

# Защита от ионизирующего излучения

**Ионизирующее излучение (ИИ)** - это электромагнитное излучение или потоки частицы, которые создаются при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образуют при взаимодействии со средой ионы различных знаков.

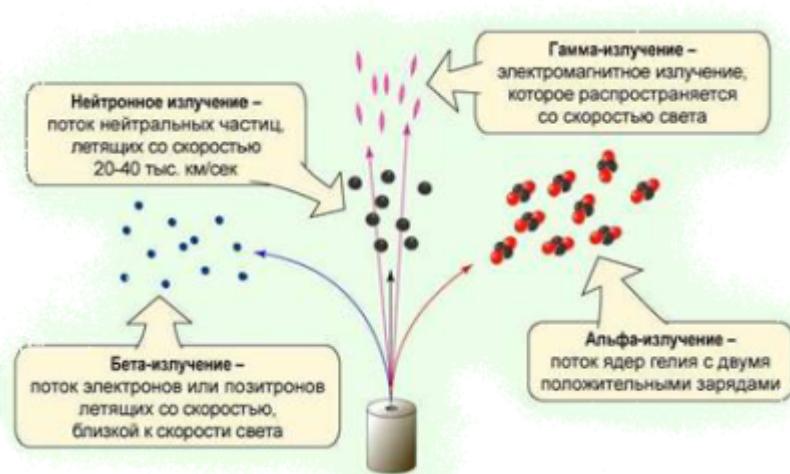
## Естественные источники ИИ

- Естественный распад радионуклидов.
- Термоядерные реакции (например, Солнце).
- Космическое излучение.

## Искусственные источники ИИ

- Искусственные радионуклиды.
- Ядерные реакторы.
- Рентгеновский аппарат, ускорители заряженных частиц.

# Виды ионизирующего излучения



## [α] Альфа-излучение

Альфа-частицы идентичны ядрам гелия  ${}_{2}^{4}\text{He}^{2+}$ , образованы двумя нейtronами, двумя протонами.

Альфа-излучение обладает положительным электрическим зарядом  $q^+$ ; значительной массой покоя  $m_\alpha$ .

Движение альфа-частиц сопряжено с сильной ионизацией вещества и, как следствие, с очень быстрой потерей энергии альфа-частиц.

В результате проникающая способность альфа-излучения незначительна. Альфа-частицы, возникшие в результате радиоактивного распада, не способны преодолеть даже мёртвого слой кожи, тонкий лист бумаги. Радиационный риск при внешнем облучении такими альфа-частицами отсутствует. Внешнее альфа-облучение опасно для здоровья только в случае альфа-частиц, разогнанных в ускорителе.

Однако весьма опасно внутреннее облучение, когда воздействию альфа-излучения подвергаются

---

непосредственно живые ткани организма. Считается, что воздействие на организм альфа-излучения при равном энергетическом воздействии в 20 раз выше воздействия гамма-излучения.

## [β] Бета-излучение

Бета-излучение представляет собой поток заряженных частиц /электронов ( $\beta^-$ ), позитронов ( $\beta^+$ )/, образующихся в результате радиоактивного распада ядер. Бета-излучение следует отличать от вторичных и третичных электронов, образующихся в результате ионизации воздуха.

Энергия  $\beta$ -частиц распределена непрерывно от нуля до некоторого максимального значения (от нескольких единиц кэВ, до десятков МэВ), конкретное значение которого зависит от вида распадающегося вещества.

Из-за меньшей, чем у  $\alpha$ -частиц массы и заряда, проникающая способность  $\beta$ -частиц выше, чем у альфа-частиц. Например, для полного поглощения потока  $\beta$ -частиц, обладающих максимальной энергией 2 МэВ, требуется защитный слой алюминия толщиной 3,5 мм.

Внешнее  $\beta$ -излучение вызывает лучевые ожоги кожи, лучевую болезнь. Гораздо опаснее внутреннее облучение от  $\beta$ -активных радионуклидов, попавших внутрь организма.

## [Г] Гамма-излучение

Гамма-излучение - вид электромагнитного излучения с чрезвычайно малой длиной волн — менее  $2 \cdot 10^{-10}$  м — и, вследствие этого, с ярко выраженным корпускулярными и слабо выраженным волновыми свойствами.

Гамма-лучи не отклоняются в электрических и магнитных полях. В сравнении с  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучением Г-излучение обладает меньшей ионизирующей способностью.

Высокая энергия (0,01–3 МэВ) и малая длина волны обуславливает большую проникающую способность Г-излучения. Характерная толщина бетонного ограждения, защищающего от Г-излучения, составляет более метра. Другой пример, толщина слоя свинца половинного ослабления Г-излучения составляет 1,8 см. В целом, чем плотнее вещество, тем более эффективно оно защищает от Г-излучения

В зависимости от дозы и продолжительности Г-излучение может вызвать хроническую и острую лучевые болезни. Стохастические эффекты воздействия Г-излучения проявляются в повышении риска возникновения онкологических заболеваний. В то же время гамма-облучение подавляет рост раковых и других быстро делящихся клеток. Гамма-излучение является сильнейшим мутагенным и тератогенным фактором.

## Рентгеновское

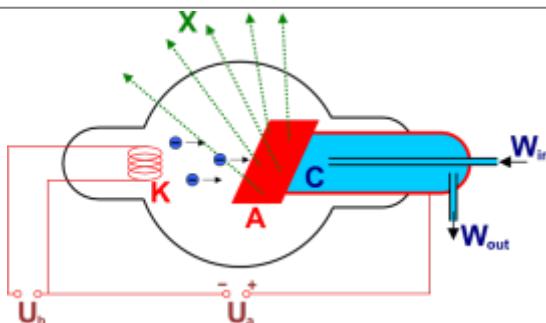
Рентгеновское излучение - электромагнитное излучение, энергия фотонов которого на шкале электромагнитных волн располагается между ультрафиолетовым и Г-излучением. Причём, в существенной области энергий рентгеновское Г-излучения перекрываются.

Будучи эквивалентными, с точки зрения физических свойств, фотонами относят к рентгеновскому или Г-излучению различия источники возникновения излучения. В случае участия атомных ядер в процессе возникновения излучения, его относят к Г-излучению, если излучение возникло в результате взаимодействия электронов с веществом, например, в рентгеновской установке, то в данном случае

говорят о рентгеновском излучении.

## Рентгеновская установка

В рентгеновских трубках электроны, испущенные катодом, ускоряются под действием разности электрических потенциалов между анодом и катодом и ударяются об анод, где происходит их резкое торможение.



Схематическое изображение рентгеновской трубы. X — рентгеновские лучи, K — катод, A — анод (иногда называемый антикатодом), C — теплоотвод,  $U_h$  — напряжение накала катода,  $U_a$  — ускоряющее напряжение,  $W_{in}$  — впуск водяного охлаждения,  $W_{out}$  — выпуск водяного охлаждения.

При этом за счёт тормозного излучения происходит генерация излучения рентгеновского диапазона, и одновременно выбиваются электроны из внутренних электронных оболочек атомов анода. Пустые места в оболочках занимаются другими электронами атома. При этом также испускается рентгеновское излучение с характерным для материала анода спектром энергий.

В настоящее время аноды изготавливаются главным образом из керамики, причём та их часть, куда ударяют электроны, — из молибдена или меди.

В процессе ускорения-торможения лишь около 1% кинетической энергии электрона идёт на рентгеновское излучение, 99% энергии превращается в тепло.

## Нейтронное

Нейтронное излучение представляет собой поток нейтральных, то есть незаряженных частиц нейтронов.

Наличие значительной массы (немного больше массы протона) и отсутствие электрического заряда определяет то, что нейтроны не взаимодействуют с электронными оболочками атомов, но участвуют в реакциях с атомным ядром.

Взаимодействие нейтрона с ядром может быть либо упругим, когда нейtron отскакивает от ядра, либо неупругим, в результате чего нейtron захватывается ядром атома.

Если первый случай с точки зрения воздействия на человека не очень интересен, то второй случай представляет особый интерес. Захват нейтрона ядром приводит к тому, что ядро становится не устойчивым и через некоторое время распадается, данное явление называется наведённая радиоактивность.

Последствия распада стабильного до поглощения нейтрона ядра состоят в нарушении протекающих биохимических процессов в организме (в результате распада изменяется состав вещества) с одной стороны, а с другой стороны возникающее радиоактивное излучение воздействует непосредственно на

близлежащие органы и ткани, вызывая их поражение.

## Количественные характеристики

**Доза излучения** - величина, используемая для оценки воздействия ионизирующего излучения на любые вещества, ткани, живые организмы.

**Мощность дозы** (интенсивность облучения) — приращение соответствующей дозы под воздействием данного излучения за единицу времени. Имеет размерность соответствующей дозы, делённую на единицу времени.

Физическая величина	СИ	Внесистемная единица
Активность радионуклида, $A$	Беккерель [ <b>Бк</b> ]; число распадов в веществе за 1 с.	Кюри [ <b>Ки</b> ]; 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк
Поглащённая доза, $D_p$	Грей [ <b>Гр</b> ]=[ <b>Дж/кг</b> ]; количество энергии переданное единице массы вещества.	Рад [ <b>рад</b> ]; 1 рад = 0,01 Гр
Эквивалентная доза, $H_r = W_r D_p$ , где $W_r$ - коэффициент качества излучения. $W_r = 1 (\gamma, \beta)$ , $W_r \in [3 \dots 10] ({}^1_0 n)$ , $W_r = 20 (\alpha)$	Зиверт [ <b>Зв</b> ]; поглащенная доза в органе или ткани с учётом вида излучения.	Бэр [ <b>бэр</b> ]; <b>Биологический Эквивалент Рада</b> 1 бэр = 0,01 Зв
Экспозиционная доза, $X$	[ <b>Кл/кг</b> ]; отношение суммарного заряда всех ионов одного знака в элементарном объёме сухого воздуха к массе воздуха в этом объёме.	Рентген [ <b>P</b> ]; 1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг 1 Р → 1 рад → $\frac{\text{бэр}}{W_r}$

**Эффективная доза**,  $E$  - мера общего потенциального ущерба для организма от облучения как организма в целом, так и отдельных его частей.  $E = W_t H_r$ ,  
где  $W_t \leq 1$  - коэффициент радиочувствительности тканей и органов человека, для общего облучения человека  $W_t = 1$ .

## Воздействие ИИИ на человека

- Местный разогрев тканей.
- Порождение свободных радикалов - молекул содержащих один или два неспаренных электрона на внешней электронной оболочке. Такие молекулы или атомы обладают очень высокой химической активностью и разрушают оболочки клеток.
- Ионизация атомов и молекул, механизм воздействия тот же, но ещё более агрессивен.
- Разрушение молекул в т.ч., молекул ДНК, а также нарушение процесса деления клеток.

Последствия воздействия ИИ можно разделить на две группы:

- Детерминированные эффекты, например, лучевой ожог, острая лучевая болезнь и т.д. Характерны для облучения большими дозами.
- Стохастические или вероятностные эффекты, характеризуются ростом вероятности развития того или иного отклонения в здоровье работника или его потомства, например, развитие онкологических заболеваний у работника или появление мутаций у его потомства.

## Некоторые характерные дозы

**Фоновое излучение** на Земле - 2,4 мЗв/год. При этом разброс по регионам довольно значителен от 1 до 10 мЗв/год.

### 50 % смертельный порог при однократном облучении

- 3 - 5 Зв. Поражение костного мозга, смерть в течение 30 - 60 суток.
- 5 - 15 Зв. Поражение лёгких и ЖКТ, смерть в течение 10 - 20 суток.
- Более 15 Зв. Поражение нервной системы, смерть в течение 1 - 5 суток.

## Нормирование

С 1 сентября 2010 года в РФ введены в действие санитарные правила [СанПин 2.6.1.2523-09 \(НРБ 99/2009\)](#), согласно которым всё население разделено на три категории, для которых устанавливаются следующие допустимые эквивалентные эффективные дозы облучения.

Группа населения	Основные пределы доз
<b>Группа А</b> - лица, работающие с техногенными источниками излучения	<b>20 мЗв</b> в год в среднем за последние 5 лет, но не более <b>50 мЗв</b> в один из них.
<b>Группа Б</b> - лица, находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия ИИИ	<b>5 мЗв</b> в год в среднем за последние 5 лет, но не более <b>12,5 мЗв</b> в один из них.
<b>Группа В</b> - все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий в их производственной деятельности.	<b>1 мЗв</b> в год в среднем за последние 5 лет, но не более <b>2,5 мЗв</b> в один из них.

Основные пределы доз облучения не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

[ОСПОРБ 99-2010, характерные медицинские дозы.](#)

## Методы защиты

- Подбор персонала для работы с источниками ионизирующего излучения (ИИИ) в соответствии с медицинскими показаниями.
- Профессиональное обучение приемам безопасной работы с ИИИ.
- Контроль доз, полученных персоналом.
- Разработка мероприятий, позволяющих свести к минимуму годовые дозы облучения персонала. Следование принципу АЛЛОРА. «Так безопасно, как только возможно».
- Ограничение времени воздействия ИИИ.
- Уменьшение расстояния до ИИИ.
- Использование защитных экранов.
- Реализация социально-экономических льгот персоналу (сокращённый рабочий день, дополнительный оплачиваемый отпуск, досрочный выход на пенсию и т.д.)

From:  
<https://jurik-phys.net/> - **Jurik-Phys.Net**



Permanent link:  
<https://jurik-phys.net/lifesafety:factory:radiation>

Last update: **2023/12/12 13:15**