

[На главную](#) [English](#)[Эксклюзив](#) | [Архив](#) | [Публикации](#) | [О нас](#) | [Ссылки](#) | [Форум](#) | [Гостевая](#)

Виталий Хижняк,

NuclearNo.ru,

15 февраля 2003

## Пособие для граждан "Осторожно! Радиация"

[Радиация: основные понятия, единицы измерения, влияние на человека](#)[Радиоактивный распад](#)[Другие виды радиоактивного распада](#)[Основные характеристики радиоактивного распада](#)[Основные характеристики ионизирующего излучения. Проникающая способность излучения](#)[Деление ядер атомов](#)[Откуда берутся радионуклиды](#)[Измерение ионизирующих излучений. Определения](#)[Основные единицы измерения ионизирующих излучений](#)[Влияние излучения на организм человека. Эффекты радиации](#)[Радиационный фон](#)[Дозиметрические приборы](#)

---

[Содержание](#)

### Радиация: основные понятия, единицы измерения, влияние на человека

#### Радиоактивность: радиоактивный распад, деление ядер атомов

**Радиоактивность** - радиоактивный распад, деление ядер атомов, любые радиоактивные (или ядерные) превращения - это способность ядер атомов различных химических элементов разрушаться, видоизменяться с испусканием атомных и субатомных частиц высоких энергий. При этом в подавляющем большинстве случаев ядра атомов (а значит, и сами атомы) одних химических элементов превращаются в ядра атомов (в атомы) других химических элементов, либо (по крайней мере) один изотоп химического элемента превращается в другой изотоп того же элемента.

То есть радиоактивные превращения - это превращения атомов одних химических элементов (изотопов) в атомы других элементов (изотопов).

В настоящее время известны как естественные (природные, существовавшие в природе изначально) радионуклиды - ЕРН (радиоактивные элементы и изотопы), так и огромное количество искусственных (техногенных).

Общее количество известных естественных радионуклидов достигает 300. Но количество имеющих практическое значение, играющих заметную роль в природе, среди них невелико - не более десятка. Для их подсчёта, в принципе, хватит пальцев на двух руках.

Искусственных же радиоактивных изотопов гораздо больше, их получены тысячи. У многих химических элементов их количество значительно более 10. Кроме этого, получены новые, не известные ранее и отсутствующие в природе радиоактивные элементы, у которых стабильных изотопов нет вообще. Особенно огромное количество новых, не имевшихся в природе радиоактивных изотопов и элементов, появилось после создания атомных реакторов и испытаний ядерных бомб. О них мы поговорим ниже. К настоящему времени известно около 2000 искусственных радионуклидов.

Радиоактивные (ядерные) превращения могут быть естественными, самопроизвольными (спонтанными) и искусственными,

*Как известно, каждый атом состоит из ядра и движущихся вокруг него электронов. Ядро же состоит из положительно заряженных частиц - протонов и не имеющих заряда (нейтральных частиц) - нейтронов. Сколько в ядре протонов, столько и электронов движется (вращается) вокруг ядра. Этому же числу равен и номер элемента в таблице Д.И. Менделеева.*

*Химические свойства атома данного химического элемента определяются количеством протонов в ядре и, соответственно, количеством электронов. Количество нейтронов на химические свойства не влияет и может быть разным. Поэтому атомы одного и того же химического элемента могут иметь разный вес: количество протонов одинаково, а нейтронов - разное. Такие разновидности атомов называются изотопами.*

*Атомы (элементы, изотопы), ядра которых подвержены радиоактивному распаду или другим радиоактивным превращениям, называются радиоактивными. Термины радиоактивные атомы (элементы, изотопы), радионуклиды, радиоизотопы - синонимы.*

Все виды самопроизвольных (спонтанных) радиоактивных превращений - процесс случайный, статистический.

Все разновидности радиоактивных превращений сопровождаются как правило, за редким исключением, выделением из ядра атома избытка энергии в виде электромагнитного излучения - гамма-излучения. Гамма-излучение - это поток гамма-квантов (гамма-квантов) - порций энергии (квант - это порция), обладающих большой энергией и проникающей способностью.

Кроме этого радиоактивные превращения могут сопровождаться выделением рентгеновского излучения. Рентгеновское излучение - это тоже электромагнитное излучение, это тоже поток частиц (порций энергии) - фотонов - обычно с меньшей энергией. Только "место рождения" рентгеновского излучения не ядро, а электронные оболочки. Основной поток рентгеновского излучения возникает в веществе при прохождении через него "радиоактивных частиц".

Есть две основные разновидности радиоактивных превращений, два весьма сильно различающихся физических процесса (явления): радиоактивный распад и деление ядер атомов.

*Изотопы - это разновидности атомов одного и того же химического элемента, отличающиеся только количеством нейтронов в ядре и*

поэтому своим весом.

Даже у самого первого в таблице Менделеева и самого лёгкого атома - водорода, в ядре которого только один протон (а вокруг него вращается один электрон), имеется три изотопа. Первый - это обычный водород, или протий, ядро которого состоит только из протона; его атомный вес равен единице, химический символ H (или H-1). Второй - дейтерий, или тяжёлый водород, ядро которого состоит из одного протона и одного нейтрона; атомный вес - два, химический символ D (или H-2). И третий, в ядре которого один протон и два нейтрона; атомный вес - три, химический символ T (или H-3).

Первые два изотопа стабильные, третий - тритий - радиоактивен.

---

Подавляющее количество **естественных** (изначально имевшихся и имеющих в природе) изотопов являются стабильными. Но есть и радиоактивные. Это - естественные радионуклиды (ЕРН). Их не очень много.

Кроме радиоактивных изотопов, есть, также и радиоактивные элементы. Это такие, у которых стабильных изотопов нет вообще - все изотопы радиоактивные. Это естественные элементы: уран, торий и продукты их превращений (распада) - радий, радон, полоний и некоторые другие, до талия включительно.

А среди **искусственных** изотопов и элементов стабильных нет вообще. Все искусственные изотопы и элементы радиоактивны. Это и искусственные изотопы любых, давно известных и имеющих в природе элементов, и искусственные элементы, которых до возникновения атомной энергетики в природе не было. К последним, прежде всего, относятся трансурановые актиноиды, а также и все последующие элементы 7-го периода таблицы Менделеева.

[Содержание](#)

## Радиоактивный распад

**Радиоактивный распад** - это испускание, выбрасывание с огромными скоростями из ядер атомов "элементарных" (атомных, субатомных) частиц, которые принято называть радиоактивными частицами или радиоактивным излучением. При этом, как уже было сказано, в подавляющем большинстве случаев ядро атома (а значит, и сам атом) одного химического элемента превращается в ядро атома (в атом) другого химического элемента; или один изотоп данного химического элемента превращается в другой изотоп того же элемента.

Радиоактивный распад, как и все другие виды радиоактивных превращений, может быть естественным (самопроизвольным, спонтанным) и искусственным, вызванным попаданием в ядро стабильного атома какой-либо частицы извне.

Для естественных (природных) радионуклидов основными видами радиоактивного распада являются альфа- и бета-минус-распад (хотя встречаются и другие).

Названия альфа и бета были даны Эрнестом Резерфордом в 1900 году при изучении радиоактивных излучений.

Для искусственных (техногенных) радионуклидов кроме этого характерны также нейтронный, протонный, позитронный (бета-плюс) и более редкие виды распада и ядерных превращений (мезонный, К-захват, изомерный переход, "откалывание" и др.).

### Альфа-распад

Альфа-распад (альфа-распад) - характерный вид радиоактивного распада для естественных радиоактивных элементов шестого и седьмого периодов таблицы Д. И. Менделеева (уран, торий и продукты их распада до висмута включительно) и особенно для искусственных - трансурановых - элементов. То есть этому виду распада подвержены отдельные изотопы всех тяжёлых элементов, начиная с висмута.

**Альфа-распад** - это испускание из ядра атома альфа-частицы (альфа-частицы), которая состоит из 2 протонов и 2 нейтронов. Альфа-частица имеет массу 4 единицы, заряд +2 и является ядром атома гелия.

В результате испускания альфа-частицы образуется новый элемент, который в таблице Менделеева расположен на 2 клетки левее, так как количество протонов в ядре, а значит, и заряд ядра, и номер элемента стали на две единицы меньше. А масса образовавшегося изотопа оказывается на 4 единицы меньше.

Так, например, при альфа-распаде урана всегда образуется торий, при альфа-распаде тория - радий, при распаде радия - радон, затем полоний и наконец - свинец. При этом из конкретного изотопа урана-238 образуется торий-234, затем радий-230, радон-226 и т. д.

*Радиоактивный распад - это выбрасывание из ядра атома какой-либо частицы, в результате чего атом одного химического элемента (изотопа) превращается в атом другого элемента (изотопа).*

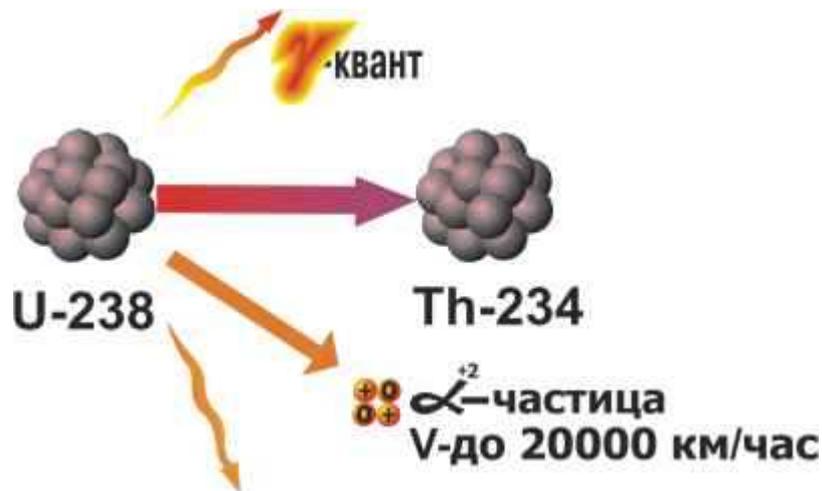
*альфа-распад - выбрасывание (испускание) из ядра атома альфа-частицы.*

*альфа-частица - это 2 протона и 2 нейтрона, то есть ядро атома гелия с массой 4 единицы и зарядом +2.*

*Скорость альфа-частицы при вылете из ядра от 12 до 20 тыс. км/сек.*

*В вакууме альфа-частица могла бы обогнуть земной шар по экватору за 2 сек.*

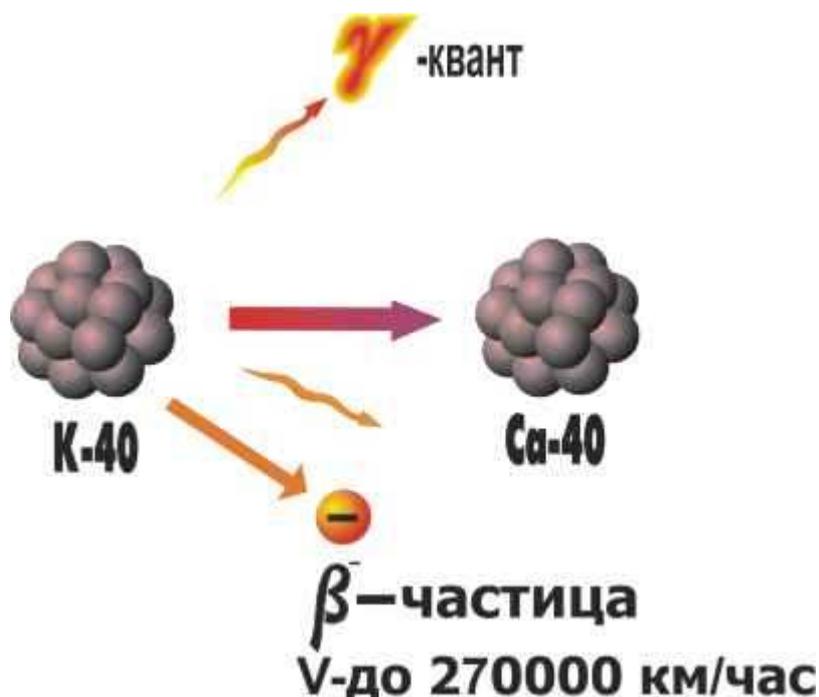
### Бета-распад



**Бета-распад** (бета-распад) - наиболее распространённый вид радиоактивного распада (и вообще радиоактивных превращений), особенно среди искусственных радионуклидов. Он наблюдается практически у всех известных на сегодня химических элементов. Это означает, что у каждого химического элемента есть, по крайней мере, один бета-активный, то есть подверженный бета-распаду изотоп. При этом чаще всего происходит бета-минус распад.

**Бета-минус распад** (бета-) - это выбрасывание (испускание) из ядра бета-минус частицы - электрона, который образовался в результате самопроизвольного превращения одного из нейтронов в протон и электрон. При этом тяжёлый протон остаётся в ядре, а лёгкий электрон - бета-минус частица - с огромной скоростью вылетает из ядра. И так как протонов в ядре стало на один больше, то ядро данного элемента превращается в ядро соседнего элемента справа - с большим номером.

Так, например, при бета-минус распаде радиоактивный изотоп калия - калий-40 - превращается в стабильный изотоп кальция (стоящего в соседней клеточке справа) - кальций-40. А радиоактивный кальций-47 - в стоящий справа от него скандий-47 (тоже радиоактивный), который, в свою очередь, также путём бета-минус распада превращается в стабильный титан-47.



Название бета-частица сохранилось исторически. Отличие бета-минус частицы от обычного электрона только в "месте рождения": ядро атома, а не электронные оболочки вокруг ядра, а также и в скорости (энергии) вылета. Скорость вылета бета-частицы - 9/10 скорости света, т. е. 270 тыс. км/сек.

Естественных бета-активных радионуклидов не очень много. А среди значимых ещё меньше. К ним можно отнести, прежде всего, калий-40 ( $T_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9$  лет), хотя в природной смеси изотопов калия его содержится всего 0,0119%.

Кроме К-40 значимыми естественными бета-минус-активными радионуклидами являются также и все продукты распада урана и тория.

Дело в том, что, например, торий-234, образующийся при альфа-распада он превращается в протактиний-234, который в свою очередь аналогичным образом снова в уран, но уже в другой изотоп - уран-234. А уран-234 (снова путём альфа-распада) - опять в торий, но уже в торий-230. Далее торий-230 путём альфа-распада - в радий-226, радий - в радон.

И так далее - до таллия включительно, но с различными бета-минус-переходами "в обратную сторону". Кончатся же все эти альфа и бета-минус-переходы образованием стабильного свинца-206.

Таким образом, к значимым естественным бета-минус-активным радионуклидам можно отнести К-40 и все элементы от таллия до урана.

**Бета-плюс распад** (- это выбрасывание (испускание) из ядра бета-плюс частицы - позитрона (положительно заряженного "электрона"), который образовался в результате самопроизвольного превращения одного из протонов в нейтрон и позитрон. В результате этого (так как протонов стало меньше) данный элемент превращается в соседний слева (с меньшим номером, предыдущий).

Так, например, при бета-плюс распаде радиоактивный изотоп магния магний-23 превращается в стабильный изотоп натрия (стоящего слева) - натрий-23, а радиоактивный изотоп европия европий-150 превращается в стабильный изотоп самария - самарий-150.

*бета-распад - это испускание бета- или бета<sup>+</sup> частиц, то есть обычных электронов с зарядом -1 (e<sup>-</sup>) или позитронов - "электронов" с зарядом +1 (e<sup>+</sup>).*

*Скорость вылета бета-частиц из ядра составляет 9/10 скорости света - 270 000 км/сек.*

[Содержание](#)

## Другие виды радиоактивного распада

Кроме указанных альфа- и бета-распада существуют другие виды радиоактивного распада, менее распространённые и более характерные для радионуклидов искусственного происхождения.

**Нейтронный распад** - испускание из ядра атома нейтрона (n) - нейтральной частицы с массой 1 ед. При испускании нейтрона один изотоп данного химического элемента превращается в другой с меньшим весом. Так, например,

при нейтронном распаде радиоактивный изотоп лития литий-9 превращается в литий-8, радиоактивный гелий-5 - в стабильный гелий-4.

Если стабильный изотоп йода йод-127 облучать гамма-квантами, то он становится радиоактивным, выбрасывает нейтрон и превращается в другой, тоже радиоактивный изотоп йод-126.

**Протонный распад** - крайне редкий вид распада -это испускание из ядра атома протона (p) - частицы с массой 1 ед. и зарядом +1. При испускании протона данный химический элемент превращается в соседний слева (с меньшим номером, предыдущий), а атомный вес уменьшается на единицу.

Как уже было сказано, все радиоактивные превращения, в том числе и все разновидности радиоактивного распада, сопровождаются, как правило, за редким исключением, выделением избытка энергии в виде гамма-излучения - гамма-квантов, а иногда также и рентгеновского излучения (фотонов) с меньшей энергией.

**Гамма-излучение** - это поток гамма-квантов, это электромагнитное излучение, более "жесткое", чем обычное медицинское рентгеновское.

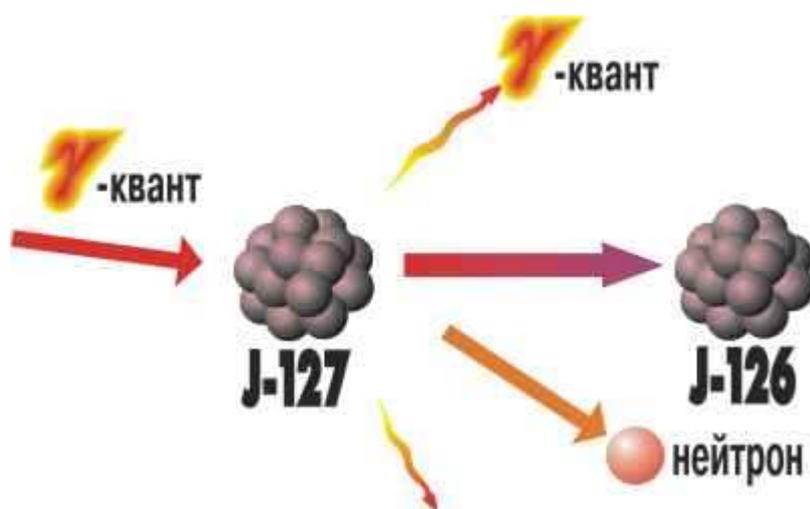
Название "гамма-излучение" также сохранилось исторически. Отличие гамма-излучения от рентгеновского (как и в случае б-излучения), также только в "месте рождения": ядро атома, а не электронные оболочки.

*гамма-излучение - электромагнитное излучение, более "жесткое", чем обычное рентгеновское.*

*гамма-кванты -это электромагнитные частицы - порции энергии.*

*"Место рождения" гамма-квантов - ядро атома.*

*Рентгеновское излучение - это тоже электромагнитное излучение, но "место рождения" рентгеновского излучения - электронные оболочки атомов.*



[Содержание](#)

## Основные характеристики радиоактивного распада

Все виды самопроизвольных (спонтанных) радиоактивных превращений (и

распада, и деления) - процесс случайный, статистический.

Все виды самопроизвольного радиоактивного распада характеризуются временем жизни радионуклида и его активностью, то есть скоростью распада. Показателем времени жизни радионуклида, скорости его распада является период полураспада. Используется также радиоактивная постоянная или постоянная (константа) распада.

**Период полураспада** ( $T_{1/2}$ )- время, в течение которого половина радиоактивных атомов распадается и их количество уменьшается в 2 раза. Периоды полураспада у всех радионуклидов разные - от долей секунды (короткоживущие радионуклиды) до миллиардов лет (долгоживущие).

**Активность** - это количество актов распада (в общем случае актов радиоактивных, ядерных превращений) в единицу времени (как правило, в секунду). Единицами измерения активности являются беккерель и кюри.

**Беккерель** (Бк) - это один акт распада в секунду (1 расп/сек). Единица названа в честь французского физика, лауреата Нобелевской премии Антуана Анри Беккереля.

**Кюри** (Ки) -  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк (расп/сек). Эта единица возникла исторически: такой активностью обладает 1 грамм радия-226 в равновесии с дочерними продуктами распада. Именно с радием-226 долгие годы работали лауреаты Нобелевской премии французские учёные супруги Пьер Кюри и Мария Склодовская-Кюри.

Кратными единицами для беккереля являются тысяча (кило-беккерель, кБк), миллион (мегабеккерель, МБк) и миллиард (гигабеккерель, ГБк).

Дольными единицами для кюри являются тысячная доля кюри - милликюри (мКи), и миллионная доля - микрокюри (мкКи, мКи):

$$1 \text{ мКи} = 3,7 \times 10^7 \text{ Бк}; 1 \text{ мкКи} = 3,7 \times 10^4 \text{ Бк}.$$

Есть понятие "удельная активность" (весовая или объёмная) - это активность единицы массы (веса) или объёма вещества. Или, точнее, активность радионуклида (или смеси радионуклидов) в единице веса или объёма вещества. Иногда используют площадную активность: Бк или Ки на  $\text{м}^2$  или  $\text{км}^2$

Ориентировочно можно считать, что активность небольшого количества (граммы) и/или с небольшой начальной активностью (мКи; мкКи) радионуклида уменьшается до практически безопасного уровня (иногда почти до нуля) через 10 периодов полураспада. За это время количество радиоактивных атомов, а значит и актов распада, то есть активность, уменьшается в  $2^{10} = 1024$  раза.

**Радиоактивная постоянная** (постоянная или константа распада)  $\lambda$  - это доля атомов, распадающихся в 1 секунду.

$$\lambda = 0,693/T_{1/2} \text{ (сек}^{-1}\text{)}, \text{ где}$$

$$0,693 - \text{ это } \ln 2 \text{ из закона радиоактивного распада } N_t = N_0 \times e^{-\lambda t}, \text{ где}$$

$N_0$  и  $N_t$  - число радиоактивных атомов в начальный (нулевой) момент времени и число атомов, оставшихся к моменту  $t$ ;

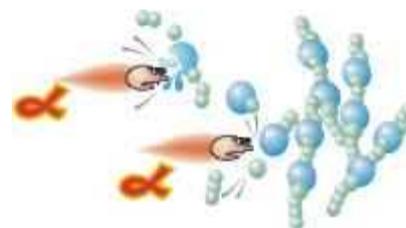
t - время в секундах.

Так как за время, равное одному периоду полураспада, число радиоактивных атомов уменьшается в два раза, то при  $t = T_{1/2}$  имеем:  $N_t = N_0/2$ ;  $e^{-\lambda t} = 1/2$ ;  $e^{-\lambda t} = 2$  (где  $t = T_{1/2}$ ) и в итоге  $\ln 2 = \lambda \times T_{1/2}$

[Содержание](#)

## Основные характеристики ионизирующего излучения. Проникающая способность излучения

Все атомные и субатомные частицы, вылетающие из ядра атома при радиоактивном распаде: альфа, бета, нейтрон, протон, гамма и т. д. - называют радиоактивными частицами, радиоактивным или ионизирующим излучением (ИИ), так как все они при прохождении через вещество:



- - во-первых, приводят к его ионизации, к образованию горячих (высокоэнергетических) и исключительно реакционно-способных частиц: ионов и свободных радикалов (осколков молекул, не имеющих заряда) и
- - во-вторых, могут приводить к активации (активированию) вещества, к появлению так называемой наведённой активности, то есть к превращению стабильных атомов в радиоактивные - появлению радионуклидов активационного происхождения.

Поэтому основными характеристиками ИИ являются энергия частиц, их пробег в разных средах или проникающая способность, а также их ионизирующая способность (особенно в смысле опасности для биологических объектов).



Энергию частиц измеряют в электрон-вольтах (эв). Электрон-вольт - это энергия, которую приобретает электрон под действием электрического поля с разностью потенциалов (напряжением) в 1 вольт.

$$1 \text{ эв} = 1,6 \times 10^{-12} \text{ эрг} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ джоуля} = 3,83 \times 10^{-20} \text{ калорий}$$

Реальная энергия частиц ИИ колеблется в широких пределах и составляет обычно тысячи и миллионы эв, поэтому её выражают в кило- и мегаэлектрон-вольтах (кэв и Мэв).

$$1 \text{ килоэлектрон-вольт (кэв)} = 10^3 \text{ эв.}$$

$$1 \text{ мегаэлектрон-вольт (Мэв)} = 10^6 \text{ эв.}$$

### Пробег альфа-частиц

В любой среде альфа-частицы, обладающие большой массой (4 атомных единицы), зарядом (+2) и энергией, движутся прямолинейно. Поэтому говорят о **пробеге альфа-частиц**.

Энергия альфа-частиц при естественном распаде составляет 4-9 Мэв, скорость

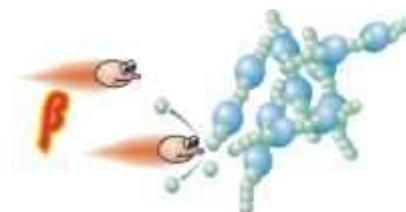
вылета - 12?20 тыс. км/сек.

Пробег альфа-частиц зависит от начальной энергии и обычно колеблется в пределах от 3-х до 7 (редко до 13) см в воздухе, а в плотных средах составляет сотые доли мм (в стекле - 0,04 мм). альфа-излучение не пробивает лист бумаги и кожу человека.

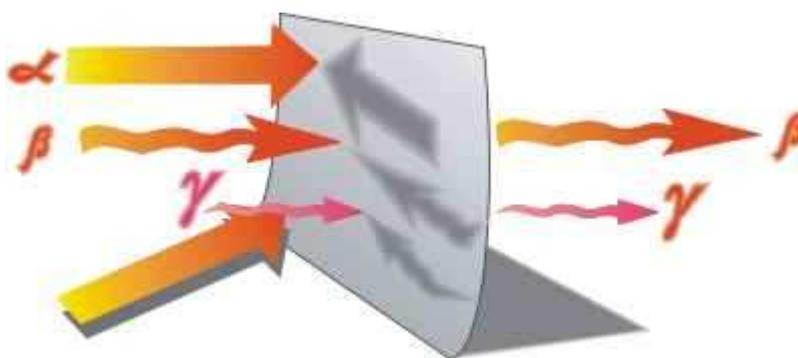
Из-за своей массы и заряда альфа-частицы обладают наибольшей ионизирующей способностью, они разрушают всё на своём пути. И поэтому альфа-активные радионуклиды являются наиболее опасными для человека и животных при попадании внутрь.

### Проникающая способность бета-частиц

Из-за малой массы (она в 1836 раз меньше массы протона) заряда (-1) и размеров бета-частицы слабее взаимодействуют с веществом, через которое им приходится лететь, но летят дальше. При этом путь бета-частицы в веществе не является прямолинейным. Поэтому говорят о их проникающей способности, которая также зависит от энергии.



Проникающая способность бета-частиц, образовавшихся при радиоактивном распаде, в воздухе достигает 2?3 м, в воде и других жидкостях измеряется сантиметрами, в твёрдых телах - долями см. В ткани организма бета-излучение проникает на глубину 1?2 см. Хорошей защитой от бета-излучения является слой воды в несколько (до 10) см. Поток бета-частиц с весьма большой для естественного распада энергией в 10 Мэв практически полностью поглощается слоями: воздуха - 4 м; алюминия - 2,16 см; железа - 7,55 мм; свинца - 5,18 мм.



Из за малых размеров, массы и заряда бета-частицы обладают гораздо меньшей ионизирующей способностью, чем альфа-частицы, но естественно, что при попадании внутрь бета-активные изотопы также гораздо опаснее, чем при внешнем облучении.

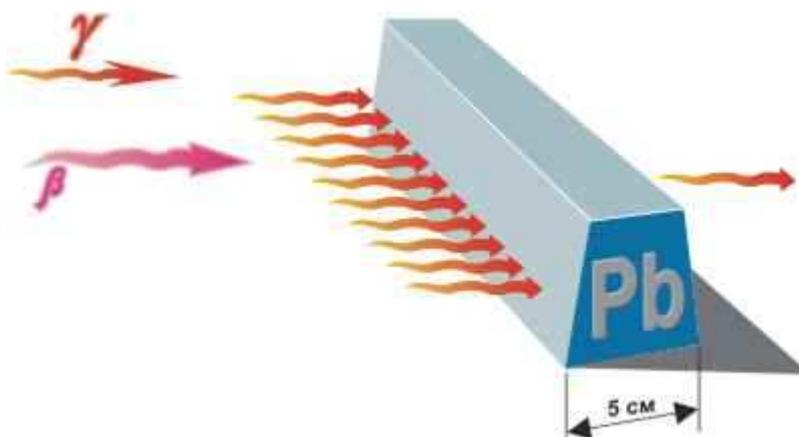
### Кратность ослабления n- и гамма-излучений

Наиболее проникающими видами излучения являются нейтронное и гамма. Их пробег в воздухе может достигать десятков и сотен метров (также в зависимости от энергии), но при меньшей ионизирующей способности.

У большинства изотопов энергия гамма-квантов не превышает 1?3 Мэв, хотя

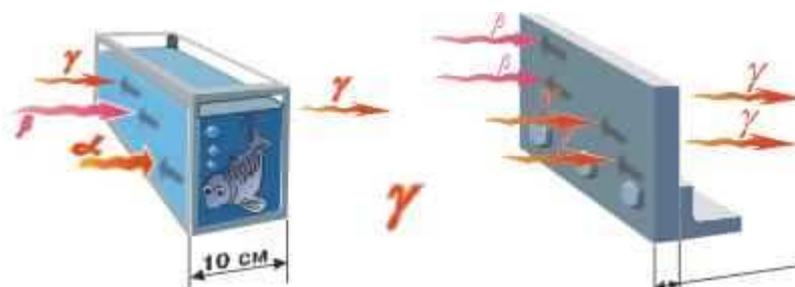
очень редко может достигать и больших величин -  $6 \cdot 10^7$  Мэв. Поэтому в качестве защиты от  $\alpha$ - и гамма-излучения применяют толстые слои из бетона, свинца, стали и т. п. и речь ведут уже о **кратности ослабления**.

Так, для 10-кратного ослабления гамма-излучения кобальта-60 ( $E = 1,17$  и  $1,33$  Мэв) требуется защита из свинца толщиной порядка 5 см, а для 100-кратного - 9,5 см; защита из бетона должна быть, соответственно, около 33 и 55 см, а толщина слоя воды - 70 и 115 см.



Ионизирующая способность нейтронов сильно зависит от их энергии.

В любом случае следует помнить, что наиболее рациональной "защитой" от любого излучения является по возможности большее расстояние от источника излучения (естественно, в разумных пределах) и по возможности меньшее время пребывания в зоне повышенной радиации.



[Содержание](#)

## Деление ядер атомов

Деление ядер атомов - это самопроизвольное, или под действием нейтронов, раскалывание ядра атома на 2 примерно равные части, на два "осколка".

Осколки - это два радиоактивных изотопа элементов центральной части таблицы Д. И. Менделеева, примерно от меди до середины элементов-лантаноидов (самария, европия).

При делении вылетают 2-3 лишних нейтрона и выделяется избыток энергии в виде гамма-квантов, гораздо больший, чем при радиоактивном распаде. Если на один акт радиоактивного распада обычно приходится один гамма-квант, то на 1 акт деления приходится  $8 \cdot 10$  гамма-квантов! Кроме того разлетающиеся осколки обладают большой кинетической энергией (скоростью), которая переходит в тепловую.

Вылетевшие нейтроны могут вызвать деление двух-трёх аналогичных ядер, если

те окажутся поблизости и если нейтроны попадут в них.

Таким образом, появляется возможность осуществления разветвляющейся, ускоряющейся цепной реакции деления ядер атомов с выделением огромного количества энергии.

Если цепную реакцию держать под контролем, управлять её развитием, не давать ускоряться и постоянно отводить выделяющуюся энергию (тепло), то эту энергию ("атомную энергию") можно использовать либо для отопления, либо для получения электроэнергии. Это осуществляется в атомных реакторах, на атомных электростанциях.

Если же позволить цепной реакции развиваться бесконтрольно, то произойдёт атомный (ядерный) взрыв. Это уже - ядерное оружие.

В природе имеется только один химический элемент - уран, у которого есть только один делящийся изотоп - **уран-235**. Это **оружейный уран**. И этого изотопа в природном уране 0,7%, то есть всего 7 кг в тонне! Остальные 99,3% (993 кг в тонне) - неделяющийся изотоп - уран-238. Есть, правда, ещё один изотоп - уран-234, но его всего 0,006% (60 граммов в тонне).

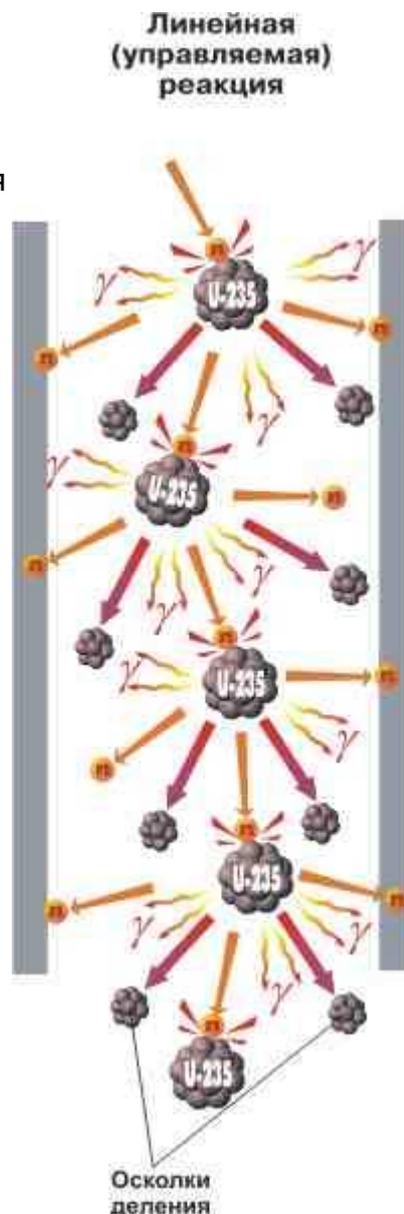
Но в обычном урановом атомном реакторе из неделяющегося ("неоружейного") урана-238 под действием нейтронов (нейтронная активация!) образуется новый изотоп урана - уран-239, а из него (путём двойного бета-минус распада) - новый, искусственный, не имеющийся в природе элемент плутоний. При этом сразу образуется делящийся изотоп плутония - **плутоний-239**. Это **оружейный плутоний**.

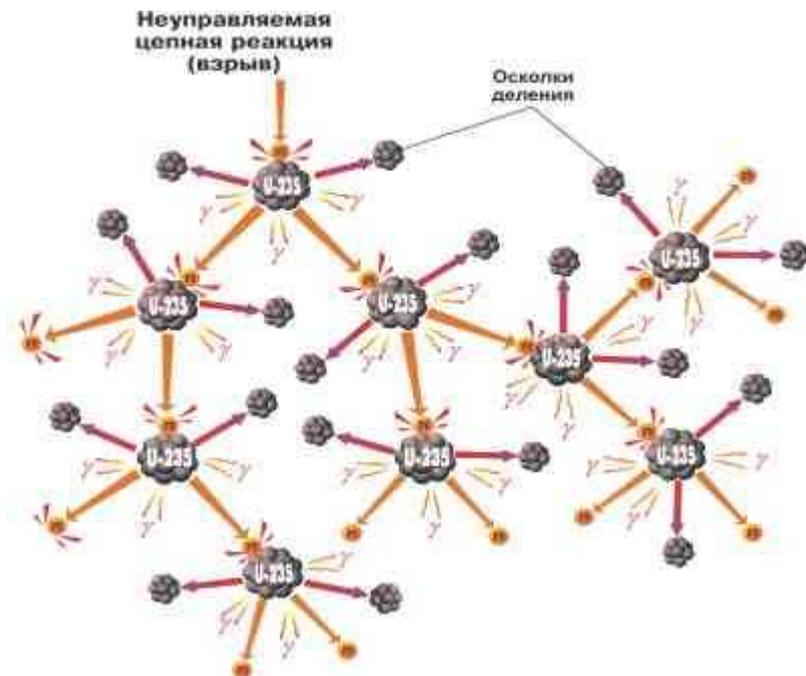
*Деление ядер атомов - это суть, основа атомного оружия и атомной энергетики.*

*Критическая масса - это такое количество оружейного изотопа, при котором нейтроны, выделяющиеся при самопроизвольном делении ядер, не вылетают наружу, а попадают в соседние ядра и вызывают их искусственное деление.*

*Критическая масса металлического урана-235 -  $\approx$  52 кг. Это шар диаметром 18 см.*

*Критическая масса металлического плутония-239 -  $\approx$  11 кг (а по некоторым публикациям - 9 и даже 6 кг). Это шар диаметром около 9-10 см.*





Таким образом, сейчас у человечества имеется два делящихся, оружейных изотопа: уран-235 и плутоний-239. Разница между ними только в том, что уран, во-первых, более пригоден для использования в атомной энергетике: он позволяет управлять своей цепной реакцией, а во-вторых, он менее эффективен для осуществления неуправляемой цепной реакции - атомного взрыва: у него меньшая скорость самопроизвольного деления ядер и больше критическая масса. А оружейный плутоний, наоборот, более пригоден для ядерного оружия: у него большая скорость самопроизвольного деления ядер и гораздо меньше критическая масса. Плутоний-239 не позволяет надёжно управлять своей цепной реакцией и поэтому пока ещё не нашёл широкого применения в атомной энергетике, в атомных реакторах.

Именно поэтому все проблемы с оружейным ураном были решены в считанные годы, а попытки использовать плутоний в атомной энергетике продолжают до сих пор - уже более 60 лет.

Так, через два года после открытия деления ядер урана был запущен первый в мире урановый атомный реактор (декабрь 1942 года, Энрико Ферми, США), а ещё через два с половиной года (в 1945 году) американцы взорвали первую урановую бомбу.

А с плутонием... Первая плутониевая бомба была взорвана в 1945 году, то есть примерно через четыре года после его открытия как химического элемента и открытия его деления. Причём, для этого потребовалось сначала построить урановый атомный реактор, наработать плутоний в этом реакторе из урана-238, затем выделить его из облучённого урана, хорошо изучить его свойства, изготовить бомбу. Нароботали, выделили, изготовили. А вот разговоры о возможности использования плутония в качестве ядерного горючего в плутониевых атомных реакторах так и остались разговорами, и остаются таковыми вот уже более 60 лет.

Процесс деления можно характеризовать "периодом полуделения".

Впервые периоды полуделения оценили К. А. Петржак и Г. И. Флёрв в 1940 г.

И у урана, и у плутония они крайне велики. Так по разным оценкам, у урана-235 период полураспада составляет примерно  $10^{17}$  (или  $10^{18}$  лет (Физический энциклопедический словарь); по другим данным -  $1,8 \cdot 10^{17}$  лет. А у плутония-239 (по данным того же словаря) существенно меньше - примерно  $10^{15,5}$  лет; по другим данным -  $4 \cdot 10^{15}$  лет.

Для сравнения напомним периоды полураспада ( $T_{1/2}$ ). Так у U-235 он "всего"  $7,038 \cdot 10^8$  лет, а у Pu-239 и того меньше -  $2,4 \cdot 10^4$  лет

*Вообще, делиться могут ядра многих тяжёлых атомов, начиная с урана. Но мы ведём речь о двух основных, которые вот уже более 60 лет имеют огромное практическое значение. Другие представляют, скорее, чисто научный интерес.*

[Содержание](#)

## Откуда берутся радионуклиды

Радионуклиды получают из трёх источников (тремя способами).

Первый источник - это природа. Это **естественные радио-нуклиды**, которые сохранились, дожили до нашего времени с момента их образования (возможно, со времени образования солнечной системы или Вселенной), так как у них велики периоды полураспада, а значит, велико время жизни. Естественно, что их осталось гораздо меньше, чем было вначале. Их извлекают из природного сырья.

Второй и третий источники - искусственные.

Искусственные радионуклиды образуются двумя способами.

Первые - **радионуклиды осколочного происхождения**, которые образуются в результате деления ядер атомов. Это - "осколки деления". Естественно, что основная их масса образуется в ядерных реакторах различного назначения, в которых осуществляется управляемая цепная реакция, а также при испытаниях ядерного оружия (неуправляемая цепная реакция). Они находятся в облучённом уране, извлекаемом из реакторов военного назначения (из "промышленных реакторов"), и в огромных количествах в отработавшем ядерном топливе (ОЯТ), извлекаемом из энергетических реакторов АЭС.

Ранее в природную среду они попадали при проведении ядерных испытаний и переработке облучённого урана. Сейчас продолжают попадать при переработке (регенерации) ОЯТ, а также при авариях на АЭС, на реакторах. При необходимости извлекали их из облучённого урана, а сейчас из ОЯТ.

Вторые - это **радионуклиды активационного происхождения**. Они образуются из обычных стабильных изотопов в результате активации, то есть при попадании в ядро стабильного атома какой-либо субатомной частицы, в результате чего стабильный атом становится радиоактивным. В подавляющем большинстве случаев такой частицей-снарядом является нейтрон. Поэтому для получения искусственных радионуклидов обычно используют метод нейтронной активации. Он состоит в том, что стабильный изотоп любого химического элемента в любом виде (металл, соль, химическое соединение) помещают в активную зону реактора на определённое время. А так как в активной зоне реактора каждую секунду

образуется колоссальное количество нейтронов, то поэтому все химические элементы, которые находятся в активной зоне или вблизи неё постепенно становятся радиоактивными. Активируются и те элементы, которые растворены в охлаждающей реактор воде.

Реже используется метод бомбардировки стабильного изотопа в ускорителях элементарных частиц протонами, электронами и т.п.

*Радионуклиды бывают естественные - природного происхождения и искусственные - осколочного и активационного происхождения. Ничтожное количество радионуклидов осколочного происхождения всегда имелось в природной среде, ибо они образуются в результате самопроизвольного деления ядер урана-235. Но их так мало, что не удаётся обнаружить современными средствами анализа.*

*Количество нейтронов в активной зоне различных типов реакторов таково, что через любое сечение в  $1\text{см}^2$  в любой точке активной зоны за 1 секунду пролетает порядка  $10^{14}$  нейтронов.*

[Содержание](#)

## Измерение ионизирующих излучений. Определения

Характеризовать только сами источники ионизирующего излучения (ИИИ) и только их активностью (количеством актов распада) не всегда удобно и целесообразно. И дело не только в том, что измерять активность можно, как правило, только в стационарных условиях на весьма сложных установках. Главное в том, что при единичном акте распада разных изотопов могут образовываться различные по своей природе частицы, могут одновременно образовываться несколько частиц и гамма-квантов. При этом энергия, а следовательно, и ионизирующая способность разных частиц будут различными. Поэтому основным показателем для характеристики ИИИ является оценка их ионизирующей способности, то есть (в итоге) той энергии, которую они теряют при прохождении через вещество (среду) и которая оказывается поглощённой этим веществом.

При измерении ионизирующих излучений используется понятие доза, а при оценке их влияния на биологические объекты поправочные коэффициенты. Назовём их, приведём ряд определений.

**Доза**, поглощённая доза (от греческого - доля, порция) - энергия ионизирующего излучения (ИИ), поглощённая облучаемым веществом и часто рассчитанная на единицу его массы (см. "рад", "Грэй"). То есть доза измеряется в единицах энергии, которая выделяется в веществе (поглощается веществом) при прохождении через него ионизирующего излучения.

Есть несколько разновидностей доз.

**Экспозиционная доза** (для рентгеновского и гамма-излучения) - определяется по ионизации воздуха. Единицей измерения в системе СИ является "кулон на кг" (Кл/кг), что соответствует образованию в 1 кг воздуха такого количества ионов, суммарный заряд которых равен 1 Кл (каждого знака). Внесистемной единицей измерения является "рентген" (см. "Кл/кг" и "рентген").

Для оценки влияния ИИ на человека используются **поправочные**

## **коэффициенты.**

До недавнего времени при расчёте "эквивалентной дозы" использовались "**коэффициенты качества излучения**" (K) - поправочные коэффициенты, учитывающие различное влияние на биологические объекты (различную способность повреждать ткани организма) разных излучений при одной и той же поглощённой дозе. Используются при расчёте "эквивалентной дозы". Сейчас эти коэффициенты в Нормах радиационной безопасности (НРБ-99) назвали очень "по-научному" - "Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения при расчёте эквивалентной дозы ( $W_R$ )".

Эти коэффициенты равны соответственно:

*рентгеновское, гамма, бета-излучение, электроны и позитроны - 1*  
*протоны с E более 2 Мэв - 5*  
*нейтроны с E менее 10 кэв) - 5*  
*нейтроны с E от 10 кэв до 100 кэв - 10*  
*альфа-частицы, осколки деления, тяжёлые ядра - 20*

и так далее.

**Эквивалентная доза** - доза, рассчитанная для биологических объектов (человека) с учётом коэффициента качества излучения; равна произведению поглощённой дозы на K. Эквивалентная доза может измеряться в тех же единицах, что и поглощённая (см. "бэр" и "Зиверт").

**Эффективная эквивалентная доза** - эквивалентная доза, рассчитанная с учётом разной чувствительности различных тканей организма к облучению; равна эквивалентной дозе, полученной конкретным органом, тканью (с учётом их веса), умноженной на соответствующий "**коэффициент радиационного риска**". Сейчас эти коэффициенты тоже очень "по-научному" в тех же Нормах НРБ-99 назвали "Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчёте эффективной дозы (W- множители эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые в радиационной защите для учёта различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации".

Для организма в целом этот коэффициент принят равным 1, а для некоторых органов имеет следующие значения:

*костный мозг (красный) - 0,12*  
*щитовидная железа - 0,05*  
*лёгкие, желудок, толстый кишечник - 0,12*  
*гонады (яичники, семенники) - 0,20*  
*кожа - 0,01*

и так далее.

Для оценки полной эффективной эквивалентной дозы, полученной человеком, рассчитывают и суммируют указанные дозы для всех органов.

**Мощность дозы** - доза, полученная за единицу времени (сек., час).

**Фон** - мощность экспозиционной дозы ионизирующего излучения в данном месте.

**Естественный фон** - мощность экспозиционной дозы ионизирующего излучения,

создаваемая всеми природными источниками ИИ (см. "Радиационный фон").

## [Содержание](#)

### Основные единицы измерения ионизирующих излучений

#### Экспозиционная доза (две единицы)

**Рентген (Р)** - внесистемная единица экспозиционной дозы. Это такое количество гамма- или рентгеновского излучения, которое в 1 см<sup>3</sup> сухого воздуха (имеющего при нормальных условиях вес 0,001293 г) образует  $2,082 \times 10^9$  пар ионов. Эти ионы несут заряд в 1 эл.-статическую единицу каждого знака (в системе СГСЭ), что в единицах работы и энергии (в системе СГС) составит около 0,114 эрг поглощённой воздухом энергии ( $6,77 \times 10^4$  Мэв). ( $1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж} = 2,39 \times 10^{-8} \text{ кал}$ ). При пересчёте на 1 г воздуха это составит  $1,610 \times 10^{12}$  пар ионов или 85 эрг/г сухого воздуха. Таким образом физический энергетический эквивалент рентгена равен 85 эрг/г для воздуха. (По некоторым данным он равен 83,8, по другим - 88,0 эрг/г).

**1 Кл/кг** - единица экспозиционной дозы в системе СИ. Это такое количество гамма- или рентгеновского излучения, которое в 1 кг сухого воздуха образует  $6,24 \times 10^{18}$  пар ионов, которые несут заряд в 1 кулон каждого знака. ( $1 \text{ кулон} = 3 \times 10^9 \text{ ед. СГСЭ} = 0,1 \text{ ед. СГСМ}$ ). Физический эквивалент 1 Кл/кг равен 33 Дж/кг (для воздуха).

Соотношения между рентгеном и Кл/кг следующие:

$$1 \text{ Р} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг} - \text{точно.}$$

$$1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \times 10^3 \text{ Р} - \text{приблизительно.}$$

#### Поглощённая доза (две единицы)

**Рад** - внесистемная единица поглощённой дозы. Соответствует энергии излучения 100 эрг, поглощённой веществом массой 1 грамм (сотая часть "Грзя" - см.).

$$1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ Гр} = 2,388 \times 10^{-6} \text{ кал/г}$$

При экспозиционной дозе в 1 рентген поглощённая доза в воздухе будет 0,85 рад (85 эрг/г).

**Грэй (Гр.)** - единица поглощённой дозы в системе единиц СИ. Соответствует энергии излучения в 1 Дж, поглощённой 1 кг вещества.

$$1 \text{ Гр.} = 1 \text{ Дж/кг} = 10^4 \text{ эрг/г} = 100 \text{ рад.}$$

#### Эквивалентная доза (две единицы)

**Бэр** - биологический эквивалент рентгена (в некоторых книгах - рада). Внесистемная единица измерения эквивалентной дозы. В общем случае:

$$1 \text{ бэр} = 1 \text{ рад} \cdot K = 100 \text{ эрг/г} \cdot K = 0,01 \text{ Гр} \cdot K = 0,01 \text{ Дж/кг} \cdot K = 0,01 \text{ Зиверт}$$

При коэффициенте качества излучения  $K = 1$ , то есть для рентгеновского, гамма-, бета-излучений, электронов и позитронов, 1 бэр соответствует поглощённой дозе в 1 рад.

$$1 \text{ бэр} = 1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Гр} = 0,01 \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ Зиверт}$$

Особо необходимо отметить следующий факт. Ещё в 50-х годах было установлено, что если при экспозиционной дозе в 1 рентген воздух поглощает 83,8788,0 эрг/г (физический эквивалент рентгена), то биологическая ткань поглощает 93795 эрг/г (биологический эквивалент рентгена). Поэтому оказывается, что при оценке доз можно считать (с минимальной погрешностью), что экспозиционная доза в 1 рентген для биологической ткани соответствует (эквивалентна) поглощённой дозе в 1 рад и эквивалентной дозе в 1 бэр (при  $K=1$ ), то есть, грубо говоря, что 1 Р, 1 рад и 1 бэр - это одно и то же.

**Зиверт (Зв)** - единица эквивалентной и эффективной эквивалентной доз в системе СИ. 1 Зв равен эквивалентной дозе, при которой произведение величины поглощённой дозы в Гр<sub>э</sub>х (в биологической ткани) на коэффициент  $K$  будет равно 1 Дж/кг. Иными словами, это такая поглощённая доза, при которой в 1 кг вещества выделяется энергия в 1 Дж.

В общем случае:

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} \cdot K = 1 \text{ Дж/кг} \cdot K = 100 \text{ рад} \cdot K = 100 \text{ бэр}$$

При  $K=1$  (для рентгеновского, гамма-, бета-излучений, электронов и позитронов) 1 Зв соответствует поглощённой дозе в 1 Гр:

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад} = 100 \text{ бэр}.$$

В заключение ещё раз напомним, что для рентгеновских, гамма-, бета-излучений, электронов и позитронов величины рентген, рад и бэр, а также (отдельно!) величины Гр<sub>э</sub> и Зиверт оказываются равнозначными при оценке облучения человека.

### **Пример.**

*Если в каком-либо месте зафиксирован фон (от гамма-излучения) в 25 мкР/час (25 мкрад/час; 0,25 мкГр/час; 0,25 мкЗв/час), то за 1 час пребывания в этом месте человек получит эквивалентную дозу (ЭД) в 25 мкбэр (0,25 мкЗв). За неделю соответственно:*

$$\text{ЭД} = 25 \text{ мкР/час} \cdot 168 \text{ час} = 4200 \text{ мкбэр} = 4,2 \text{ мбэр} = 42 \text{ мкЗв} \text{ или } 0,042 \text{ мЗв},$$

*а за год:*

$$\text{ЭД} = 25 \text{ мкР/час} \cdot 8760 \text{ час} = 219000 \text{ мкбэр} = 219 \text{ мбэр} = 2,19 \text{ мЗв}.$$

*Но если такая же поглощённая доза будет создана альфа-излучением (например, при внутреннем облучении), то с учётом коэффициента качества (20) эквивалентная доза за 1 час составит:*

$$\text{ЭД} = 25 \text{ мкР/час} \cdot 20 \cdot 1 \text{ час} = 500 \text{ мкР} = 500 \text{ мкбэр} = 0,5 \text{ мбэр} = 5 \text{ мкЗв},$$

*то есть она будет эквивалентна поглощённой дозе от рентгеновского, гамма-, бета-излучений, в 500 мкрад (5 мкГр).*

Но особое внимание читателя хочу обратить на резкое несоответствие между полученной дозой, то есть выделившейся в организме энергией, и биологическим эффектом. Так давно уже стало очевидно, что одинаковые дозы, полученные человеком от внешнего и от внутреннего облучения, а также дозы, полученные от разных видов ионизирующего излучения, от разных радионуклидов (при попадании их в организм) вызывают разные эффекты! А абсолютно смертельная для человека доза в 1000 рентген в единицах тепловой энергии составляет всего 0,0024 калорий. Это количество тепловой энергии сможет нагреть только на 1°C около 0,0024 мл воды (0,0024 см<sup>3</sup> 0,0024 г), то есть всего 2,4 мг воды. Со стаканом горячего чая мы получаем в тысячи раз больше. При этом медики, учёные, атомщики оперируют дозами в милли- и даже в микро-рентгенах. То есть указывают такую точность, которой на самом деле не существует.

[Содержание](#)

## Влияние излучения на организм человека. Эффекты радиации

Радиоактивное излучение называют ионизирующим излучением, а радиоактивные частицы - ионизирующими частицами.

Как уже было сказано, радиоактивные частицы, обладая огромной энергией, огромными скоростями, при прохождении через любое вещество сталкиваются с атомами и молекулами этого вещества и приводят к их разрушению, ионизации, к образованию "горячих" (высокоэнергетических) и исключительно реакционноспособных частиц - осколков молекул: ионов и свободных радикалов.

То же самое происходит и в тканях биологических объектов. При этом так как биологические ткани человека на 70% состоят из воды, то в большой степени ионизации подвергаются прежде всего именно молекулы воды. Из осколков молекул воды - из ионов и свободных радикалов - образуются исключительно вредные для организма и реакционноспособные перекисные соединения, которые запускают целую цепь последовательных биохимических реакций и постепенно приводят к разрушению клеточных мембран (стенок клеток и других структур).

В целом, воздействие радиации на биологические объекты и, в первую очередь, на организм человека вызывает три различных отрицательных эффекта.

- **Первый** - это **генетический эффект для наследственных** (половых) **клеток** организма. Он может проявиться и проявляется только в потомстве. Это рождение детей с различными отклонениями от нормы (уродства разной степени, слабоумие и т. д.), либо рождение полностью нежизнеспособного плода, - с отклонениями, не совместимыми с жизнью.

В большой степени "поставщиками" таких детей в соответствующие больницы являются предприятия атомной энергетики и зоны их влияния.

- **Второй** - это тоже **генетический эффект**, но **для наследственного аппарата соматических клеток** - клеток тела. Он проявляется при жизни конкретного человека в виде различных (преимущественно раковых) заболеваний. "Поставщиками" раковых больных также в большой степени являются предприятия атомной энергетики и зоны их влияния.

- **Третий эффект** - это **эффект** соматический, а точнее - **иммунный**. Это ослабление защитных сил, иммунной системы

организма за счёт разрушения клеточных мембран и других структур. Он проявляется в виде самых различных, в том числе, казалось бы, совершенно не связанных с радиационным воздействием, заболеваний, в увеличении количества и тяжести течения заболеваний, в осложнениях, а также в ослаблении памяти, интеллектуальных способностей и т. п. Ослабление иммунитета провоцирует возникновение любых заболеваний, в том числе и раковых.

Особо следует отметить, что все видимые физические отклонения от нормы, все заболевания сопровождаются ослаблением умственных способностей, памяти, интеллекта.

*Ретроспективный анализ и изучение современного состояния здоровья населения в зоне влияния Красноярского ГХК показали, что здесь прирост самых различных заболеваний как детей, так и взрослых, в разы больше, чем в контрольных районах. Подобная картина характерна для зон влияния всех ядерных объектов во всём мире.*

---

*Всегда следует иметь в виду, что лучшей защитой от радиации, от любого излучения, является расстояние и время:*

- - чем дальше - тем лучше,
  - - чем меньше время пребывания в зоне облучения - тем лучше.
- 

*Радиация по-разному действует на людей в зависимости от пола и возраста, состояния организма, его иммунной системы и т. п., но особенно сильно - на младенцев, детей и подростков.*

*При воздействии радиации (особенно малофоновой) скрытый (инкубационный, латентный) период, то есть время задержки до наступления видимого эффекта, может продолжаться годами и даже десятилетиями.*

(из книги Ральфа Грейба "Эффект Петко: влияние малых доз радиации на людей, животных и деревья")

### **Эффект Петко: новое измерение радиационной угрозы?**

В 1972 г. Абрам Петко из ядерного исследовательского учреждения Вайтшелл Канадской комиссии по атомной энергии в Манитоба сделал случайное открытие, заслужившее (по словам Ральфа Грейба) Нобелевской премии. Он установил, что при длительном облучении мембраны клеток прорывались при существенно более низкой суммарной дозе, чем если бы эта доза давалась короткой вспышкой, как при рентгеновском исследовании.

Так, облучение с интенсивностью 26 рад/мин разрушало клеточную мембрану за 130 минут при суммарной дозе в 3500 рад. При облучении же с интенсивностью 0,001 рад/мин (в 26000 раз меньше) было достаточно 0,7 рад (время около 700 мин). То есть для того же эффекта хватало дозы в 5000 раз меньше.

Был сделан вывод, что чем более длительным был период облучения, тем меньшая суммарная доза требовалась.

Это было открытие. Малые дозы при хроническом облучении оказались более опасными по последствиям, чем большие дозы краткосрочного (острого) облучения. Это новое революционное открытие находится в резком противоречии с генетическим эффектом при действии облучения на ядро клетки. Во всех таких исследованиях не обнаруживалось различий по эффекту между общей дозой, полученной за короткий промежуток времени или за длительный период. Наблюдалось почти постоянное действие 1 рада для целого спектра интенсивностей доз, меняющихся от самых малых до самых больших. Долгое время считалось, что молекула ДНК, которая несёт генетическую информацию, напрямую разрушается в ядрах клеток под действием излучения. Петко же открыл, что в случае клеточных мембран действует иной механизм, производящий не прямые разрушения.

### Как малые дозы могут быть опаснее больших?

В клетках много воды. Под действием радиации возникают высокотоксичные нестабильные формы кислорода - свободные радикалы, перекисные соединения. Они реагируют с клеточной мембраной, где запускают цепную реакцию химических превращений - окисления молекул мембраны, в результате чего она разрушается. То есть наблюдается не прямое действие радиации, а последствия.

#### Цитаты

"Серьёзный ущерб от малых длительных или хронических доз радиации: чем меньше свободных радикалов в клеточной плазме, тем выше их эффективность в нанесении ущерба. Это потому, что свободные радикалы могут дезактивировать друг друга с образованием обычной молекулы кислорода или других (рекомбинация). Чем меньше свободных радикалов создаётся радиацией в данном объёме в единицу времени (при меньших интенсивностях радиации), тем меньше у них шансов достичь стенки клетки".

"Меньший ущерб от больших краткосрочных доз радиации: чем больше свободных радикалов образуется в данном объёме (при больших дозах в единицу времени), тем быстрее они рекомбинируют и станут неэффективными прежде, чем достигнут и поразят мембрану".

Кроме этого имеется дальний эффект. Клеточные мембраны создают электрическое поле в плазме клетки, которое притягивает отрицательно заряженные молекулы, такие как высокотоксичный свободный радикал. Компьютерные расчёты показали, что чем больше концентрация свободных радикалов, тем слабее притяжение электрическим полем. Поэтому, если концентрация радикалов велика, они имеют меньше шансов достичь мембраны, чем в случае, если их мало.

Таким образом, в отличие от ядер клеток клеточная мембрана менее сильно повреждается (на единицу поглощённой дозы) при кратковременной, но мощной дозе (альфа-излучение, интенсивное рентгеновское облучение и т. п.), чем при длительном или хроническом действии от радиационного фона малого уровня, от радиоактивных осадков, эмиссий от АЭС.

[Содержание](#)

## Радиационный фон

Источники ионизирующих излучений (ИИИ) делятся на естественные (природные) и искусственные (созданные человеком, техногенные).

К естественным ИИИ относятся разные виды космического излучения и естественные радионуклиды, содержащиеся в земной коре, в окружающей среде, в растениях и животных, в том числе и в организме человека.

По данным ООН, вклад различных ИИИ в среднюю годовую эффективную эквивалентную дозу облучения среднестатистического человека выглядит следующим образом. На долю естественных ИИИ приходится 2 мЗв (или 82,61%), а на долю техногенных - 0,421 мЗв (17,39%); в сумме 2,421 мЗв.

При этом естественное (природное) облучение складывается из "земного" и "космического". На долю "земного" приходится 1,675 мЗв (69,186%), в том числе на долю внутреннего облучения - 1,325 мЗв (54,729%), на долю внешнего - 0,35 мЗв (14,457%). А на долю космического - 0,315 мЗв (13,011%). Все % даны от общей суммы 2,421 мЗв.

Техногенное облучение складывается из облучения при медицинских обследованиях и лечении (0,4 мЗв; 16,522%), облучения от радиоактивных осадков (0,02 мЗв; 0,826%) и от атомной энергетики (0,001 мЗв; 0,041%).

В соответствии с опубликованными данными среднегодовые эффективные эквивалентные дозы облучения человека в СССР за счёт всех источников излучения в 1981-1985 г.г. составили (в мкЗв):

<b>Естественный радиационный фон</b> - (это соответствует мощности экспозиционной дозы в 25-30 мкР/час).	2250
<b>Технологически изменённый естественный радиационный фон:</b> - естественные радионуклиды в стройматериалах, воздухе помещений	1400
- минеральные удобрения	0,15
- угольные электростанции	2,0
<b>Искусственный радиационный фон:</b> - АЭС	0,17
- испытания ядерного оружия	25
- медицинская диагностика и лечение	1400
Суммарная доза облучения от всех источников - (или 5,09 мЗв или 509 мбэр).	5090

Естественный фон внешнего излучения на территории СССР колеблется в широких пределах, но считается, что в среднем он создаёт мощность экспозиционной дозы 4.20 мкР/час (40.200 мР/год). Эквивалентная доза от природных источников ИИ составляет при этом также 40?200 мбэр/год (0,05?0,2 мкЗв/час; 0,4?2,0 мЗв/год) и считается абсолютно безопасной.

Но всё это усреднённые, среднестатистические данные. Поэтому (только с целью иллюстрации) приведём некоторые более конкретные факты и цифры.

Так, пассажир реактивного самолёта за 4 часа полёта получает в среднем дозу в 0,027 мЗв (2,7 мбэр), ибо уровень (или фон) космического излучения в салоне самолёта достигает 200 мкР/час и выше, в зависимости от высоты полёта. На

высоте 12 тыс. м над уровнем моря уровень космического облучения достигает 5 мкЗв/час (500 мкР/час). Люди, живущие на высоте 2000 м над уровнем моря, получают дозу в 3-4 раза большую, чем живущие на уровне моря (без учёта "земной" радиации), так как на уровне моря "космический" фон составляет 0,03 мкЗв/час (3 мкР/час), а на указанной высоте - 0,1 мкЗв/час (10 мкР/час). Живущие на экваторе получают меньшую дозу, чем северяне, и т. д.

Также разнообразна картина и чисто "земной" радиации.



95% населения Франции, Германии, Италии, Японии и США (по данным ООН) живёт в местах, где мощность годовой дозы облучения колеблется от 0,3 до 0,6 мЗв (фон от 3-5 до 8-10 мкР/час); 3% населения получают в среднем 1 мЗв (11-15 мкР/час); 1,5% - более 1,4 мЗв (18-20 мкР/час). Но есть участки суши (в том числе и курорты) с постоянным проживанием населения, где уровень "земной" радиации в 600-800 раз выше среднего. Отдельные группы людей получают в год более 17 мЗв только от внешнего облучения "земной" радиацией, что в 50 раз больше средней годовой дозы внешнего облучения; часто находятся (временно проживают) в зонах, где уровень радиации достигает 175 мЗв/год (227 мкР/час) и т. д.

Гранитные породы, например, могут давать фон до 30-40 и более мкР/час.

Повышенной радиоактивностью обладают отходы (шлак, зола, сажа, угольная пыль) угольных ТЭЦ, ГРЭС, котельных и т. п.

Оценка количества радия и тория в некоторых строительных материалах (проведённая в ряде стран) даёт следующую картину (в Бк/кг):

Как видим, обычный песок и гравий обладают активностью в десятки раз, а кирпич, гранит, зола - в сотни раз большей, чем дерево.

- дерево (Финляндия) - 1,1
- песок и гравий (ФРГ) - 30
- кирпич (ФРГ) - 126
- гранит (Великобритания) - 170
- золяная пыль (ФРГ) - 341
- глинозём (Швеция) - 500-1400
- кальций-силикатный шлак (США) - 2140
- отходы урановых обогатительных фабрик (США) - 4625

Внутреннее облучение человека больше внешнего и в среднем составляет 2/3 от эффективной эквивалентной дозы, которую человек получает от естественных источников радиации. Его создают радионуклиды, попадающие в организм с

пищей, водой, воздухом.

К ним относятся радиоизотоп калий-40 и нуклиды радиоактивных рядов распада урана-238 и тория-232. Это, в первую очередь, свинец-210, полоний-210 и, главное, радон-222 и 220.

Свинец и полоний концентрируются в рыбе и моллюсках, а также в мясе северных оленей (которые получают их, питаясь лишайником). Но основной вклад во внутреннее облучение человека вносит радон. На его долю приходится 3/4 дозы от "земных" источников радиации и примерно половина от всех естественных.

Основную часть "радоновой" дозы облучения, как это ни парадоксально, человек получает в закрытых, непроветриваемых помещениях. В зонах с умеренным климатом концентрация радона в таких помещениях в среднем в 8 раз выше, чем в наружном воздухе. Но это - в среднем. А если помещение сильно загерметизировано (например, с целью утепления) и редко проветривается, то концентрация радона может быть в десятки и сотни раз выше, что наблюдается в некоторых северных странах. Источниками радона служат фундаменты зданий, строительные материалы (особенно приготовленные с использованием отходов ТЭЦ, котельных, шлаков, золы, пустой породы и отвалов некоторых рудников, шахт, обогатительных фабрик и т. п.), а также вода, природный газ, почва. Являясь инертным газом, он легко проникает в помещение через все щели, поры из грунта, подвалов (особенно зимой), стен, а также с пылью, сажей, золой угольных ТЭЦ и т. д.

В целом "земные" источники радиации дают в сумме около 5/6 годовой эффективной эквивалентной дозы от всех естественных источников.

Теперь несколько примеров, касающихся искусственных источников ИИ. Как уже было показано, их вклад в суммарную дозу составляет по оценкам ООН 0,421 мЗв (17,39%), причём основная доля приходится на облучение при медицинских обследованиях и лечении - 0,4 мЗв (или 95% от указанной цифры). Естественно, что для конкретного человека, ни разу не посещавшего рентгенкабинет и т. п., ни о каких дозах "от медицины" речи быть не может. С другой стороны, доза, полученная человеком в результате аварии на АЭС, испытаний ядерного оружия и т. д., может оказаться в сотни и тысячи раз большей, чем при любом медицинском обследовании. Поэтому облучение отдельных групп людей при авариях, испытаниях и т. п. учтено в приведённых выше цифрах только в усреднённом для всего населения Земли виде.

Но всё же некоторые ориентировочные цифры (по данным до 1990 г.) стоит привести.

Рентгеноскопия желудка даёт локальную эквивалентную дозу в - 30 бэр (0,3 Зв).

Рентгенография зубов - 3 бэр (0,03 Зв)

Флюорография - 0,37 бэр (3,7 мЗв)

Просмотр телевизора (по 3 часа ежедневно) - 0,5 мбэр/год.

В приказе Минздрава СССР No 129 от 29.03.90 г. "Об упорядочении рентгенологических обследований" даются несколько отличающиеся значения получаемых человеком доз.

В заключение приведём значения предельно допустимых доз и некоторые

официальные данные о последствиях облучения для человека.

2 бэр (20 мЗв)	- предельно допустимая доза (ПДД) - наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы для персонала объектов атомной промышленности, непосредственно работающего с ИИИ (категория А облучаемых лиц) за календарный год. При такой годовой дозе равномерное облучение в течение 50 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами. Эта доза эквивалентна тому, что человек постоянно в течение 50 лет находится (живёт) в условиях фона в 570ч650 мкР/час.
0,5 бэр (5 мЗв)	- предел дозы (ПД) - допустимая индивидуальная эквивалентная доза облучения населения, проживающего в санитарно-защитных зонах, зонах наблюдения объектов атомной промышленности (категория Б облучаемых лиц) за календарный год. При такой годовой дозе равномерное облучение в течение 70 лет не вызывает изменений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами диагностики. Исходя из этой дозы, допустимый безопасный фон 55ч65 мкР/час (0,6 мкЗв/час).
0,05 бэр (0,5 мЗв)	- по существовавшим ранее нормам годовая предельно допустимая индивидуальная эквивалентная доза для внешнего и внутреннего облучения всего населения. В настоящее время эта доза не регламентируется. Ей соответствует фон в 5-7 мкР/час (0,06 мкЗв/час).
10 бэр (0,1 Зв)	- в течение года - не наблюдается каких-либо заметных изменений в тканях и органах.
75 бэр (0,75 Зв)	- незначительные изменения в крови.
100 бэр (1 Зв)	- нижний предел начала лучевой болезни.
300-500 бэр (3-5 Зв)	- тяжёлая степень лучевой болезни, погибают 50% облучённых.

[Содержание](#)

## Дозиметрические приборы

Для измерения ионизирующих излучений создано много различных приборов и установок, которые, в принципе, подразделяются на три типа.

**Радиометры** - предназначенные для измерения плотности потока ИИ и активности радионуклидов.

**Спектрометры** - для изучения распределения излучений по энергиям, заряду, массам частиц ИИ (то есть для анализа образцов каких-либо материалов, источников ИИ).

**Дозиметры** - для измерения доз, мощностей доз и интенсивности ИИ.

Среди перечисленных имеются универсальные приборы, совмещающие те или иные функции. Имеются приборы для измерения активности вещества (то есть количества расп./сек), приборы для регистрации альфа-, бета- и других излучений и т. д. Это, как правило, стационарные установки.

Имеются специальные полевые, или поисковые, приборы, предназначенные для поиска, обнаружения ИИИ, оценки фона и т. п., способные фиксировать гамма и бета-излучение и оценивать его уровень (рентгенометры, радиометры и т. п.).

Имеются индикаторные приборы, предназначенные только для получения ответа на вопрос, есть или нет излучение в данном месте, часто работающие по принципу "больше - меньше".

Но, к сожалению, мало выпускается приборов, относящихся к классу дозиметров, то есть таких, которые специально предназначены для измерения дозы или мощности дозы.

Ещё меньше дозиметров универсальных, с помощью которых можно измерять разные виды излучений - альфа-, бета-, гамма.

Основные отечественные дозиметры имеют в названии аббревиатуру "ДРГ" - "дозиметр рентген-гамма", могут быть переносными или малогабаритными (карманными) и предназначены для измерения мощности дозы рентгеновского и гамма-излучения. Поэтому обнаружение с их помощью и замер мощности гамма-излучения совершенно не означает, что в этом месте присутствует альфа и бета-излучение. И наоборот, отсутствие рентгеновского и гамма-излучения совершенно не означает, что отсутствуют альфа- и бета-излучатели.

Минздрав СССР письмом от 01.09.87 г. No 129-4/428-6 запретил использование геолого-разведочных поисковых приборов типа СРП-68-01 и других подобных в качестве дозиметрических для измерения мощности экспозиционной дозы. Для измерения величины мощности экспозиционной дозы гамма и рентгеновского излучений следует использовать только дозиметры типа ДРГ-3-01 (0,2; 03); ДРГ-05; ДРГ-01; ДРГ-01Т и их аналоги.

Но в любом случае, прежде чем использовать какой-либо прибор для измерения мощности или величины экспозиционной дозы, следует изучить инструкцию и выяснить, для каких целей он предназначен. Возможно, окажется, что для дозиметрических измерений он не пригоден. Всегда следует обращать внимание на то, в каких единицах измерения проградуирован прибор.

Кроме указанных приборов, имеются также приборы (устройства, кассеты, датчики и т. п.) для индивидуального дозиметрического контроля лиц, непосредственно работающих с источниками ионизирующих излучений.

