

Радиационная безопасность

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

К нему относятся:

- 1) α , β и γ - 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 γ -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 (α , β - частицы, нейтроны, протоны и др.).

Кинетическая энергия этих частиц достаточна для ионизации атомов при столкновении.

Фотонное излучение – электромагнитное излучение. К нему относятся:

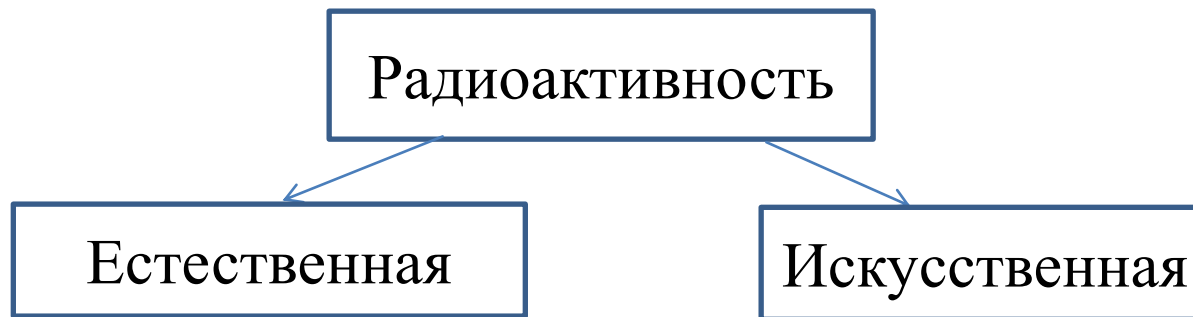
γ - излучение, возникающее при изменении энергетического состояния ядер;

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)

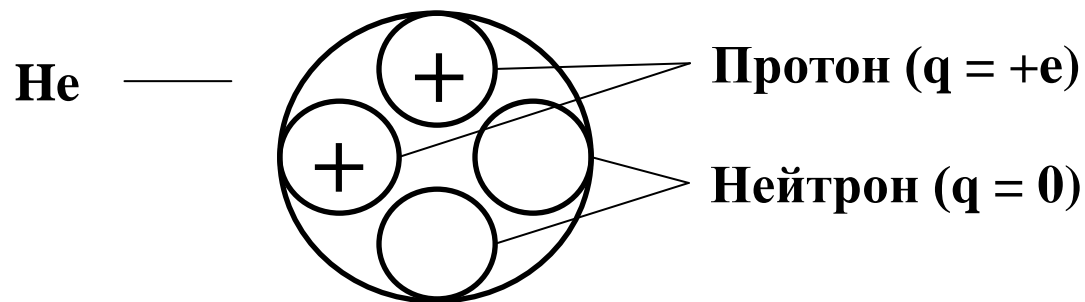
1 Бк = 1 распад в секунду

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

Строение атомного ядра

Модель ядра

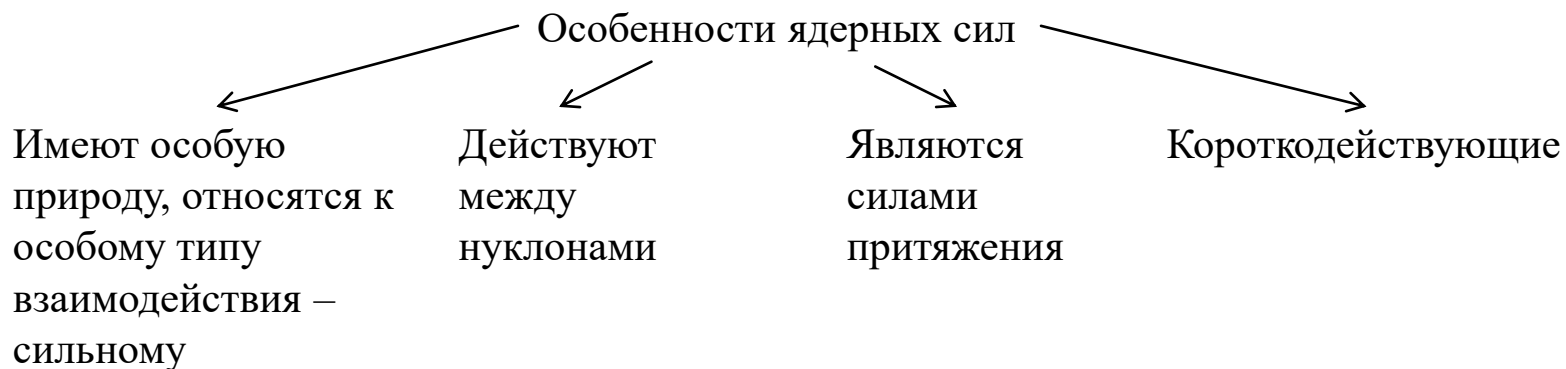
Протонно-нейтронная модель



$$A = Z + N$$

↓

Массовое число Число протонов в ядре Число нейтронов в ядре



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}U , ^{235}U , ^{238}U)

изотопы водорода — ^1H (протий), ^2H (дейтерий), ^3H (третий)

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 бэр = 0,01 Зв.

Дозиметрические величины

Вид излучения	Коэффициент, Зв/Гр
Рентгеновское и γ -излучение	1
Электроны, позитроны, β -излучение	1
Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1 – 10 МэВ	10
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
α -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) СП2.6.1.799-99.

«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 счет 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
α -излучения	воздушный промежуток толщиной 10 см лист бумаги
β -излучения	материалы с малой атомной массой (алюминий, плексиглас)
γ -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 отхаркивающее 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