

# Радиационная безопасность

**Ионизирующим** называется излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков.

К нему относятся:

- 1)  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  – излучения, обусловленные естественной и искусственной радиоактивностью химических элементов;
- 2) рентгеновские излучения, создающиеся в рентгеновских аппаратах, а также образующиеся при радиоактивном распаде ядер некоторых элементов;
- 3) потоки нейтронов и  $\gamma$ -квантов, возникающих при ядерных реакциях деления и синтеза;
- 4) излучения, генерируемые на ускорителях;
- 5) излучения, приходящие из космоса и т.д.

**Радиоактивность** – свойство неустойчивых атомных ядер одних химических элементов самопроизвольно превращаться в ядра атомов других химических элементов с испусканием одной или нескольких ионизирующих частиц.

# Ионизирующие излучения

**Корпускулярное излучение** – поток элементарных частиц с массой покоя, отличной от нуля ( $\alpha$ ,  $\beta$  - частицы, нейтроны, протоны и др.).

Кинетическая энергия этих частиц достаточна для ионизации атомов при столкновении.

**Фотонное излучение** – электромагнитное излучение. К нему относятся:

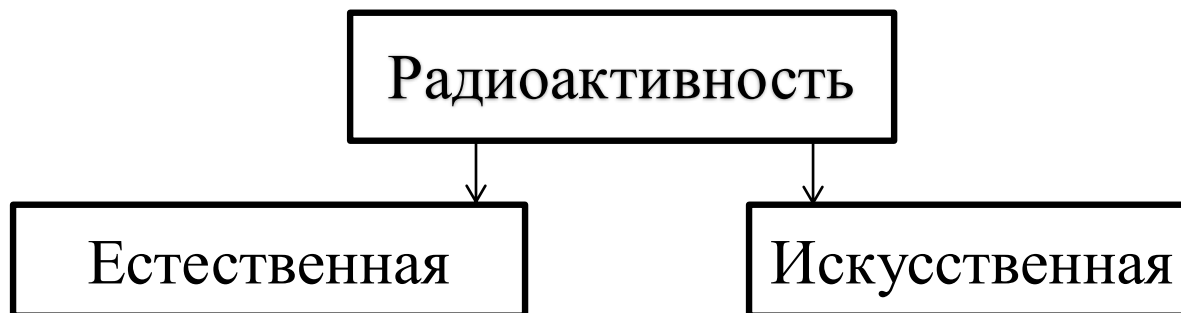
$\gamma$  - излучение, возникающее при изменении энергетического состояния ядер;

тормозное излучение, возникающее при уменьшении кинетической энергии заряженных частиц;

характеристическое излучение, возникающее при изменении энергетического состояния электронов атома;

рентгеновское излучение, состоящее из тормозного и (или) характеристического излучения.

Фотонное излучение, а также нейтроны и другие незаряженные частицы непосредственно ионизацию не производят, но в процессе взаимодействия со средой они высвобождают заряженные частицы, способные ионизировать атомы и молекулы данной среды.



### Основные характеристики радиоизотопов :

- активность
- тип (способ) распад
- период полураспада
- вид и энергия излучения.

**Активность радионуклида  $A$**  в источнике – это отношение числа спонтанных ядерных превращений  $dN$ , происходящих в источнике за интервал времени  $dt$ , к этому интервалу:

$$A = dN/dt.$$

Единица измерения активности: беккерель (Бк)

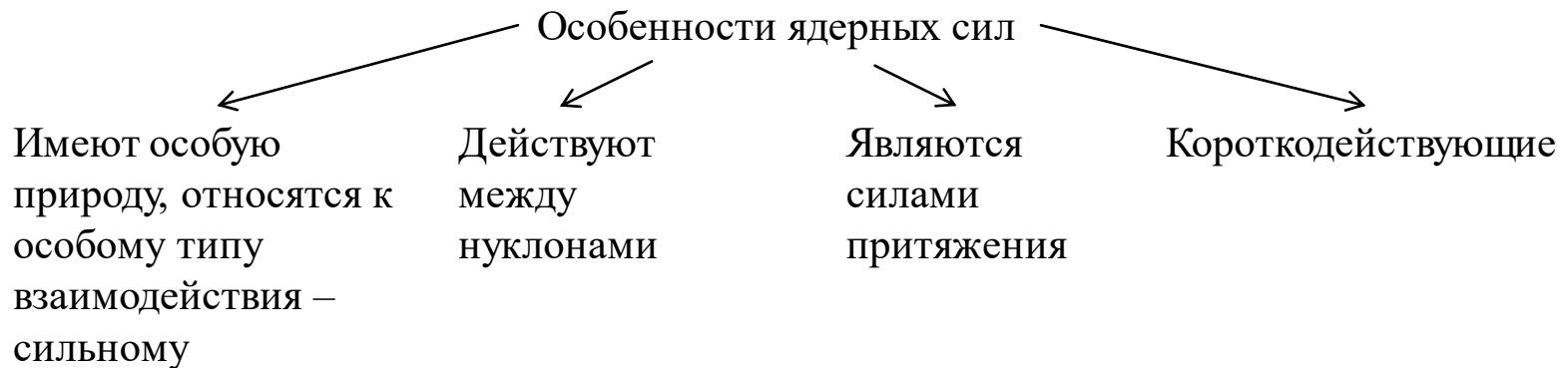
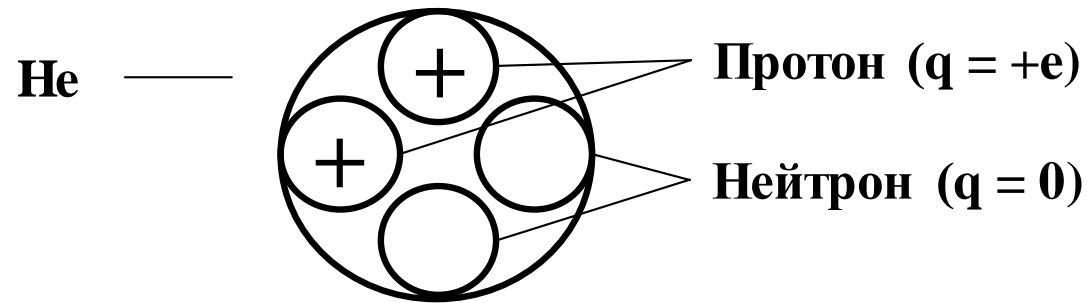
1 Бк = 1 распад в секунду

Ки (Кюри) – внесистемная единица измерения активности; 1 Ки =  $3,7 \times 10^{10}$  Бк

# Строение атомного ядра

## Модель ядра

Протонно-нейтронная модель



**Изотóпы** – разновидности атомов какого-либо химического элемента, которые имеют одинаковый атомный (порядковый) номер, но при этом разные массовые числа.

Название связано с тем, что все изотопы одного атома помещаются в одно и то же место (в одну клетку) таблицы Менделеева.

Химические свойства атома зависят от строения электронной оболочки, которая, в свою очередь, определяется в основном зарядом ядра  $Z$  (то есть количеством протонов в нём), и почти не зависят от его массового числа  $A$  (то есть суммарного числа протонов  $Z$  и нейтронов  $N$ ).

Все изотопы одного элемента имеют одинаковый заряд ядра, отличаясь лишь числом нейтронов.

### **Примеры изотопов:**

изотопы природного урана – U-234, U-235, U-238 ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ )

изотопы водорода –  $^1\text{H}$  (протий),  $^2\text{H}$  (дейтерий),  $^3\text{H}$  (тритий)

# Типы (способы) распада

**Альфа-распад** – самопроизвольный распад атомного ядра на дочернее ядро и альфа-частицу (ядро гелия) (U-238, Pu-239, Rn-222)

**Бета-минус-распад** – радиоактивный распад, сопровождающийся испусканием из ядра электрона и электронного антинейтрино (Sr-90, Cs-137)

**Позитронный распад (бета)** – радиоактивный распад, сопровождающийся испусканием из ядра позитрона и электронного нейтрино (Be-7, Mg-23)

# Типы (способы) распада

**Гамма-распад** — электромагнитное излучение, характеризующееся чрезвычайно малой длиной волны и представляющее собой поток фотонов высокой энергии (Ba-137, I-131 ).

**Нейтронное излучение** — поток нейтронов, нейтральных тяжелых частиц. Это техногенное излучение, возникающее в различных ядерных реакторах и при атомных взрывах (расщепление — U-235, Pu-239 или синтез ядер — D+T, D+He-3 и др.). Также нейтронная радиация излучается звездами, в которых идут активные термоядерные реакции.

Не обладая зарядом, нейтронное излучение сталкиваясь с веществом, слабо взаимодействует с элементами атомов на атомном уровне, поэтому обладает высокой проникающей способностью. Остановить нейтронное излучение можно с помощью материалов с высоким содержанием водорода, например, емкостью с водой. Так же нейтронное излучение плохо проникает через полиэтилен.

Нейтронное излучение при прохождении через биологические ткани, причиняет клеткам серьезный ущерб, так как обладает значительной массой и более высокой скоростью чем альфа излучение

# Период полураспада

Уровень нестабильности радионуклидов различен. Одни распадаются очень быстро, другие – очень медленно.

Время, в течение которого распадается половина всех радионуклидов данного типа называется **периодом полураспада ( $T/2$ )**.

**Закон радиоактивного распада:**

$$A(t) = A_0 \exp(-\lambda t),$$

где  $A(t)$ ,  $A_0$  – активность нуклида в источнике в текущий и начальный ( $t=0$ ) моменты времени соответственно;  $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$  – постоянная распада;  $T_{1/2}$  – период полураспада.

Например, период полураспада урана-238 равен 4,47 млрд. лет, а протоактиния-234 – чуть больше одной минуты.

**Период полураспада** – одна из основных характеристик радиоактивного вещества, которая не может быть изменена известными на данный момент человеку способами.



# Воздействие ионизирующих излучений на человека

**1. Детерминированные** – биологические эффекты излучения, в отношении которых предполагается существование дозового порога, выше которого тяжесть эффекта зависит от дозы.

**К детерминированным эффектам относятся:**

- **острая лучевая болезнь**

В случае однократного равномерного внешнего фотонного облучения ОЛБ (костномозговая форма) возникает при поглощенной дозе  $D \geq 1$  Гр и подразделяется на четыре степени:

- I – легкая ( $D = 1 \div 2$  Гр) смертельный исход отсутствует.
- II – средняя ( $D = 2 \div 4$  Гр) через  $2 \div 6$  недель после облучения смертельный исход возможен в 20% случаев.
- III – тяжелая ( $D = 4 \div 6$  Гр) средняя летальная доза – в течение 30 дней возможен летальный исход в 50% случаев.
- IV – крайней тяжести ( $D > 6$  Гр) – абсолютно смертельная доза – в 100% случаев наступает смерть от кровоизлияний или от инфекционных заболеваний вследствие потери иммунитета (при отсутствии лечения). При лечении смертельный исход может быть исключен даже при дозах около 10 Гр.

# Воздействие ионизирующих излучений на человека

- **хроническая лучевая болезнь** – формируется постепенно при длительном облучении дозами, значения которых ниже доз, вызывающих ОЛБ, но выше предельно допустимых
- **локальные лучевые повреждения** характеризуются длительным течением заболевания и могут приводить к лучевому ожогу и раку (некрозу) кожи, помутнению хрусталика глаза (лучевая катаракта).

**2. Стохастические (вероятностные) эффекты** – это биологические эффекты излучения, не имеющие дозового порога. Принимается, что вероятность этих эффектов пропорциональна дозе, а тяжесть их проявлений от дозы не зависит.

Последствия:

- канцерогенные – злокачественные опухоли, лейкозы – злокачественные изменения кроветворяющих клеток;
- генетические – наследственные болезни, обусловленные генными мутациями.

# Дозиметрические величины

**Поглощенная доза ионизирующего излучения  $D$**  – отношение средней энергии  $dW$ , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе  $dm$  вещества в этом объеме:

$$D=dW/dm \quad [\Gamma p=1 \text{ Дж/кг}]$$

**Эквивалентная доза ионизирующего излучения** – произведение «тканевой дозы» (дозы в органе или ткани)  $D_T$  на взвешивающий коэффициент  $w_R$  для излучения  $R$ :

$$H_T=w_R D_T \quad [Зв]$$

Внесистемной единицей эквивалентной дозы является бэр:  $1 \text{ бэр}=0,01 \text{ Зв}$ .

# Дозиметрические величины

Вид излучения	Коэффициент, Зв/Гр
Рентгеновское и $\gamma$ -излучение	1
Электроны, позитроны, $\beta$ -излучение	1
Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1 – 10 МэВ	10
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
$\alpha$ -излучение с энергией меньше 10 МэВ	20
Тяжелые ядра отдачи	20

# Дозиметрические величины

**Эффективная доза ионизирующего излучения  $E$**  – сумма произведений эквивалентной дозы в органе или ткани за время на соответствующий взвешивающий коэффициент  $w_T$  для данного органа или ткани:

$$E = \sum_T w_T H_T \quad [\text{Зв}]$$

Ткани и органы	Взвешивающий коэффициент $w_T$
Гонады	0,2
Красный костный мозг	0,12
Толстый кишечник	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Грудная железа	0,05
Печень	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01

# Дозиметрические величины

**Коллективная эффективная доза  $S$**  определяет полное воздействие от всех источников излучения на группу людей:

$$S = \sum_i E_i N_i \quad [\text{Зв} \cdot \text{чел}],$$

где  $E_i$  – средняя эффективная доза для  $i$ -ой подгруппы большой группы людей,  $N_i$  – число людей в подгруппе

**Экспозиционная доза  $X$**  фотонного излучения – это отношение суммарного заряда  $dQ$  всех ионов одного знака, созданных в сухом атмосферном воздухе при полном торможении электронов и позитронов, которые были образованы фотонами в элементарном объеме воздуха с массой  $dm$ , к массе воздуха в указанном объеме:

$$X = dQ/dm \quad [\text{Кл/кг}]$$

Внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген (Р)

Для характеристики интенсивности воздействия ионизирующих излучений используют величину **мощности дозы излучения (Р)**. Мощность дозы понимают как дозу (экспозиционную, поглощенную или эквивалентную), регистрируемую за единицу времени. [Зв/ч, мЗв/ч, мЗв/ч]

## **Виды нормативных документов, регламентирующих требования радиационной безопасности**

- Конституция РФ
- Международные конвенции и документы
- Федеральные законы
- Указы Президента, Постановления Правительства
- Федеральные нормы и правила
- Нормативные правовые акты министерств и ведомств
- Руководящие документы (РД), приказы и инструкции предприятий

### **Основополагающие:**

- Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» от 21 ноября 1995г., №170-ФЗ
- Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 09 января 1996г., №3-ФЗ
- Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999г., № 52-ФЗ
- «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009) СанПиН 2.6.1.2523-09
- «Основные санитарные правила по обеспечению радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) СП 2.6.1.2612-10.

## **«Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009) СанПиН 2.6.1.2523-09**

**Нормы (НРБ 99/2009) распространяются на следующие источники ионизирующего излучения:**

- техногенные источники за счёт нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
- техногенные источники в результате радиационной аварии;
- природные источники;
- медицинские источники.

Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения.



# Нормирование радиации

## СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности»

### Категории облучаемых лиц:

- **персонал** – лица, работающие с техногенными источниками ИИ (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б);
- **все население**, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности

Нормируемая величина	Группа А	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем (за 5 лет) в среднем, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза - хрусталик - руки, ноги, кожа	150 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв

# Защита от ионизирующих излучений

- Экранирование
- Защита расстоянием (автоматизация и дистанционное управление)
- Защита временем (ограничение времени нахождения в зоне воздействия источника ионизирующего излучения)
- Использование СИЗ
- Радиопротекторы

# Защита от ионизирующих излучений

Вид излучения	Экранирующие материалы
$\alpha$ -излучения	воздушный промежуток толщиной 10 см лист бумаги
$\beta$ -излучения	материалы с малой атомной массой (алюминий, плексиглас)
$\gamma$ -излучение и рентгеновское излучение	материалы с большой атомной массой и плотностью (свинец, вольфрам и пр.) бетон толщиной несколько метров
поток нейтронов	водородсодержащие элементы (полиэтилен, вода, парафин)

# **Правила поведения населения при радиационной аварии (при нахождении человека дома)**

- Закрывать окна, сделать влажную уборку
- Провести санобработку тела (помыться, умыться, прополоскать рот, носоглотку)
- Принять слабительное и отхаркивающие средства
- Принять препараты стабильного йода (раствор или таблетки)
- Использовать СИЗ
- Выполнять инструкции и указания, переданные через средства информирования населения

# Основные мероприятия по защите населения от радиационного воздействия во время аварии

- Оповещение о радиационной аварии по факту
- Организация радиационного контроля в районе аварии
- Установление и поддержание режима радиационной безопасности
- Проведение на ранней стадии аварии йодной профилактики населения, персонала аварийного объекта, участников ликвидации последствий аварии
- Обеспечение населения, персонала аварийного объекта, участников ликвидации последствий аварий средствами индивидуальной защиты и использование этих средств
- Укрытие населения в убежищах и укрытиях, обеспечивающих снижения уровня внешнего облучения и защиту органов дыхания
- Санитарная обработка населения, персонала аварийного объекта, участников ликвидации последствий аварии
- Дезактивация аварийного объекта, объектов производственного, социального, жилого назначения, территории сельскохозяйственных угодий, транспорта, других технических средств защиты, одежды, имущества, продовольствия и воды
- Эвакуация или отселение граждан из зон, в которых уровень загрязнения превышает допустимый для проживания населения