ООО «УМЦ «Развитие»

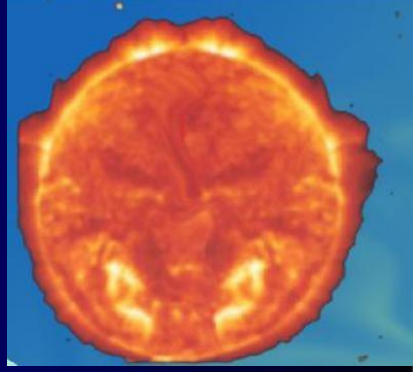
УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Радиационная безопасность

Курс на Развитие



Радиационная безопасность



Ионизирующее излучение – это излучение, прохождение которого через вещество приводит к образованию в нем электрически заряженных частиц.





Радиационная безопасность

1895 год
Открытие В. Рентгеном проникающего излучения
1896 год
Открытие А. Беккерелем ионизирующего излучения природных веществ
1927 год
Создание Международной Комиссии по радиологической защите (МКРЗ), которая обобщает данные по воздействию ионизирующих излучений на организмы и разрабатывает рекомендации по защите человека от облучения
1934 год
Открытие Фредериком и Ирэн Жолио-Кюри искусственной радиоактивности
1945 год
Первое испытание ядерного оружия. Атомная бомбардировка японских городов Хиросима и Нагасаки
1955 год
Образование Научного Комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН)
1957 год
Создание Международного Агентства по Атомной Энергии (МАГАТЭ)
1963 год
Международный договор об ограничении испытаний ядерного оружия в атмосфере, под водой и в космосе
1986 год
Катастрофа на Чернобыльской АЭС

Радиационная безопасность

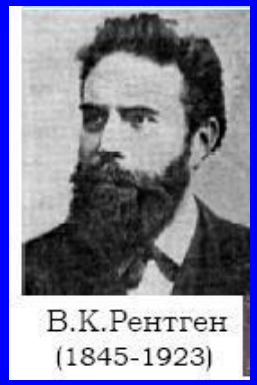
Радиоактивность — это самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые ядра, сопровождающееся выделением энергии в виде излучений.

Природа радиоактивности установлена в результате изучения строения атома и атомного ядра.

Все виды излучения, которые сопровождают ядерные превращения, ионизируют окружающую среду.

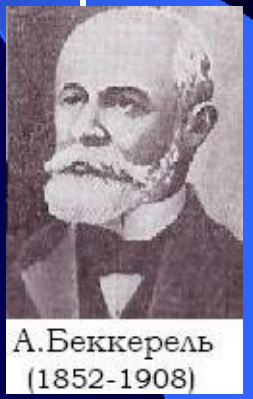
Скорость радиоактивного распада нельзя изменить физическими, химическими, биологическими и другими известными способами.

Радиационная безопасность


В.К.Рентген
(1845-1923)

1895 -1896 годы

Открытие рентгеновских лучей (1895 год) Вильгельмом Конрадом Рентгеном и «беккерелевых» лучей, которые ***излучают соединения урана*** (1896 год), Анри Беккерелем.


А.Беккерель
(1852-1908)

Лучи, открытые А. Беккерелем,

- испускаются самопроизвольно,
- невидимы,
- проходят через непрозрачные тела,
- засвечивают фотоматериалы,
- увеличивают электропроводность облучаемых веществ.

Во всем мире 1 марта 1896 года считается датой открытия радиоактивности.

Радиационная безопасность

1898 год



Пьер Кюри (1859-1906)
и Мария Склодовская-Кюри (1867-1934)
в лаборатории

Открытие Марией Склодовской-Кюри и Пьером Кюри ***радия и полония***, которые, как и уран, испускают невидимые лучи. Испускание лучей, подобных «беккерелевым», по предложению Марии Склодовской-Кюри, было названо ***радиоактивностью***, а сами лучи и вещества, которые их излучают – ***радиоактивными***.

Радиационная безопасность

Атом – это электронейтральная микросистема, состоящая из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов.

Протоны, нейтроны и электроны – элементарные частицы, входящие в состав атома.

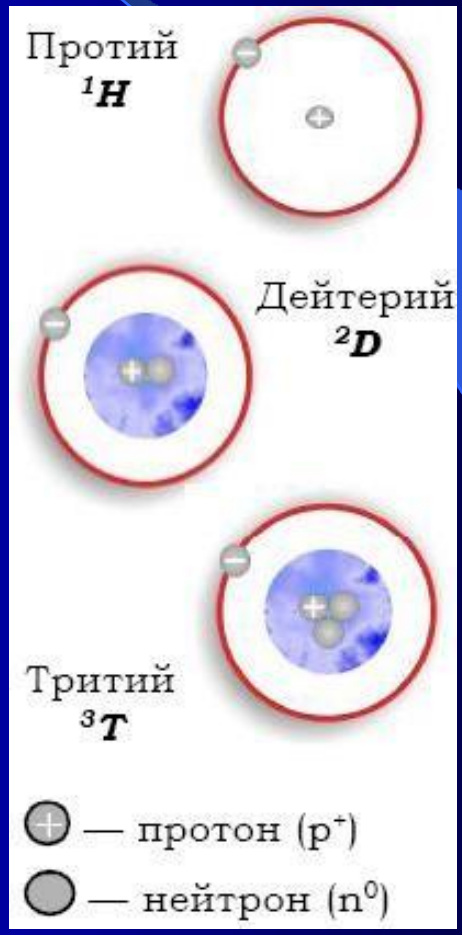
Количество протонов в ядре определяет заряд ядра, порядковый номер химического элемента в Периодической системе элементов и количество электронов в атоме.

Изотопы – атомы одного и того же химического элемента, имеющие одинаковое количество протонов, но отличающиеся по числу нейтронов в ядре.

Радиационная безопасность

Изотопы – атомы одного и того же химического элемента, имеющие одинаковое количество протонов, но отличающиеся по числу нейтронов в ядре.

В отличие от изотопов других элементов, каждый изотоп водорода имеет свое название и обозначение.



Радиационная безопасность

Радиоактивность – это самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в более устойчивые ядра, сопровождающееся выделением энергии в виде излучения.

Существуют устойчивые (стабильные) и неустойчивые (радиоактивные) атомы. Устойчивые атомы имеют ядра практически неизменного состава.

В целом, стабильность атома зависит от соотношения количества протонов и нейтронов в ядре. Лишь при определенных соотношениях между количеством протонов и нейтронов в ядре атомы стабильны.

Условие устойчивости атомных ядер:

$N/Z \approx 1$ — устойчивы атомы легких химических элементов с **Z** от **1** до **20**;

$N/Z > 1$ — устойчивы атомы тяжелых элементов с **Z** от **20** до **83**.

Радиационная безопасность

Избыток протонов или нейтронов делает атомное ядро неустойчивым. Неустойчивые атомные ядра обладают избыточной энергией и стремятся перейти в более устойчивое состояние с меньшей энергией. Любые самопроизвольные процессы ядерных превращений сопровождаются выделением энергии в виде излучения.

В результате, одни атомные ядра превращаются в другие, энергетически более устойчивые.

Радионуклиды – это неустойчивые атомы, ядра которых самопроизвольно превращаются в ядра атомов других химических элементов или других изотопов одного и того же элемента с выделением в окружающую среду энергии в виде излучения.

Радиационная безопасность

Радиоактивными являются все химические элементы, расположенные в Периодической системе элементов за висмутом, порядковый номер которого равен 83.

Химический элемент	Состав ядер	
	стабильные	радиоактивные
Водород (1 протон в ядре)	^{1}H ^{1}p ^{2}D $^{1}p + {}^{1}n$	^{3}T $^{1}p + 2\ {}^{1}n$
Уран (92 протона в ядре)	отсутствуют	^{233}U $92\ {}^{1}p + 141\ {}^{1}n$ ^{235}U $92\ {}^{1}p + 143\ {}^{1}n$ ^{238}U $92\ {}^{1}p + 145\ {}^{1}n$ **и др.**

Радиационная безопасность

Превращение нестабильного ядра в устойчивое ядро может осуществляться в результате одного или нескольких последовательных радиоактивных распадов.

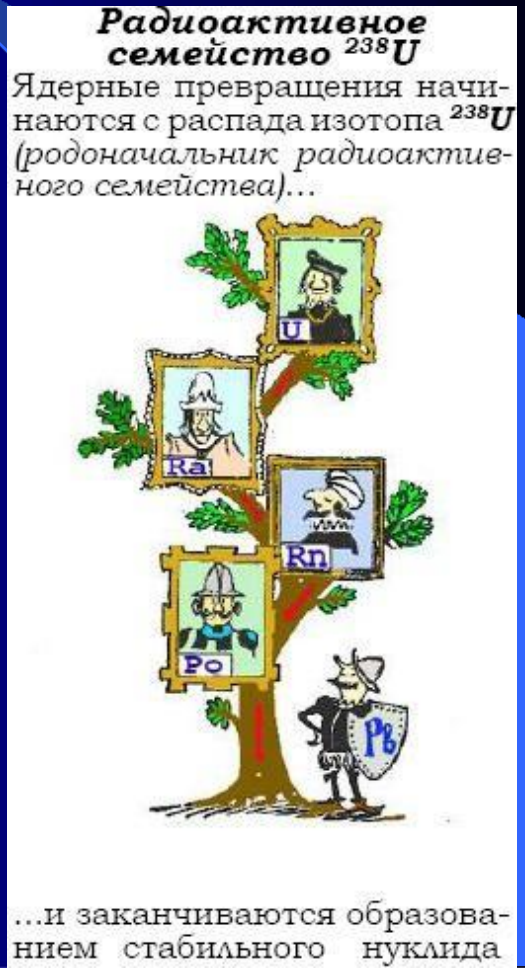
$$^{3}T \longrightarrow {}^{3}He + \beta^{-}$$

Легкие радионуклиды, которые содержат в ядре небольшое число протонов и нейтронов, обычно превращаются в стабильные нуклиды в результате одного ядерного превращения (например, ^{3}T, ^{14}C, ^{40}K и др.).

При распаде ***тяжелых радиоактивных элементов*** (Z > 83) может осуществляться цепочка последовательных ядерных превращений, которая продолжается до тех пор, пока не образуется устойчивое ядро.

Группа тяжелых радиоактивных элементов, объединенных цепочкой последовательных самопроизвольных ядерных превращений, образует радиоактивное семейство.

В настоящее время на Земле существует три естественных радиоактивных семейства: ^{235}U, ^{238}U и ^{232}Th. Члены четвертого радиоактивного семейства ^{237}Np были получены искусственно.



Радиационная безопасность

Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность

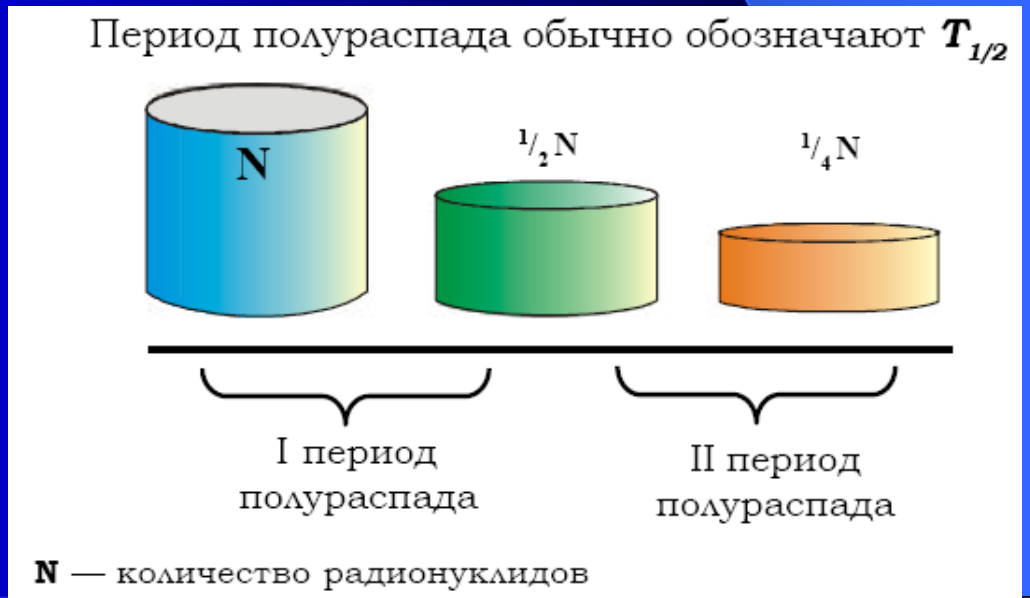
Радиоактивный распад подчиняется определенной закономерности - *скорость радиоактивного распада пропорциональна числу нераспавшихся атомов радиоактивного изотопа*. Выявленную закономерность назвали *законом радиоактивного распада*.

Радиационная безопасность

Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность

Промежуток времени, за который распадается половина любого количества определенного радиоизотопа, *величина постоянная*. Его называют *периодом полураспада* и используют для характеристики радиоизотопа.

Период полураспада радиоизотопа — *это промежуток времени, за который распадается половина любого количества радиоизотопа.*



Радиационная безопасность

Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность

Продолжительность периода полураспада различных радионуклидов может составлять от миллионных долей секунды до нескольких миллиардов лет.

За промежуток времени, в 10 раз превышающий период полураспада, любое количество радионуклидов практически полностью распадается.

Радиационная безопасность

Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность

Вещество, которое содержит один или несколько видов радионуклидов, называют радиоактивным. Его рассматривают как *источник* ионизирующего излучения.

Количество радионуклидов можно измерять в единицах массы (килограмм, грамм, миллиграмм, микрограмм и т. д.). Однако это неудобно, и на практике в качестве главной количественной характеристики радиоактивного вещества используют *активность*.

Радиационная безопасность

Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность

Активность **— это число распадов радионуклидов в единицу времени.**

Активность радионуклидов

$A = \Delta N / \Delta t$,

Δt — промежуток времени, за который происходит ΔN ядерных превращений.

Единицы измерения активности:

1 Бк = 1 расп/с

1 Ки = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк

Используются также кратные им единицы:

1 миллибеккерель (мБк) = 10^{-3} Бк

1 килобеккерель (кБк) = $1 \cdot 10^{3}$ Бк

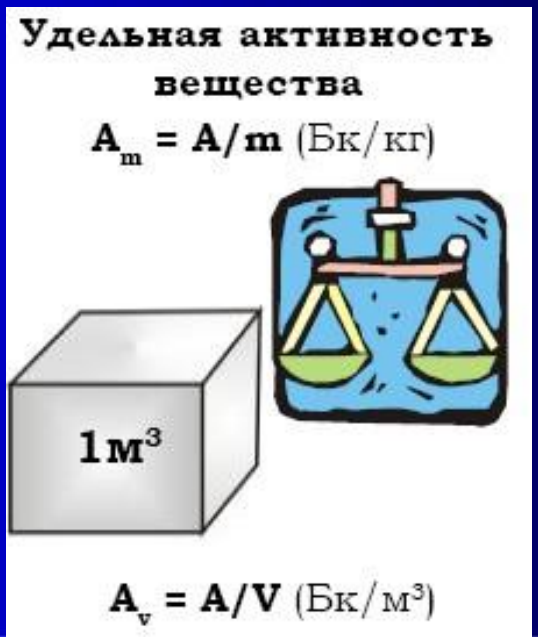
и др.

Радиационная безопасность

Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность

Концентрацию радионуклидов в веществе можно оценивать по *удельной активности*. Поскольку радиоактивные вещества могут находиться в различных агрегатных состояниях, их радиоактивные свойства довольно часто характеризуют по удельной активности газовой, жидкой и твердой фаз.

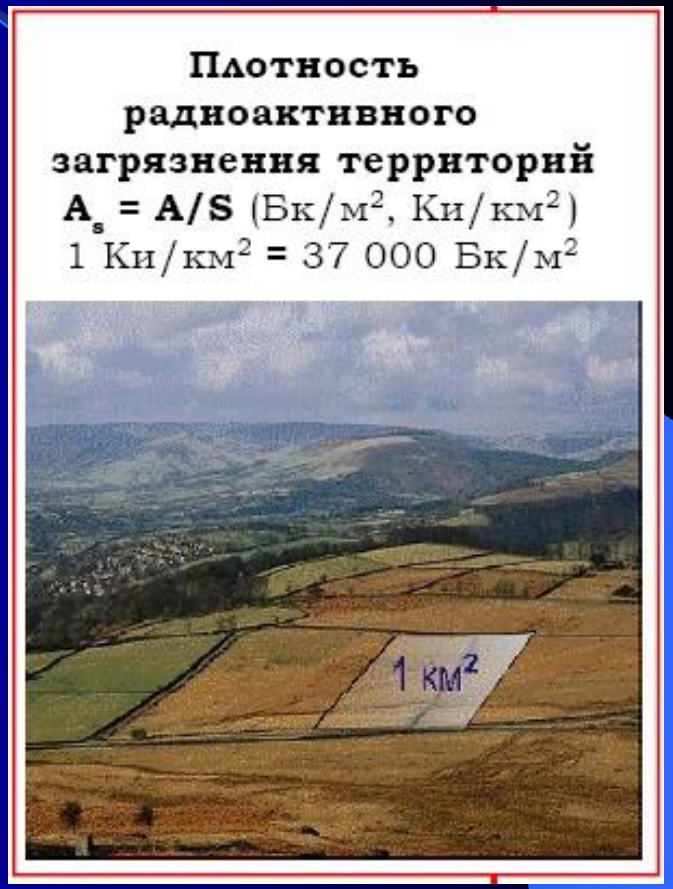
Удельная активность — это активность вещества в расчете на единицу его массы или объема.



Радиационная безопасность

Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность

Распределение радионуклидов по поверхности объекта иногда характеризуют по ***активности радионуклидов в расчете на единицу площади поверхности объекта***. Эта величина обычно применяется для характеристики уровня радиоактивного загрязнения территории, часто ее называют ***плотностью радиоактивного загрязнения***.



Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Существует несколько видов ионизирующего излучения, которые отличаются по своей природе, энергии, глубине проникновения в вещество и степени воздействия на живые организмы. В целом, выделяют две группы ионизирующих излучений: *корпускулярные* и *фотонные.*

Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Корпускулярное излучение (*альфа*-, *бета*-, протонное, нейтронное и др.) представляет собой поток быстродвижущихся частиц.

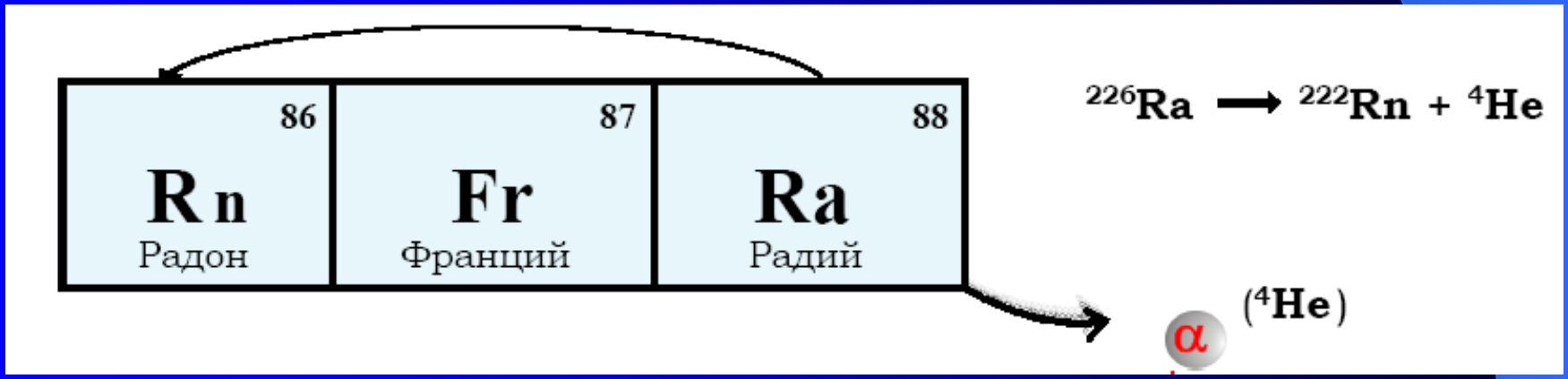
Фотонное излучение (рентгеновское, *гамма*-излучение) – это разновидность электромагнитных волн, которые излучаются и переносят энергию в пространстве строго определенными порциями – *квантами*.

Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Альфа-излучение

***Альфа*-излучение (α) — это поток положительно заряженных частиц. Каждая *альфа*-частица состоит из двух протонов и двух нейтронов, которые прочно связаны между собой. Фактически, *альфа*-частицы представляют собой ядра атомов гелия ^{4}He, т.е. имеет массу, равную 4 а.е.м., а заряд — +2.**



Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Альфа-излучение

Альфа-частицы образующиеся при радиоактивном распаде, обладают энергией от 4 до 10 МэВ.
Альфа-излучение обладает высокой ионизирующей способностью. Например, при распространении в воздухе альфа-лучи образуют на каждом сантиметре по пути своего движения от 25 до 60 тысяч пар ионов.

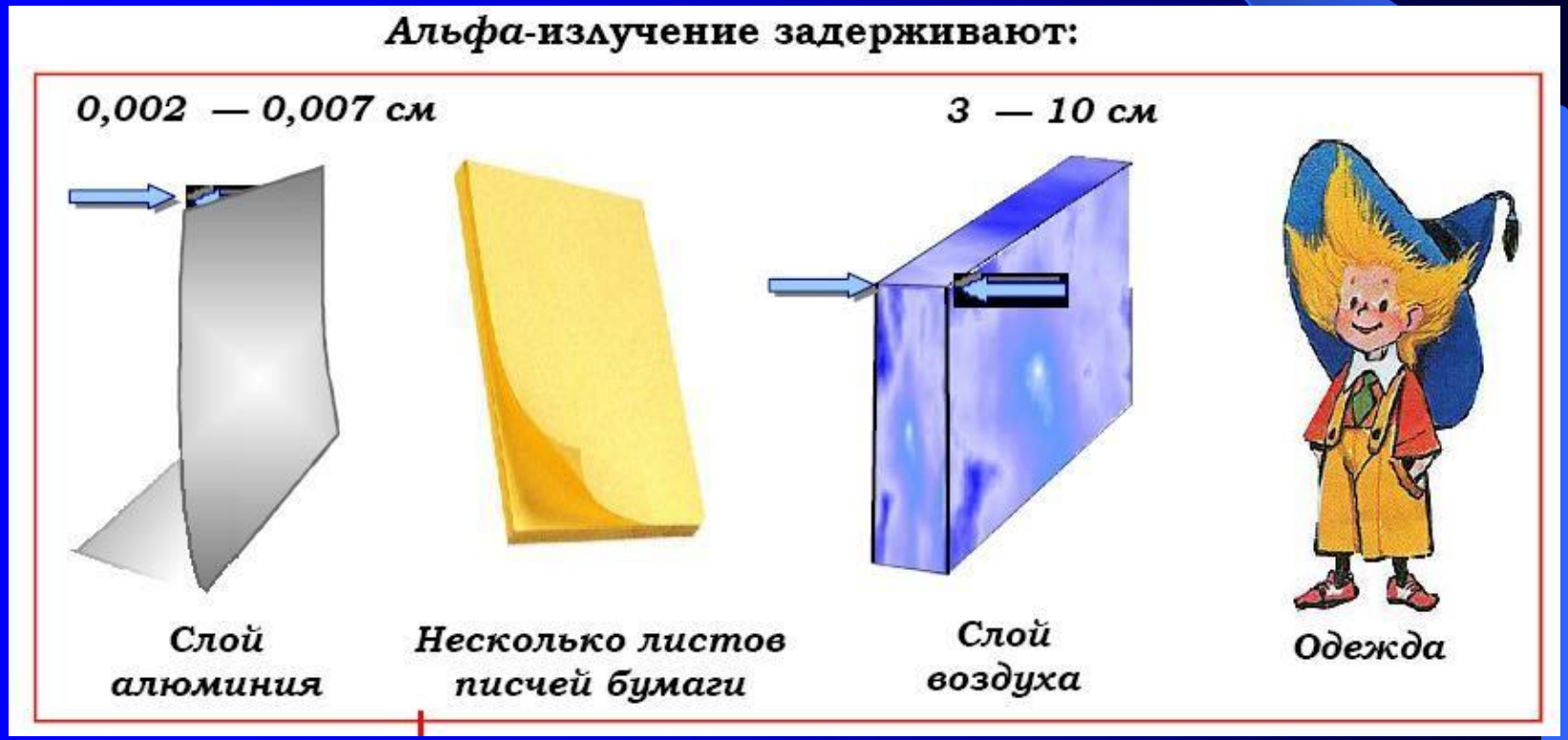
В любом веществе *альфа*-излучение быстро теряет свою энергию и поэтому проникает в него неглубоко.

Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Альфа-излучение

Способность альфа-излучения проникать в вещество зависит от энергии альфа-частиц и свойств облучаемого вещества (его химического состава и плотности).

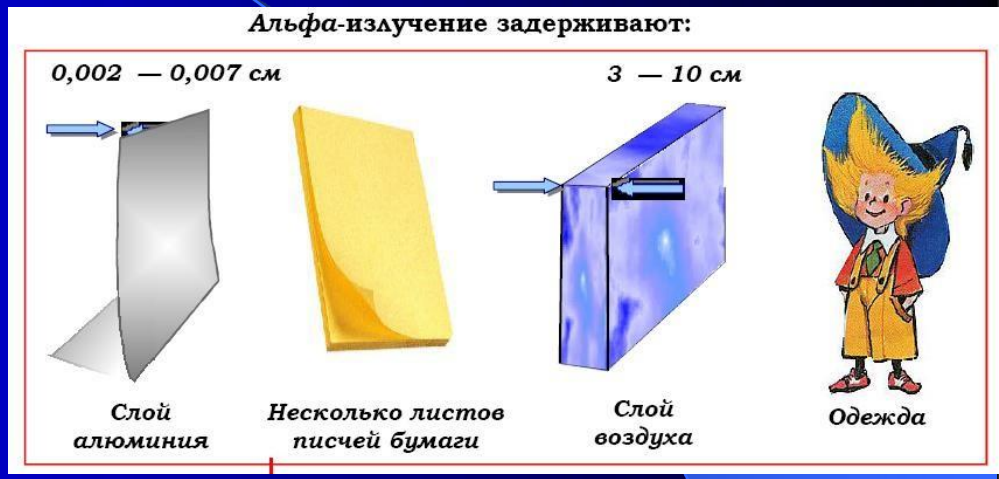


Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Альфа-излучение

В биологические ткани *альфа*-излучение проникает на глубину менее 0,7 мм. Поэтому при внешнем облучении организма *альфа*-излучение, в основном, поглощается наружным слоем кожи и оно практически не представляет опасности, за исключением тех случаев, когда *альфа*-лучи попадают на слизистую оболочку глаз.



Альфа-излучающие нуклиды могут проникать и внутрь организма

- через открытую рану,
- с пищей,
- с вдыхаемым воздухом.

Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Альфа-излучение



Облучая небольшие участки внутренних органов, *альфа*-частицы могут серьезно повреждать живые клетки организма. От *альфа*-излучения радионуклидов, проникших в легкие с пылью, могут пострадать участки легочной ткани и пронизывающие ее капилляры.

Специалисты в области радиационной медицины полагают, что по способности вызывать нарушения в тканях организма человека *альфа*-излучение примерно в 20 раз превосходит *бета*- и *гамма*-излучения.

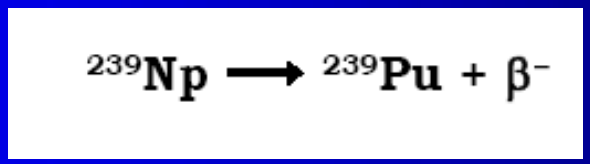
Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Бета-излучение

***Бета*-излучение (β) — это поток движущихся электронов**. По размерам и массе они значительно уступают *альфа*-частицам. Так, масса электрона в 7 344 раза меньше массы *альфа*-частицы. Заряд электрона вдвое меньше заряда *альфа*-частицы по абсолютной величине.

Бета-частицы испускаются, например, в результате распада радионуклидов с избыточным содержанием нейтронов в ядре:

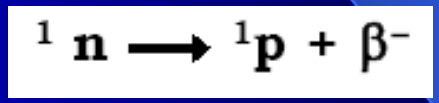


Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Бета-излучение

При таком типе ядерного распада *бета*-частицы образуются в ядре атома в результате превращения нейтрона в протон:



Энергия *бета*-частиц, испускаемых радионуклидами, находится в пределах от ***0,01*** до ***10 МэВ***. При этом на Земле наиболее часто встречаются радионуклиды, излучающие *бета*-частицы с энергией до ***3,5 МэВ***.

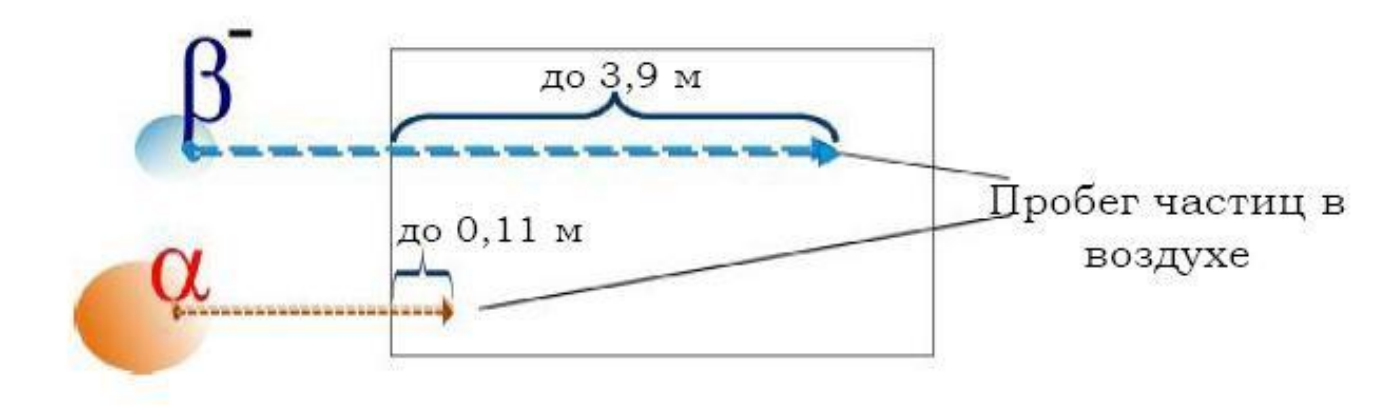
Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Бета-излучение

Масса электронов намного меньше массы *альфа*-частиц, при одинаковой энергии пробег *бета*-частиц в веществе в сотни раз превышает пробег *альфа*-частиц, и *бета*-излучение значительно глубже проникает в вещество.

Следовательно, *бета*-излучение ***обладает более высокой проникающей способностью по сравнению с альфа-излучением***.



Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Бета-излучение



Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Бета-излучение

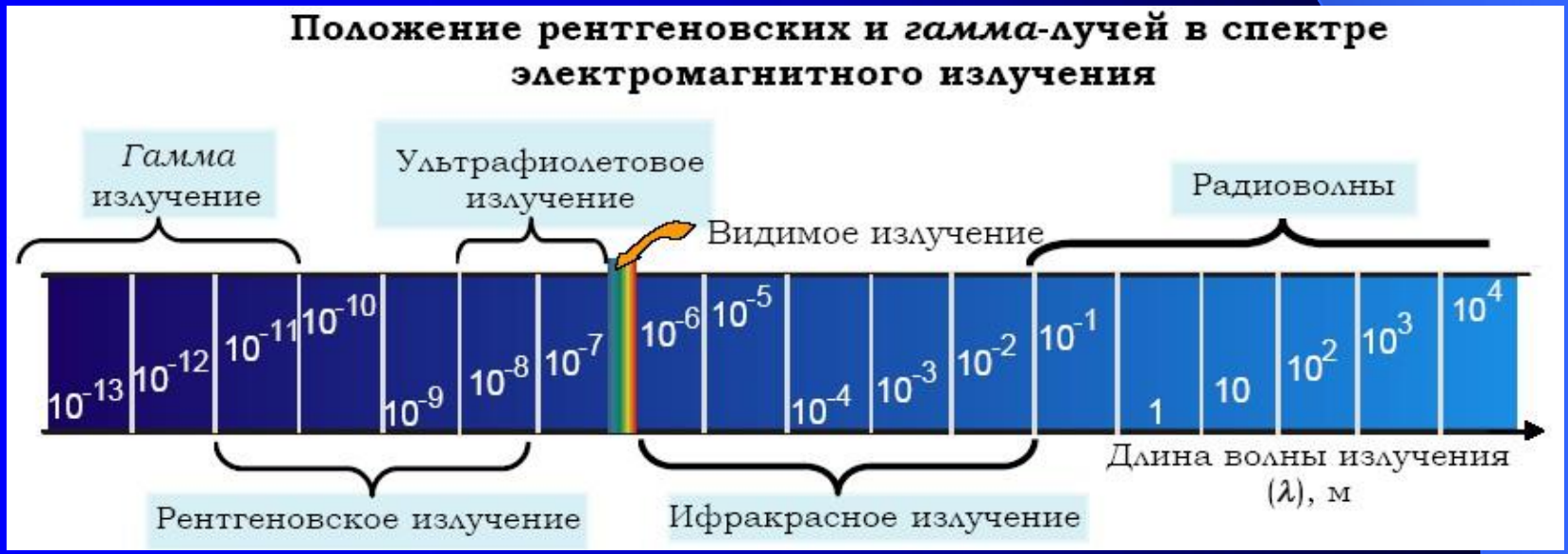
Если человек одет в легкую одежду, она задерживает часть *бета*-частиц. Остальные *бета*-частицы могут проникать через кожу на глубину в несколько миллиметров. При облучении обнаженных участков тела *бета*-частицы могут проникать на глубину 1-2 см, вызывая повреждения биологических тканей, которые, однако, менее серьезны, чем при воздействии *альфа*-излучения.

Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Гамма-излучение

Гамма-излучение (γ), как и рентгеновское, представляет собой коротковолновое электромагнитное излучение (гамма-кванты, или фотоны высоких энергий) и относится к фотонным излучениям.



Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Гамма-излучение

В отличие от альфа- и бета-частиц, гамма-кванты непосредственно не ионизируют вещество.

Именно фотоэлектроны и комптоновские электроны, которые обладают большой энергией и перемещаются с большой скоростью, и производят, в основном, ионизацию среды при прохождении *гамма*-излучения через вещество. Поэтому такой способ ионизации вещества называют *косвенным*.



Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Гамма-излучение

Гамма-излучение обладает высокой проникающей способностью. Оно легко пронизывает биологические ткани, при этом частично теряя свою энергию.

Из-за высокой проникающей способности защититься от гамма-излучения можно лишь толстым слоем свинца или бетона.

Интенсивность *гамма*-излучения снижают в 2 раза слои:

- свинца – толщиной ***1 см,***
- бетона – толщиной ***5 см,***
- воды – толщиной ***10 см.***

Слой бетона толщиной 1 м полностью задерживает любое *гамма*-излучение.

Радиационная безопасность

Основные виды ионизирующего излучения

Характеристики основных видов ионизирующего излучения

Характеристики	Излучение		
	альфа -частицы (α)	*бета* -частицы (β)	*гамма* -кванты (γ)
Природа излучения	ядра атомов гелия	электроны	электромагнитное излучение
Заряд, отн. ед.	+2	-1	0
Масса покоя, г	$6{,}64 \cdot 10^{-24}$	$9{,}11 \cdot 10^{-28}$	0
Относительная проникающая способность	1	100	1 000

Радиационная безопасность



- *основным результатом радиоактивного распада является преобразование атомных ядер;*
- *ядерные превращения всегда сопровождаются испусканием ионизирующих излучений;*
- *все виды ионизирующего излучения нельзя увидеть, почувствовать или услышать; они не имеют ни цвета, ни вкуса, ни запаха;*
- *излучение уносит из нестабильного ядра радионуклида часть энергии, что способствует его переходу в более устойчивое состояние.*

Радиационная безопасность



Все современные научные знания свидетельствуют:

Скорость распада радионуклидов не зависит от:

- внешних условий, (*температуры, давления и др.*),
- состава химических соединений,
- агрегатного состояния вещества.

Периоды полураспада радионуклидов нельзя изменить:

- химическими,
- физическими,
- биологическими способами

Радиационная безопасность

Чтобы выяснить, как ионизирующее излучение действует на организм человека и другие биологические объекты, проводятся:

Радиобиологические эксперименты на животных



Исследования заболеваемости в группах облученных людей

- Жители Хиросимы и Нагасаки, пострадавшие от применения ядерного оружия в 1945 году
- Шахтеры урановых рудников
- Жертвы радиационных аварий
- Работники атомной энергетики и промышленности
- Больные , подвергшиеся терапевтическому облучению

Радиационная безопасность

Поглощенная доза

Поглощенная доза излучения (D) — это количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной облучаемым объектом, в расчете на единицу массы вещества, из которого состоит объект.

$$D = \Delta E / \Delta m$$

ΔE — среднее количество энергии, переданное излучением веществу в элементарном объеме;

Δm — масса вещества в этом объёме.

Единицы измерения

1 Гр = 1 Дж/кг

1 рад = 0,01 Гр

Величина поглощенной дозы зависит от продолжительности облучения. С течением времени при облучении объекта поглощенная доза накапливается. Скорость такого накопления называют ***мощностью поглощенной дозы (МД).***

$$МД = \Delta D / \Delta t,$$

где ΔD — изменение поглощенной дозы за промежуток времени Δt.

Радиационные эффекты в организме человека

Детерминированные *(предопределенные)*	***Стохастические*** *(спонтанные, возникающие случайно)*

Радиационная безопасность

Детерминированные

(предопределенные)

- Появляются в результате повреждения *ионизирующим излучением* значительного числа клеток органов или биологических тканей, что приводит к *серьезным физиологическим нарушениям* в организме (*радиационные ожоги, лучевая катаракта, лучевая болезнь* и др.).
- Как правило, возникают непосредственно после воздействия ионизирующего излучения на организм (в течение нескольких часов или нескольких дней), когда *поглощенные дозы превышают* определенные *пороговые уровни.*
- Чем больше поглощенная доза, тем больше нарушений возникает в организме.
- *Характерны для высоких доз облучения (обычно 1 Гр и более).*
- Связь между облучением и возникшим заболеванием *однозначна.* Заболевание неизбежно (предопределено). *Превышение дозового порога* (определенного уровня поглощенной дозы) *обязательно приводит* к конкретному *нарушению* в организме человека.

Радиационная безопасность

Стохастические

(спонтанные, возникающие случайно)

- Проявляются в виде раковых и генетических заболеваний, которые сокращают продолжительность жизни человека.
- Возникновение заболевания является случайным событием , которое может реализоваться в любой момент по истечении определенного (скрытого, или латентного) периода после облучения . После завершения латентного периода человек может заболеть в любое время , однако может и вовсе не заболеть.
- Протекание заболевания (его тяжесть) не зависит от величины поглощенной дозы.
- *Характерны для средних (0,2 – 1 Гр) и малых (менее 0,2 Гр) доз облучения.*
- Предполагают , что *стохастические эффекты* могут возникать при любых сколь угодно *малых* дозах облучения.
- *Вероятность* возникновения стохастических эффектов *возрастает с увеличением поглощенной дозы.*