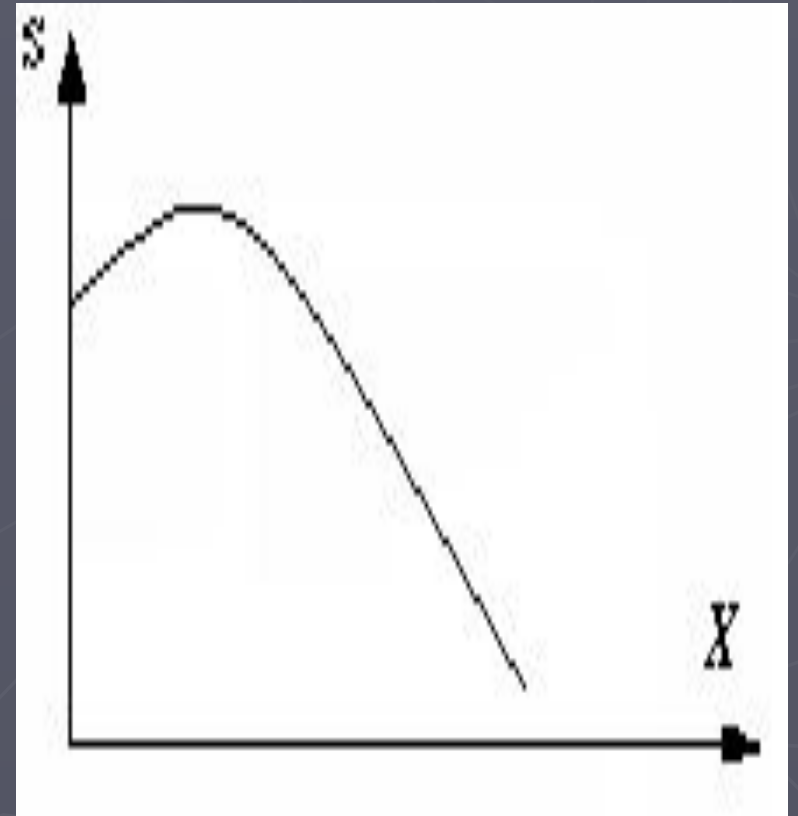
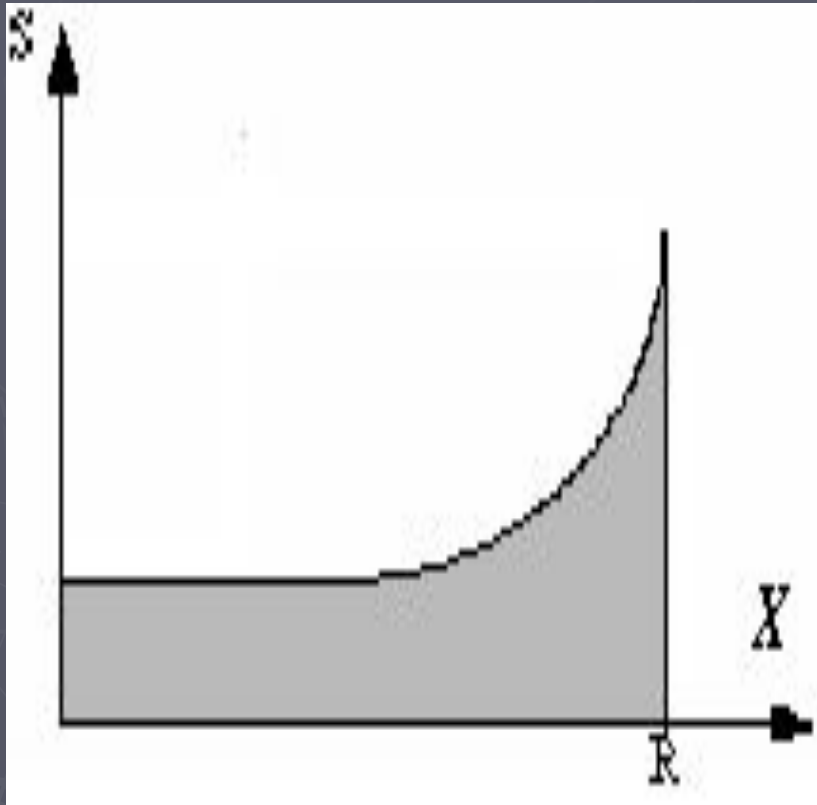
▶ 1 электрон-вольт – энергия, которую приобретает электрон, проходя разность потенциалов 1 вольт .

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

Основные параметры взаимодействия ионизирующего излучения с веществом

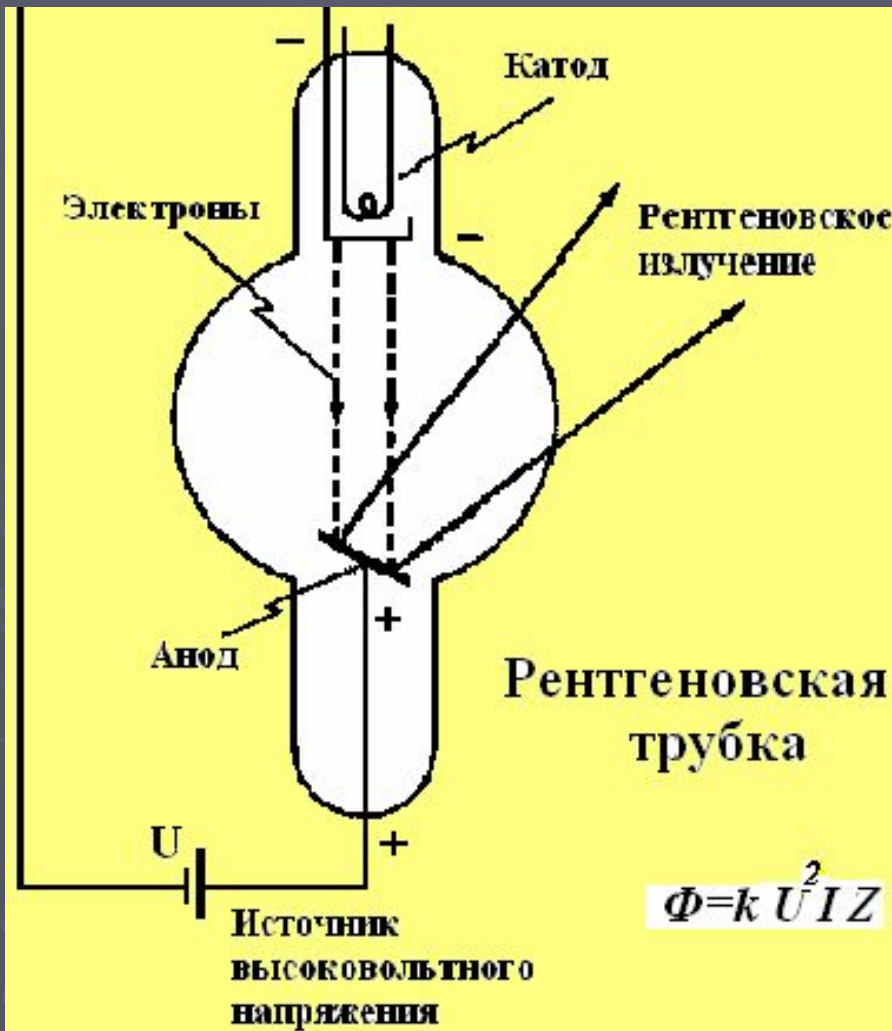
- ▶ 1. **Средняя удельная ионизация (S)** - среднее число пар ионов, образованных на 1 см пробега частиц в данной среде.
- ▶ 2. **Линейная передача энергии (ЛПЭ)** - количество энергии, переданное облученному веществу на единице длины пути частицы в данной среде
- ▶ 3. **Средняя длина свободного пробега (R)**- путь, пройденный ионизирующими частицами, пока их энергия в результате ионизации станет соизмеримой с энергией теплового движения молекул

Пики Брэгга для потоков положительно и отрицательно заряженных частиц



Рентгеновское излучение

Способы получения



Тормозное рентгеновское излучение

$$eU = h\nu_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}} \quad \text{так как } c = \lambda \nu$$

отсюда

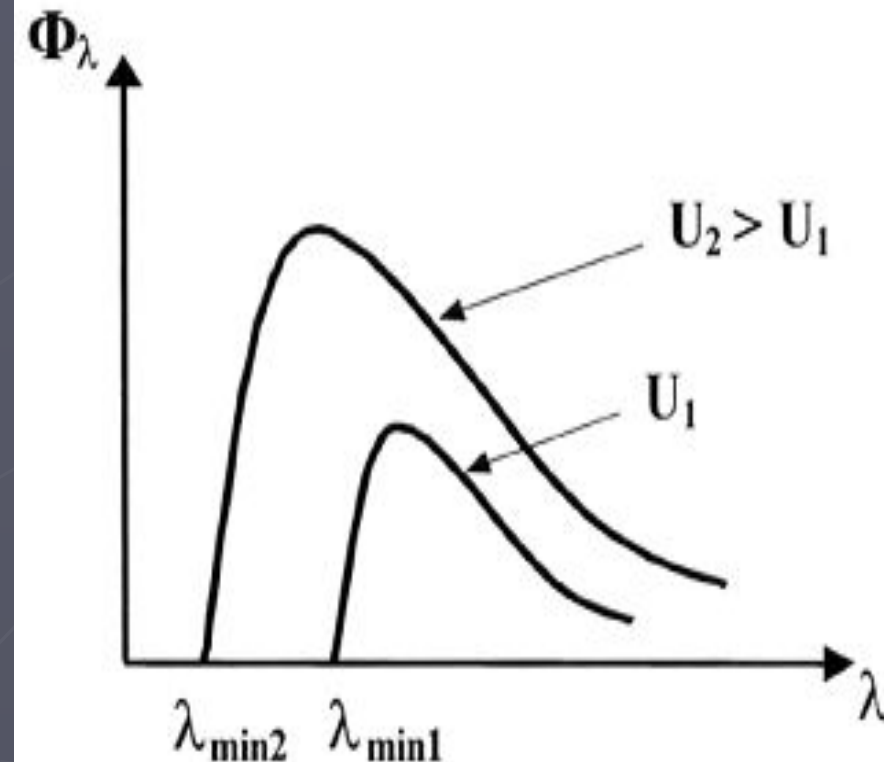
$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU}$$

где U – напряжение между катодом и антиматодом

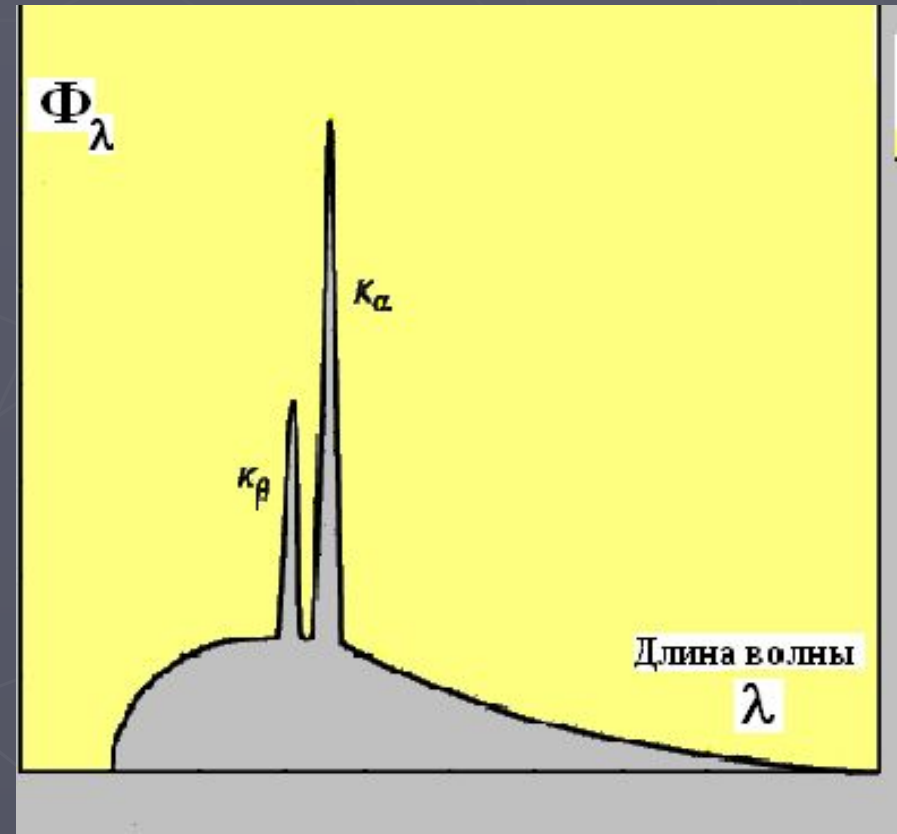
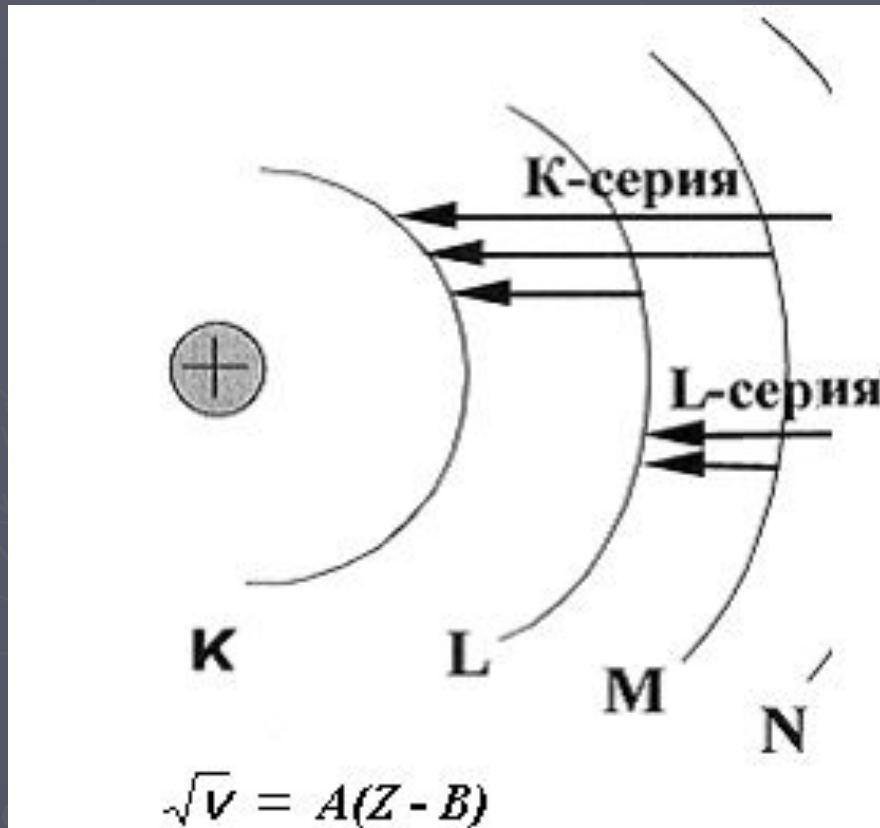
h – постоянная Планка,

c – скорость света,

e – заряд электрона



Характеристическое рентгеновское излучение



Первичные физические эффекты, возникающие при взаимодействии фотонного излучения с вещества

- ▶ 1. Когерентное рассеяние
- ▶ $(W_{св} > h\nu)$

- ▶ 2. Некогерентное (комptonовское) рассеяние
- ▶ $(W_{св} \ll h\nu)$
- ▶ $h\nu = h\nu' + E_k$

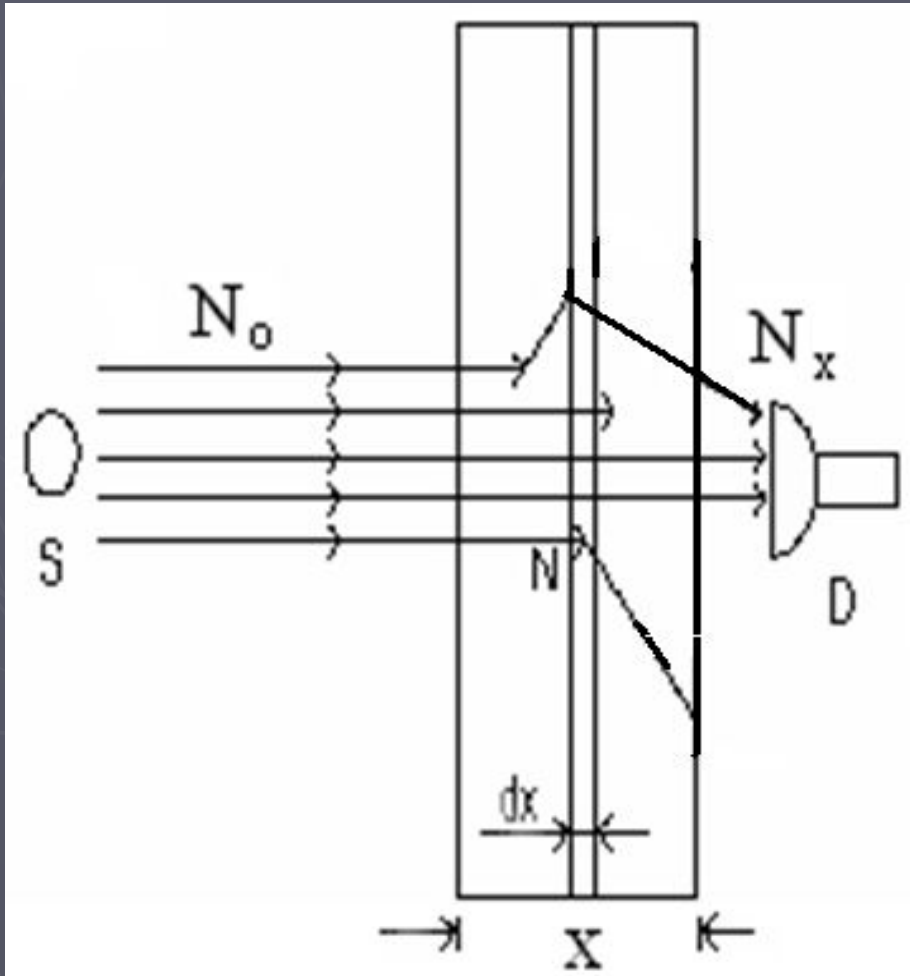
- ▶ 3. Фотоэффект $(W_{св} \leq h\nu)$

- ▶ $h\nu = W_{св} + mv^2/2.$

- ▶ 4. Рождение пары позитрон-электрон

- ▶ $h\nu \rightarrow e^+ + e^-$

Закон ослабления рентгеновского излучения



$$dN = -\mu N dx$$

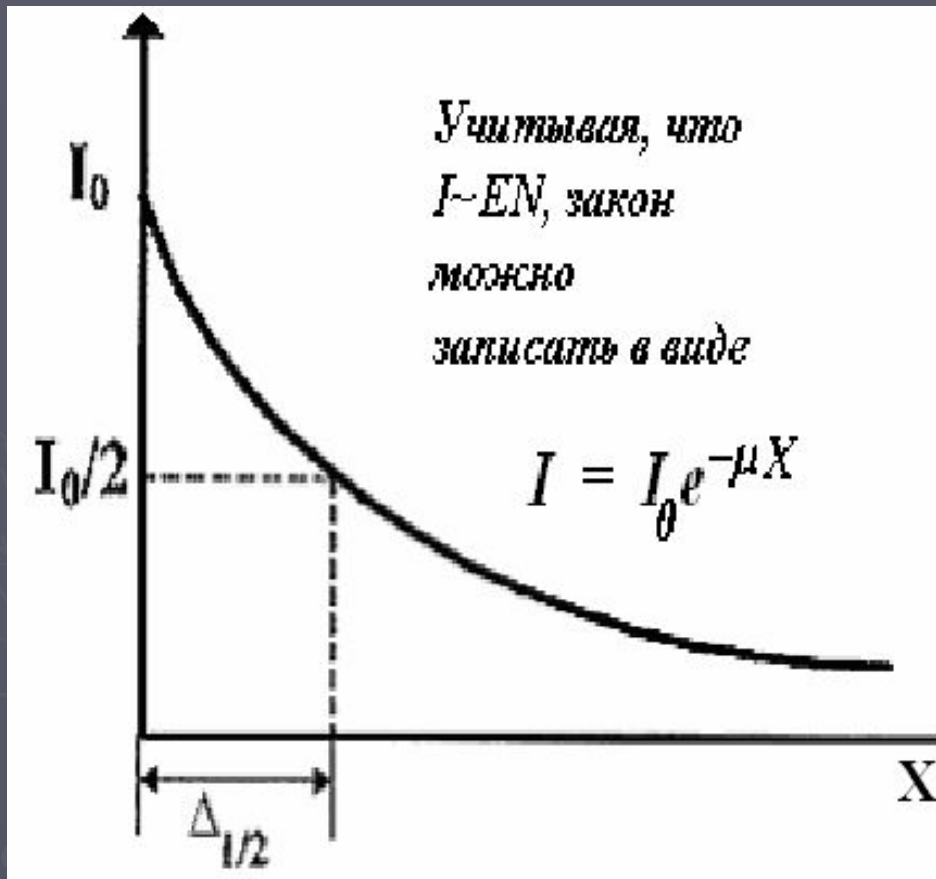
$$\frac{dN}{N} = -\mu \cdot dx$$

$$N_x \int_{N_0}^x \frac{dN}{N} = -\mu \int_0^X dx$$

$$\ln \frac{N_x}{N_0} = -\mu X$$

$$N_X = N_0 e^{-\mu X}$$

Слой половинного поглощения



$$\frac{I_0}{2} = I_0 e^{-\mu \Delta_{1/2}}$$

после логарифмирования

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln 1 - \ln 2 = -\mu \Delta_{1/2}$$

$$\Delta_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

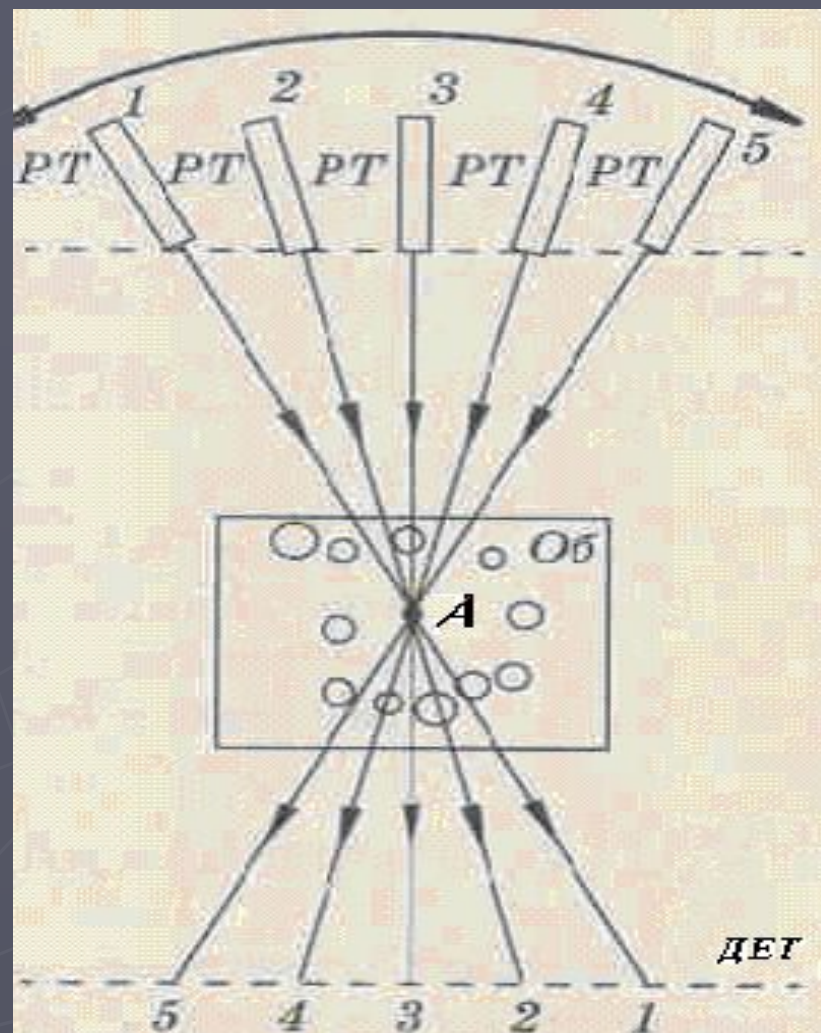
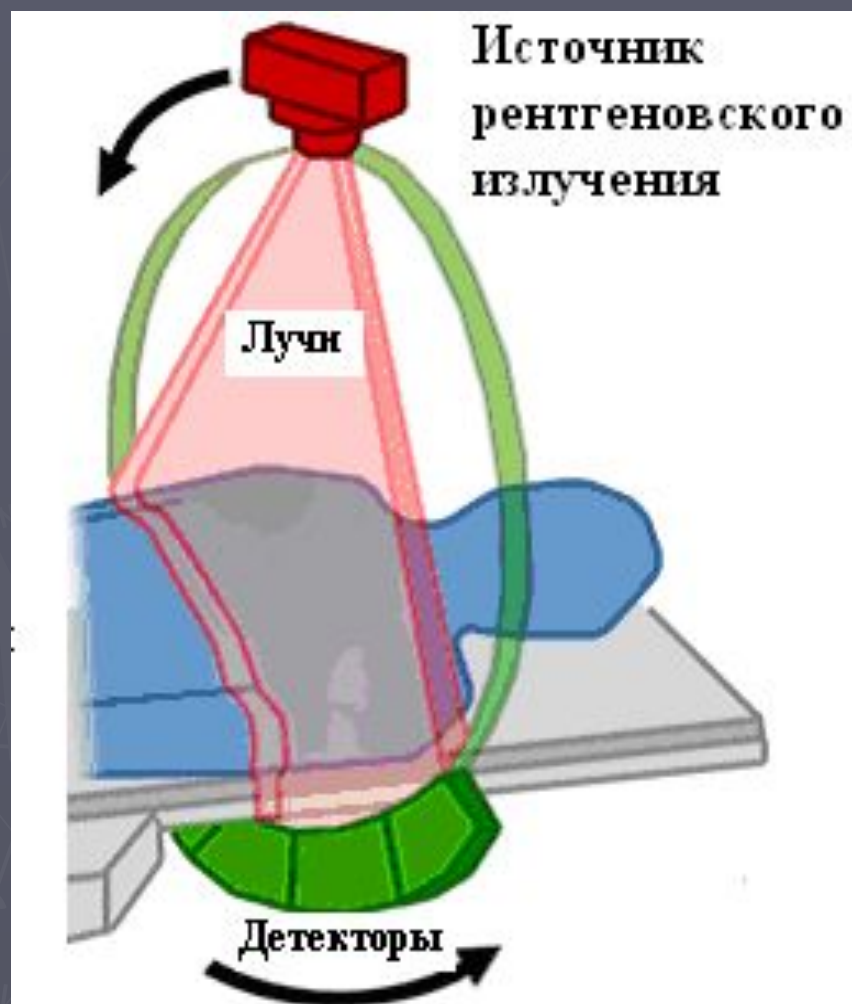
Физические основы рентгенодиагностики

- ▶ 1.Рентгеноскопия.
- ▶ 2.Флюорография.
- ▶ 3.Рентгенография
- ▶ 4.Компьютерная
рентгеновская
томография

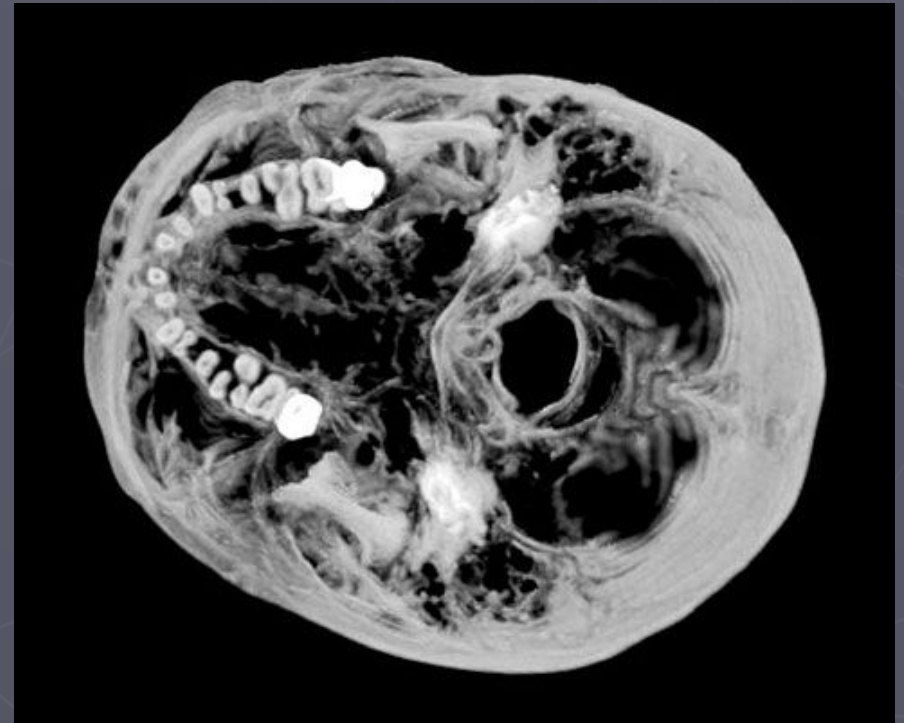
- ▶ $\mu = k \lambda^3 Z^3 \rho$

- ▶ k - коэффициент
пропорциональности
- ▶ λ -длина волны рентгеновского
излучения
- ▶ Z - атомный номер вещества
поглотителя
- ▶ ρ –плотность вещества

Компьютерная томография

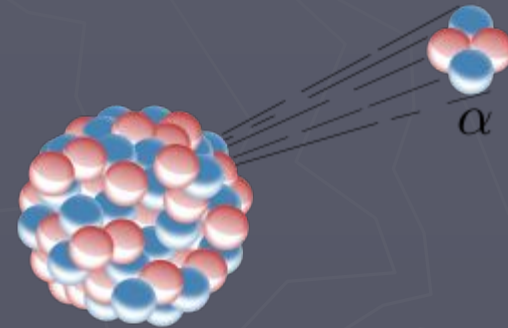
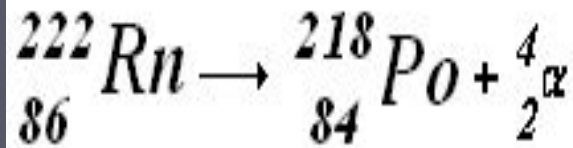
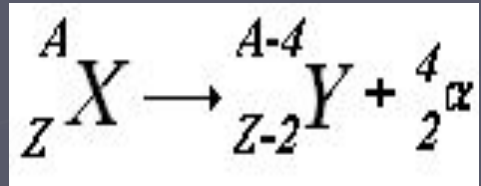


Компьютерная томография

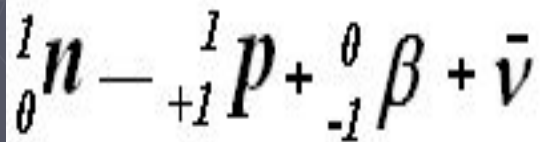
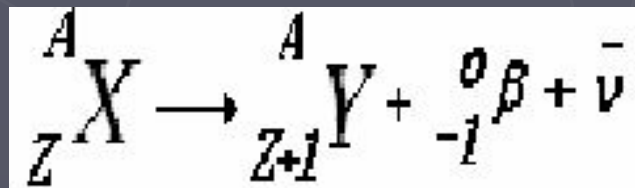


Радиоактивность

► α -распад



► β -распад



Закон радиоактивного распада

$$dN = -\lambda \cdot N \cdot dt$$

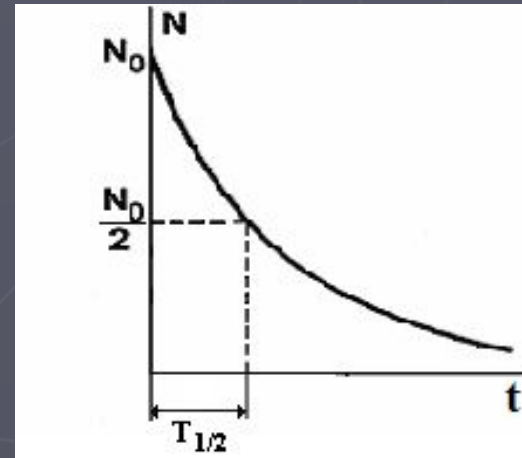
$$\frac{dN}{N} = -\lambda \cdot dt$$

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda dt$$

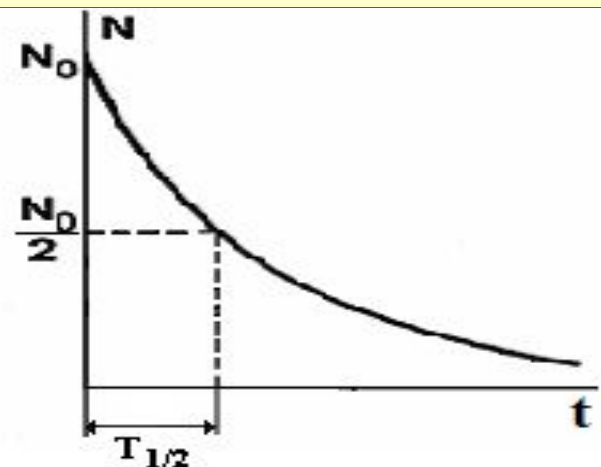
$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -\lambda t$$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

- ▶ N_0 – количество радиоактивных ядер в начальный момент времени
- ▶ N_t – количество нераспавшихся радиоактивных ядер в момент времени t
- ▶ λ – постоянная распада



Период полураспада



$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

Время, за которое распадается половина исходного количества ядер, называется периодом полураспада $T_{1/2}$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad \text{сократив } N_0,$$

прологарифмируем это выражение:

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln e^{-\lambda T_{1/2}} \rightarrow \ln 1 - \ln 2 = -\lambda T_{1/2}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Активность источника – число частиц,
вылетающих из препарата в секунду

► Единица активности –

Беккерель (1 распад
в секунду)

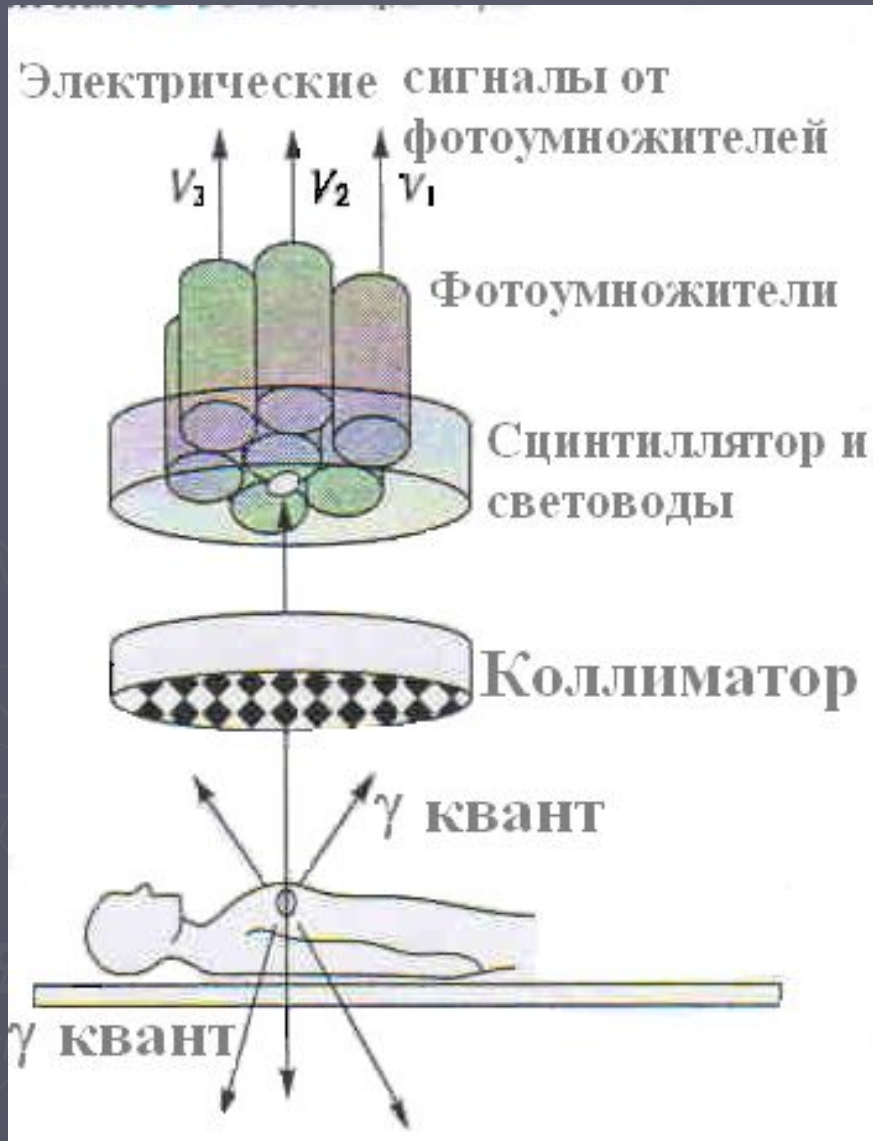
$$A = \frac{dN}{dt}$$

1 Кюри = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк

Методы **ядерной диагностики** позволяют обнаружить онкологические и сердечно-сосудистые заболевания на ранних стадиях их развития

- ▶ **Радиофармпрепараты (РФП)**, это вещества, в состав которых входят короткоживущие радиоактивные атомы, излучающие **гамма кванты или позитроны**. Радиофармпрепараты вводятся в кровеносную систему пациента перед проведением исследований. Накопление излучающих радионуклидов в поражённых органах или их перемещение регистрируют методами однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) или позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ).

ОФЭКТ (гамма-камера)

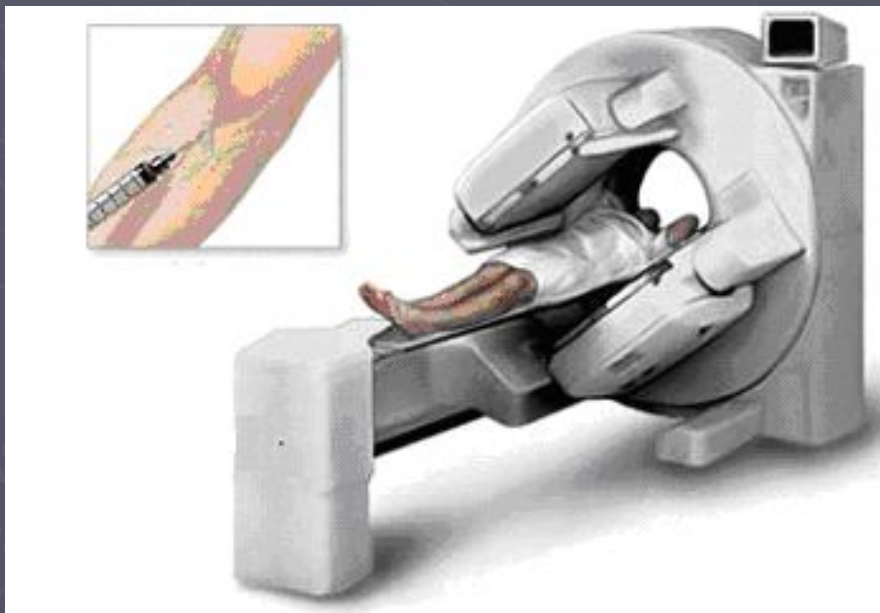


- ▶ **Коллиматор** в гамма-камере служит для ограничения поля видимости, чтобы гамма-кванты, образующиеся вне изучаемой области не могли попасть в детектор
- ▶ **Сцинтилляторы**-вещества, испускающие свет при поглощении энергии частиц ионизирующих излучений.
- ▶ Преобразование световых вспышек в сцинтилляторе в электрический импульс производится с помощью **фотоэлектронных умножителей**.

Сцинтиграфия костей

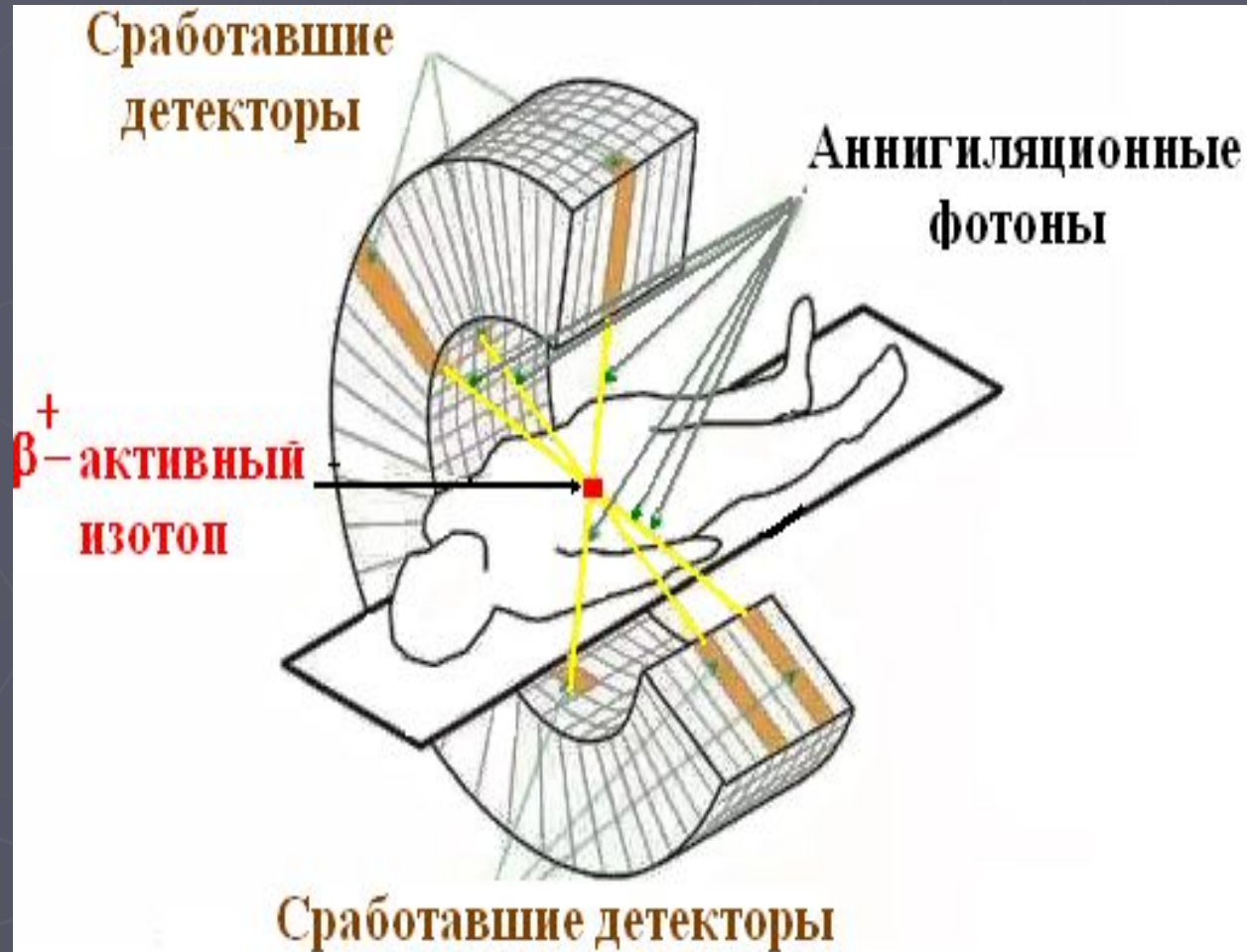
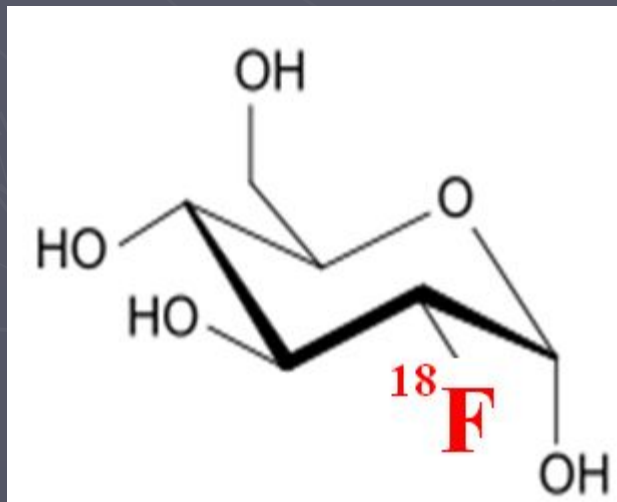
$_{42}^{99}\text{Mo}$ (66 часов) $\rightarrow$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (6 часов)

При распаде изотопа технеция образуются гамма кванты с энергией 140 кЭв



Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ)

Фтордезоксиглюкоза
(^{18}F -ФДГ)



Дозиметрия

Характеристики источников ионизированного излучения

► 1. Активность

$$A = \frac{dN}{dt}$$

Беккерель (СИ)

► 2. Экспозиционная доза

Кулон/кг (СИ)

$$D_{\text{эксп}} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{m}$$

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

Характеристики взаимодействия ионизированного излучения с веществом

3. Поглощенная доза

$$D_{\text{полгл}} = \frac{\Delta E}{\Delta m} \quad \text{Грей (СИ)}$$

$$1 \text{ Грей} = 100 \text{ Рад}$$

Коэффициент качества излучения (КК). Эквивалентная доза облучения

▶ Вид излучения	КК
▶ Рентгеновское	
▶ и гамма-излучение	1
Электроны и	
▶ позитроны, бета-излучение	1
Протоны	10
▶ Альфа-частицы	20

▶ эквивалентная
доза

$$D_{\text{экв}} = KК \cdot D_{\text{полг}}$$

Зиверт (СИ)

1 Зиверт=100бэр

Сравнение единиц СИ и внесистемных системы единиц

Основные радиологические величины и единицы

Величина	Наименование и обозначение единицы измерения		Соотношения между единицами
	Внесистемные	Си	
Активность нуклида, А	Кюри (Ки, Ci)	Беккерель (Бк, Bq)	$1 \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп/с}$
Экспозиционная доза, X	Рентген (Р, R)	Кулон/кг (Кл/кг, C/kg)	$1 \text{ Р} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Поглощенная доза, D	Рад (рад, rad)	Грей (Гр, Gy)	$1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$ $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$
Эквивалентная доза, H	Бэр (бэр, rem)	Зиверт (Зв, Sv)	$1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{ Зв}$

Основные стадии в действии излучений на биологические системы

СТАДИЯ	ПРОЦЕССЫ	ПРОДОЛЖИ ТЕЛЬНОСТЬ СТАДИИ
Физическая	Поглощение энергии излучения; образование ионизированных и возбужденных атомов и молекул	10^{-16} - 10^{-12} с
Физико-химическая	Разрушение и конформационная перестройка биологических молекул, образование свободных радикалов	10^{-12} - 10^{-6} с
Биохимическая	Реакции между свободными радикалами и между ними и биологическими молекулами. Инактивация ферментов, нарушение синтеза белков и т.д.	До 1 с
Клиническая	Возникновения видимые радиационные поражения	Секунды-годы

Основные механизмы радиационных поражений

- ▶ 1. Теория «мишени»
- ▶ 2. Теория косвенного действия
- ▶ 3. Теория прямого действия