

Ионизирующее излучение

1. Природа ионизирующего излучения (И.И.)
2. Источники ионизирующих излучений
3. Измерение ионизирующих излучений
4. Количественные характеристики И.И.
5. Физические свойства И.И.
6. Биологическое действие И.И.
7. Механизмы биологического воздействия
8. Гигиеническое нормирование И.И.

Природа И.И.

- **Ионизирующим излучением («И.И.»)** называют потоки частиц и электромагнитных волн, взаимодействие которых со средой вызывает ионизацию ее молекул и атомов. К электромагнитному «И.И.» относят жесткое ультрафиолетовое,

Корпускулярное И.И. $E = mv^2/2$

- К корпускулярному «И.И.» относят все частицы, энергия которых больше или равна энергии ионизации, в частности, потоки: **бета-частиц** (электронов и позитронов); **альфа-частиц** (ядер атома гелия-4); **нейтронов**; **протонов**, различных ионов, мюонов и др.

Ионизация

- **Ионизацией** называют явления отрыва электрона от атома или молекулы. Количество энергии, необходимой для отрыва электрона от атома или молекулы называют **энергией ионизации**. Для ионизации каждого атома и молекулы требуется определенное количество энергии.

Источники ионизирующего излучения

- Природные источники ионизирующего излучения:
- Спонтанный радиоактивный распад радионуклидов.
- Термоядерные реакции, например на Солнце.
- Индуцированные ядерные реакции в результате попадания в ядро высокоэнергетических элементарных частиц или слияния ядер.
- Космические лучи.

Источники ионизирующего излучения

- Искусственные источники ионизирующего излучения:
- Искусственные радионуклиды.
- Ядерные реакторы.
- Ускорители элементарных частиц (генерируют потоки заряженных частиц, а также тормозное фотонное излучение).
- Рентгеновский аппарат как разновидность ускорителей, генерирует тормозное рентгеновское

Основные источники И.И.

49,5% - газ радон ^{222}Rn ;

15% - радиоизотоп ^{40}K ;

15,3% - космическое излучение;

12,2% - радиевый ряд урана;

8% - ториевый ряд урана

ГАЗ РАДОН

Образуется из рассеянного в породах земной коры, непрерывно распадающегося радия ^{236}R . Радон, являясь инертным газом, сравнительно хорошо растворим в воде. Из почвы он поступает в приземный слой атмосферы и воды подземных источников, непрерывно облучая высокоэнергетичными (5,4 МэВ) α -частицами и γ -излучением (0,51 МэВ) почву, корни растений и наземную флору и фауну

$$1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^6 \text{ Кл} \cdot \text{В} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

Радиоизотоп ^{40}K

- Радиоизотоп ^{40}K является основным источником постоянного внутреннего облучения живых организмов. Наибольшая его концентрация в красном костном мозге

Космическое излучение

- Из космического пространства исходит поток И.И., постоянно облучающий нашу планету. Во время солнечных вспышек этот поток существенно возрастает. **Первичное космическое излучение состоит из протонов высоких энергий, ионов гелия, ядер других атомов, электронов, фотонов и нейтронов.** Попадая в атмосферу они вызывают ядерные реакции с образованием ряда радиоактивных нуклидов

Измерение ионизирующих излучений

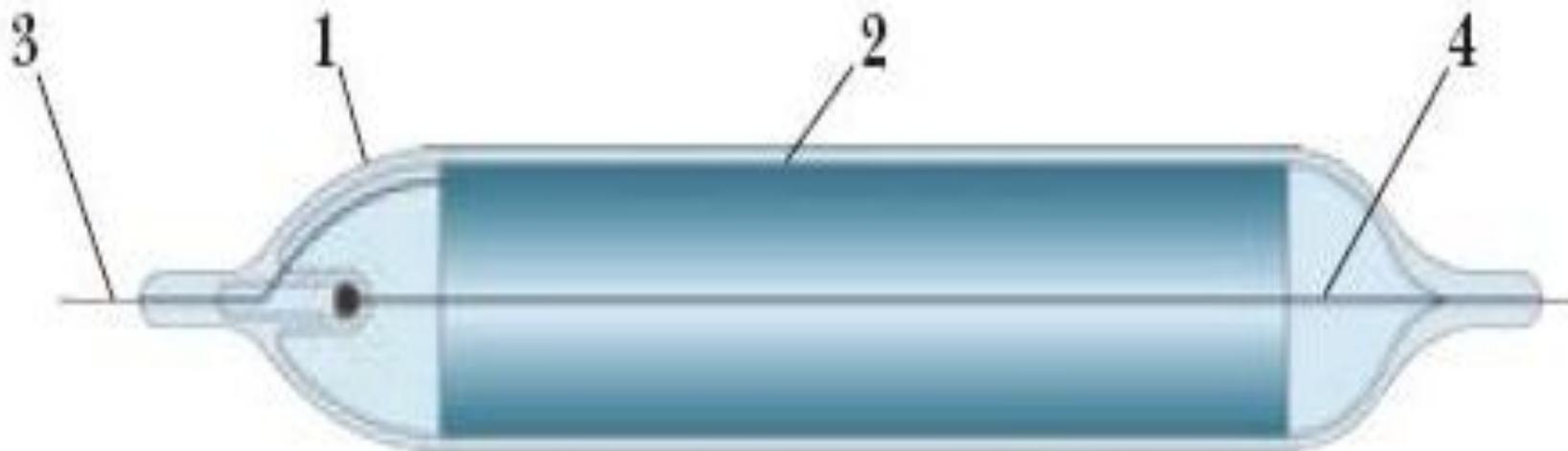


Схема устройства счётчика Гейгера – Мюллера:

1 – герметически запаянная стеклянная трубка; 2 – катод (тонкий слой меди на цилиндре из нержавеющей стали); 3 – вывод катода; 4 – анод (тонкая нить)

Счетчик Гейгера-Мюллера

Счётчик Гейгера – Мюллера представляет собой герметично запаянную стеклянную трубку, наполненную каким-либо газом под давлением 13–26 кПа. Внутри трубки находятся два электрода, к которым прикладывается напряжение в несколько сотен вольт. При попадании ионизирующей частицы в счётчик Гейгера – Мюллера возникает вспышка коронного разряда и во внешней цепи прибора появляется импульс тока, который усиливается и регистрируется счётчиком импульсов.

РАДИОАКТИВНОСТЬ

Радиоактивность - самопроизвольный распад неустойчивых ядер с испусканием других ядер и элементарных частиц. Характерным признаком, отличающим ее от других видов ядерных превращений, является *самопроизвольность* (*спонтанность*) этого процесса. Различают радиоактивность естественную и искусственную. *Естественная радиоактивность* встречается у неустойчивых ядер, существующих в природных условиях.

Основной закон радиоактивного распада

Радиоактивный распад — это статистическое явление. Невозможно предсказать, когда распадется данное нестабильное ядро, можно лишь сделать некоторые вероятностные суждения об этом событии. Пусть за достаточно малый интервал времени dt распадается dN ядер. Это число пропорционально интервалу времени dt , а также общему числу N радиоактивных ядер:

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

Основной закон радиоактивного распада

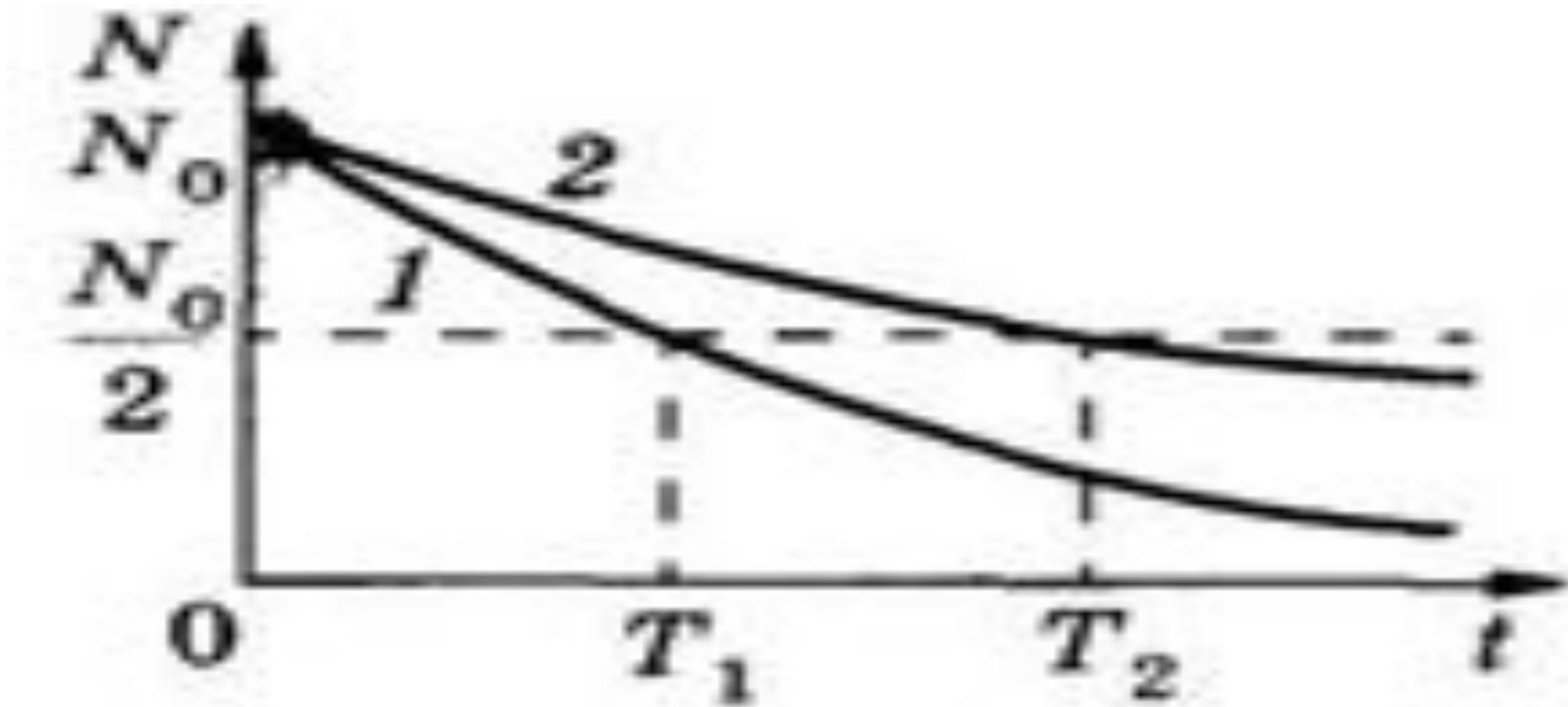
Основной закон радиоактивного распада

$$\bullet N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

- Это основной закон радиоактивного распада: число радиоактивных ядер, которые еще не распались, убывает со временем по экспоненциальному закону. На практике вместо постоянной распада чаще используют другую характеристику радиоактивного изотопа - период полураспада T . Это время, в течение которого распадается половина радиоактивного элемента.

Основной закон радиоактивного распада

Число радиоактивных ядер, которые еще не распались, убывает со временем по экспоненциальному закону.



АКТИВНОСТЬ РАСПАДА

Работая с радиоактивными источниками, важно знать число частиц или γ -фотонов, вылетающих из препарата в секунду. Это число пропорционально скорости распада, поэтому скорость распада, называемая **активностью**.

$$A = - dN/dt = \lambda \cdot N = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$A = \lg 2 \cdot N / T$$

АКТИВНОСТЬ РАСПАДА

Единица активности — **беккерель (Бк)**, что соответствует активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за 1 с происходит один акт распада.

Наиболее употребительной единицей активности является **кюри (Ки)**; $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$. Кроме того,

существует еще одна внесистемная единица активности — **резерфорд (Рд)**;

- $1 \text{ Рд} = 10^6 \text{ Бк} = 10^6 \text{ с}^{-1}$.

Количественные характеристики И.

И

- Эффективность взаимодействия ионизирующего излучения с веществом зависит от типа излучения, энергии частиц и сечения взаимодействия облучаемого вещества. Важными показателями взаимодействия ионизирующего излучения с веществом служат такие величины, как:

Количественные характеристики И. И

- линейная плотность ионизации (i), под которой понимают отношение числа dn ионов одного знака, которые образуются при прохождении «И. И.» элементарного пути dl к этому пути:

$$• i = dn/dl$$

Количественные характеристики И.

И

- линейная тормозная способность вещества (S), под которой понимают отношение энергии dE , которая теряется «И. И.» при прохождении элементарного пути dL к этому пути:

$S = dE / dL$

Количественные характеристики И.

И

- **Средний линейный пробег R** - это среднее значение расстояния между началом и завершением прохождения «И.И.» в данном веществе.
- **При изучении степени поражения** тех или иных биологических объектов необходимо иметь представление о физических характеристиках излучения, **особенно о его энергии.**

Физические свойства ИИ

Для ионизации молекул, входящих в состав воздуха, значения линейной тормозной способности воздуха S лежат в интервале 70—270 МэВ/м. Средний линейный пробег α -частицы зависит от ее энергии и от плотности вещества. В воздухе он равен нескольким см, в жидкостях и в живом организме - 10 -100 мкм. После того как скорость α -частицы уменьшается до скорости молекулярно-теплового движения, она, захватив два электрона в веществе, превращается в атом гелия.

Физические свойства ИИ

Бета-излучение, так же как и α -излучение, вызывает ионизацию вещества. В воздухе линейная плотность ионизации β -частицами может быть вычислена по формуле:

$$I = k(c/v)^2$$

$k \sim 4600$ пар ионов/м; c - скорость света;

v - скорость β -частиц. Кроме ионизации и возбуждения β -частицы могут вызывать и другие процессы. Так, например, при торможении электронов возникает тормозное рентгеновское излучение.

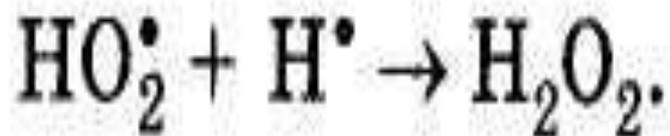
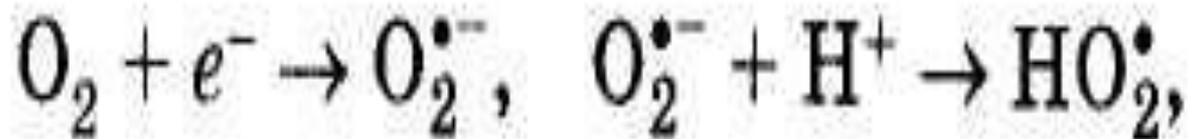
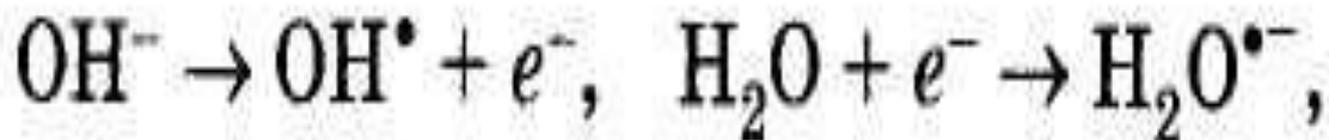
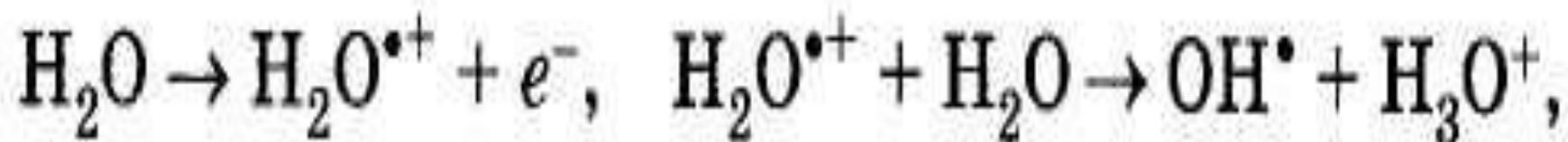
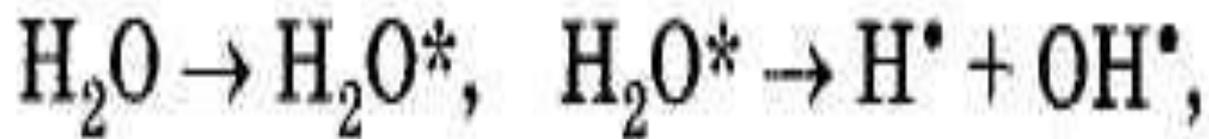
Физические свойства ИИ

В ткани организма β -частицы проникают на глубину 10—15 мм. При попадании γ -излучения в вещество наряду с когерентным рассеянием, эффектом Комптона, фотоэффектом, возникают и такие явления, как образование пары электрон — позитрон, происходящее при энергии γ -фотона, не меньшей суммарной энергии покоя электрона и позитрона (1,02 МэВ), и фотоядерные реакции, которые возникают при взаимодействии γ -фотонов больших энергий с атомными ядрами.

Биологическое действие И.И.

Рассматривая первичные физико-химические процессы в организме при действии ионизирующих излучений, следует учитывать две принципиально разные возможности взаимодействия: с молекулами воды и с молекулами органических соединений. Под действием ионизирующих излучений происходят химические превращения вещества, получившие название **радиолиза**. Укажем возможные механизмы радиолиза воды:

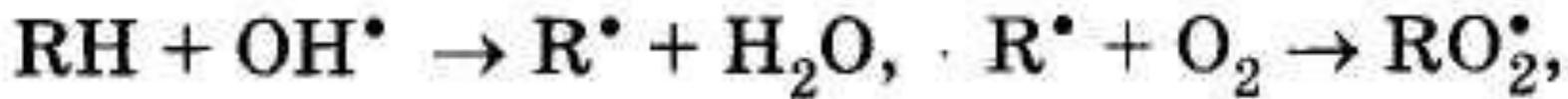
Радиолиз воды



Радиолиз воды

Наиболее реакционноспособными являются три типа радикалов (присутствие неспаренного электрона у свободных радикалов обозначается жирной точкой в верхнем правом индексе), образующихся при радиолизе воды: e^- , H^+ и OH^\cdot .

Взаимодействие органических молекул RH с этими радикалами может привести к образованию радикалов органических



Механизмы биологического действия

И.И.

Общие закономерности, характерные для биологического действия ионизирующего излучения состоят в том, что значительные биологические нарушения вызываются ничтожно малыми количествами поглощаемой энергии излучения. И.И. действует не только на биологический объект, подвергнутый облучению, но и на последующие поколения через наследственный аппарат клеток. Это обстоятельство, а также его условное прогнозирование особо остро ставят вопрос

о защите организмов от излучения

Механизмы биологического действия И И

Для биологического действия ионизирующего излучения специфичен скрытый (*латентный*) период. Разные части клеток по-разному чувствительны к одной и той же дозе ионизирующего излучения. Наиболее чувствительным к действию излучения является ядро клетки. Способность к делению — наиболее уязвимая функция клетки, поэтому при облучении прежде всего поражаются растущие ткани. Это делает И.И. особенно опасным для детского организма, включая

Гигиеническое нормирование И.И.

Естественные радиоактивные источники (космические лучи, радиоактивность недр, воды, радиоактивность ядер, входящих в состав человеческого тела, и др.) создают фон, соответствующий приблизительно эквивалентной дозе 125 мбэр в течение года. Предельно допустимой эквивалентной дозой при профессиональном облучении считается **5 бэр** в течение года. Минимальная летальная доза от γ -излучения около 600 бэр. Эти данные соответствуют облучению всего организма.

ДОЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И.И.

Независимо от природы ионизирующего излучения его взаимодействие количественно может быть оценено отношением энергии, переданной элементу облученного вещества, к массе этого элемента. Эту характеристику называют *дозой излучения* (**поглощенной дозой излучения**) D_n . Различные эффекты ионизирующего излучения прежде всего определяются поглощенной дозой. Она сложным образом зависит от вида ионизирующего излучения, энергии его

ПОГЛОЩЕННАЯ ДОЗА

$$D_{\text{п}} = E/m = n \cdot E_0 / m$$

Единицей поглощенной дозы излучения является *грей* (Гр), который соответствует дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж. Внесистемная единица дозы излучения - *рад* (1 рад = 10^{-2} Гр = 100 эрг/г).

Мощность поглощенной дозы выражается в греях в секунду (Гр/с) или рад/с.

$$P_{\text{п}} = E/(m \cdot t) = n \cdot E_0 / (m \cdot t)$$

Экспозиционная доза И.И.

Практически измерить поглощенную дозу трудно, так как тело неоднородно, энергия рассеивается телом по всевозможным направлениям и т.п. Но можно оценить поглощенную телом дозу по ионизирующему действию излучения в воздухе, окружающем тело. В связи с этим вводят еще одно понятие дозы для рентгеновского и γ -излучения - *экспозиционную дозу излучения* $D_{\text{эксп}}(X)$, которая является мерой ионизации воздуха рентгеновскими и γ -лучами.

Экспозиционная доза И.И.

Экспозиционная доза И.И. находится по формуле

$$D_{\text{эксп}} = Q/m = n \cdot e/m$$

За единицу экспозиционной дозы принят *кулон на килограмм* (Кл/кг). На практике используют единицу, называемую *рентгеном* (Р).

Между поглощенной и экспозиционной дозами существует связь: $D_{\text{п}} = f \cdot D_{\text{эксп}}$

$$P_{\text{эксп}} = D_{\text{эксп}}/t = Q/(m \cdot t) = n \cdot e/(m \cdot t) = k \cdot A/r^2$$

Единицей мощности экспозиционной дозы является 1 А/кг, а внесистемной единицей — 1 Р/с.

Связь между поглощенной и экспозиционной дозами

- Так как доза излучения пропорциональна падающему ионизирующему излучению, то между ней и экспозиционной дозой должна быть пропорциональная зависимость:

$$\bullet D_{\text{п}} = f \cdot D_{\text{експ}}$$

- где f - некоторый переходный коэффициент, зависящий от ряда причин и прежде всего от облучаемого вещества и энергии фотонов

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА И.И.

Различные излучения даже при одной и той же поглощенной дозе оказывают разные воздействия. Поэтому для учета поглощенной дозы и биологического эффекта вводят эквивалентную дозу, которая измеряется в зивертах (Зв), а меньшая единица – бэр.

$$D_{\text{экв}} = k \cdot D_{\text{п}} = k \cdot n \cdot E_0 / m$$

Коэффициент k , показывающий, во сколько раз эффективность биологического действия данного вида излучения больше, чем рентгеновского или γ -излучения.

Мощность эквивалентной дозы

- **Мощностью эквивалентной дозы** называют отношение приращения эквивалентной дозы $D_{\text{ЭКВ}}$ к интервалу времени t :
- $$P_{\text{ЭКВ}} = D_{\text{ЭКВ}} / t = k \cdot D_{\text{П}} / t = k \cdot n \cdot E_0 / m \cdot t.$$
- *Единицы измерения мощности эквивалентной дозы: Зв/с и бэр/с.*

Принципы количественной радиобиологии

- **Принцип попадания** – излучение оказывает воздействие только при попадании в Б.О.;
- **Принцип мишени** – биологический эффект зависит от вида поражаемых тканей;
- **Принцип усилителя** – при попадании И.И. в ДНК эффект поражения существенно возрастает

Защита от ионизирующего излучения

- Существует три вида защиты от ИИ:
- Защита временем и расстоянием основаны на учете формулы для мощности экспозиционной дозы:

- $R_{\text{эксп}} = k \cdot A / r^2$

- Защита материалом основана на законе ослабления ионизирующего излучения: $\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-\mu x}$,

Правило Бергонье-Трибондо

- Радиочувствительность тканей тем выше, чем больше их пролиферативная активность и меньше степень дифференциации.
- Повреждающее действие ионизирующих излучений на биообъекты носит дозозависимый характер. Построение графиков типа «доза-эффект» позволило сравнивать радиочувствительность биообъектов, сопоставляя дозы излучения, вызывающие в них равные по величине эффекты.

Радиочувствительность и радиорезистентность

- Чем больше возникает изменений в ткани под влиянием радиации, тем ткань более **радиочувствительна**, и, наоборот, способность организмов или отдельных тканей не давать патологических изменений при действии ионизирующих излучений характеризует степень их **радиорезистентности т.е. устойчивости к радиации.**

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

- 1. Природа рентгеновского излучения
- 2. Тормозное рентгеновское излучение, его спектральные свойства.
- 3. Характеристическое рентгеновское излучение.
- 4. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.
- 5. Физические основы использования рентгеновского излучения в медицине.

Природа Р.И.

- Рентгеновским излучением называют электромагнитные волны с длиной приблизительно от 80 до 10^{-5} нм.
- Длина волны определяет энергию:
- $E = h \cdot c / \lambda$; $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
- В зависимости от энергии Р.И. подразделяют на «жесткое» и «мягкое»

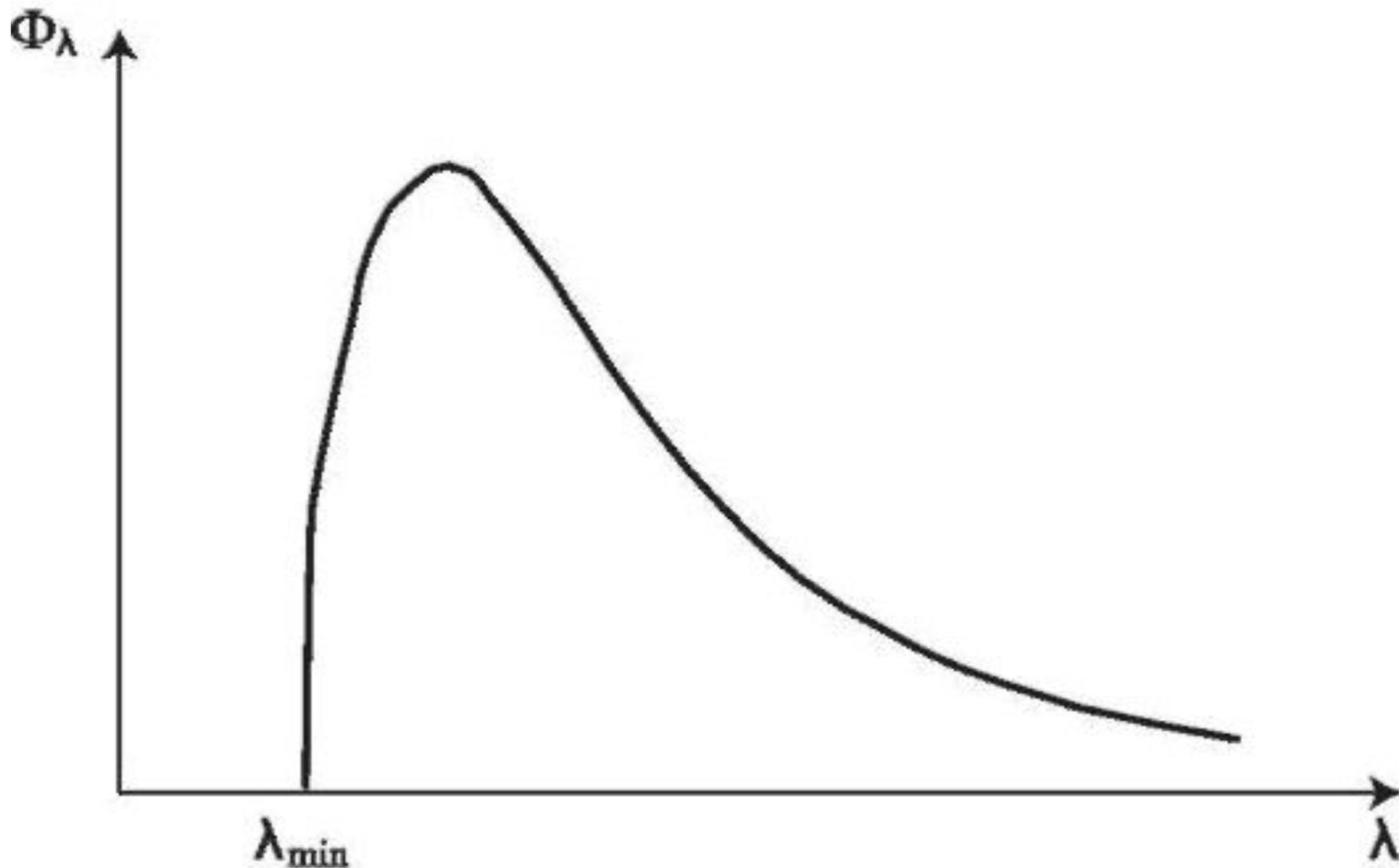
Тормозное Р.И.

- **Тормозным рентгеновское излучение, возникающее в результате торможения электронов электростатическим полем атомных ядер и атомарных электронов вещества анода рентгеновской трубки.**

«Жесткое и мягкое» Р.И.

- «**Жестким**» называют Р.И. с большей энергией (меньшей длиной волны);
- «**Мягким**» называют Р.И. с меньшей энергией (большей длиной волны);
- $E = (h \cdot c) / \lambda = (6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}) / \lambda = 19,9 \cdot 10^{-26} \text{ Дж} \cdot \text{м} / \lambda$
- Проверка размерности: $[\text{Дж}] = [\text{Дж}]$

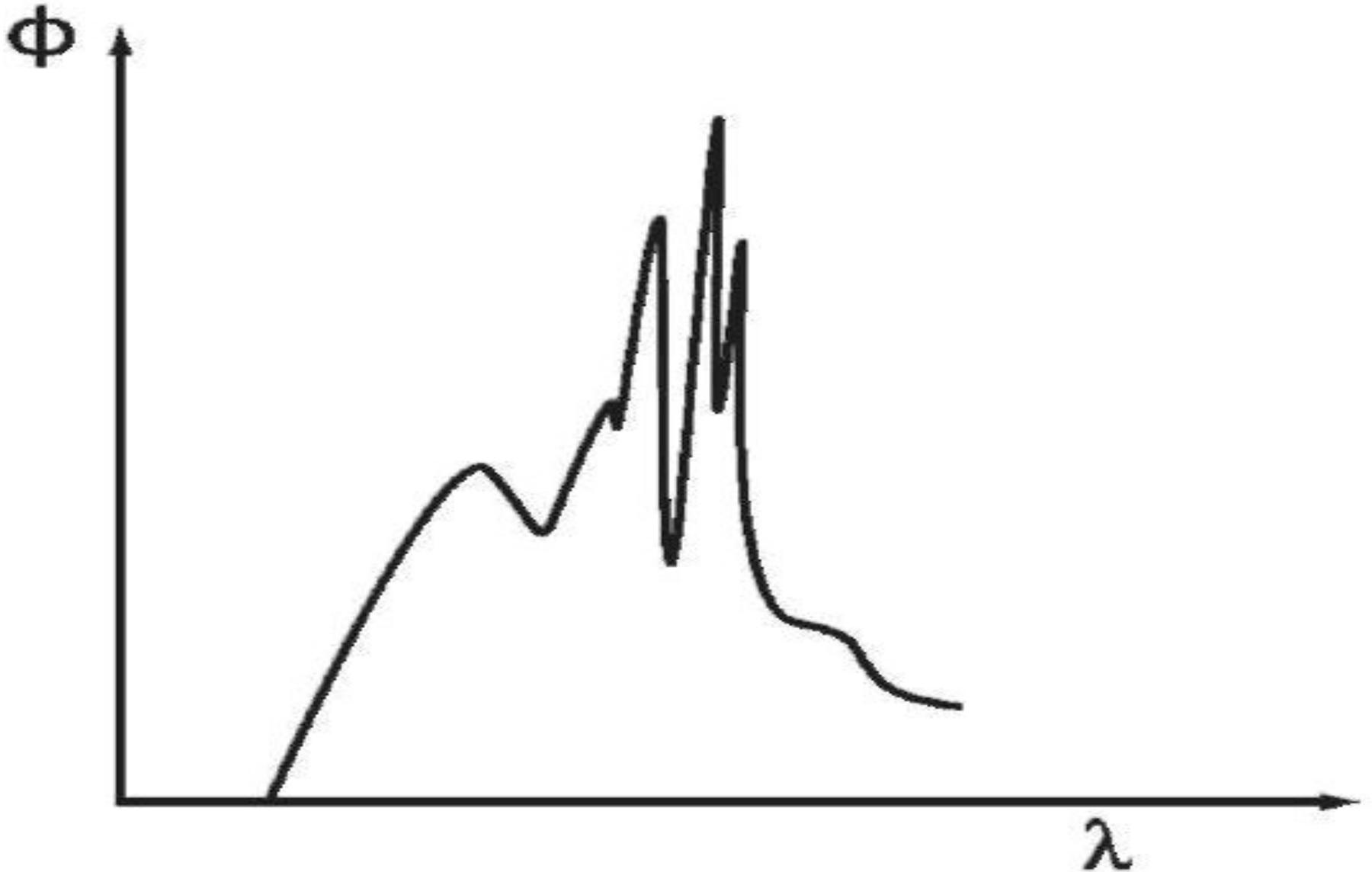
Спектр тормозного Р.И.



Характеристическое Р.И.

- **Характеристическим называют рентгеновское излучение, возникающее вследствие того, что ускоренные электроны проникают вглубь атомов и выбивают из внутренних слоев электроны, при этом, на свободные места переходят электроны с верхних уровней, высвечивая фотоны характеристического излучения.**

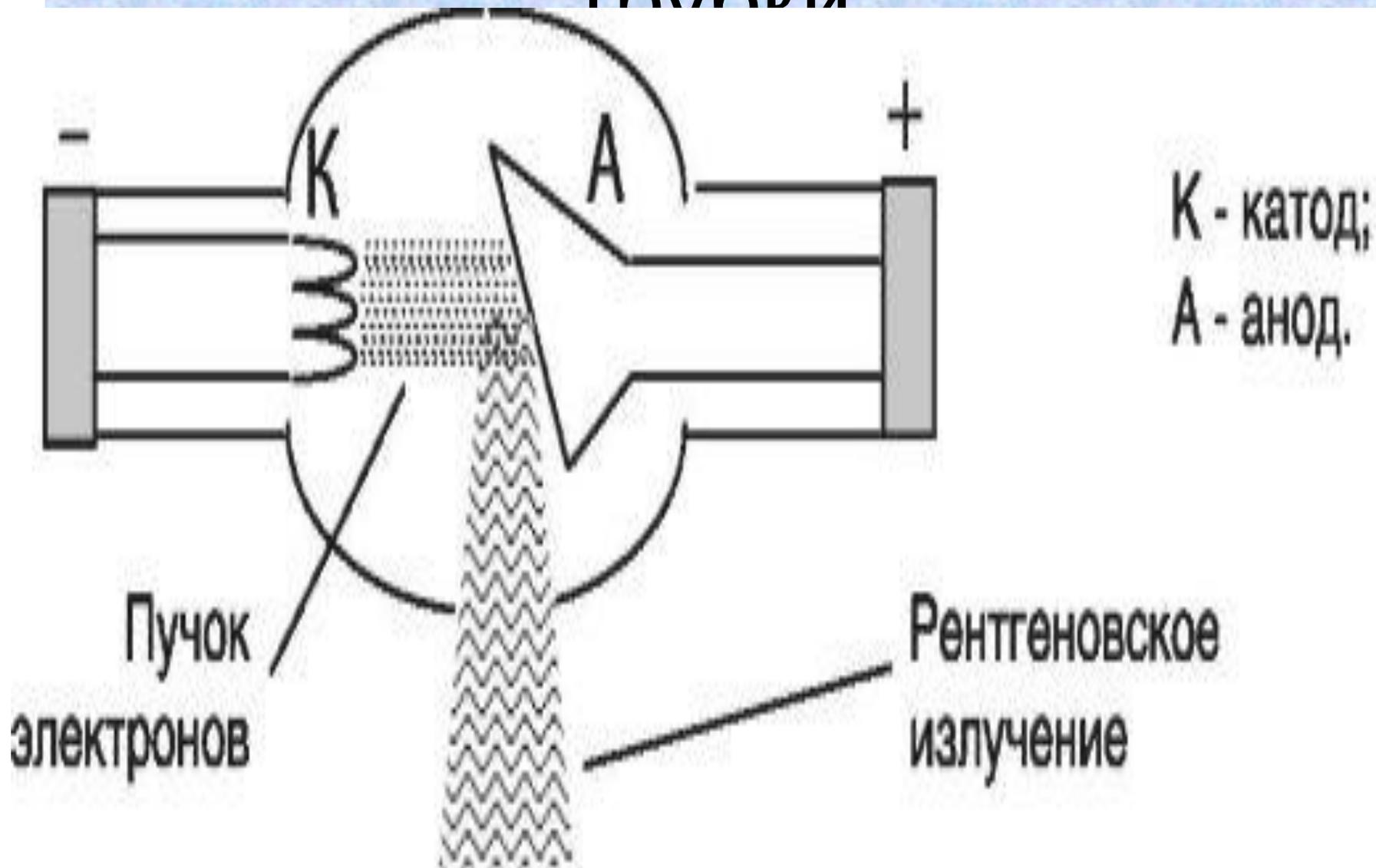
Характеристическое Р.И.



Получение Р.И.

- Получают Р.И. при помощи рентгеновской трубки. Она имеет подогреваемый катод, который испускает электроны. Между катодом и анодом, который имеет наклонную поверхность создается электрическое поле. При торможении большого количества электронов образуется непрерывный или сплошной спектр рентгеновского излучения.

Устройство рентгеновской трубки



Минимальная длина волны Р. И

- В каждом из спектров наиболее коротковолновое излучение возникает тогда, когда приобретенная электроном энергия в ускоряющем поле, полностью переходит в энергию фотона: $e \cdot U = h \cdot \nu_{\max} = h \cdot c / \lambda_{\min}$,
- откуда: $\lambda_{\min} = hc / (eU)$. Или:
- $\lambda_{\min} = [(12,3 \cdot 10^{-10}) / U](\text{м}) = [1,23 / U](\text{нм})$,
- где λ_{\min} – минимальная длина волны;
- U – напряжение, кВ.

Поток Р.И.

- Поток рентгеновского излучения вычисляется по формуле:

$$\bullet \Phi = k \cdot I \cdot U^2 \cdot Z ;$$

- где U и I – напряжение и сила тока в рентгеновской трубке; Z – порядковый номер атома вещества анода;
- $k = 10^{-9} \text{ В}^{-1}$ – коэффициент пропорциональности.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ.

- В зависимости от соотношения энергии ϵ фотона и энергии ионизации A , имеют место три главных процесса взаимодействия:
 - - когерентное,
 - - некогерентное рассеяние
 - и фотоэффект.

Когерентное рассеивание

- **КОГЕРЕНТНОЕ (КЛАССИЧЕСКОЕ) РАССЕЯНИЕ** – характеризуется небольшой энергией взаимодействия, энергия фотона меньше энергии ионизации ($h\nu < A_{И}$). Отражаясь от атомов, рентгеновские лучи могут интерферировать и давать информацию о молекулярном строении веществ.

Когерентное рассеивание

АТОМ

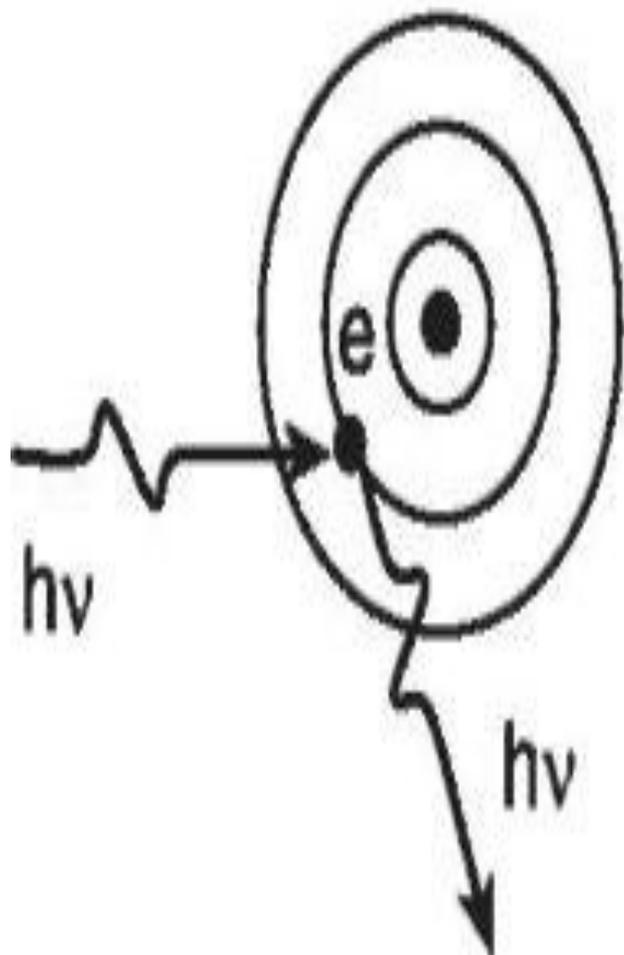
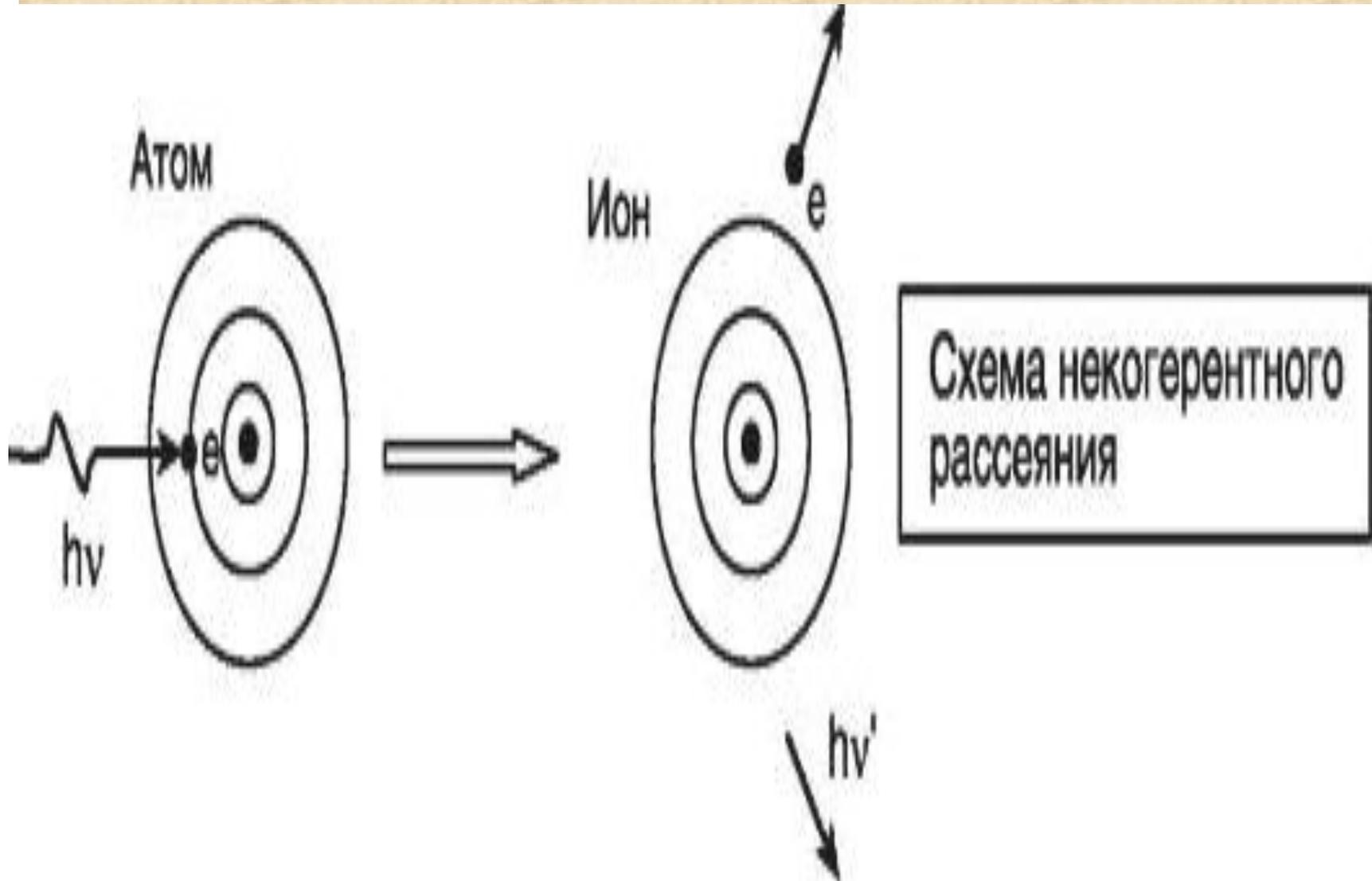


Схема когерентного
рассеяния

НЕКОГЕРЕНТНОЕ РАССЕЯНИЕ

- **НЕКОГЕРЕНТНОЕ РАССЕЯНИЕ (ЭФФЕКТ КОМПТОНА)** – рассеяние с изменением (увеличением) длины волны. Энергия фотона больше энергии ионизации ($h\nu > A_{\text{И}}$). При взаимодействии с атомами энергия рентгеновского фотона расходуется на 1) образование нового рассеянного фотона с энергией $h\nu_1$, на отрыв электрона от атома (работа ионизации $A_{\text{И}}$) и сообщение электрону кинетической энергии $E_{\text{К}} = (m_e v^2/2)$. Таким образом : $h\nu = h\nu_1 + A_{\text{И}} + E_{\text{К}}$.

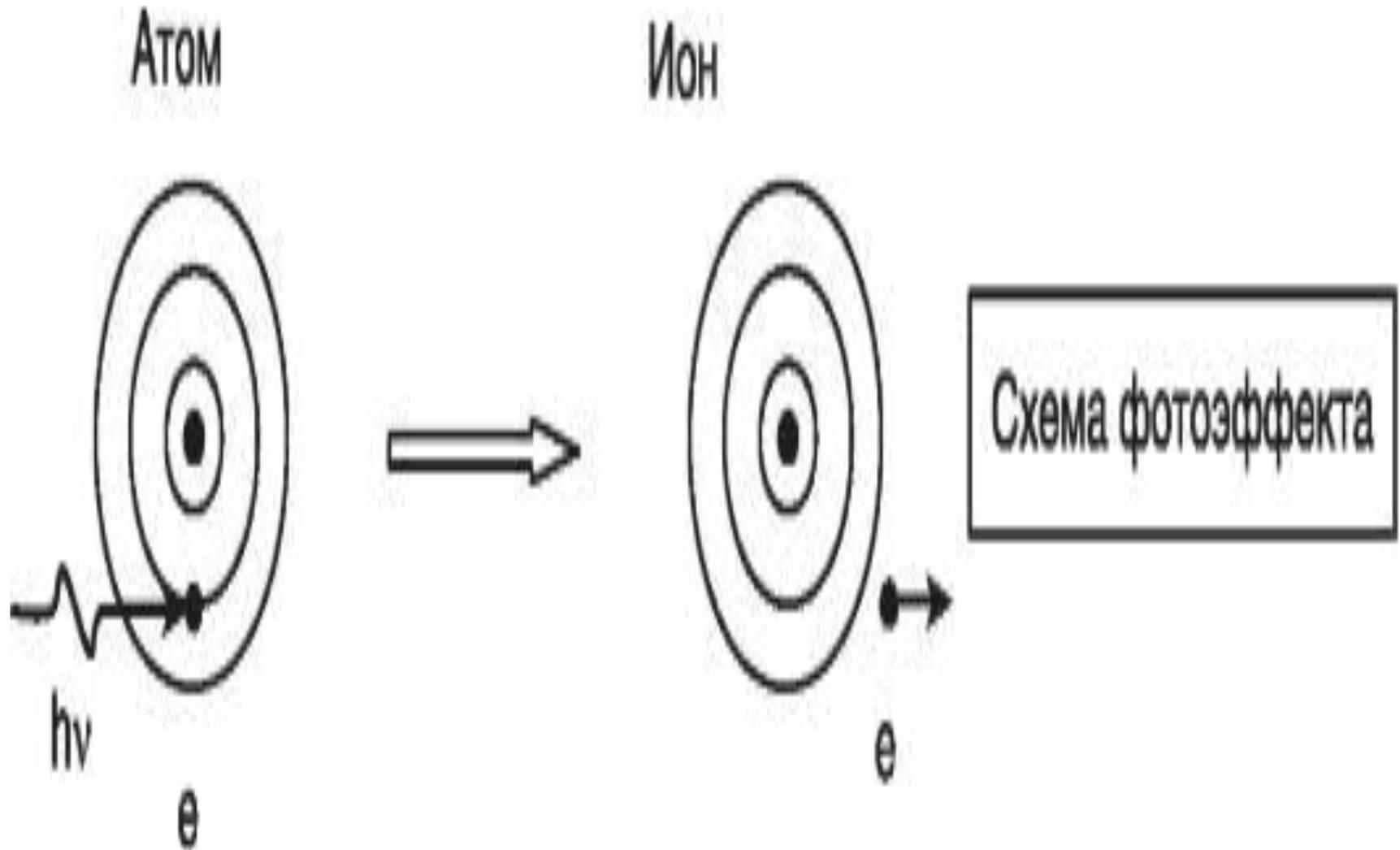
НЕКОГЕРЕНТНОЕ РАССЕЯНИЕ



ФОТОЭФФЕКТ

- **ФОТОЭФФЕКТ**–характеризуется поглощением кванта, в результате чего может произойти отрыв электрона (т.е. ионизация). Если энергии кванта не достаточно для фотоионизации, то фотоэффект проявится в возбуждении атома.

ФОТОЭФФЕКТ



Закон ослабления

- В результате перечисленных процессов пучок рентгеновского излучения ослабляется по закону:

$$\bullet \Phi = \Phi_0 \cdot e^{-\mu x},$$

- где Φ – поток излучения после прохождения слоя вещества толщиной x ; Φ_0 – падающий
- μ – линейный коэффициент ослабления (зависит от энергии фотона и плотности вещества).

Составляющие линейного коэффициента ослабления

- Линейный коэффициент ослабления можно представить, состоящим из трех слагаемых, соответствующих когерентному рассеянию μ_k , некогерентному рассеянию $\mu_{нк}$ и фотоэффекту μ_ϕ :

- $$\mu = \mu_k + \mu_{нк} + \mu_\phi$$

Массовый коэффициент ослабления

- **МАССОВЫМ НАЗЫВАЮТ КОЭФФИЦИЕНТ ОСЛАБЛЕНИЯ**, который находят как

$$\bullet \mu_m = \mu / \rho,$$

- где ρ – плотность вещества;
- Известно, что:

$$\bullet \mu_m = k \lambda^3 Z^3,$$

- где Z – порядковый номер атома вещества;
- k – коэффициент пропорциональности

ЗАДАЧА 1.

- Какое напряжение в рентгеновской трубке, если минимальная длина волны в спектре рентгеновского излучения $3,075 \cdot 10^{-10}$ м ?

Решение

$$\bullet \lambda_{\min} = [(12,3 \cdot 10^{-10}) / U] (\text{м}),$$

$$\bullet U = (12,3 \cdot 10^{-10}) / \lambda_{\min}$$

$$U = (12,3 \cdot 10^{-10}) / 3,075 \cdot 10^{-10} \text{ м} \\ = 4 \text{ кВ.}$$

ЗАДАЧА 2.

- Найдите поток рентгеновского излучения при $U = 10$ кВ, $I = 1$ мА. Анод изготовлен из вольфрама ($Z=74$, $k=10^{-9} \text{ В}^{-1}$).

Решение

$$\bullet \Phi = k \cdot I \cdot U^2 \cdot Z ;$$

$$\bullet \Phi = 10^{-9} \cdot 10^{-3} \cdot 10^8 \cdot 74 =$$

$$\bullet = 74 \cdot 10^{-4} \text{ Вт} = 7,4 \text{ мВт}$$

• Проверка размерности:

$$\bullet [V^{-1} \cdot A \cdot V^2] = [V \cdot A] = [Вт]$$

ЗАДАЧА 3.

- Считая, что поглощение рентгеновского излучения не зависит от того, в каком соединении атом представлен в веществе, определите, во сколько раз массовый коэффициент ослабления кости $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ больше массового коэффициента ослабления воды H_2O ?

Решение

$$\bullet \mu_m = k \lambda^3 Z^3,$$

$$\bullet \mu_m \text{ Ca}_3(\text{PO}_4)_2 / \mu_m \text{ H}_2\text{O} =$$

$$\bullet = [(3 \cdot 20^3 + 2 \cdot 15^3 + 8 \cdot 8^3)] / (2 \cdot 1^3 + 8^3) = 68$$

Задача 4. Какая экспозиционная доза, если в 400 г сухого воздуха образуется $2 \cdot 10^{16}$ пар ионов?

Экспозиционная доза И.И. находится по формуле:

$$D_{\text{эксп}} = Q/m = n \cdot e/m.$$

Таким образом:

$$D_{\text{эксп}} = 2 \cdot 10^{16} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} / 0,4 \text{ кг} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Кл/кг}$$

Задача 5. В 10 г ткани поглощается 10^9 α -частиц с энергией 5 МэВ у каждой. Найти поглощенную и эквивалентную дозы. Считать коэффициент качества излучения для α -частиц равным 20.

•Решение.

$$\bullet D_n = n \cdot E_0 / m = 10^9 \cdot 8 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} / 10^{-2} \text{ кг} \\ = 8 \cdot 10^{-2} \text{ Гр} = 8 \text{ рад}$$

$$\bullet D_e = k \cdot n \cdot E_0 / m = k \cdot D_n = 8 \cdot 10^{-2} \text{ Гр} \cdot 20 =$$

$$\bullet = 1,6 \text{ Зв} = 160 \text{ бэр}$$

- Задача 6. Космическое излучение на уровне моря на экваторе образует в воздухе объемом $V=1\text{см}^3$ в среднем $N=24$ пары ионов за время $t_1=10\text{с}$. Определить экспозиционную дозу X , получаемую человеком за время $t_2=1$ год.

РЕШЕНИЕ

- Экспозиционную дозу (X), получаемую человеком, можно выразить по формуле:

$$X = R_{\text{эксп}} \cdot t_2;$$

- $R_{\text{эксп}} = Q / (m \cdot t_1)$

- $X = (Q \cdot t_2) / (m \cdot t_1) = (e \cdot N \cdot t_2) / (\rho \cdot V \cdot t_1) =$
 $= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 24 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ с} / (1,29$
 $\cdot \text{ кг/м}^3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot 10 \text{ с}) = 9,39 \text{ мкКл/кг}$

Применение РИ в медицине

Рентгенодиагностика - методы получения изображений внутренних органов с использованием рентгеновских лучей.

Физической основой этих методов является **закон ослабления** рентгеновского излучения в веществе.

Например, массовые коэффициенты ослабления костной ткани - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ - и мягких тканей - в основном H_2O - различаются в 68 раз. Плотность кости также выше плотности мягких тканей.

Поэтому на рентгеновском снимке получается светлое изображение кости на более темном фоне мягких тканей.

Рентгеноскопия

- Изображение формируется на флуоресцирующем экране. Яркость изображения невелика, и его можно рассматривать только в затемненном помещении. Врач должен быть защищен от облучения. Достоинством рентгеноскопии является то, что она проводится в реальном режиме времени. Недостаток - большая лучевая нагрузка на больного и врача (по сравнению с другими методами).

Рентгенография.

- Изображение формируется на специальной пленке, чувствительной к рентгеновскому излучению. Снимки производятся в двух взаимно перпендикулярных проекциях (прямая и боковая). Изображение становится видимым после фотообработки. Готовый высушенный снимок рассматривают в проходящем свете.

Флюорография.

- При этом обследовании изображение, полученное на экране, фотографируется на чувствительную малоформатную пленку. Флюорография широко используется при массовом обследовании населения. Если на флюорограмме находят патологические изменения, то пациенту назначают более детальное обследование.

Электрорентгенография.

- Этот вид обследования отличается от обычной рентгенографии способом фиксации изображения. Вместо пленки используют *селеновую пластину*, которая электризуется под действием рентгеновских лучей. В результате возникает скрытое изображение из электрических зарядов, которое можно сделать видимым и перенести на бумагу

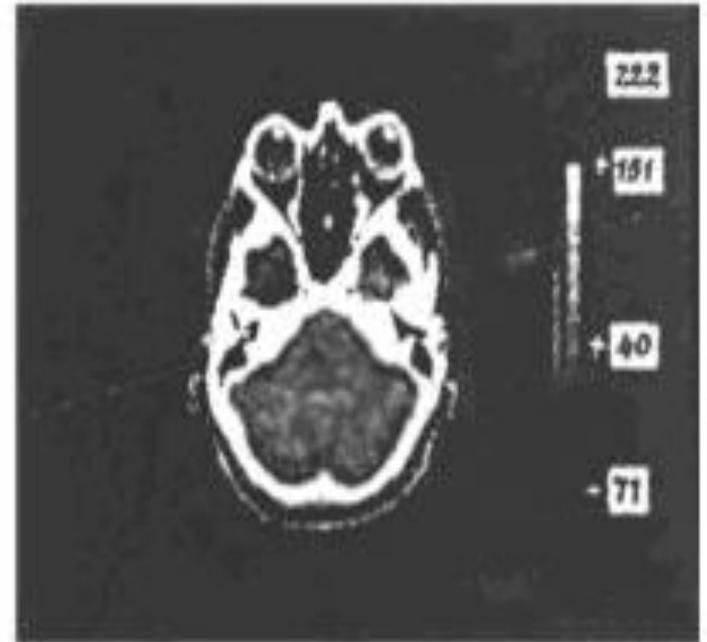
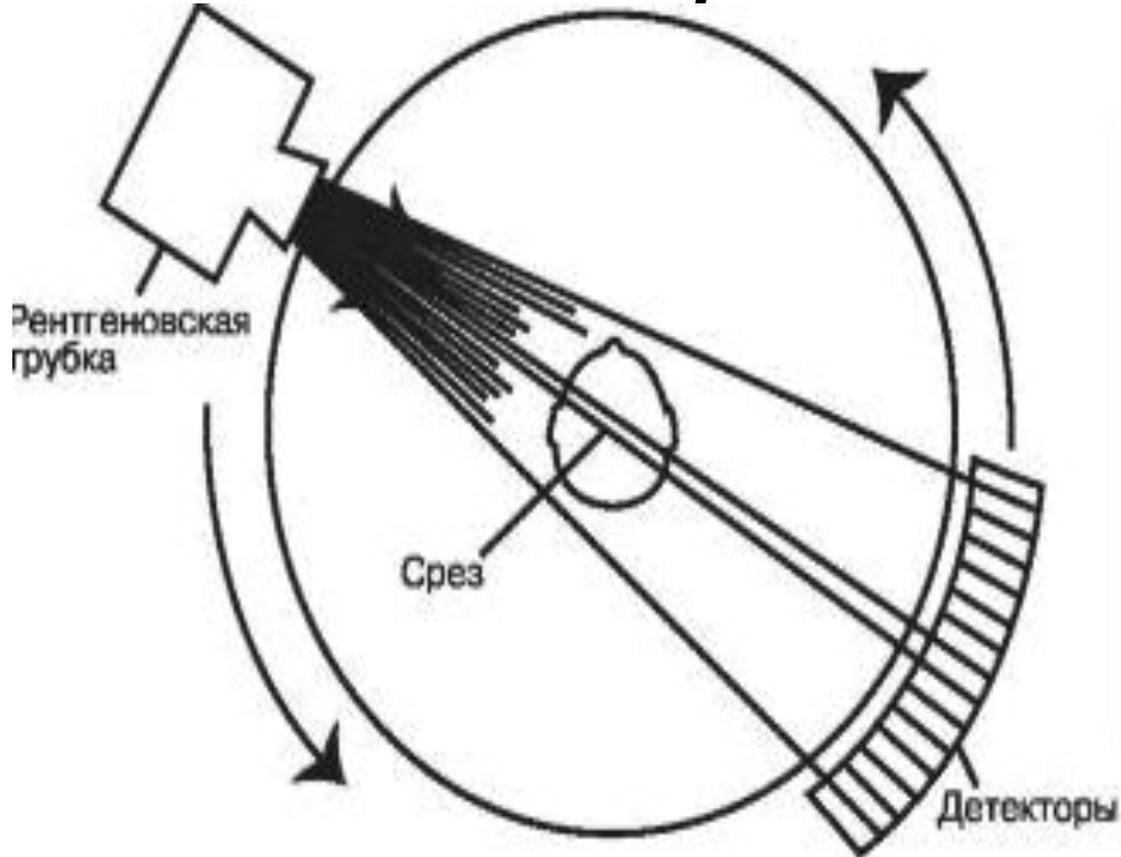
Ангиография

- Этот метод применяется при обследовании кровеносных сосудов. Через катетер в вену вводится контрастное вещество, после чего мощный рентгеновский аппарат выполняет серию снимков, следующих друг за другом через доли секунды. На рисунке показана ангиограмма в районе сонной артерии.

Ангиограмма



Рентгеновская компьютерная томография.



Рентгенотерапия

- Использование рентгеновского излучения для уничтожения злокачественных образований.
- Очень жесткое рентгеновское излучение (с энергией фотонов примерно 10 МэВ) используется для разрушения раковых клеток, находящихся глубоко внутри тела. Для уменьшения повреждений здоровых окружающих тканей пучок вращается вокруг пациента таким образом, чтобы под его воздействием все время оставалась только поврежденная область.

Проверка внимания!!!

• Каким образом можно
увеличить поток Р.И.?

• $\Phi = k \cdot I \cdot U^2 \cdot Z$

Проверка внимания!!!

- Как можно получить жесткое Р.И.?

• СПАСИБО

• ЗА

• ВНИМАНИЕ!