

# ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

## ▶ корпускулярное

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

## ▶ фотонное

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

# ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

▶  $E = h\nu$

▶  $\nu = c / \lambda$

▶  $E = h c / \lambda$

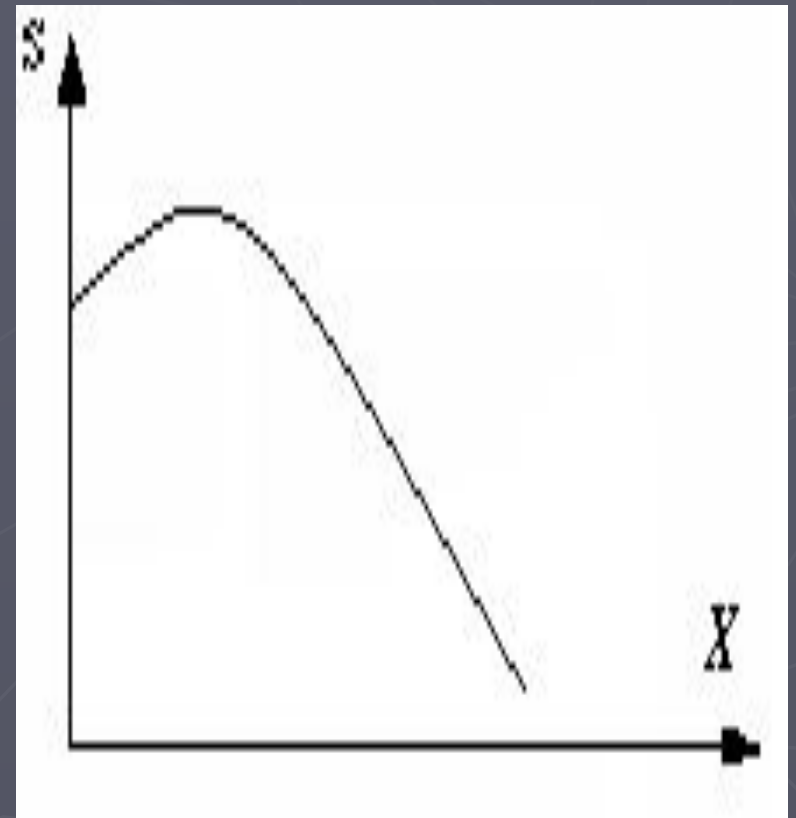
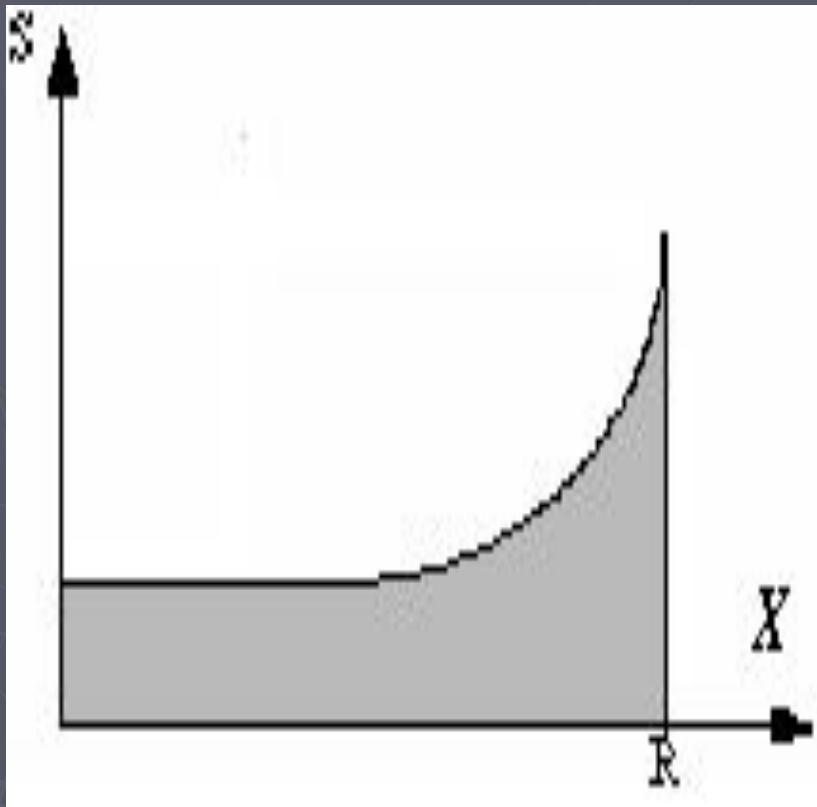
▶ 1 электрон-вольт – энергия, которую приобретает электрон, проходя разность потенциалов 1 вольт .

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

# Основные параметры взаимодействия ионизирующего излучения с веществом

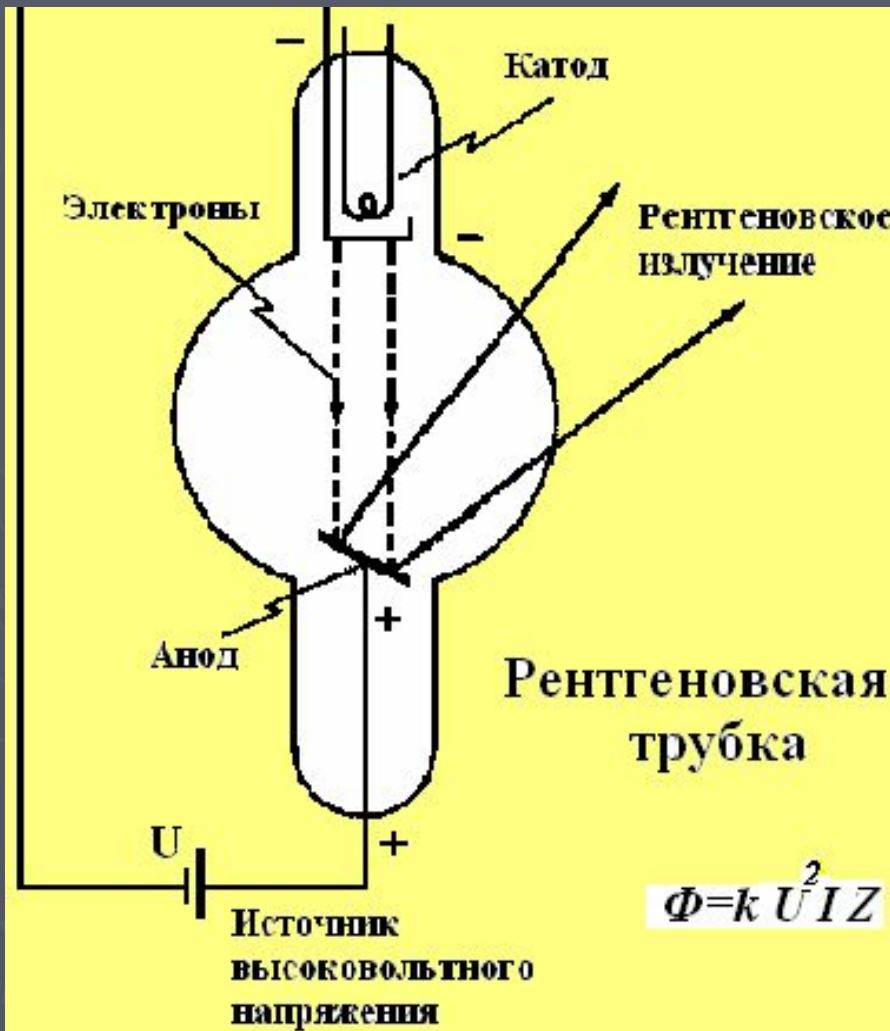
- ▶ 1. **Средняя удельная ионизация (  $S$  )** - среднее число пар ионов, образованных на 1 см пробега частиц в данной среде.
- ▶ 2. **Линейная передача энергии (ЛПЭ)** - количество энергии, переданное облученному веществу на единице длины пути частицы в данной среде
- ▶ 3. **Средняя длина свободного 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

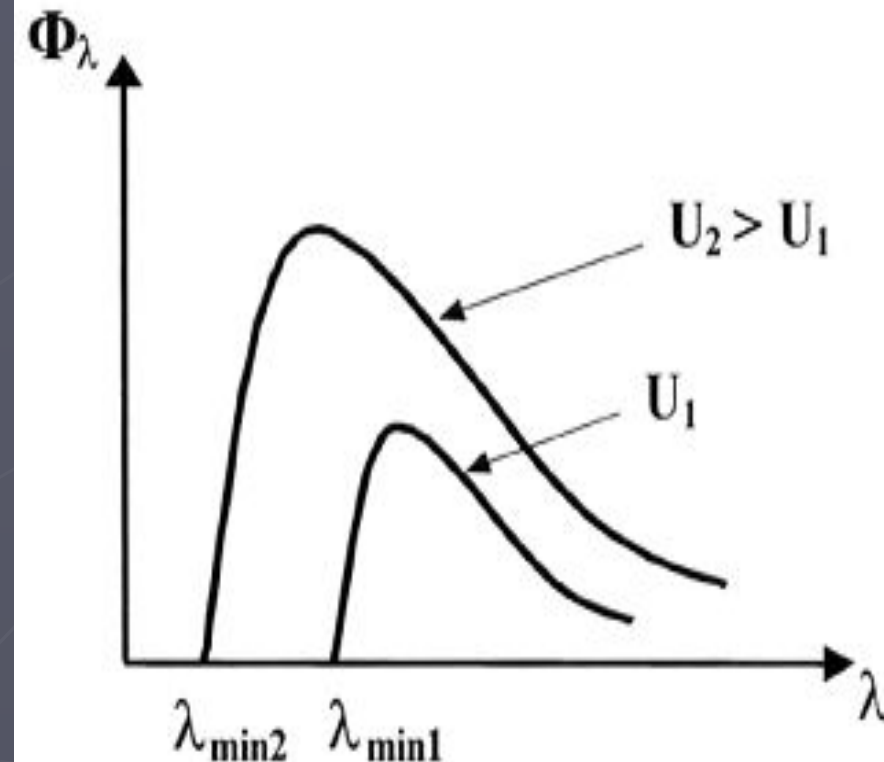
$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU}$$

где  $U$  – напряжение между катодом и антиматодом

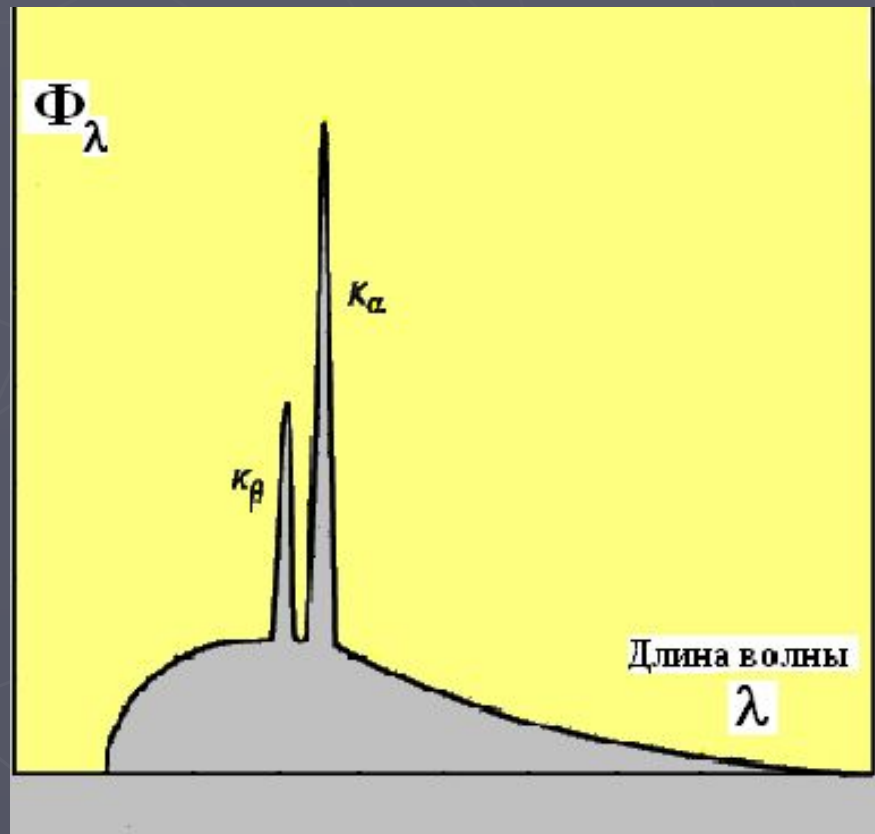
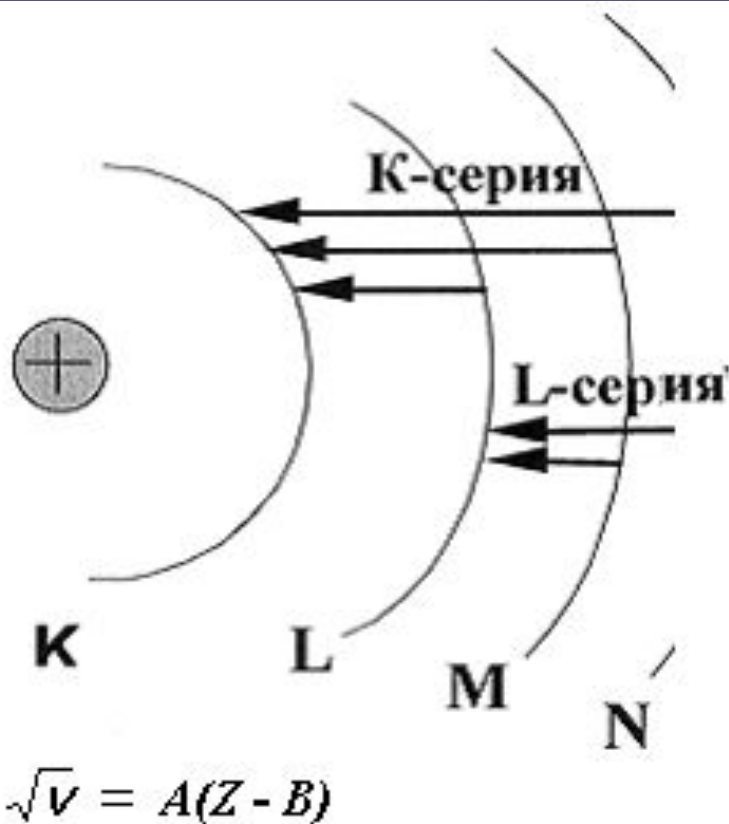
$h$  – постоянная Планка,

$c$  – 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  
▶ (комптоновское)  
▶ рассеяние  
▶ ( $W_{св} \ll h\nu$ )  
▶  $h\nu = h\nu' + E_k$

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

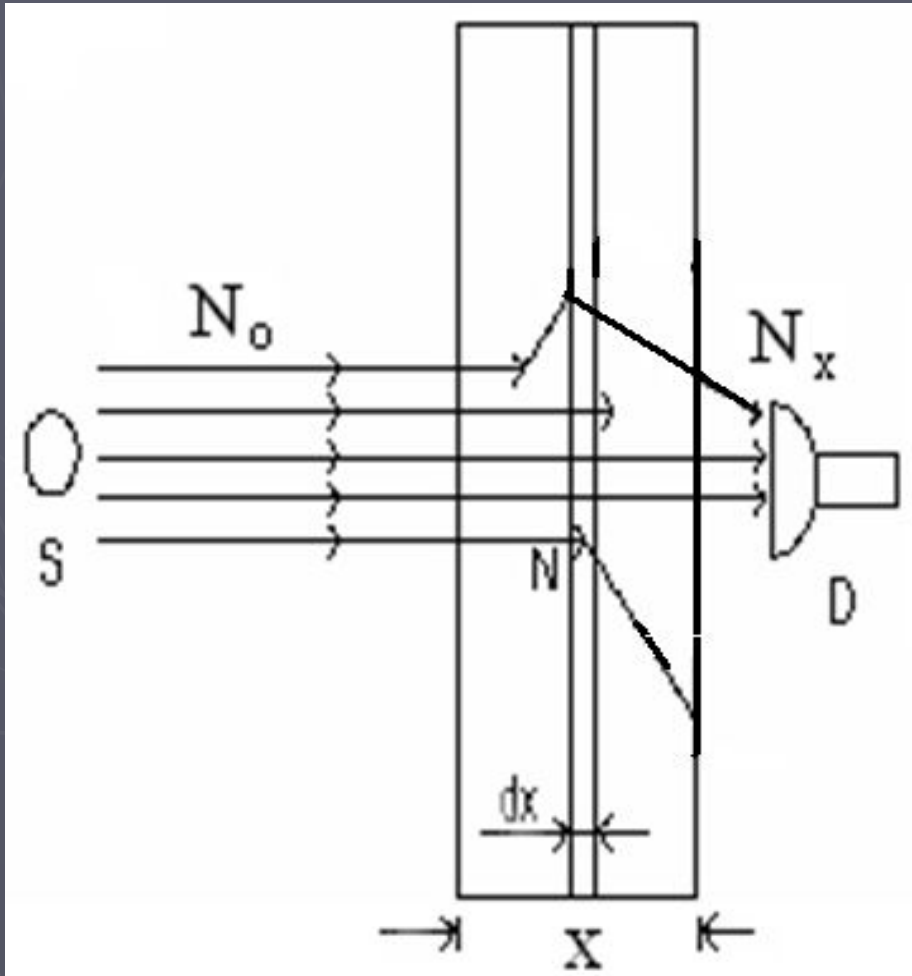
▶  $h\nu = W_{св} + m\nu^2/2.$

▶ 4. Рождение пары  
▶ позитрон-электрон

▶  $h\nu \rightarrow e^+ + e^-$



# Закон ослабления рентгеновского излучения



$$dN = -\mu N dx$$

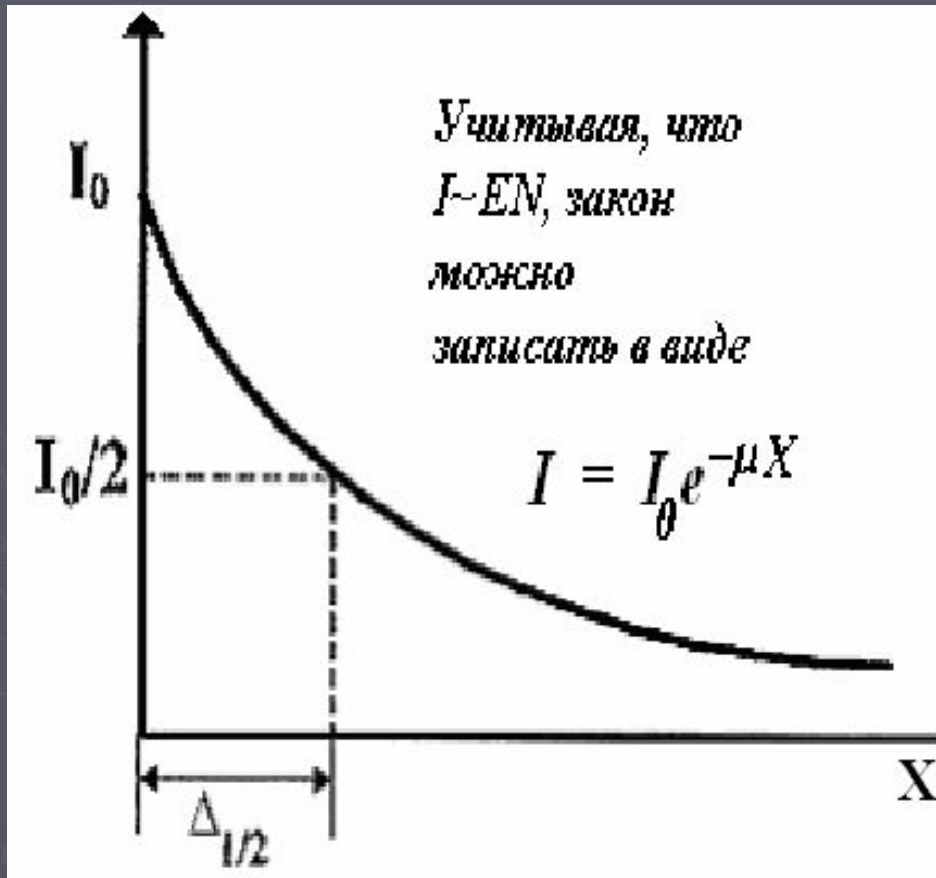
$$\frac{dN}{N} = -\mu \cdot dx$$

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

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

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

# Слой половинного поглощения



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

после логарифмирования

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

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

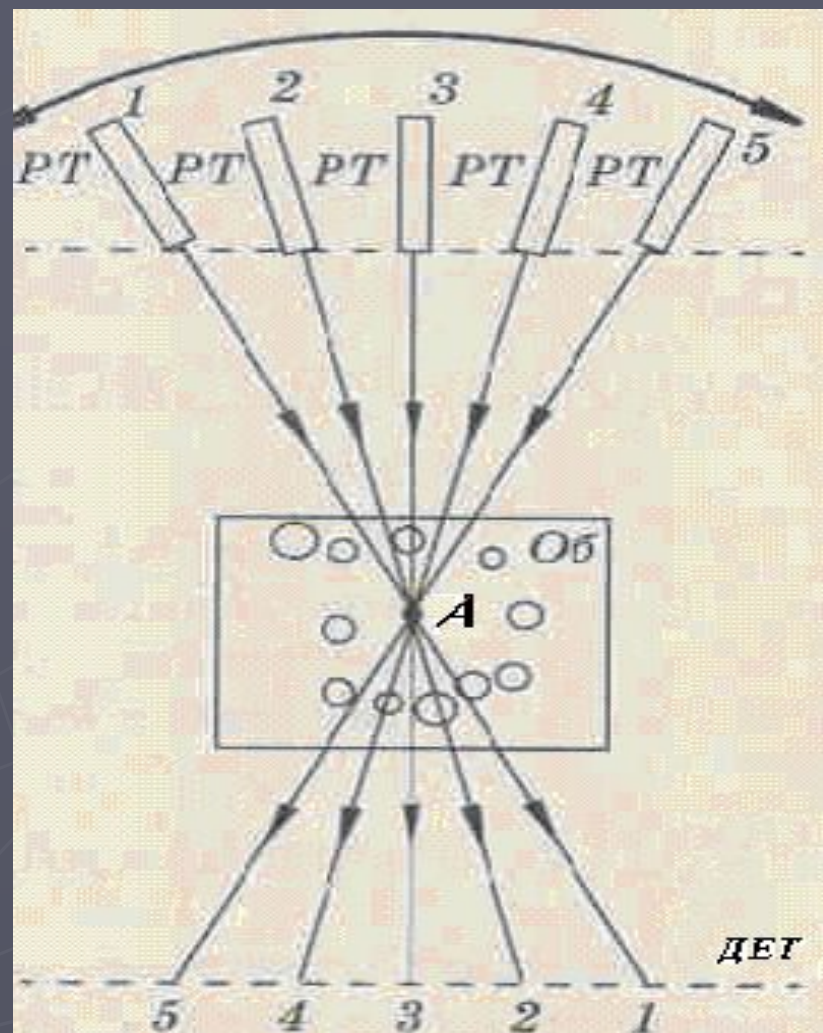
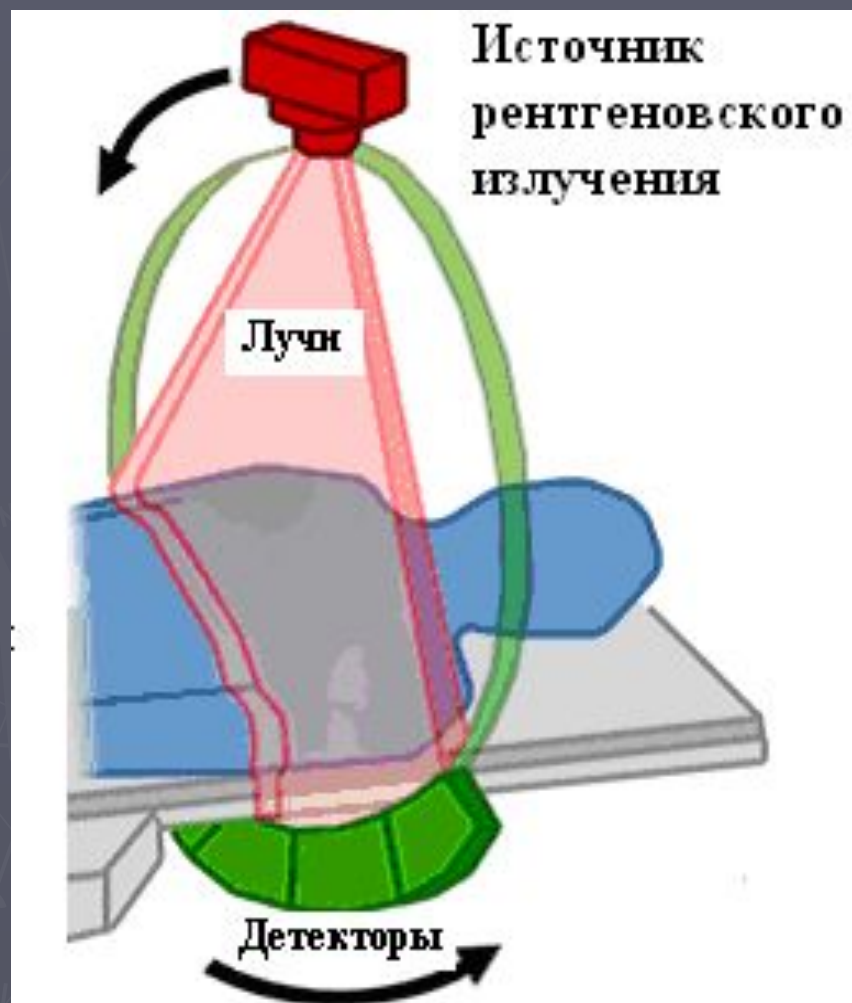
# Физические основы рентгенодиагностики

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

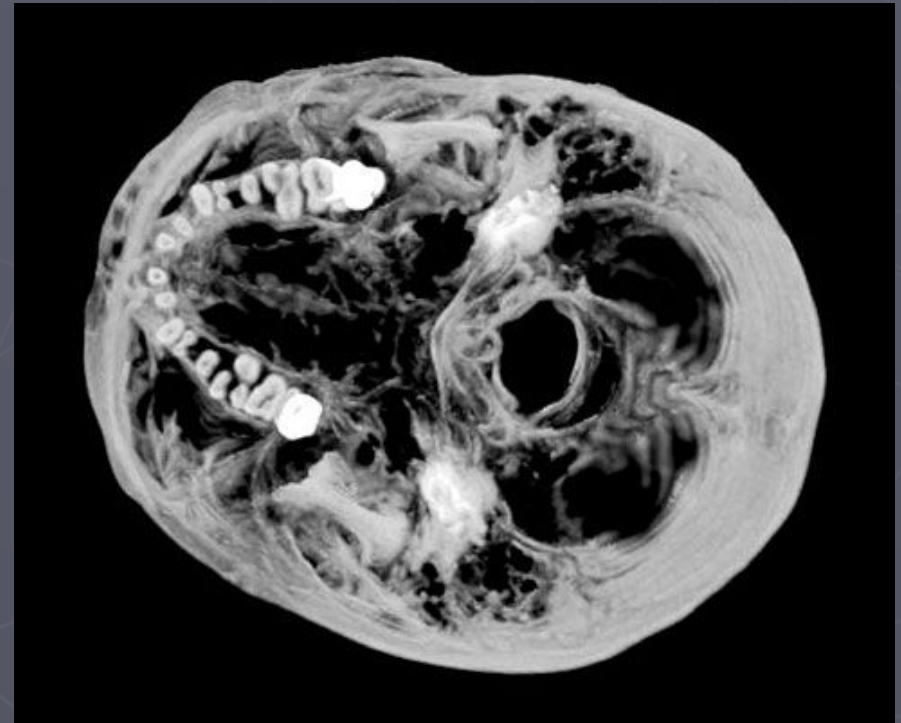
- ▶  $\mu = k \lambda^3 Z^3 \rho$

- ▶  $k$ - коэффициент пропорциональности
- ▶  $\lambda$  -длина волны рентгеновского излучения
- ▶  $Z$ - атомный номер вещества поглотителя
- ▶  $\rho$  –плотность вещества

# Компьютерная томография

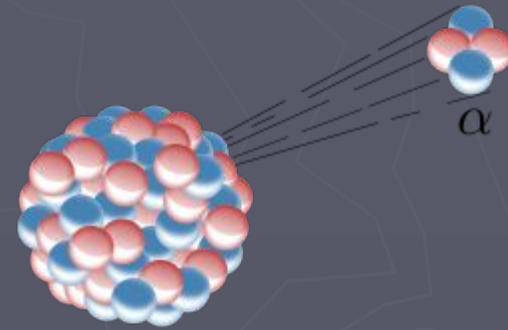
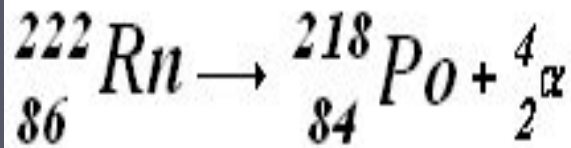
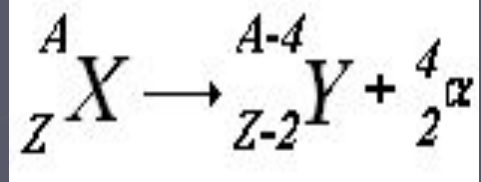


# Компьютерная томография

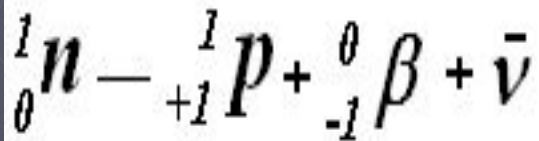
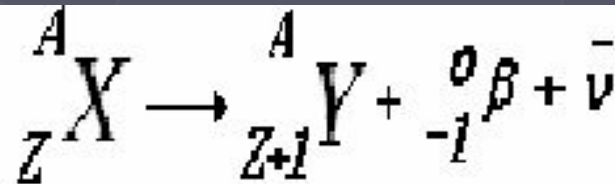


# Радиоактивность

►  $\alpha$  -распад



►  $\beta$ -распад



# Закон радиоактивного распада

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

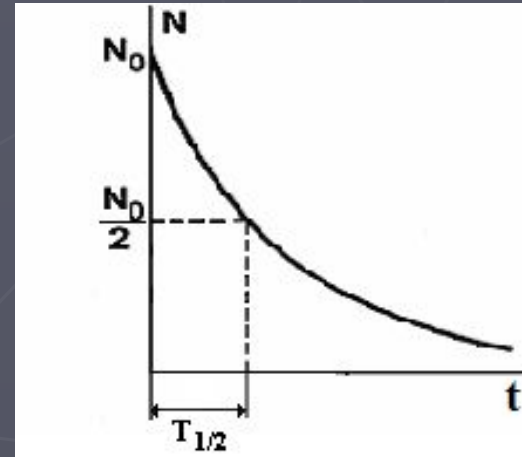
$$\frac{dN}{N} = -\lambda \cdot dt$$

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

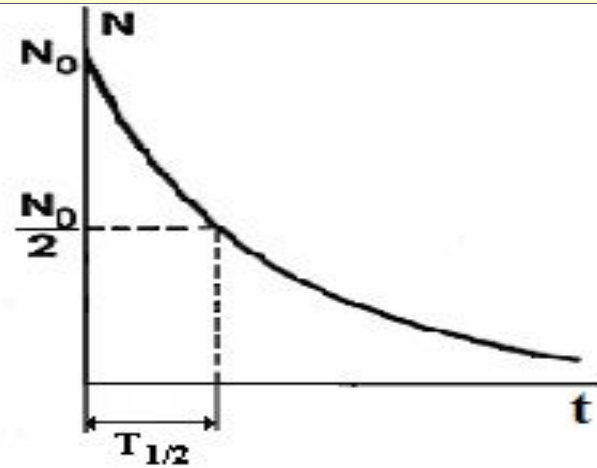
$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -\lambda t$$

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

- ▶  $N_0$  – количество радиоактивных ядер в начальный момент времени
- ▶  $N_t$  – количество нераспавшихся радиоактивных ядер в момент времени  $t$
- ▶  $\lambda$  – 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)

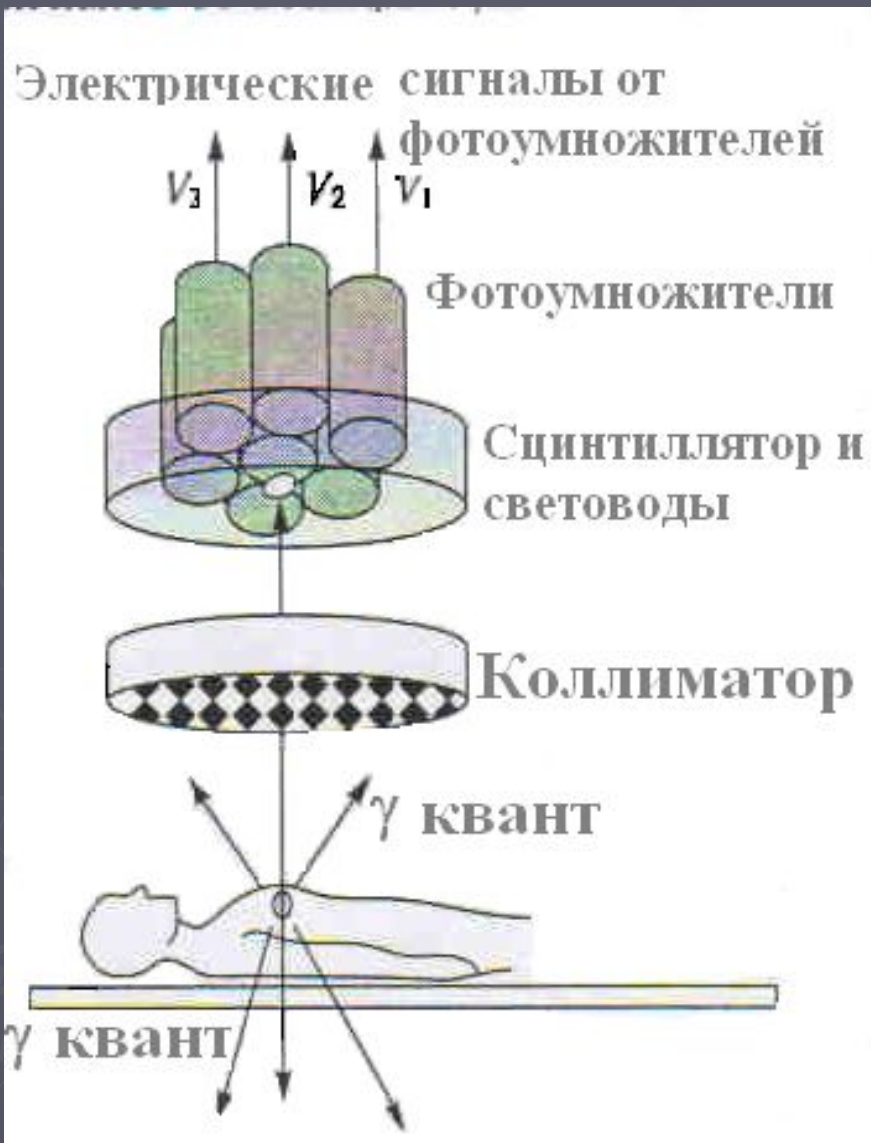
$$A = \frac{dN}{dt}$$

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)

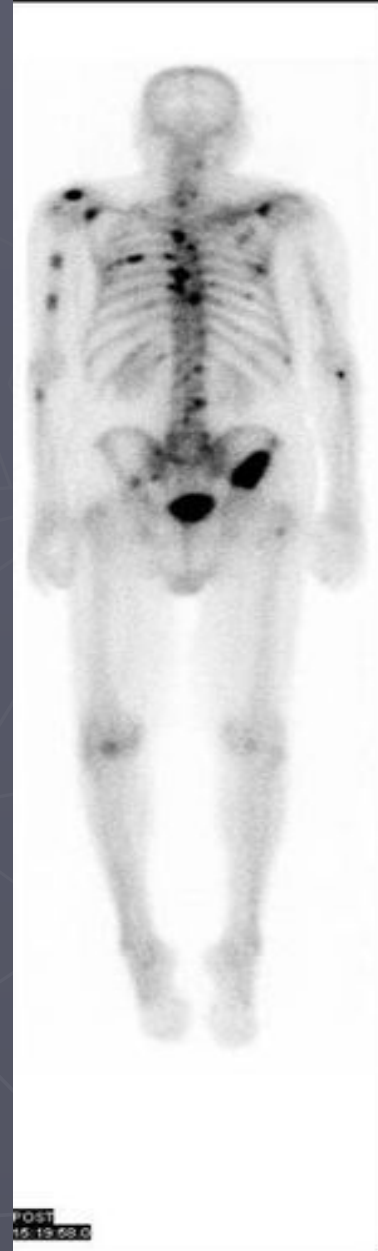
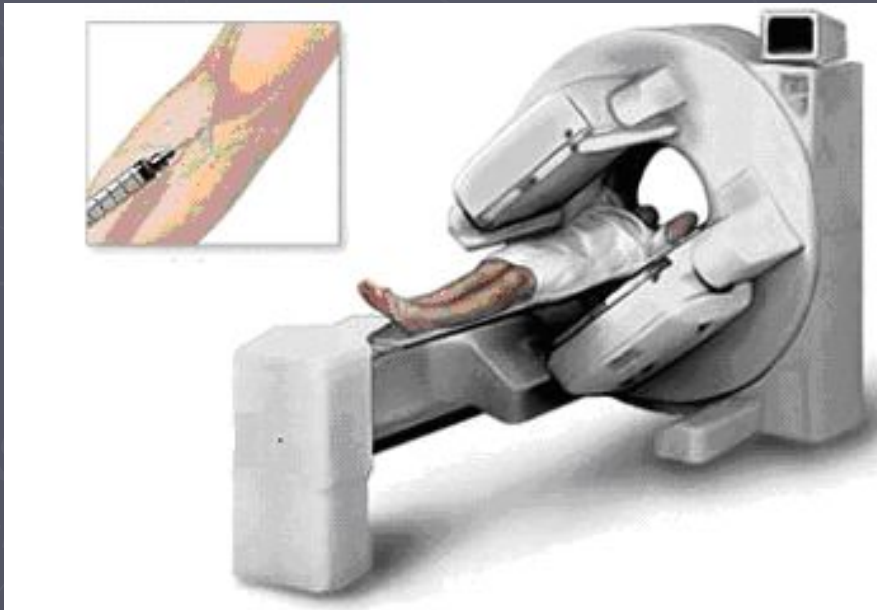


- ▶ **Коллиматор** в гамма-камере служит для ограничения поля видимости, чтобы гамма-кванты, образующиеся вне изучаемой области не могли попасть в детектор
- ▶ **Сцинтилляторы**-вещества, испускающие свет при поглощении энергии частиц ионизирующих излучений.
- ▶ Преобразование световых вспышек в сцинтилляторе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

# Сцинтиграфия костей

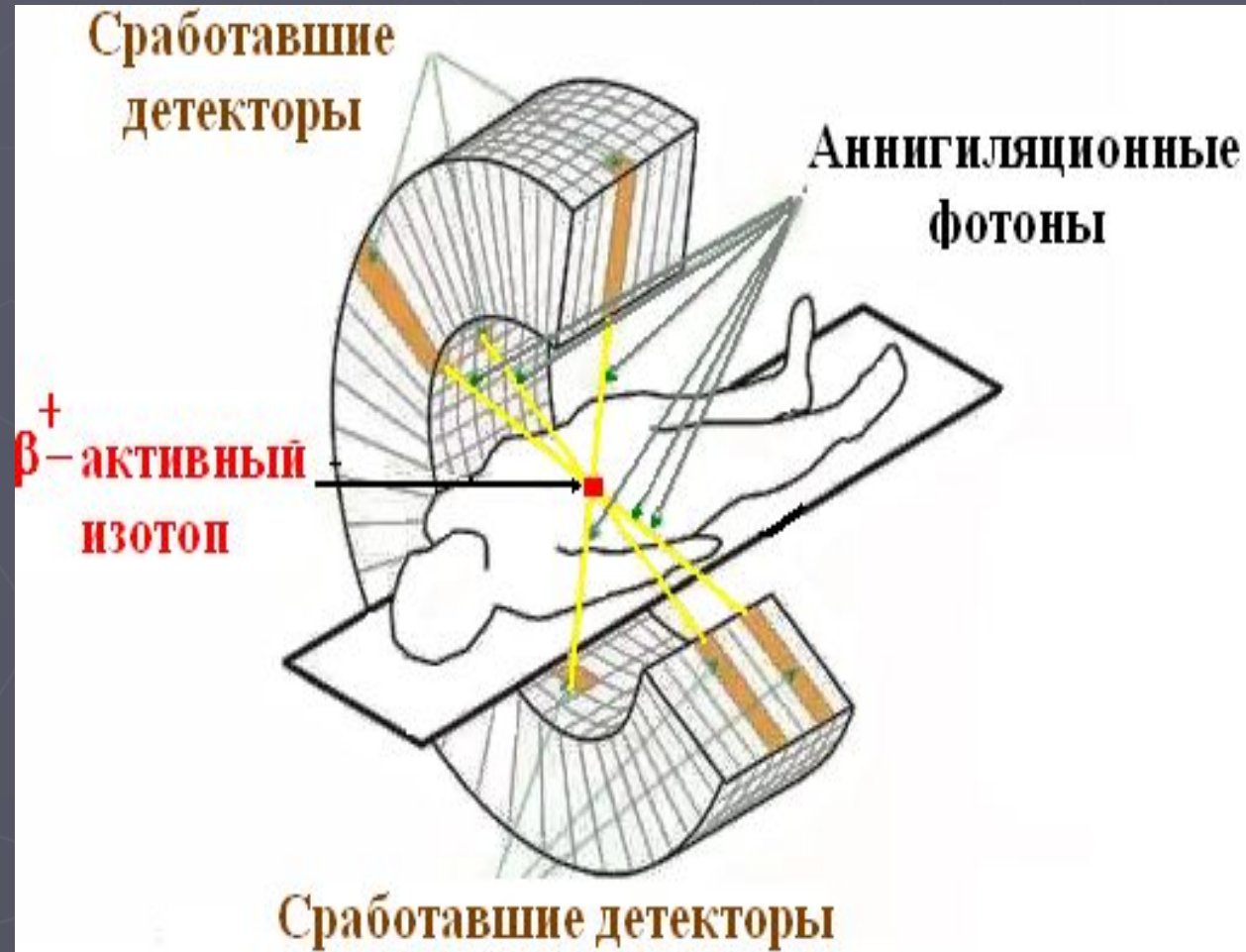
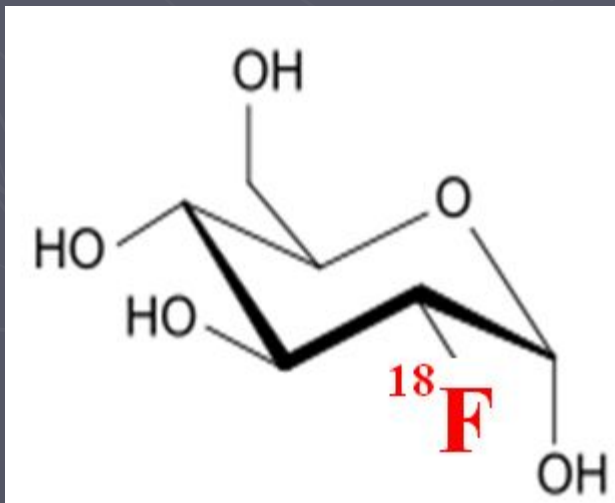
$_{42}^{99}\text{Mo}$  (66 часов)  $\rightarrow$   $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (6 часов)

При распаде изотопа технеция образуются гамма кванты с энергией 140 кЭв



# Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ)

Фтордезоксиглюкоза  
( $^{18}\text{F}$ -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 рентген =  $2,58 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг

Характеристики  
взаимодействия  
ионизированного  
излучения с  
веществом

3. Поглощенная доза

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

1 Грей = 100 Рад

# Коэффициент качества излучения (КК). Эквивалентная доза облучения

▶ Вид излучения	КК	▶ эквивалентная доза
▶ Рентгеновское и гамма-излучение	1	$D_{\text{ЭКВ}} = \text{КК} \cdot D_{\text{ПОГЛ}}$
▶ Электроны и позитроны, бета-излучение	1	
▶ Протоны	10	<b>Зиверт (СИ)</b>
▶ Альфа-частицы	20	<b>1 Зиверт=100бэр</b>

# 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	ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ 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