

ДОЗИМЕТРИЯ И ЗАЩИТА ОТ ИИ

Список литературы

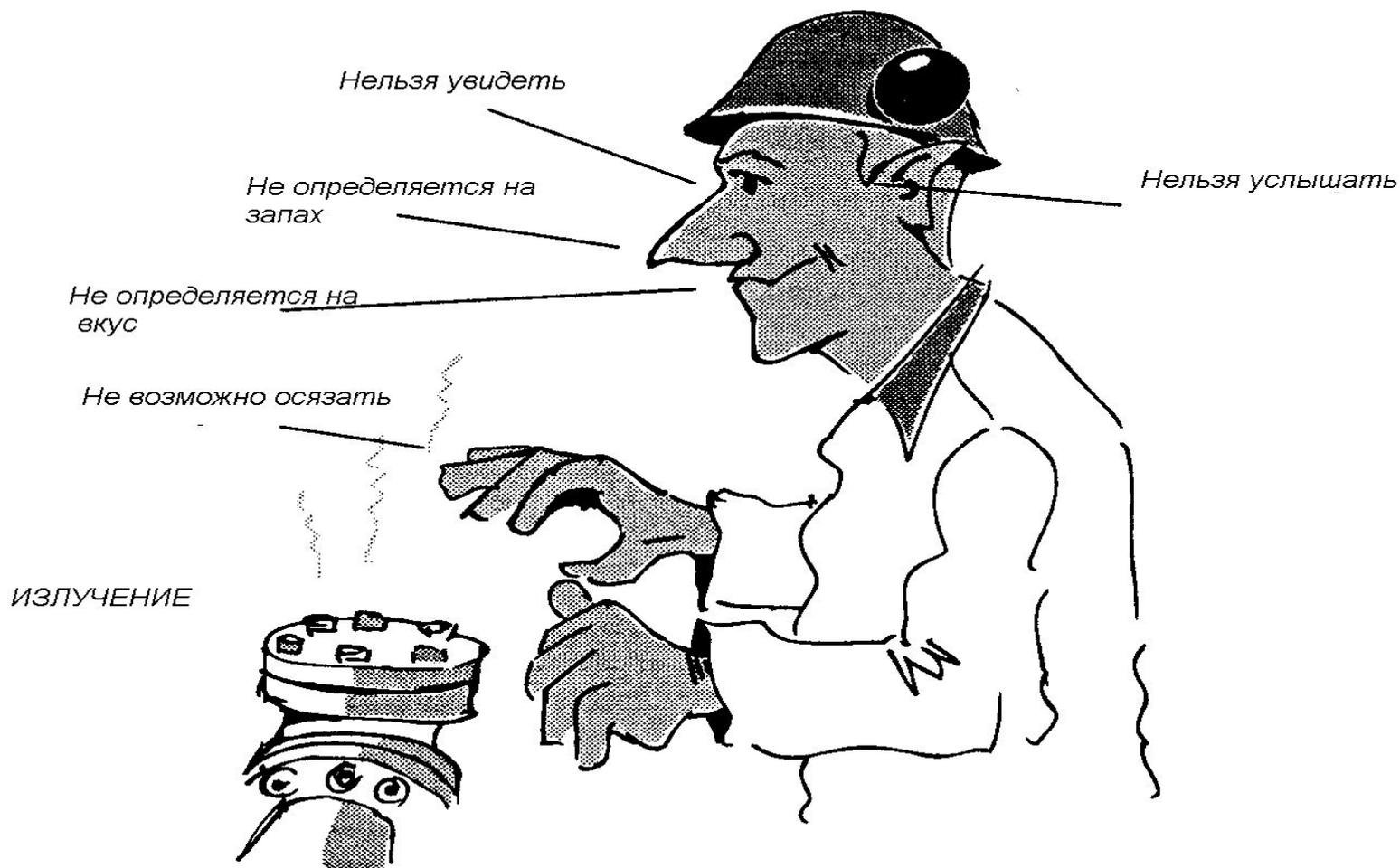
1. Кутьков В.А., Ткаченко В.В., Романцов В.П. Радиационная защита персонала организаций атомной отрасли. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.
2. Романцов В.П., Романцова И.В., Ткаченко В.В. **Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений.** – Обнинск: ИАТЭ, 2012.
3. Романцов В.П., Романцова И.В., Ткаченко В.В. **Сборник лабораторных работ по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений.** Издание 2-е, дополненное и переработанное. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2010. – 132 с.
4. Романцова И.В. Радиоактивные аэрозоли. – Обнинск: ИАТЭ, 2005.



Дозиметрия ионизирующих излучений – самостоятельный раздел ядерной физики, в котором рассматриваются свойства ИИ, физические величины, характеризующие поле излучения или взаимодействие излучения с веществом, принципы и методы определения этих величин.

Ионизирующее излучение (ИИ)

– любое излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к образованию в этом веществе ионов разного знака.



Воздействие ИИ на человека

Естественные и искусственные ИСТОЧНИКИ

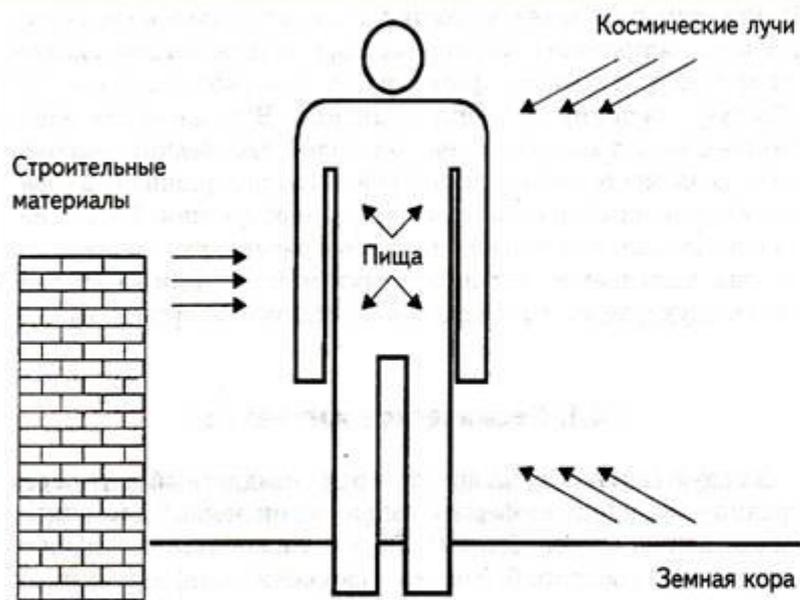
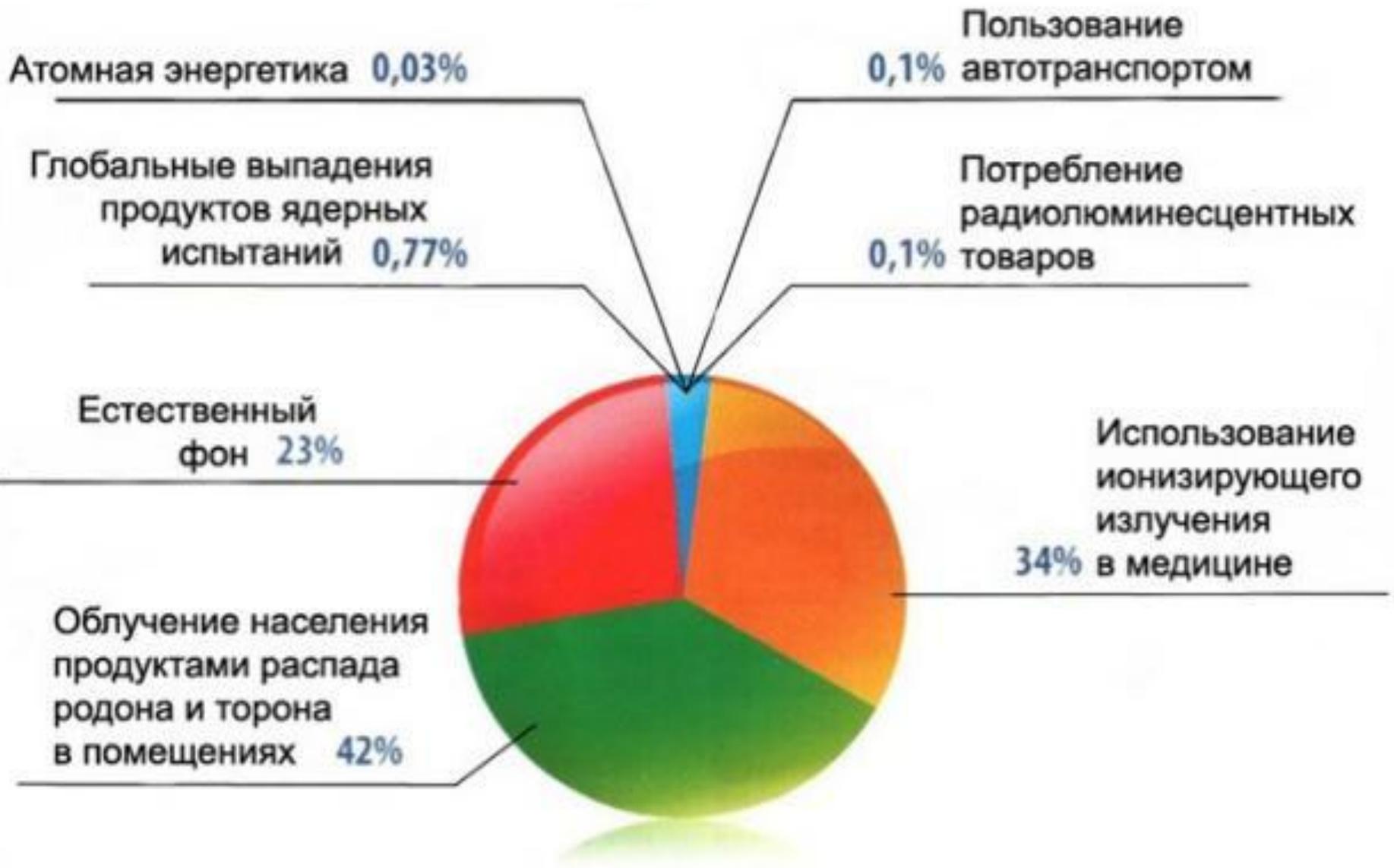


Рис. 7. Иллюстрация действия основных компонентов естественного радиационного фона: а) космических лучей; б) радиоактивности земной коры; в) радиоактивности, исходящей из строительных материалов; г) радиоактивности, содержащейся в пище.

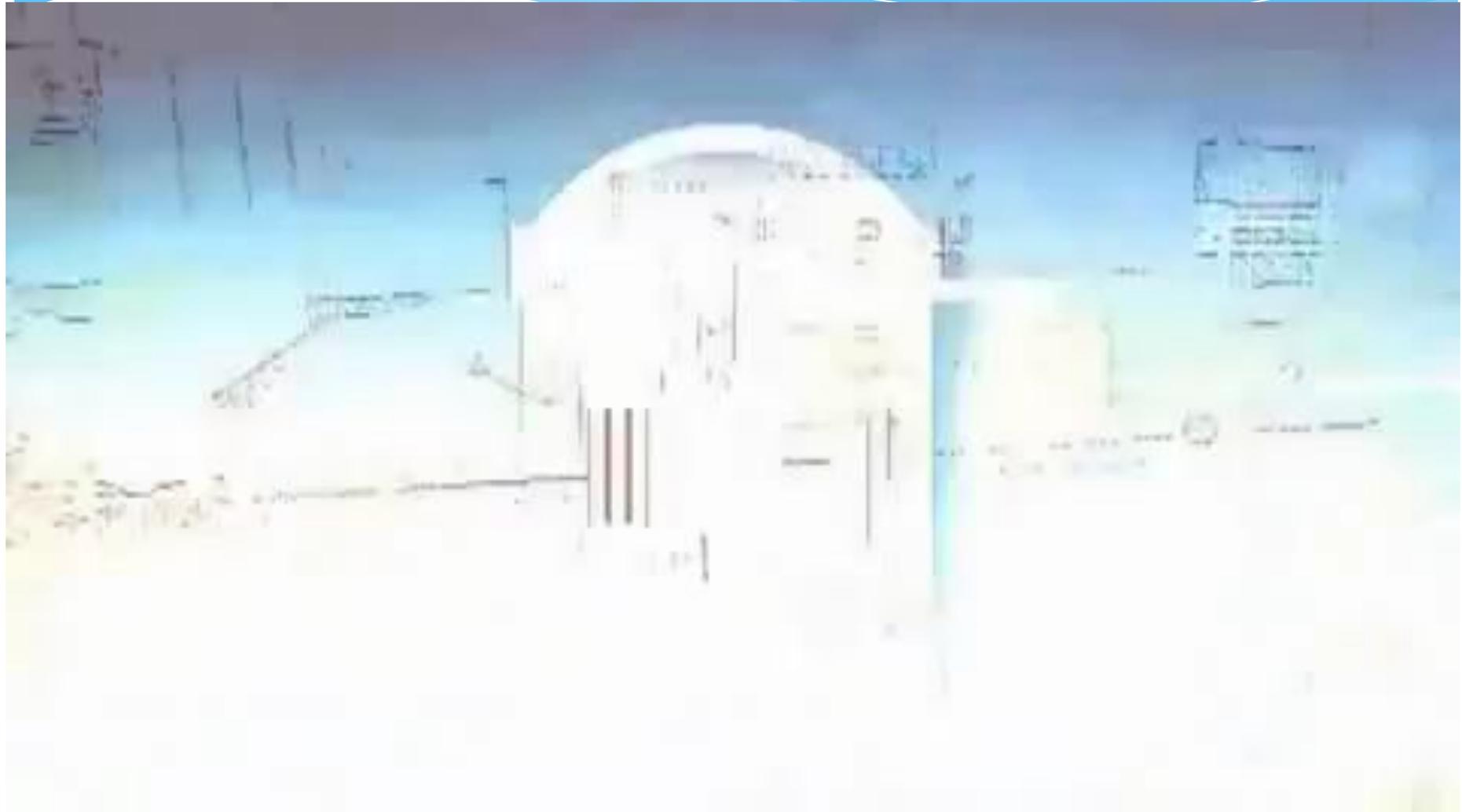


Рис. 11. Искусственные источники радиации, воздействующие на человека.



Источники общего радиационного фона

Схема выработки электроэнергии



Экологические преимущества ядерной энергетики

ТЭС	АЭС
3,5 млн.т угля, 7000 т угля/сутки	1,5 т обогащенного U (1000 т урановой руды), 80 кг урана/сутки
6 млн. т CO ₂ в атмосферу	Не выделяют
50 тыс.т SO ₂ , 30 тыс.т NO _x	Не образуются
100 тыс.т золы 400 тыс.т шлака 400 т тяжелых металлов в золе	2 т РАО (~50 м ³), из них несколько м ³ очень радиоактивны

Распределение полной дозы в результате Чернобыльской аварии

52%	Европейские страны
37%	Территория быв СССР
10%	Азия
1%	Африка
0,3%	Северная и Южная Америка

Полная ожидаемая эффективная доза
более 1 млн чел.-Зв

Загрязнение земной поверхности

- Из сельскохозяйственного оборота выведено: около **5 млн га земель**
- Радиус зоны отчуждения вокруг АЭС: **30 км**

Общая площадь пострадавших регионов, тыс. кв. км



Карта радиоактивного загрязнения нуклидом цезий-137, наиболее долгоживущим вредным веществом, образовавшимся в результате аварии



Ки (кюри) – внесистемная единица измерения активности. Радиоактивность вещества равна 1 Ки, если в нем каждую секунду происходит $3,7 \times 10^{10}$ радиоактивных распадов

Средние дозы, полученные разными категориями населения



Ликвидаторы

👤 600 000 чел.

1986—1989 г.

~100 мЗв

Эвакуированные

👤 116 000 чел.

1986 г.

33 мЗв

Жители зон со

«строгим контролем»

👤 270 000 чел.

1986—2005 г.

>50 мЗв

Жители других загрязненных зон

👤 5 000 000 чел.

1986—2005 г.

10–20 мЗв

мЗв (миллизиверт) – одна тысячная доля зиверта. Зиверт – единица измерения количества энергии, поглощенной организмом под воздействием излучения. Через другие единицы измерения зиверт выражается следующим образом: $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж} / \text{кг}$. Естественное фоновое излучение в среднем равно 2,4 мЗв/год

Страны, где обнаружены неопасные следы радиации из Японии



Радиоактивные изотопы, утечка которых происходит на АЭС «Фукусима»

Зарегистрированы в ряде стран мира

Изотоп	Период полураспада
Йод-131	8 дней
Йод-132	2,3 часа
Теллур-132	3,2 дня
Цезий-134	2 года
Цезий-137	30 лет

Зарегистрированы в образцах почвы из окрестностей АЭС «Фукусима»

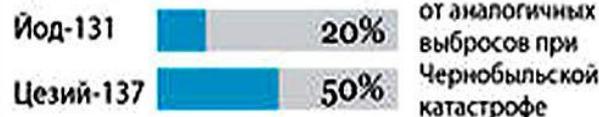
Плутоний-238	87,7 лет
Плутоний-239	24 110 лет
Плутоний-240	6 564 года

УГРОЗЫ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НЕТ

Концентрация обнаруженных изотопов в сотни раз ниже допустимого уровня, а поэтому не опасна

Первые 4 дня после аварии

Выброс радиоактивных веществ



По оценке австрийского Центрального института метеорологии и геодинамики



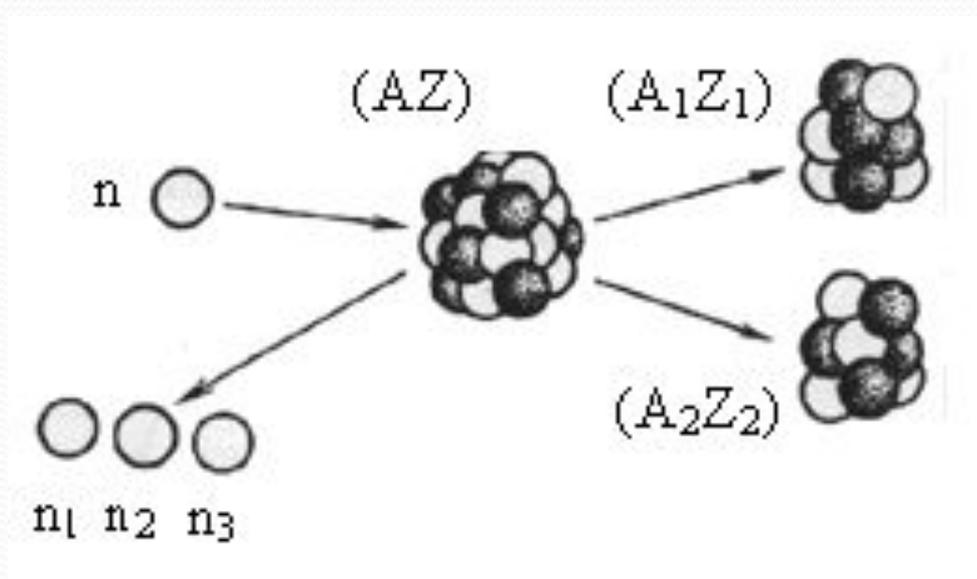
Изотопы естественного урана

Изотоп	Содержание в природном уране, %	Радиоактивность в природном уране	Период полураспада
U-238	99,284	47,9	4,46 млрд лет
U-235	0,711	2,3	704 млн лет
U-234	0,0055	49,8	245 тыс. лет

Диоксид урана (UO_2) – топливные таблетки

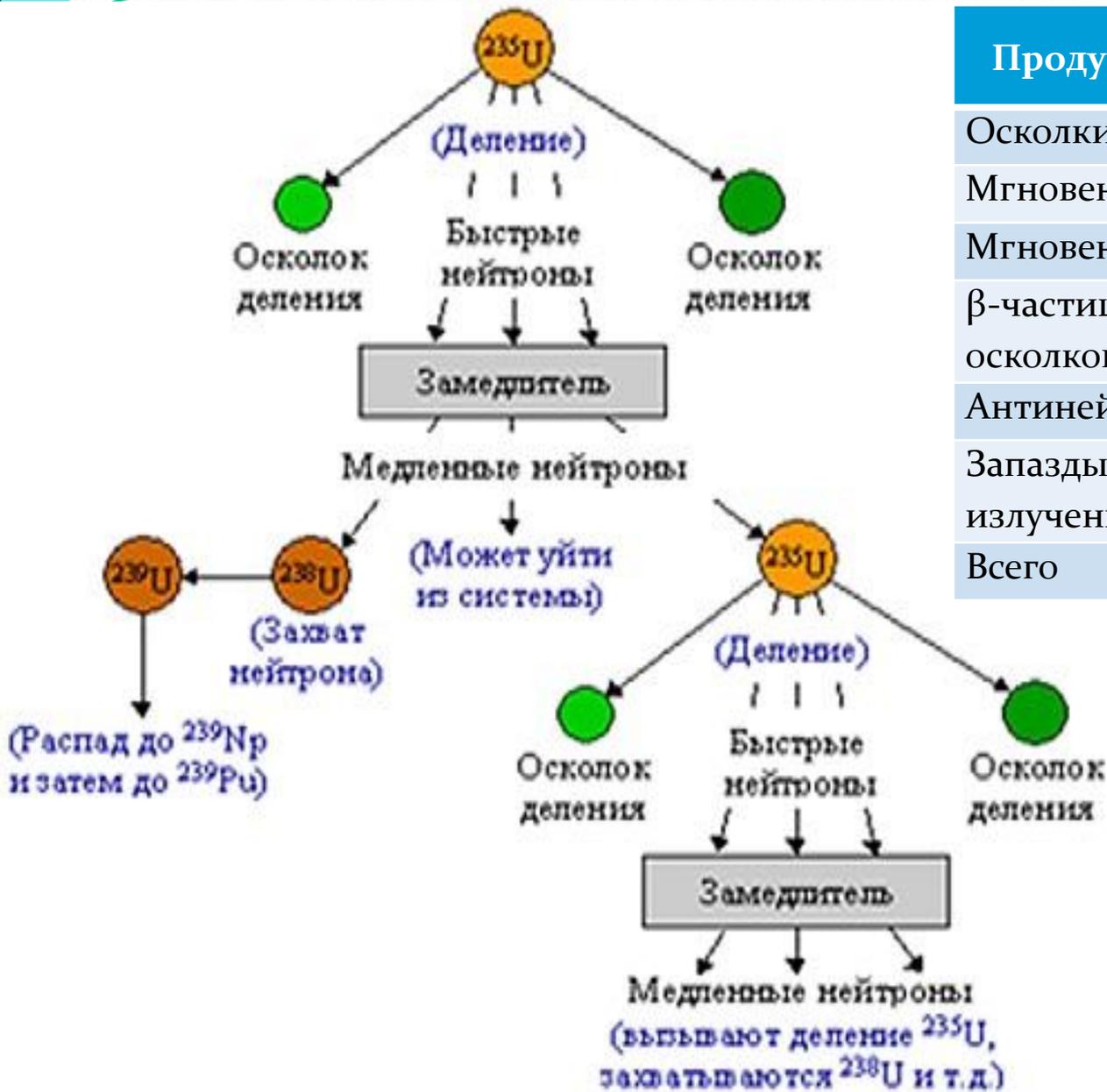


Важнейшей ядерной реакцией, на применении которой основана работа ядерного реактора, является (n, f) -реакция – реакция деления под действием нейтронов, в результате которой выделяется огромная энергия



Осколки:
80% энергии





Продукты деления ^{235}U	Энергия, МэВ
Осколки деления	165
Мгновенные нейтроны	5
Мгновенное γ -излучение	8
β -частицы (при распаде осколков деления)	9
Антинейтрино	10
Запаздывающее γ -излучение	7
Всего	~ 200



Количество атомных блоков по странам

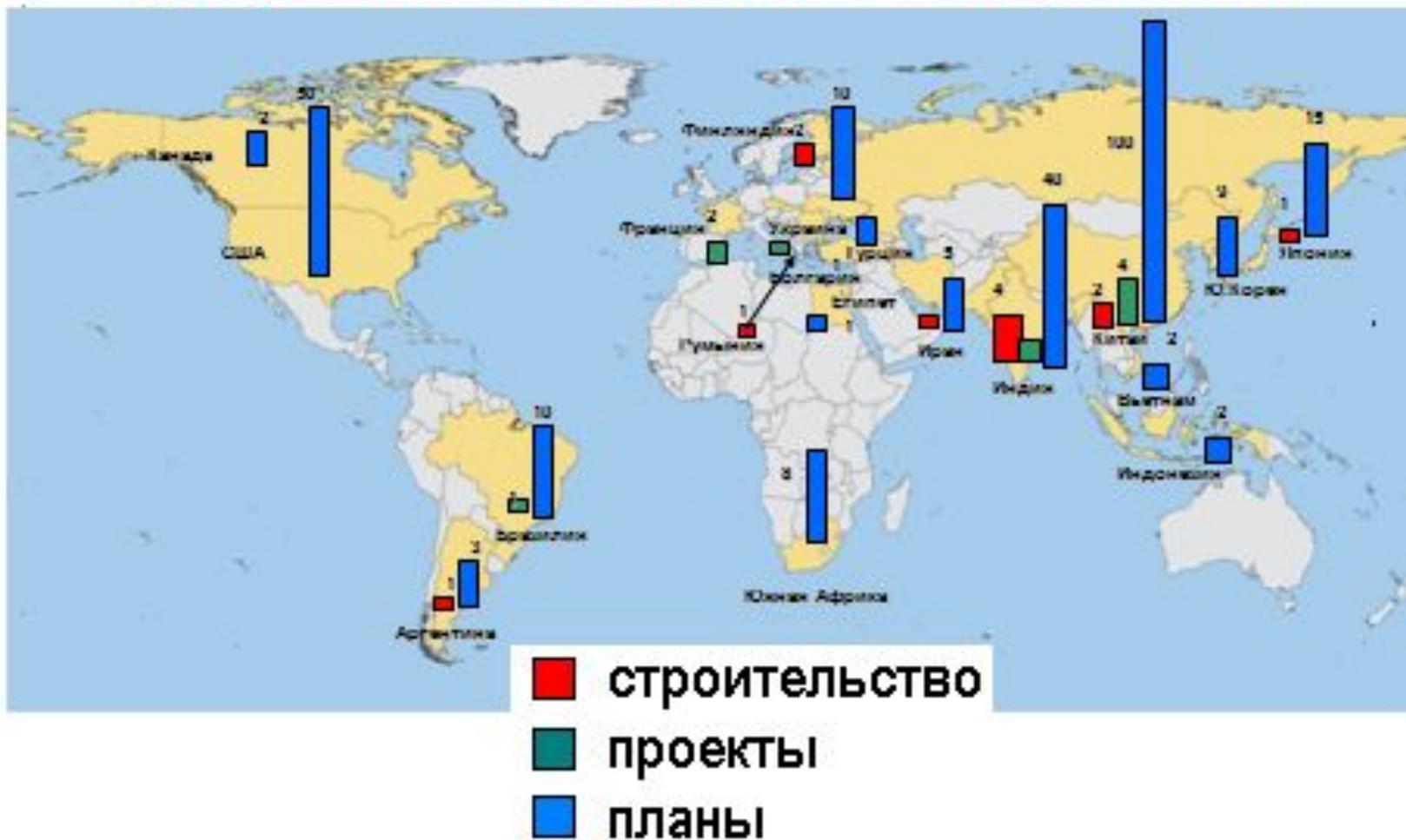
Страна	Количество атомных блоков
США	104
Франция	59
Япония	54
Англия	33
Россия	31 +10 (2015 г.)

Атомные станции России

АЭС	Кол-во блоков	Годы ввода в эксплуатацию	Годы вывода из эксплуатации
Балаковская (ВВЭР-1000)	4	1985-1993	2015-2023
Белоярская (БН-600)	1	1980	2010 +15
Билибинская (ЭГП-6)	4	1974-1976	2009-2011 +15
Калининская (ВВЭР-1000)	3	1984-2005	2014-2035
Кольская (ВВЭР-440)	4	1973-1981	2008-2011 +15
Курская (РБМК-1000)	4	1976-1985	2011-2015 +15
Ленинградская (РБМК-1000)	4	1973-1981	2008-2011 +15
Ново-Воронежская (ВВЭР-440, 1000)	3	1971-1980	2010-2016 +20
Смоленская (РБМК-1000)	3	1982-1990	2012-2020
Волгодонская (ВВЭР-1000)	1	2002	2032



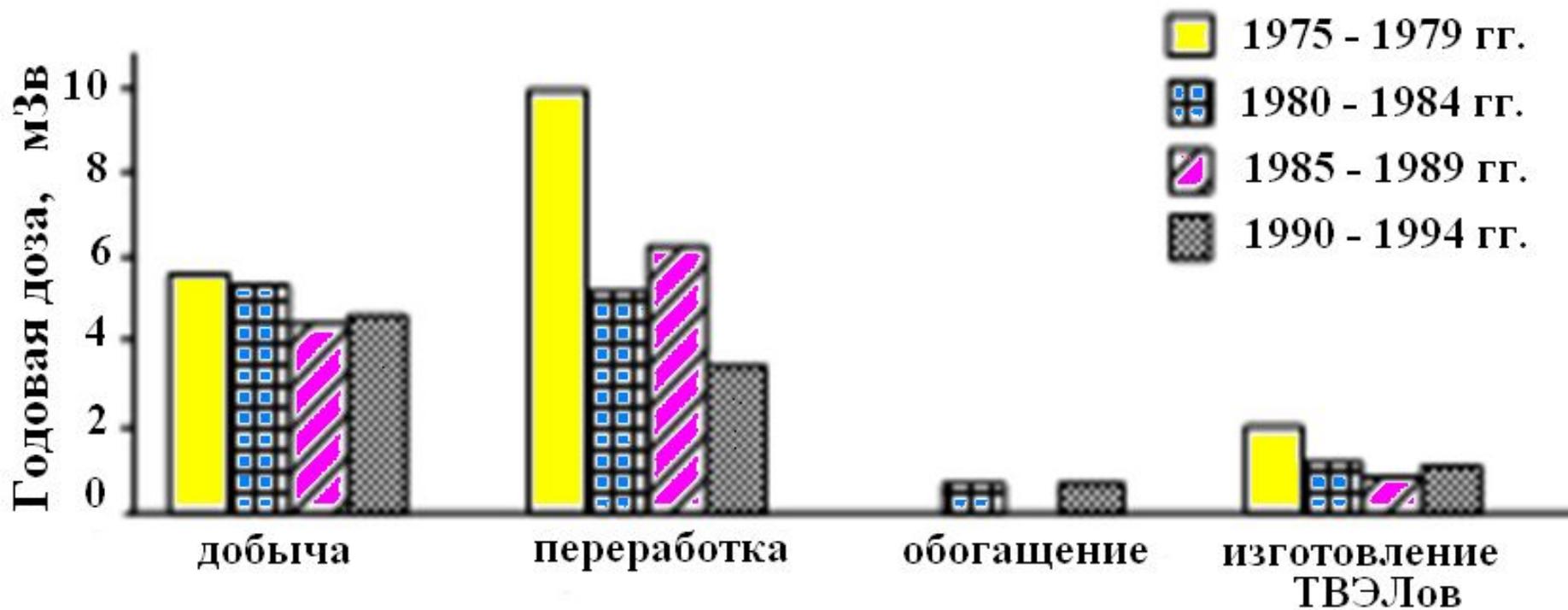
Программы ввода АЭС в мире, ГВт



Структура ЯТЦ

Предприятие	Деятельность
Рудник	Добыча урановой руды
Гидрометаллургический завод	Механическая обработка руды дробление, измельчение. Выщелачивание, экстракция из растворов
Аффинажный завод	Очистки уранового сырья, прокаливание, получение очищенной U_3O_8
Газодиффузионный завод	Получение UF_6 , центрифугирование, получение обогащенной UO_2
Завод по изготовлению ТВЭЛов	Прессование, спекание, упаковка топлива в оболочку. Герметизация ТВЭЛа изготовление ТВС
АЭС, мощность 1 ГВт(эл)	Загрузка ТВС в активную зону, извлечение отработавших ТВС и их установка в хранилище
Радиохимический завод	Механическое разделение ТВС, растворение оболочек и топлива, экстракция урана и плутония из растворов, переработка отходов

Среднегодовые эффективные дозы персонала на стадиях ЯТЦ



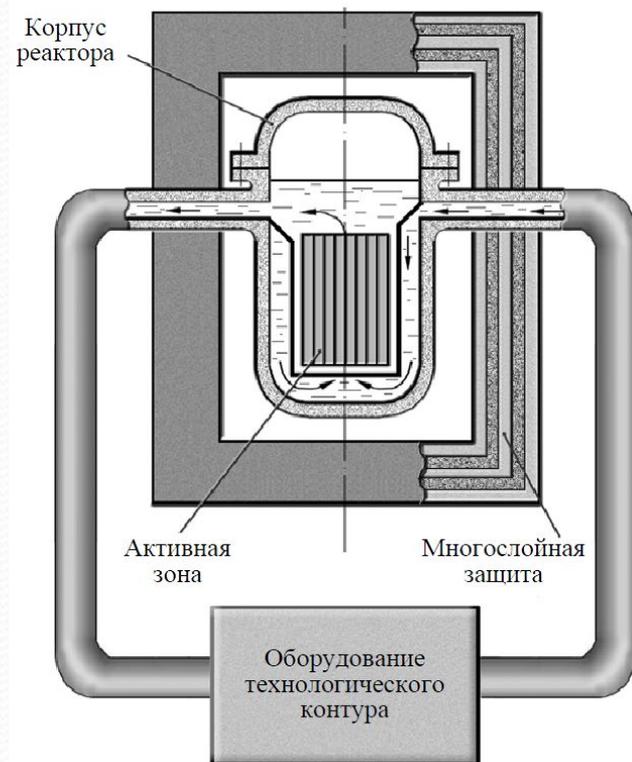
Этапы получения ядерной энергии

- 1. Добыча урана (тория) и изготовление свежего ядерного топлива** - извлечение природных радионуклидов из-под природных барьеров: основной риск связан с *радоном и радием*
- 2. Облучение ядерного топлива** в ядерном реакторе, в процессе которого происходит генерация трех новых видов радионуклидов: *искусственные актиниды, продукты деления, продукты активации.*
- 3. Охлаждение облученного топлива и его переработка.** Большая часть активности обусловлена *ядрами с периодом полураспада от 1 до 30 лет*
- 4. Охлаждение продуктов деления, продуктов активации и актинидов,** которые не удалось вернуть в топливный цикл, перед окончательным захоронением. Большая часть активности обусловлена *ядрами с периодом полураспада от 30 до 1000 лет*
- 5. Окончательное захоронение продуктов деления, активации и актинидов или ОЯТ.** Большая часть активности этих продуктов обусловлена *ядрами с периодом полураспада больше 1000 лет.*

Источники излучения на АЭС

Вне зависимости от типа реактора, установленного на атомной станции, ее технологической схемы, основными источниками излучения на АЭС являются:

- активная зона реактора
- технологический контур
- защита реактора



Источники излучения на АЭС

Вид излучения	Работающий реактор	Остановленный реактор
Активная зона		
Нейтроны	Мгновенные	Фотонейтроны
γ -излучение	Мгновенное. Короткоживущих продуктов деления. Захватное. Неупругого рассеяния нейтронов	Долгоживущих продуктов деления. Продуктов активации
Защита		
Нейтроны	Фотонейтроны	Фотонейтроны
γ -излучение	Захватное. Неупругого рассеяния. Продуктов активации	Продуктов активации
Технологический контур		
Нейтроны	Запаздывающие	Фотонейтроны
γ -излучение	Захватное. Продуктов активации. Неупругого рассеяния нейтронов. Продуктов реакций. Тормозное излучение. Аннигиляционное	Долгоживущих продуктов деления. Продуктов активации. Тормозное излучение. Аннигиляционное

Источники радиоактивного загрязнения при нормальной эксплуатации АЭС

Продукты деления

Продукты активации

Активация продуктов коррозии происходит тепловыми нейтронами по реакции (n, γ)

и в отдельных случаях на железе, никеле, кобальте — быстрыми нейтронами.

Миграция радионуклидов на АЭС

Благородные газы (Ar, Xe, Kr), тритий, летучие (I, Cs) и нелетучие (Sr, Rb) вещества

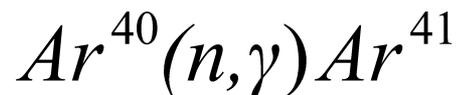
Радиоактивные отходы АЭС

Газообразные отходы

Жидкие радиоактивные отходы

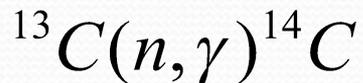
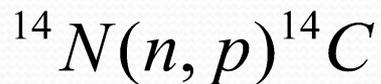
Твердые отходы

Продукты активации

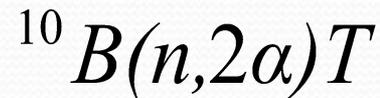
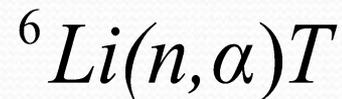
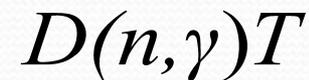


в воздухе,
в охлаждающей воде

Замедлитель, теплоноситель



Вода первого контура





Основными факторами радиационного воздействия на персонал являются:



- потоки внешнего ионизирующего излучения



- загрязненность воздуха рабочих помещений радиоактивными газами и аэрозолями



- загрязненность рабочих поверхностей, кожных покровов и спецодежды радиоактивными веществами

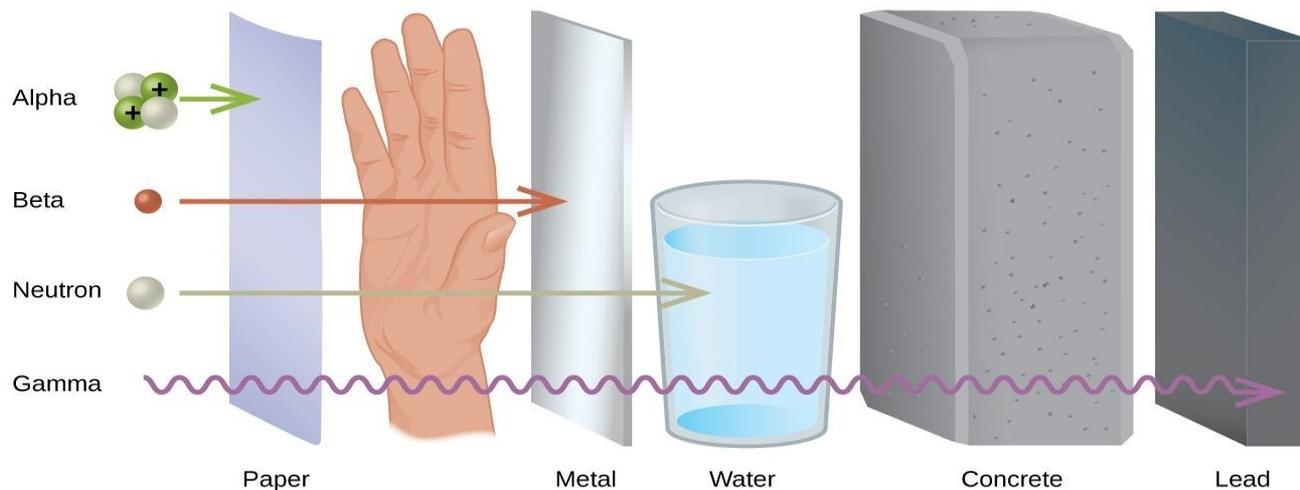


Задачи дозиметрии :

- 1.определение дозы или мощности дозы от различных видов ИИ;
- 2.измерение потоков радиоактивных частиц на поверхности различных объектов;
- 3.измерение активности радиоактивных препаратов;
- 4.определение соотношения между активностью вещества и создаваемой им мощностью дозы.

1. Защита от ИИ

- физические барьеры, снижающие уровень облучения (плотности потока излучения) до предельно допустимого уровня и ниже.



Защитные материалы

Защитой называется любая среда, располагаемая между источником и зоной размещения персонала или оборудования для ослабления потоков ионизирующих излучений. Защита бывает:

- **сплошная** – полностью окружает источники излучения;
- **раздельная** – состоит из *первичной*, окружающей источник излучения, и *вторичной*, предназначенной для защиты от источников излучения, находящихся между ней и первичной защитой;
- **тенева** – размещается между источником излучения и защищаемой областью, размеры которой определяются тенью, создаваемой защитой;
- **частичная** – защита в направлениях с повышенными уровнями облучения.

Защитные материалы

Защитные свойства материалов от **нейтронного излучения** определяются их замедляющей и поглощающей способностью, степенью активации.

Быстрые нейтроны наиболее эффективно замедляются веществами с *малым атомным номером*, такими как графит и водородсодержащие вещества (вода, пластмассы, полиэтилен, парафин).

Для эффективного поглощения **тепловых нейтронов** применяются материалы, имеющие *большое сечение поглощения*: соединения с бором – борная сталь, бораль, борный графит, карбид бора, а также кадмий и специальные сорта бетона.

Гамма-излучение наиболее эффективно ослабляется материалами с *большим атомным номером и высокой плотностью* (свинец, сталь, бетон, свинцовое стекло).

- 
- 2. Защита от ИИ или радиационная защита**
– это комплекс физических, технических и организационных мероприятий, направленных на снижение уровня излучения на заданном объекте, в заданной точке или области пространства до заданной величины.

Технические средства радиационной защиты

Виды и принципы защиты от ионизирующих излучений

Защита временем

Проведение работ, связанных с облучением, в течение минимального времени (принцип ограничения времени пребывания в зоне действия ионизирующих излучений).

Защита расстоянием

Обеспечение во время работ с источниками ионизирующих излучений максимального расстояния от источника до человека (принцип ослабления излучения по мере увеличения расстояния от источника).

Защита экранами

Уменьшение интенсивности излучения при помощи экранов (конструктивно-технологический принцип).



**Методы защиты от ионизирующих излучений
можно разделить на две группы:**

**Методы
коллективной
защиты**

**Методы
индивидуальной
защиты**

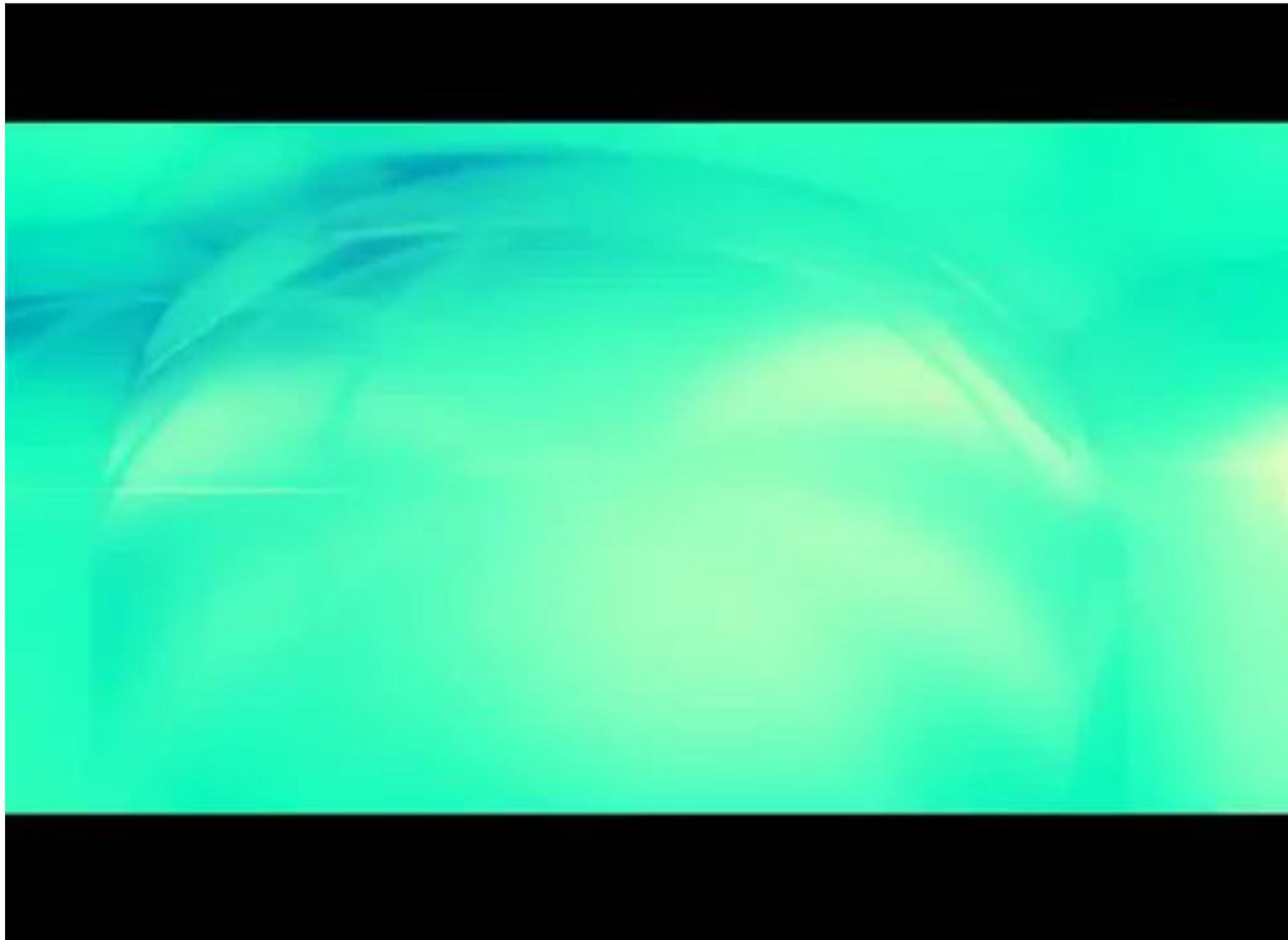
Методы коллективной защиты включают средства и мероприятия, позволяющие обеспечить снижение уровней воздействия ионизирующих излучений на целые группы лиц из числа персонала и населения. К коллективным средствам защиты от ионизирующих излучений относятся:

- стационарные и передвижные защитные экраны;
- дезактивация;
- вентиляция, очистка, канализация;
- система сбора и удаления РАО;
- дистанционное оборудование;
- защитные боксы;
- пылеподавление.



Способы защиты от открытых источников ионизирующих излучений следующие:

- использование принципов защиты, применяемых при работе с источниками излучения в закрытом виде;**
- герметизация производственного оборудования;**
- специальная планировка помещений;**
- применение санитарно-гигиенических устройств и оборудования;**
- использование средств индивидуальной защиты персонала;**
- выполнение правил личной гигиены.**



СИСТЕМА ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Дозиметрические величины

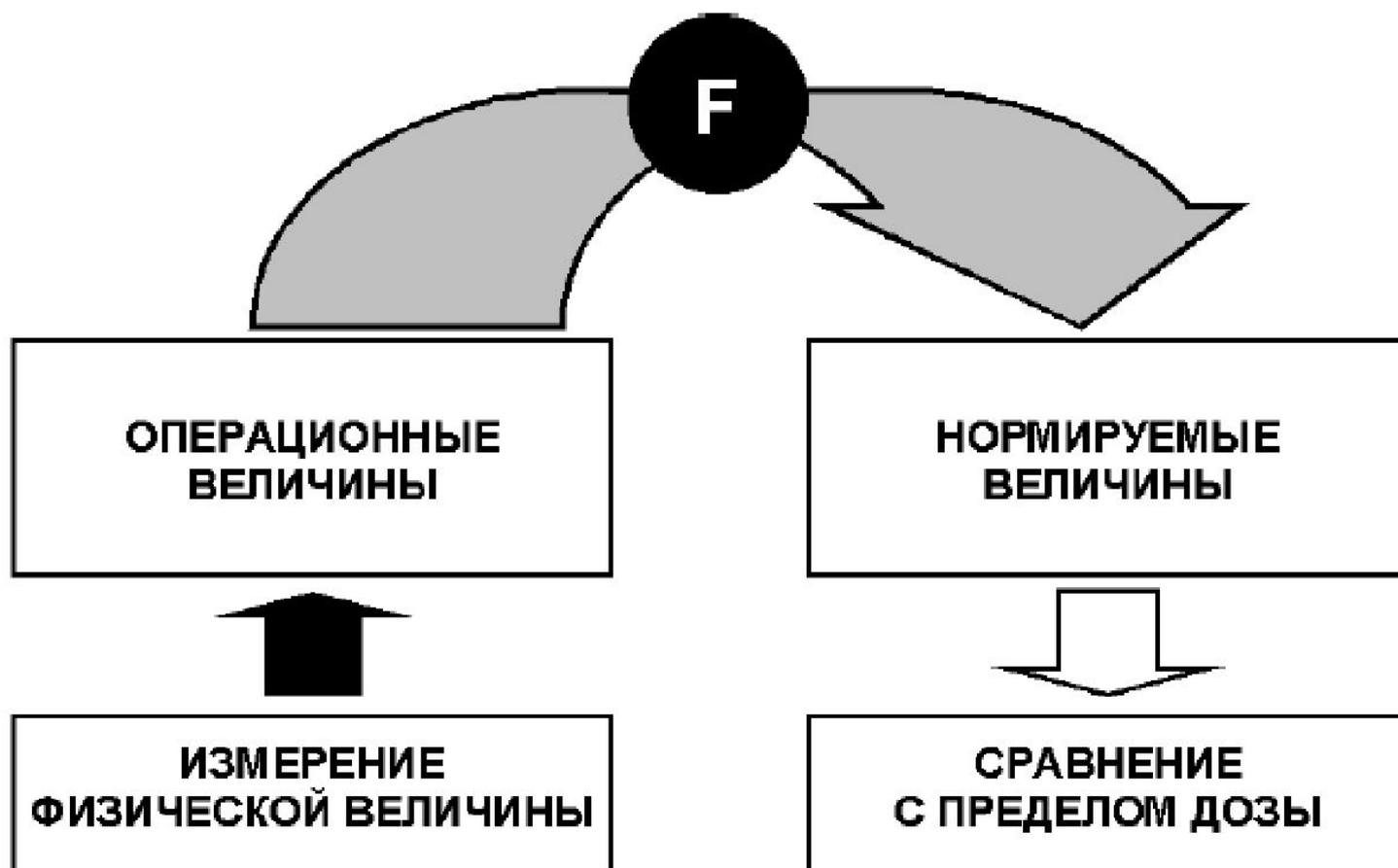
– физические величины, характеризующие поле излучения или взаимодействие излучения с веществом.

- ***Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ)***
- ***Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ)***

Современная система дозиметрических величин:

- **базовые физические величины** – мера воздействия ИИ на вещество;
- **нормируемые величины** – мера ущерба (вреда) от воздействия излучения на человека;
- **операционные величины** – непосредственно определяемые в измерениях величины, предназначенные для оценки нормируемых величин при радиационном контроле.

Связь между величинами, используемыми в радиационной защите и безопасности



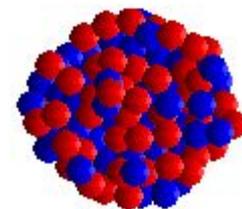
Радиоактивность и ионизирующее излучение

Характеристики источников ИИ

Радиоактивность – это превращение нестабильных ядер в более стабильные.

Это превращение порождает **ионизирующее излучение**, вызывающее воздействие излучения на человека и влияющее на его здоровье.

Радиоактивность – это фундаментальное свойство вещества.



Структура атома



Свойства частиц в составе атома

Частица	Расположение	Заряд	Символ
Нейтрон	Ядро	Нет	${}^1_0\text{n}$
Протон	Ядро	+1	${}^1_1\text{p}$
Электрон	Оболочка вокруг ядра	-1	${}^0_{-1}\text{e}$



Нуклид

Массовое
число

A

Химический
символ

X

Зарядовое
число

Z

N

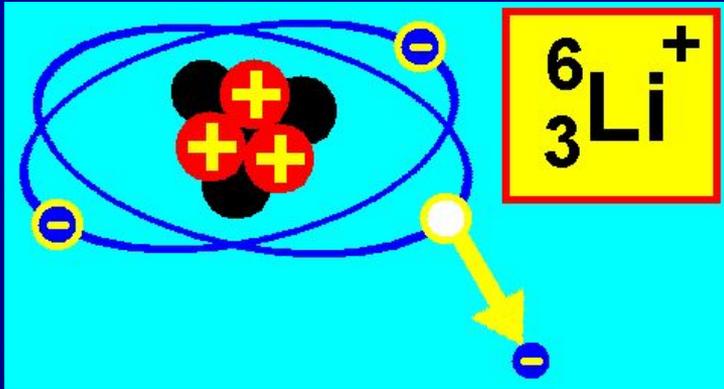
Число
нейтронов

$$A = Z + N$$

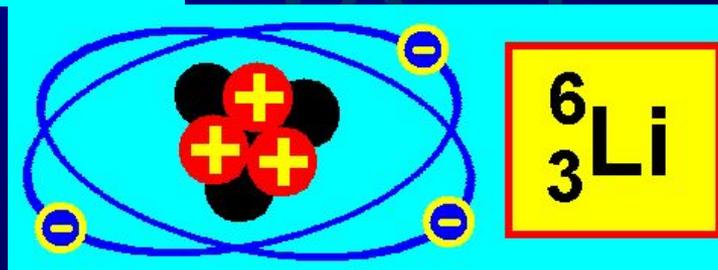
Пример записи:



АТОМ И ИОНЫ

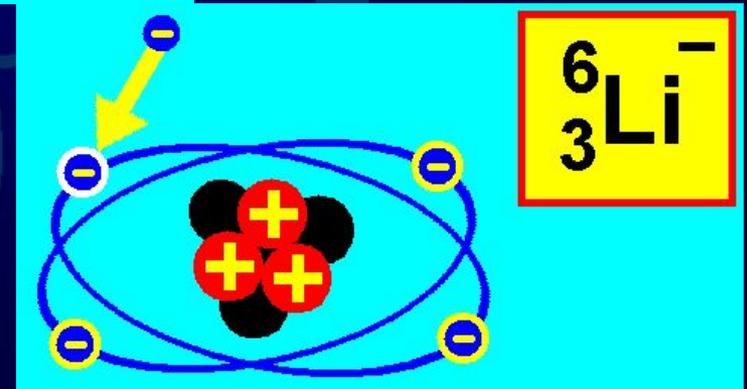


Положительный
ион лития-6



АТОМ
лития-6

Отрицательный
ион лития-6



Периодическая таблица элементов

	I						VII		VIII			
1	(H)						1	H	2	He		
	II						1,0079	ВОДОРОД	4,00260	ГЕЛИЙ		
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne				
	ЛИТИЙ	БЕРИЛЛИЙ	БОР	УГЛЕРОД	АЗОТ	КИСЛОРОД	ФТОР	НЕОН				
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar				
	НАТРИЙ	МАГНИЙ	АЛЮМИНИЙ	КРЕМНИЙ	ФОСФОР	СЕРА	ХЛОР	АРГОН				
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni		
	КАЛИЙ	КАЛЬЦИЙ	СКАНДИЙ	ТИТАН	ВАНАДИЙ	ХРОМ	МАРГАНЕЦ	ЖЕЛЕЗО	КОБАЛЬТ	НИКЕЛЬ		
5	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
	МЕДЬ	ЦИНК	ГАЛЛИЙ	ГЕРМАНИЙ	МЫШЬЯК	СЕЛЕН	БРОМ	КРИПТОН				
6	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd		
	РУБИДИЙ	СТРОНЦИЙ	ИТТРИЙ	ЦИРКОНИЙ	НИОБИЙ	МОЛИБДЕН	ТЕХНЕЦИЙ	РУТЕНИЙ	РОДИЙ	ПАЛЛАДИЙ		
7	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
	СЕРЕБРО	КАДМИЙ	ИНДИЙ	ОЛОВО	СУРЬМА	ТЕЛЛУР	ИОД	КСЕНОН				
8	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt		
	ЦЕЗИЙ	БАРИЙ	ЛАНТАН	ГАФНИЙ	ТАНТАЛ	ВОЛЬФРАМ	РЕНИЙ	ОСМИЙ	ИРИДИЙ	ПЛАТИНА		
9	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
	ЗОЛОТО	РУТУТЬ	ТАЛЛИЙ	СВИНЕЦ	ВИСМУТ	ПОЛОНИЙ	АСТАТ	РАДОН				
10	Fr	Ra	Ac	Ku								
	ФРАНЦИЙ	РАДИЙ	АКТИНИЙ	КУРЧАТОВИЙ								

* лантаноиды

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
ЦЕРИЙ	ПРАЗЕОДИМ	НЕОДИМ	ПРОМЕТИЙ	САМАРИЙ	ЕВРОПИЙ	ГАДОЛИНИЙ	ТЕРБИЙ	ДИСПРОЗИЙ	ГОЛЬМИЙ	ЭРБИЙ	ТУЛИЙ	ИТТЕРБИЙ	ЛЮТЕЦИЙ

** актиноиды

Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	(No)	(Lr)
ТОРИЙ	ПРОТАКТИНИЙ	УРАН	НЕПУНИЙ	ПЛУТОНИЙ	АМЕРИЦИЙ	КЮРИЙ	БЕРКЛИЙ	КАЛИФОРНИЙ	ЭЙНШТЕЙНИЙ	ФЕРМИЙ	МЕНДЕЛЕВИЙ	(НОБЕЛИЙ)	(ЛОУРЕНСИЙ)

Стабильные и нестабильные ядра

- Некоторые комбинации нейтронов и протонов в ядре являются **стабильными** и могут существовать очень длительное время (**более 10^{12} лет**). Атомы с такими ядрами называются стабильными атомами.
- Остальные являются **нестабильными** и имеют *избыточную энергию*. Атомы с такими ядрами называются радиоактивными атомами.
- Если атом нестабилен, то со временем спонтанно меняется состояние его ядра, и ядро распадается на фрагменты, состоящие из субатомных частиц.

Классификация нуклидов

Изотопы – нуклиды одного и того же элемента, которые имеют равное число протонов, но различное число нейтронов и, следовательно, различную атомную массу.

Изомеры – нуклиды, имеющие одинаковое массовое число, но отличающиеся энергетическими состояниями ядра. Изомеры имеют различную внутреннюю энергию и типы ядерного распада.



1.2. Радиоактивность

Радиоактивность – это ядерное превращение:

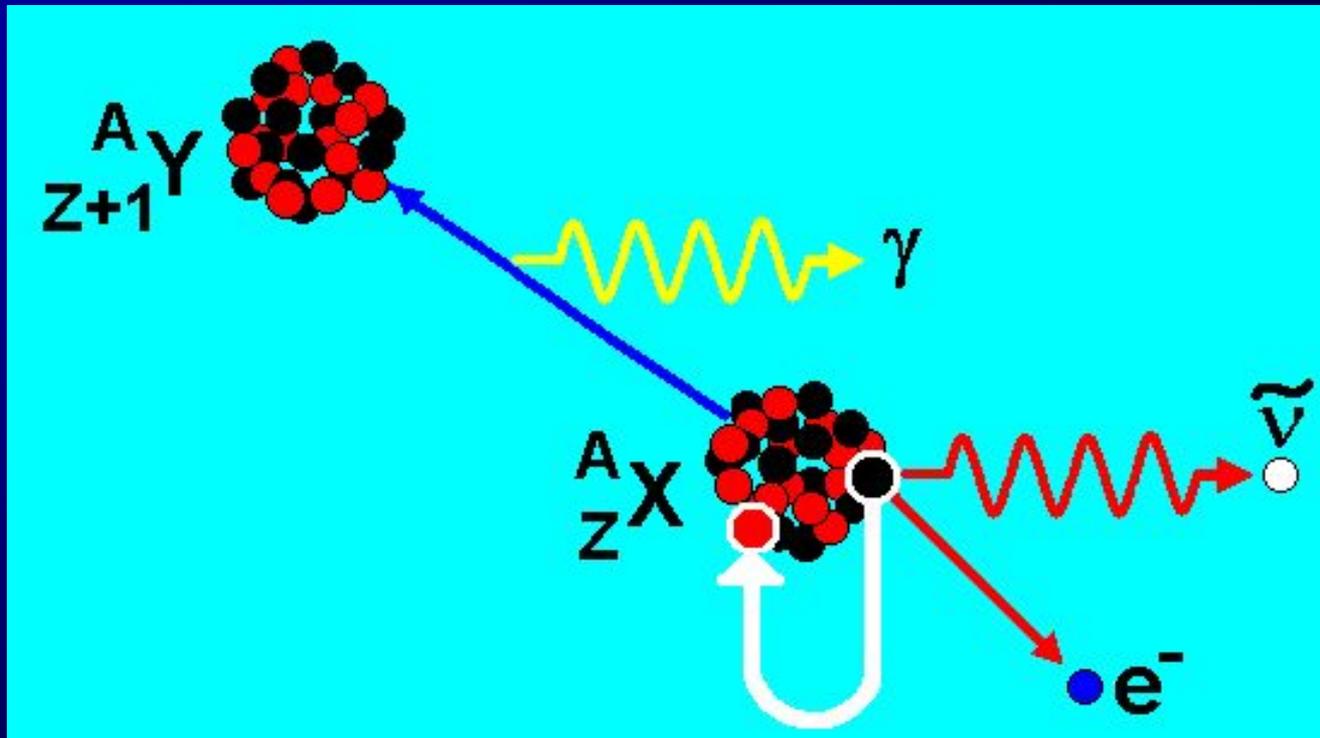
- **ядерное, потому что оно возникает в ядре атома;**
- **превращение, потому что начальное и результирующие ядра различны.**

Другими словами, ядерные превращения есть распады ядер.

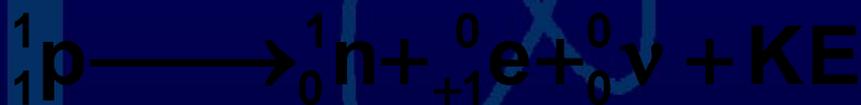
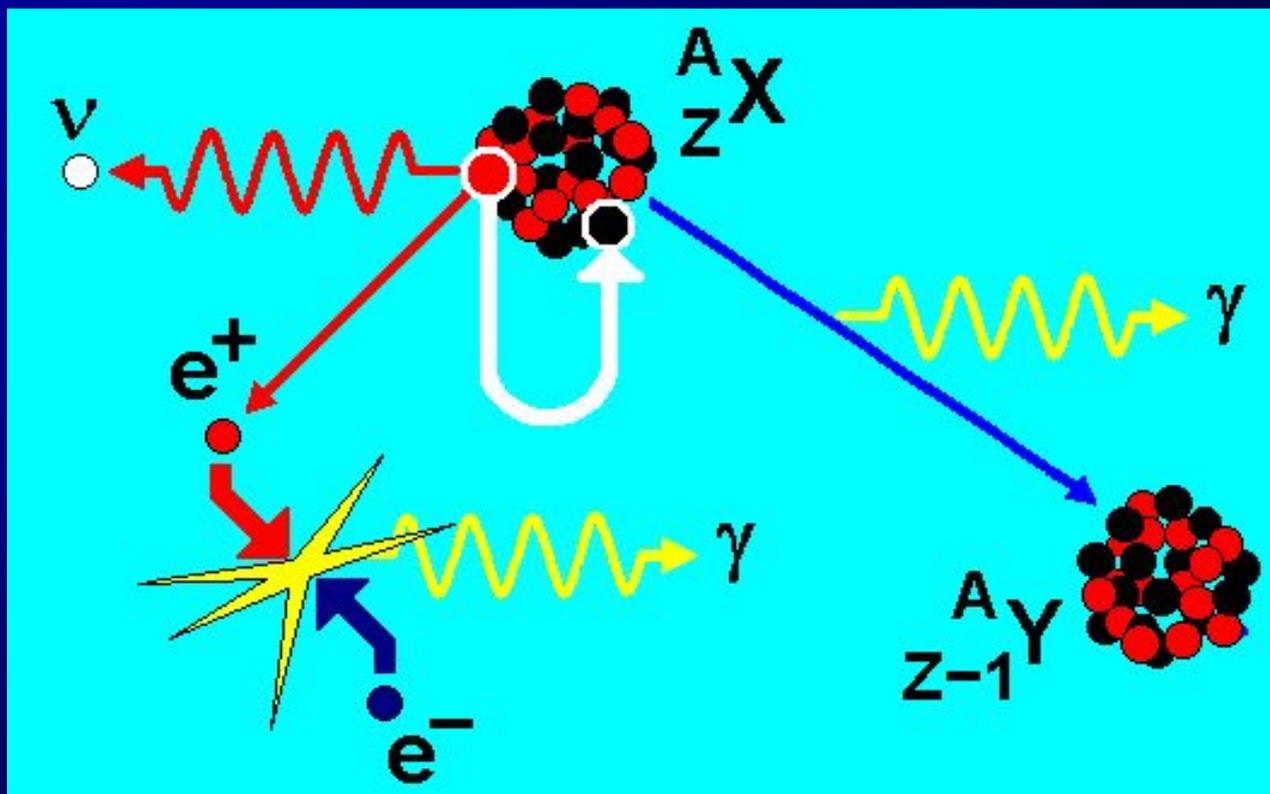
Радиоактивный атом при распаде ядра испускает излучение.



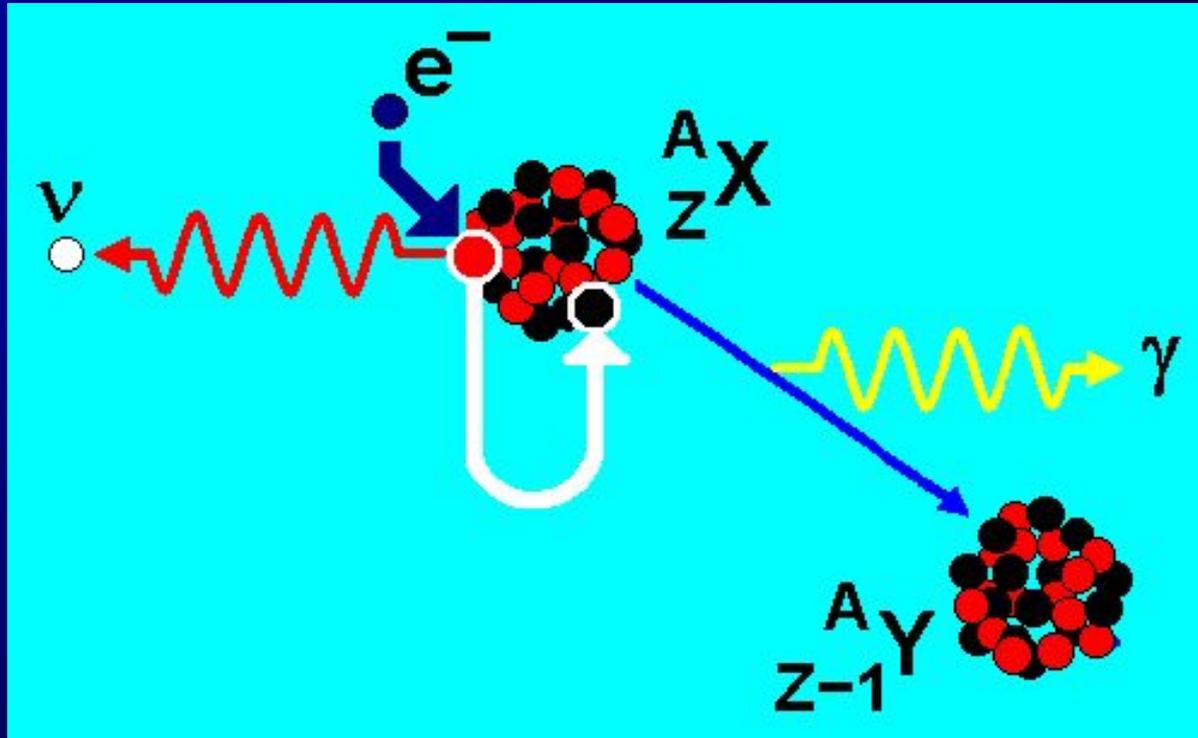
Бета-минус или бета-распад



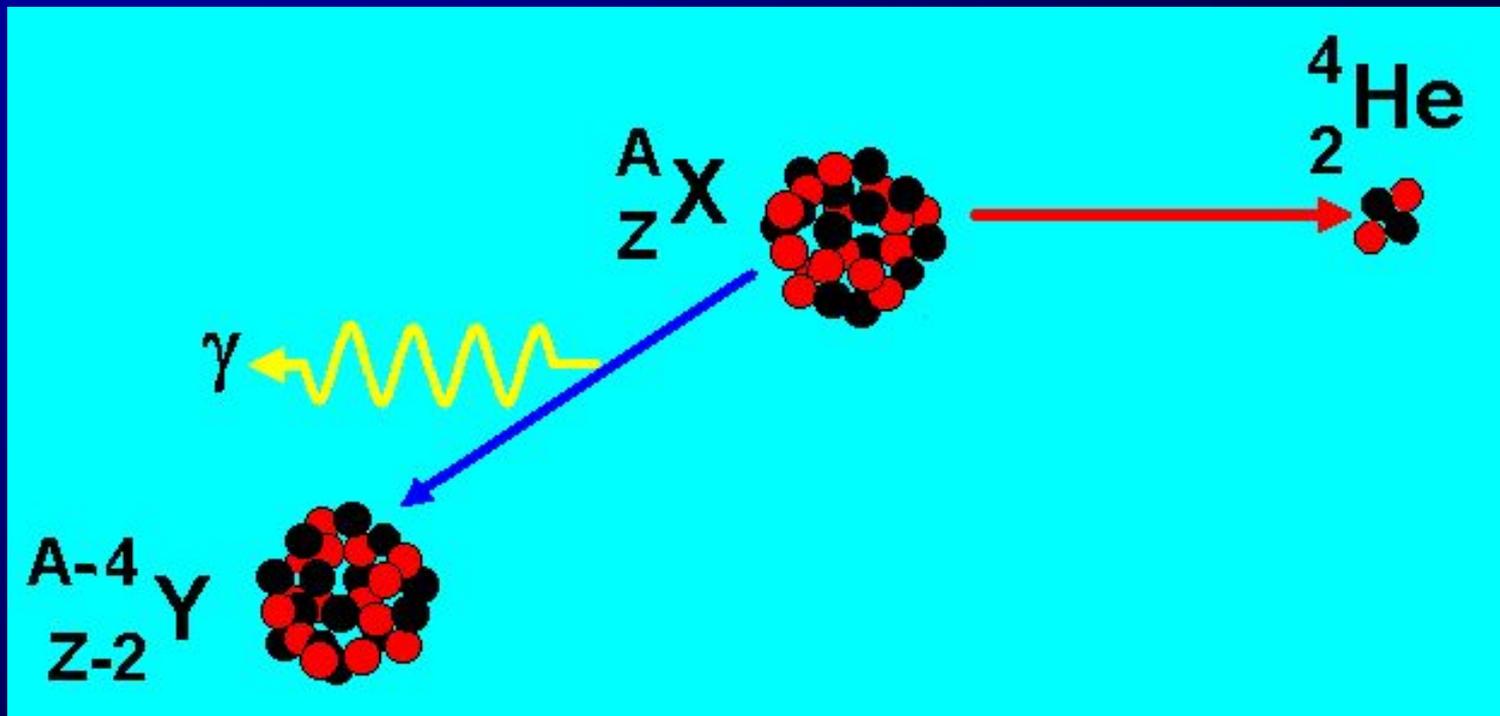
Бета-плюс или позитронный распад



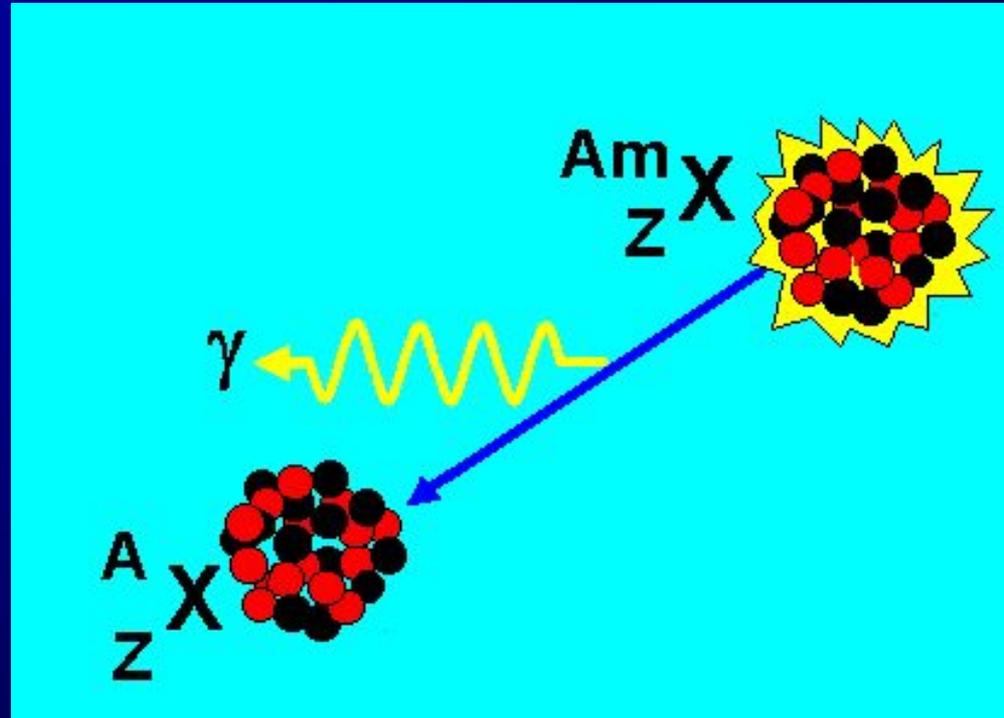
Электронный захват



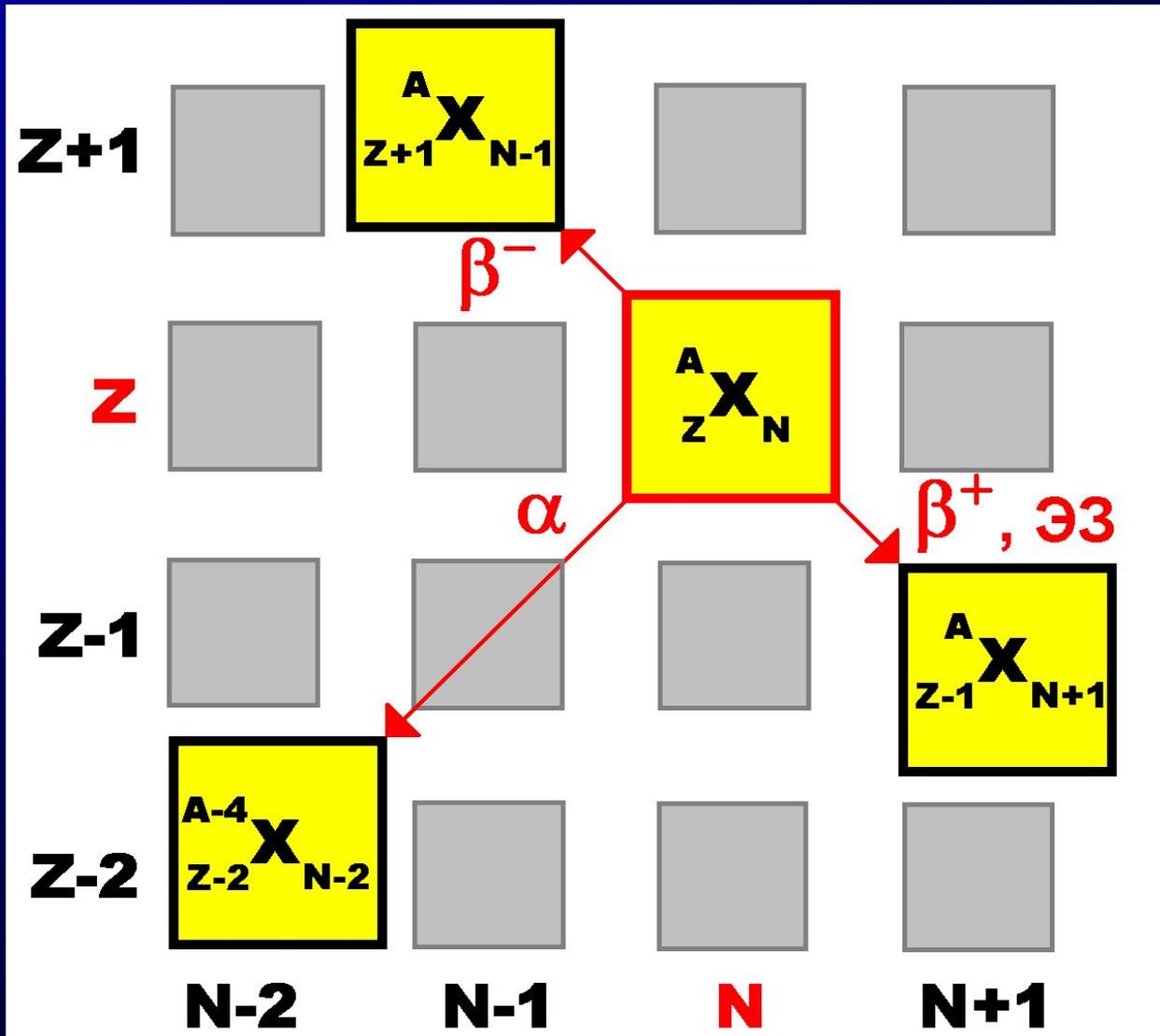
Альфа-распад



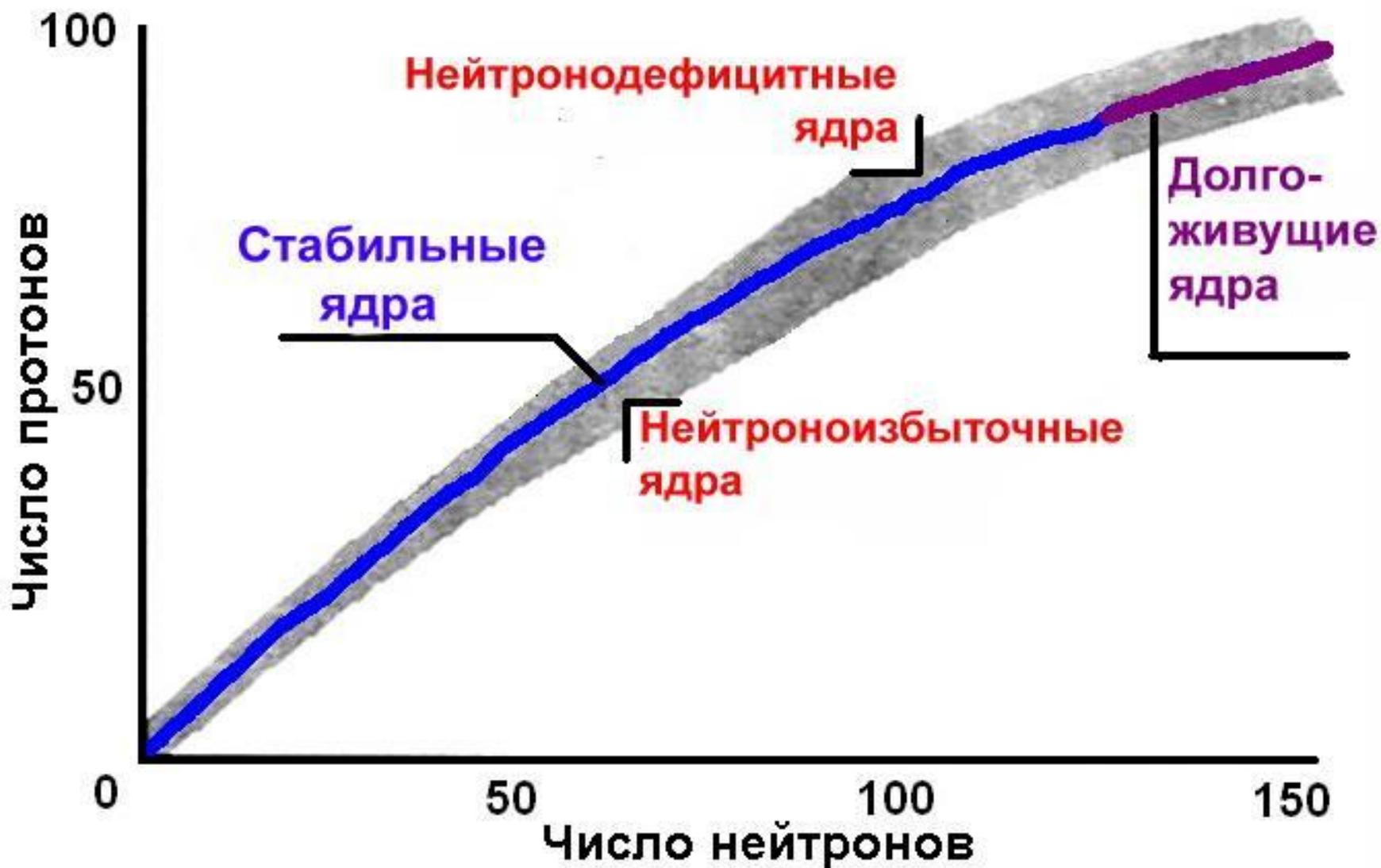
Изомерный переход



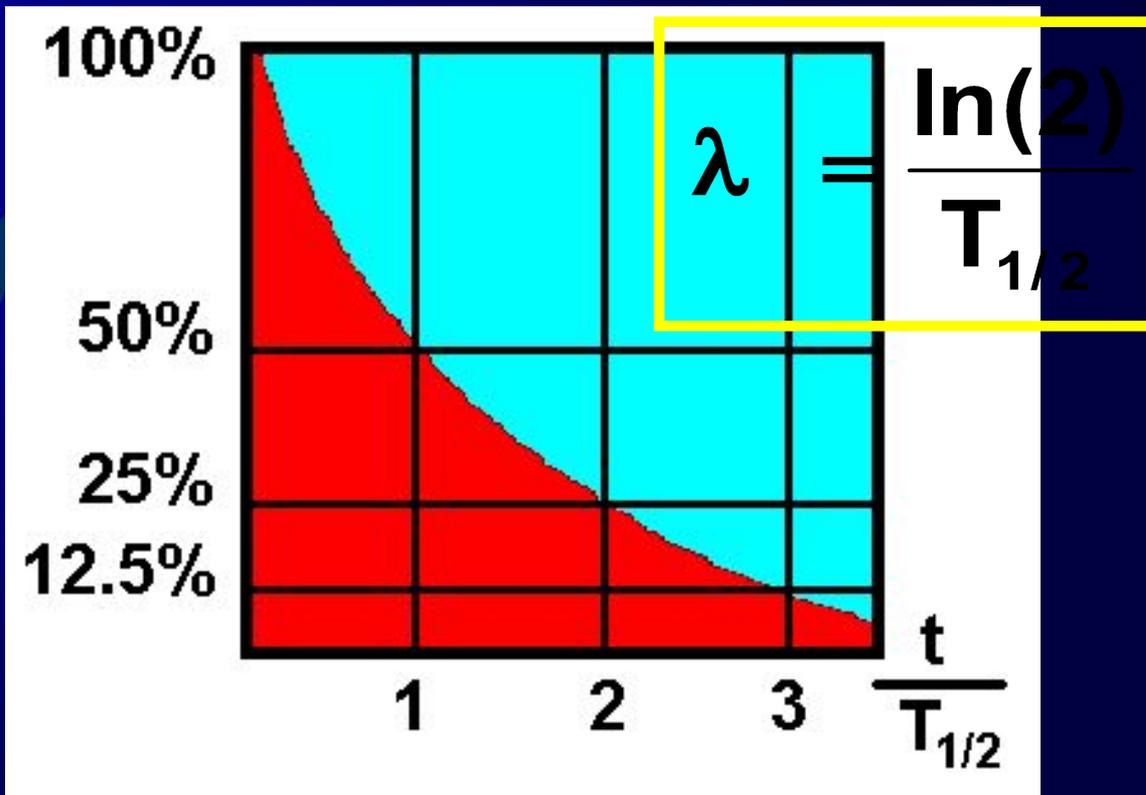
Преобразование ядер при их превращениях



Область стабильности



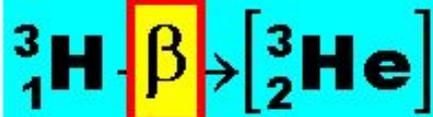
Концепция периода полураспада



Период полураспада ($T_{1/2}$) – среднее время, необходимое для уменьшения активности радионуклида наполовину



Цепочки радионуклидов



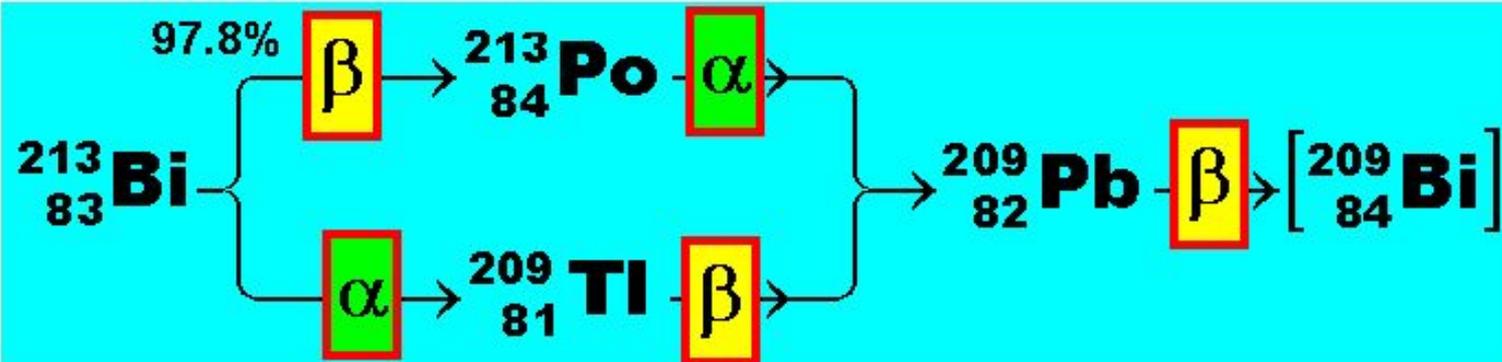
Элементарная



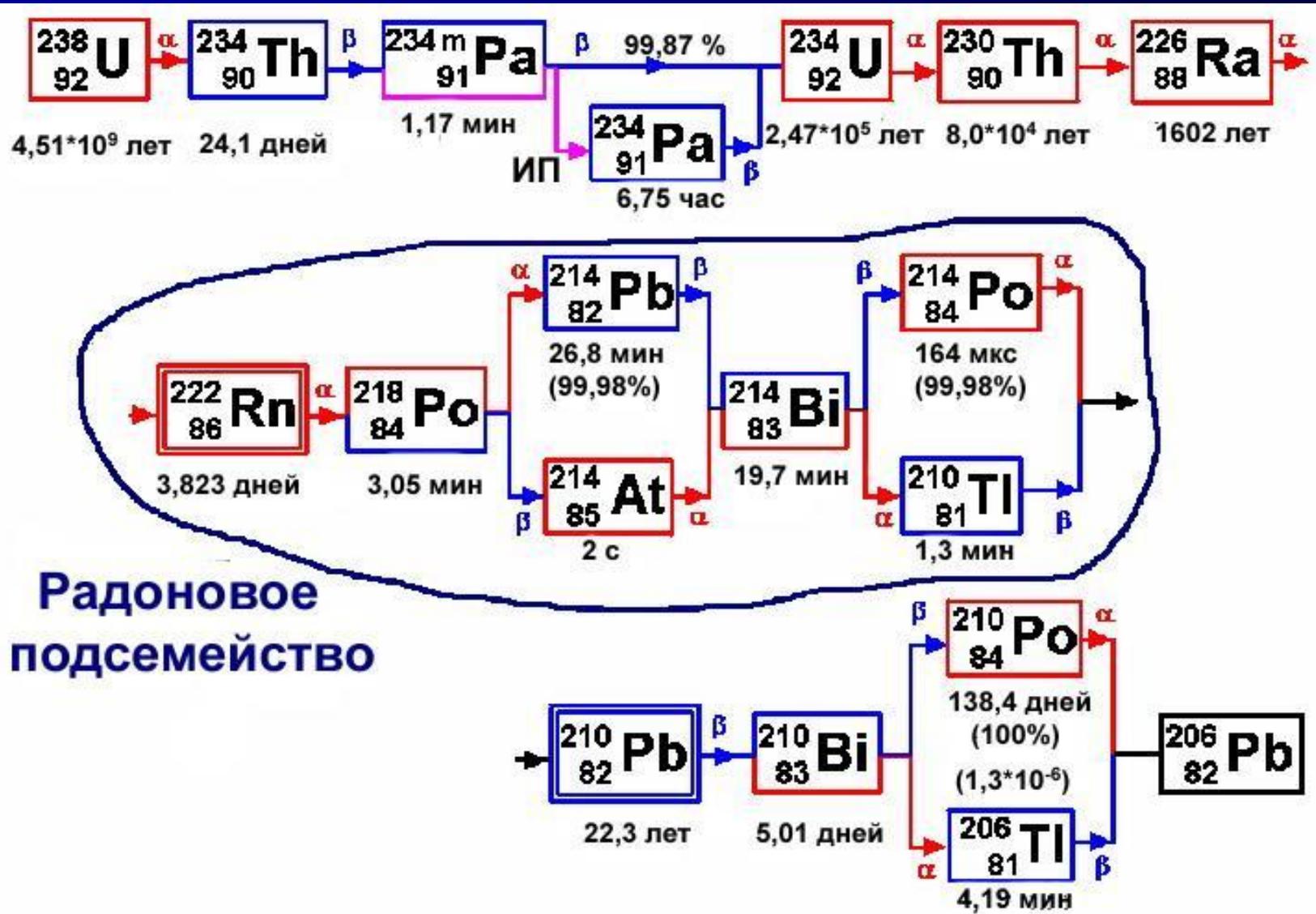
Простая



Сложная



Урановое семейство



Handwritten signature or mark in the bottom left corner.

1.3. Атомное излучение

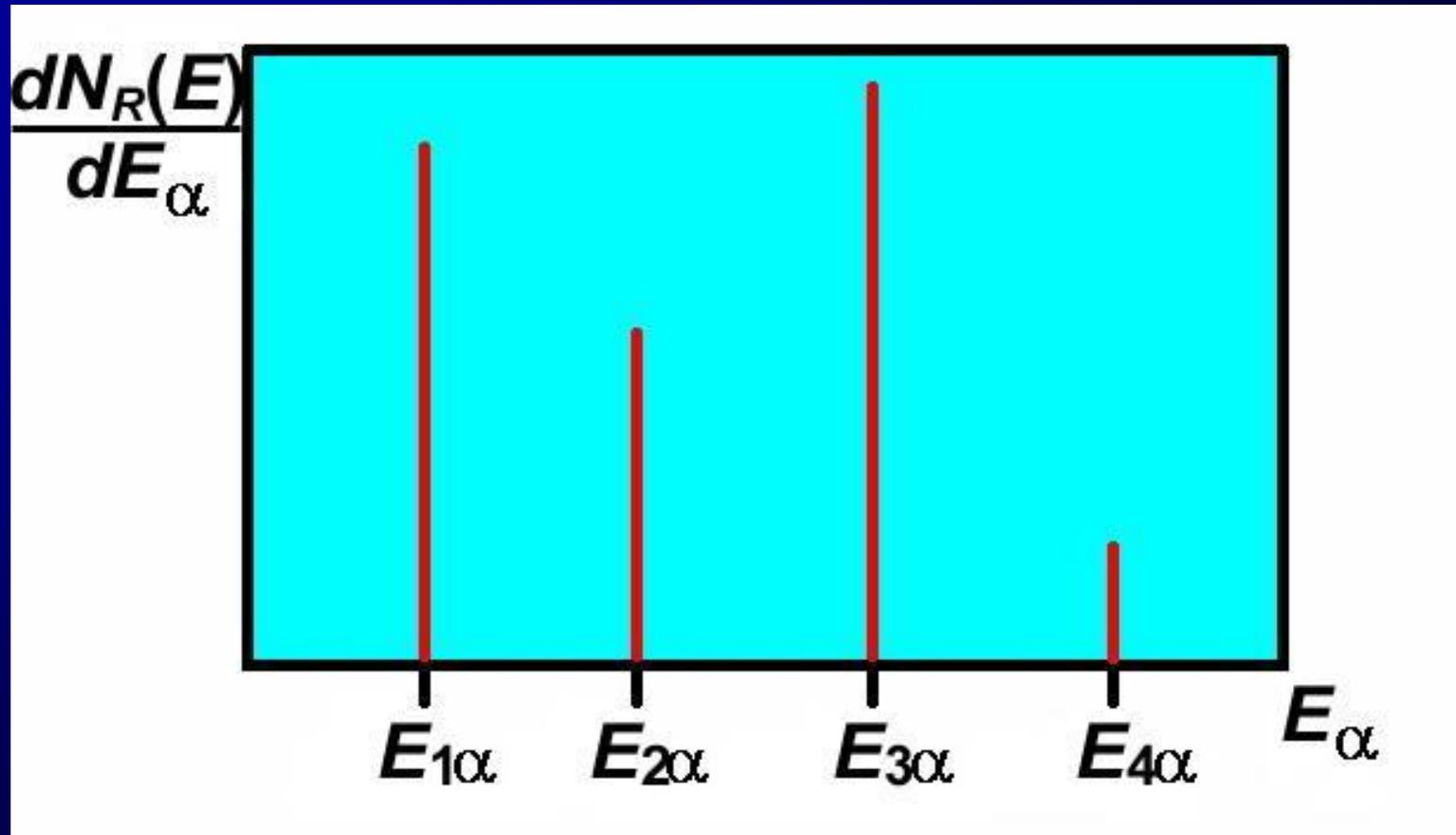
Атомное излучение — это энергия в виде электромагнитного излучения или частиц.

Электромагнитное излучение (фотоны) включает в себя **рентгеновское** и **гамма-излучения**. Видимый свет также является электромагнитным (но не ионизирующим) излучением. Эти излучения различаются энергией (длиной волны).

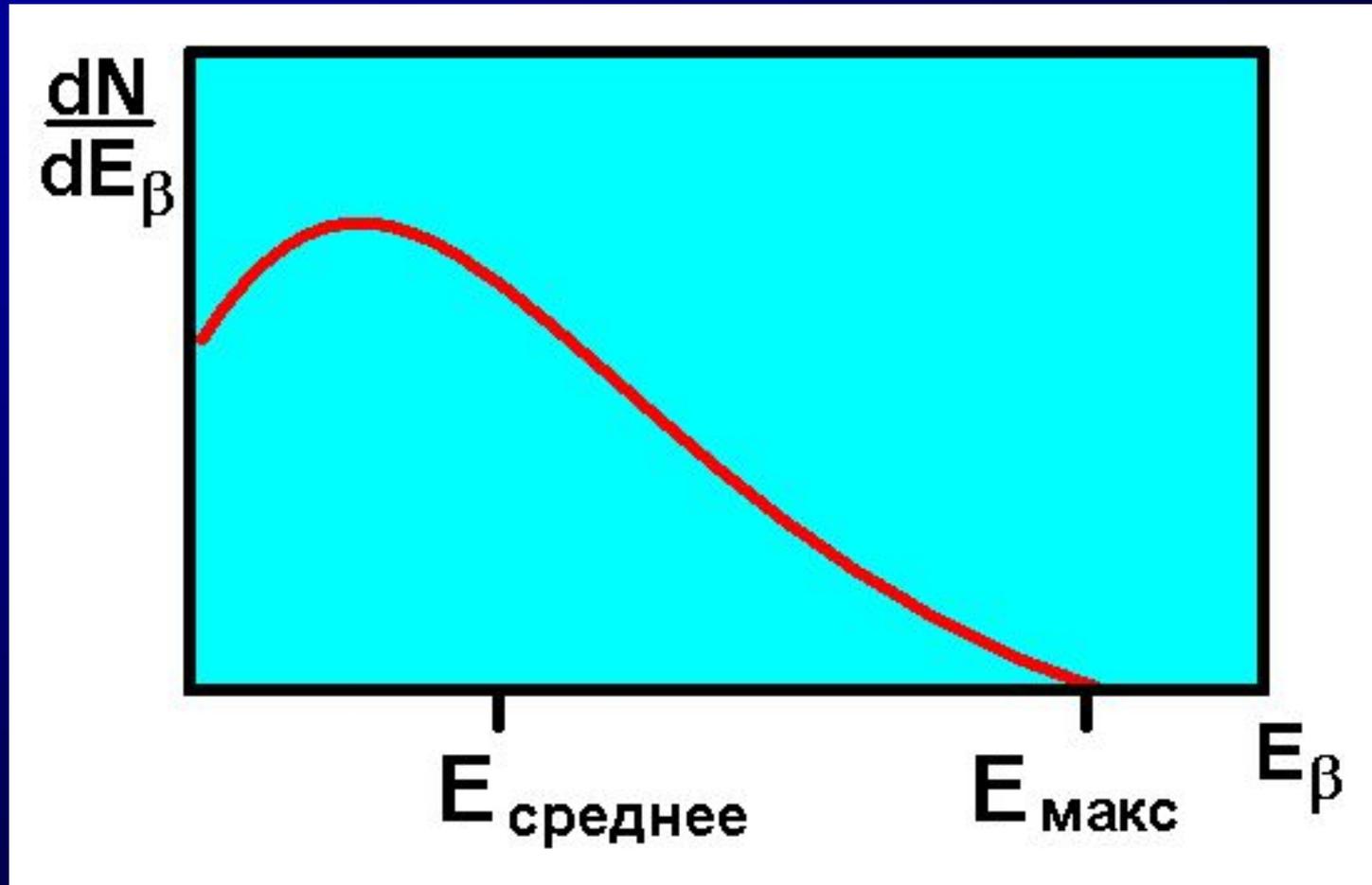
Корпускулярное излучение включает в себя **альфа-**, **бета-** и **нейтронное** излучение.



Альфа-излучение



Бета-излучение



Электромагнитное излучение

- **Рентгеновское излучение**
является результатом переходов электронов между атомными оболочками.
- **Тормозное излучение**
является результатом электронно – ядерного кулоновского взаимодействия.
- **Гамма-излучение (γ -кванты)**
является результатом ядерного превращения.
- **Аннигиляционное излучение**
является результатом аннигиляции позитрона и электрона.



Таблица ионизирующего излучения

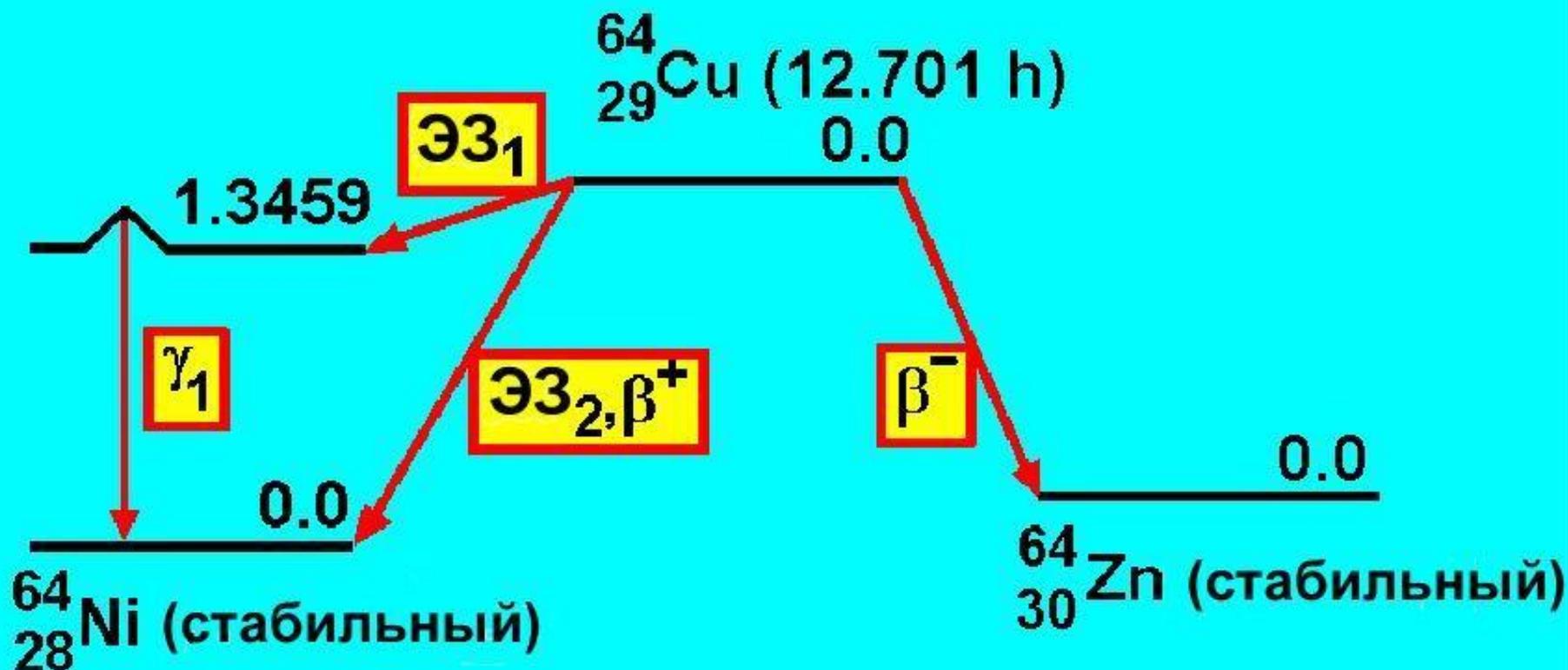
Частицы или фотоны

Виды распада

	e^-	e^+	α	γ	n
α	—	—	Д	Д / —	—
β^-	Н	—	—	Д / —	—
β^+	—	Н	—	Д	—
ЭЗ	Д	—	—	Д	—
ИП	—	—	—	Д	—
СД	Н	—	—	Д	Н



Многоканальный радиоактивный распад



1.4. Взаимодействие излучения с веществом

Ионизирующее излучение передает свою энергию веществу в процессе ионизации и возбуждения атомов и молекул.

Заряженные частицы могут вызвать ионизацию непосредственно.

Нейтроны и фотоны могут вызвать ионизацию только косвенно.

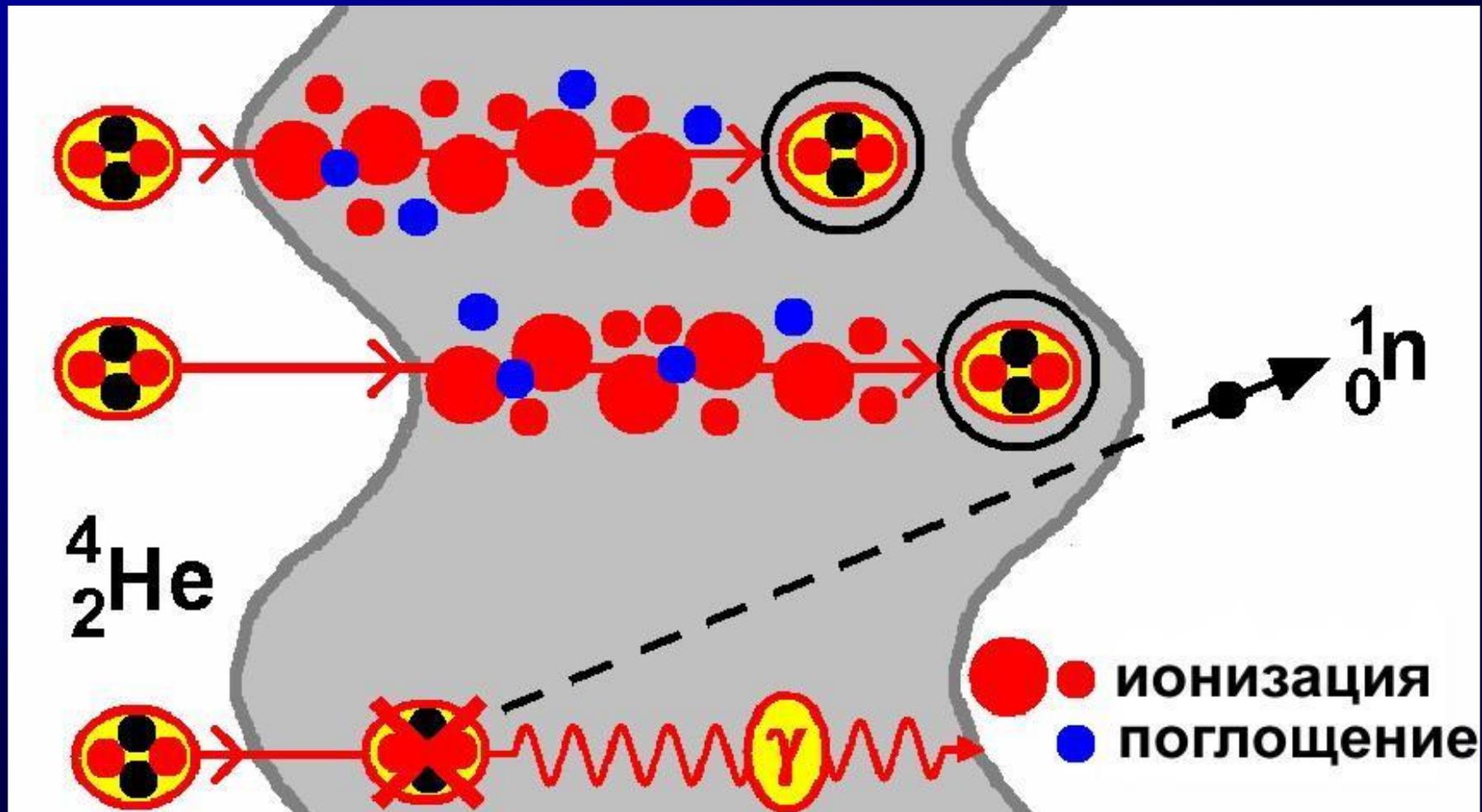
Прямая ионизация

Прямая ионизация атомов и молекул заряженными частицами — основной процесс передачи энергии излучения веществу.

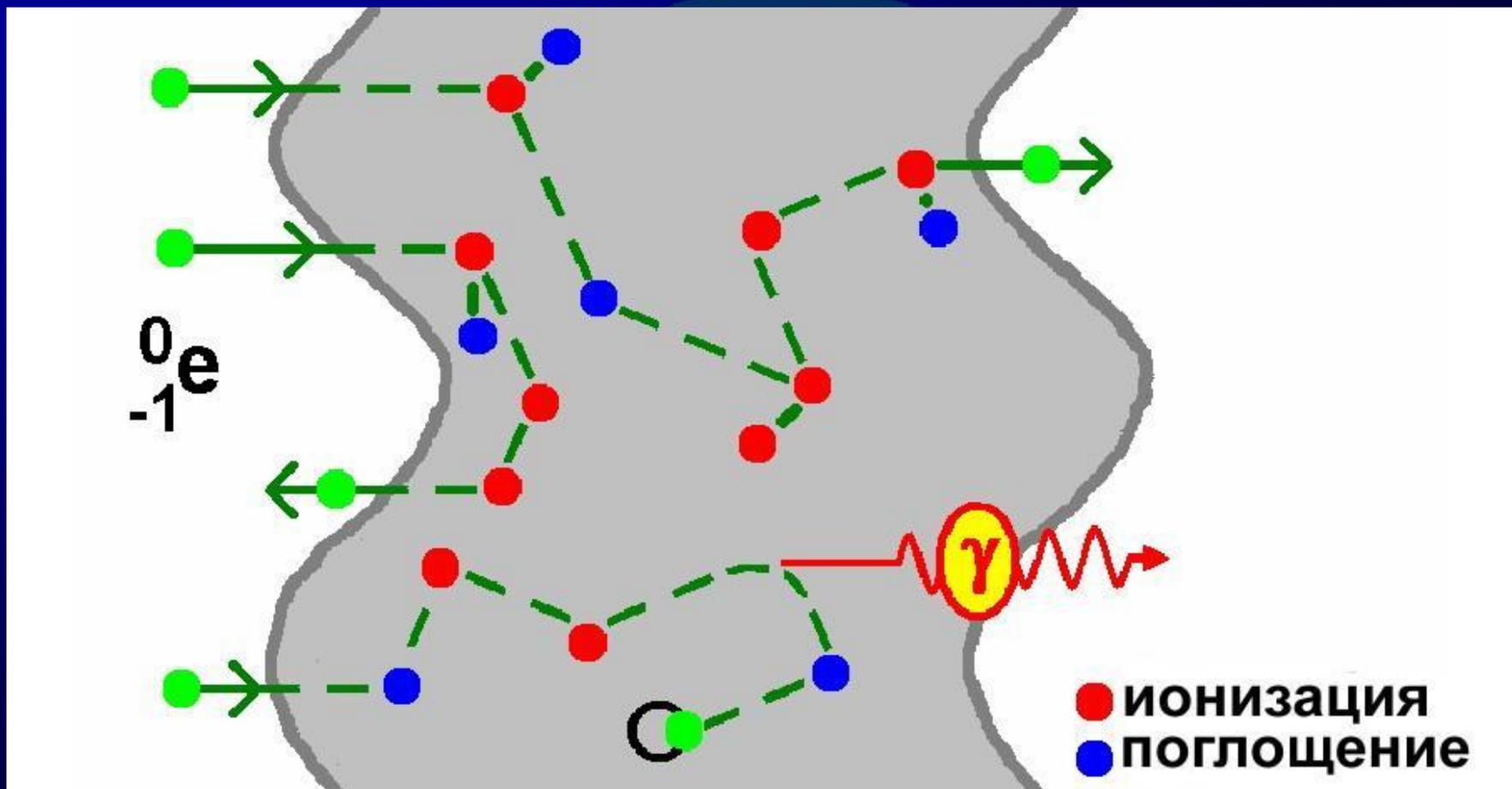
Ионизация вещества является результатом взаимодействия **первичных и вторичных заряженных частиц** с электронной структурой атома.



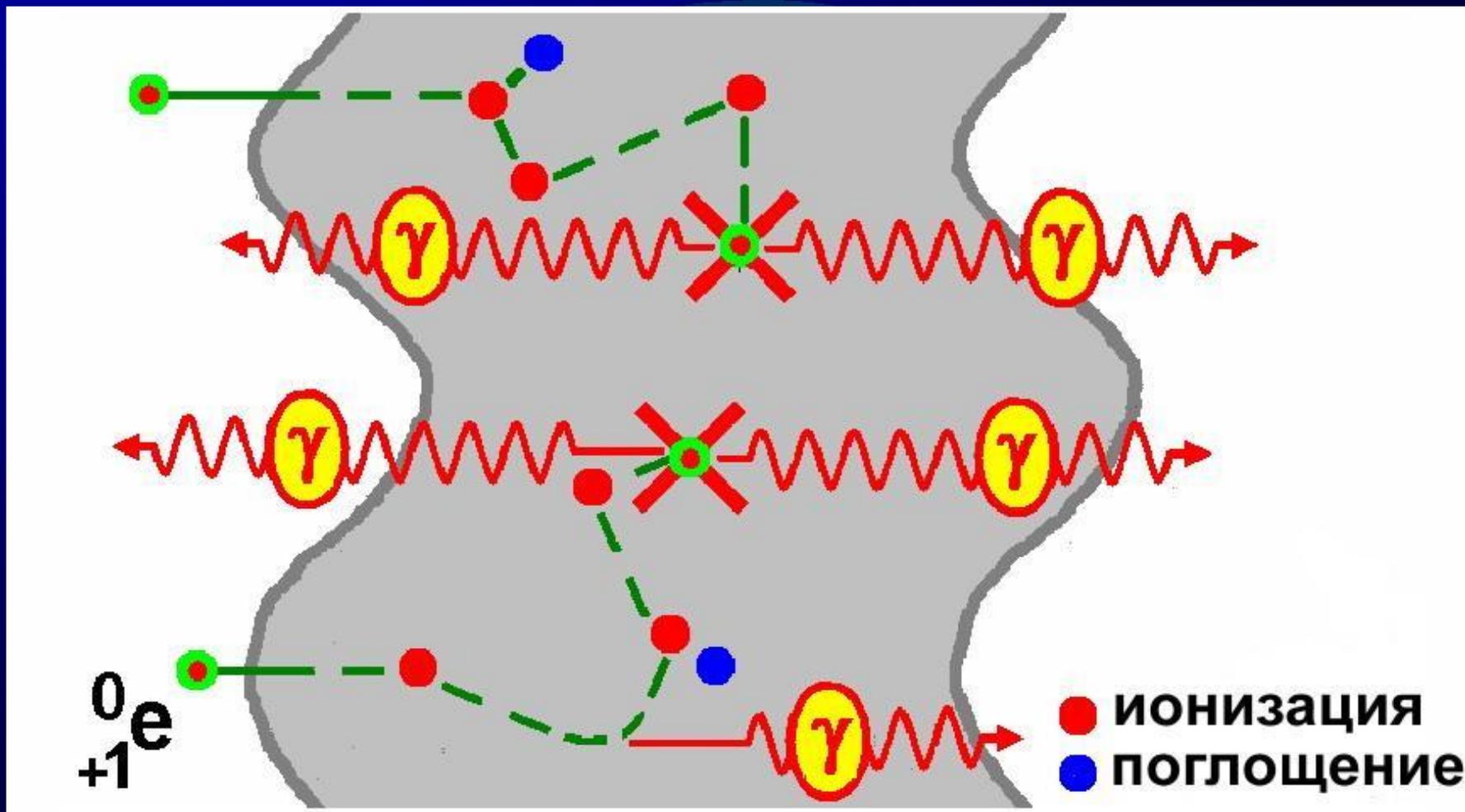
Взаимодействие альфа-частиц



Взаимодействие электронов



Взаимодействие позитронов



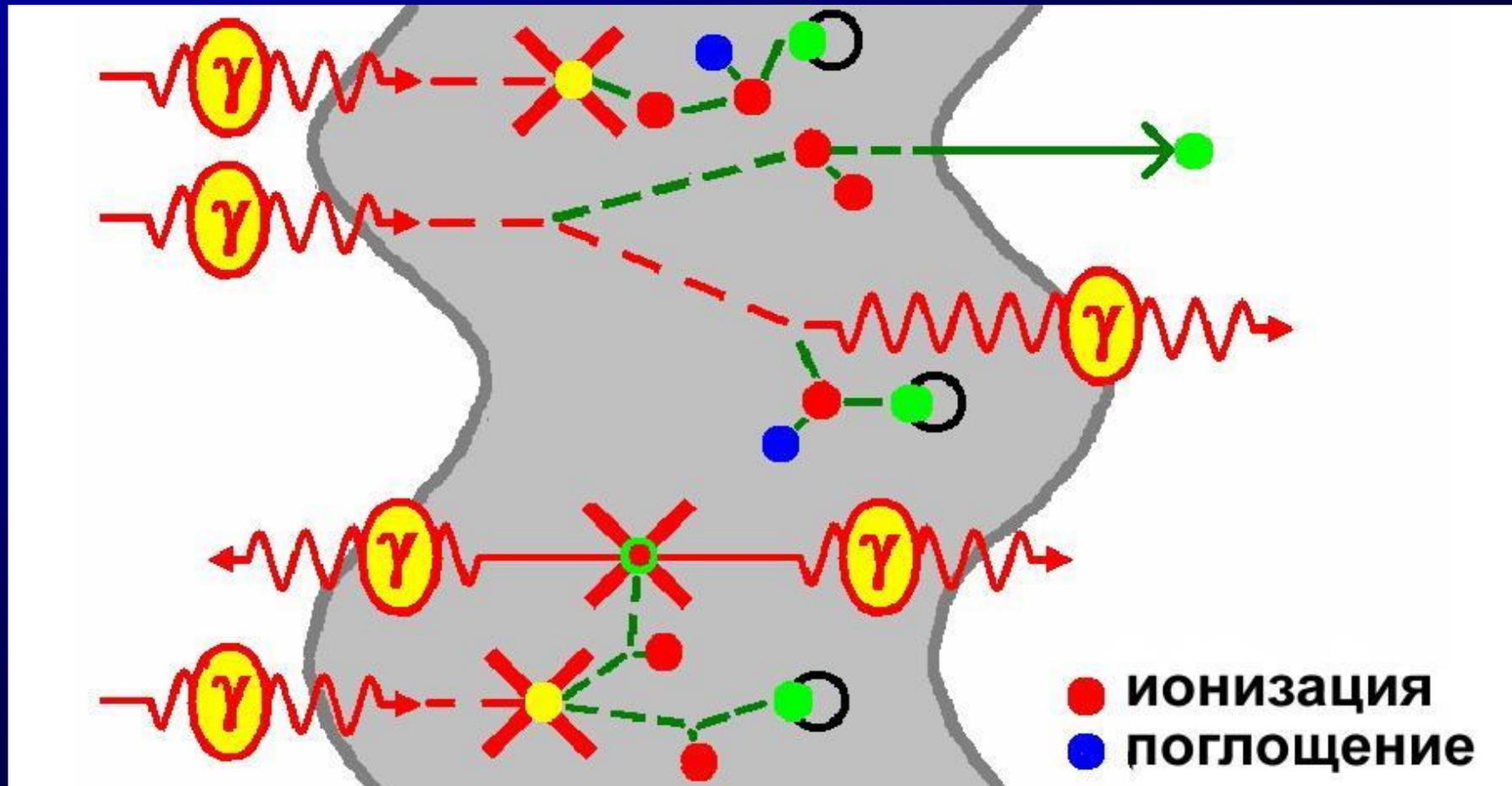
Косвенная ионизация

Нейтроны и **фотоны** могут вызвать ионизацию только косвенно посредством вторичного излучения заряженных частиц.

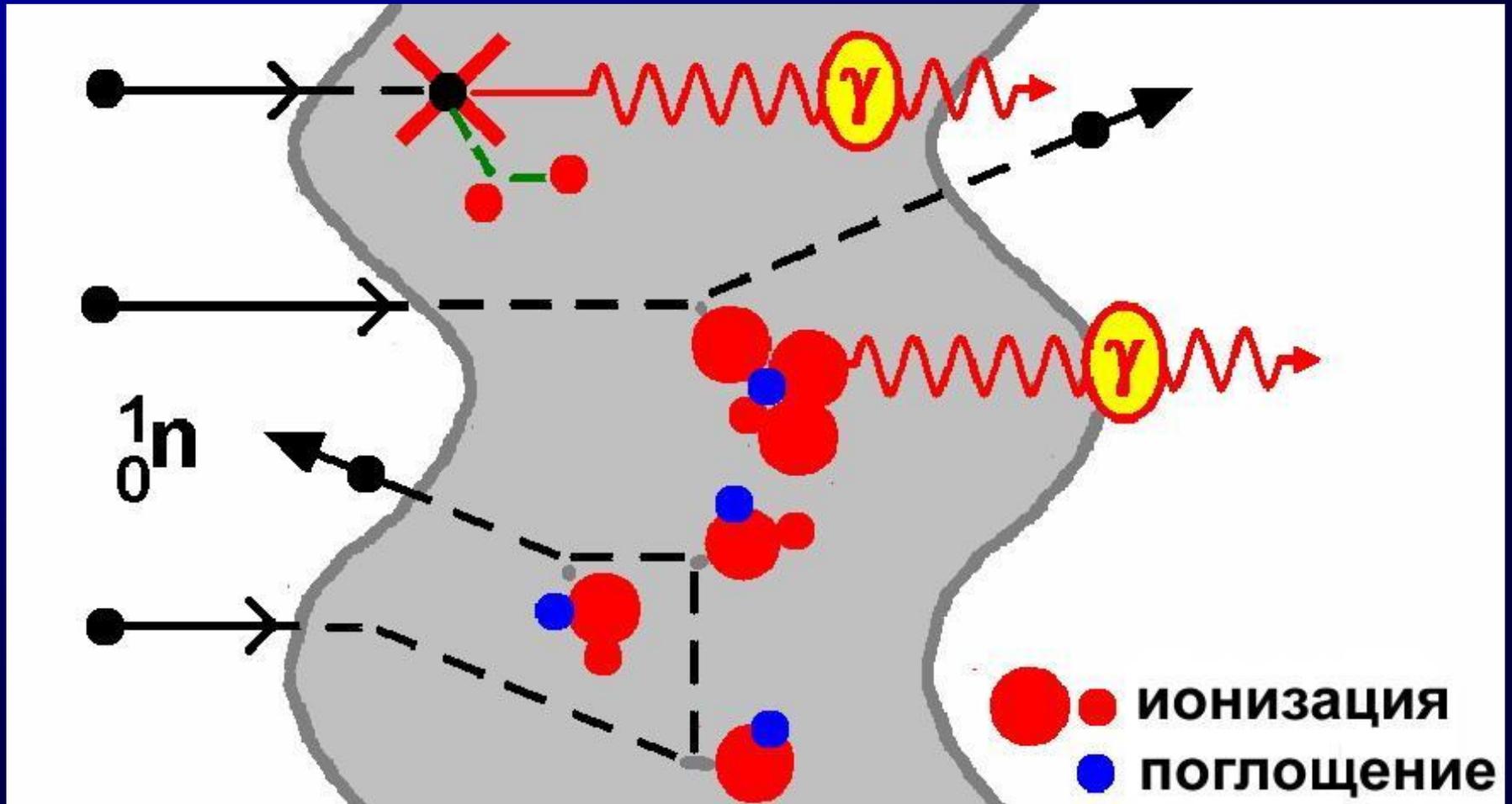
Ионизация вещества возникает от взаимодействия **вторичных заряженных частиц** с электронной структурой атома.



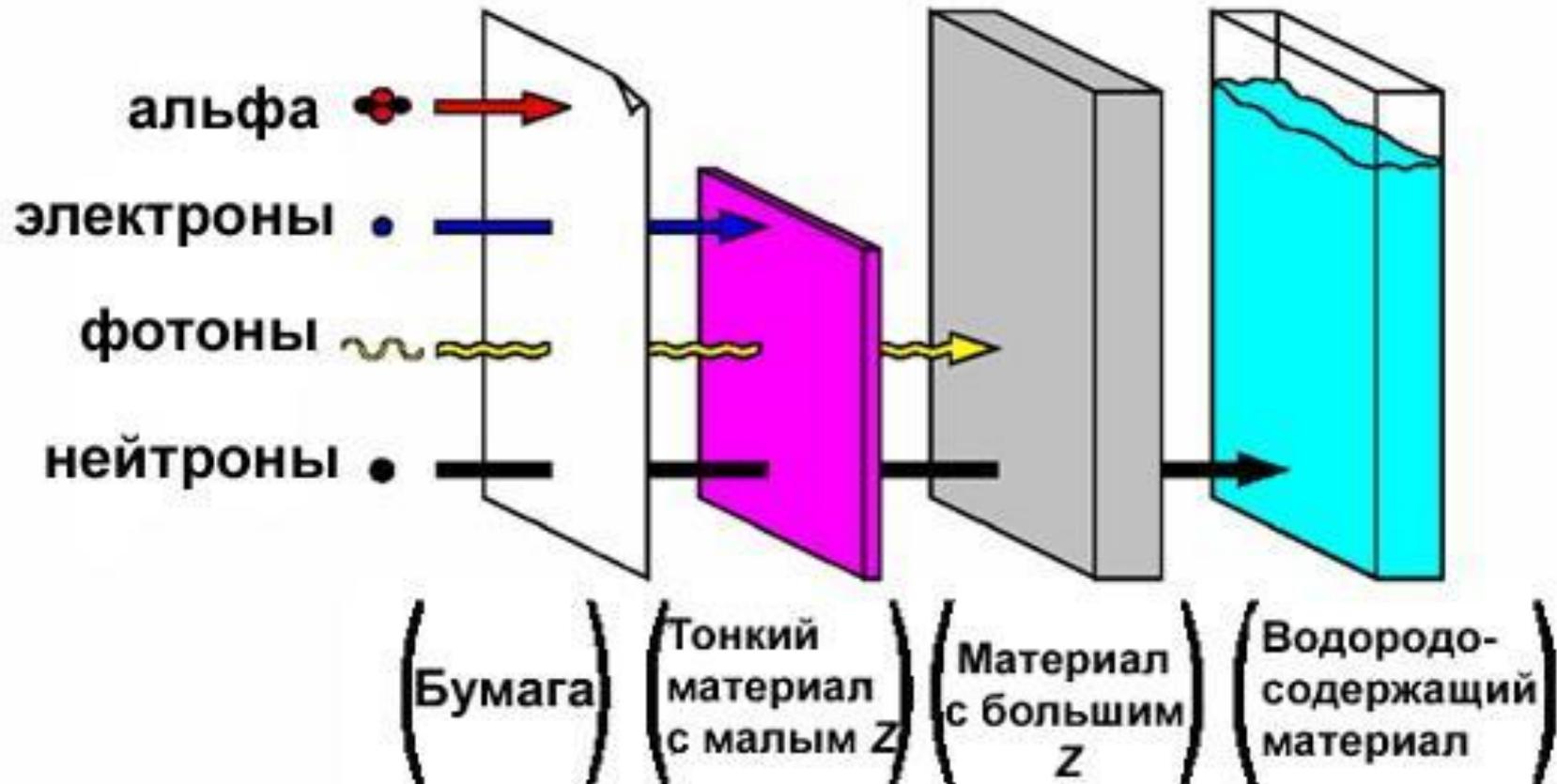
Взаимодействие фотонов



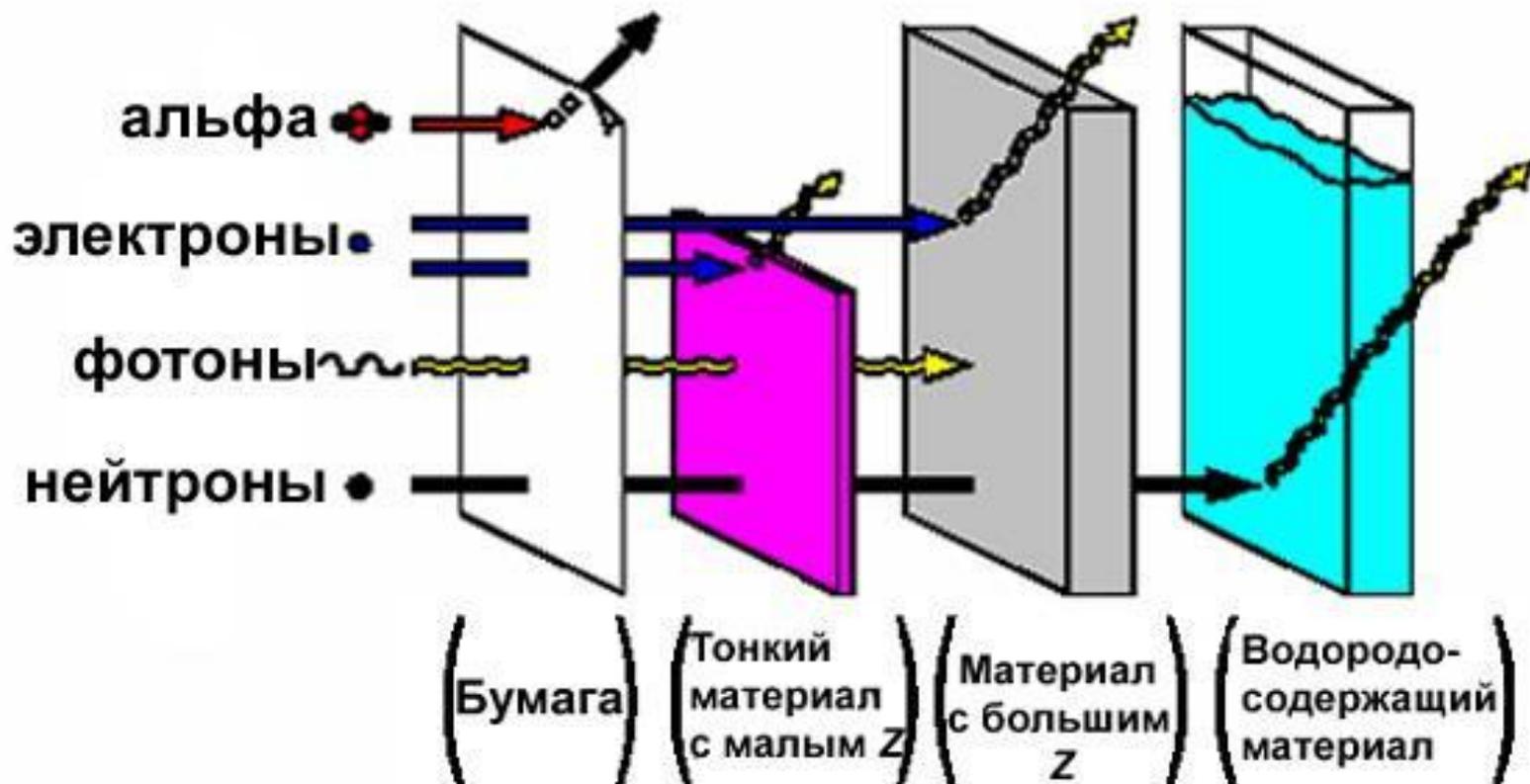
Взаимодействие нейтронов



Проникновение излучения



Преобразование излучения



Заключение

Радиоактивность – основное свойство вещества. Чтобы оценить опасность радиоактивности следует понять ее природу:

- структуру атомов и их ядер;
- ядерные превращения;
- атомное излучение;
- взаимодействие излучения с веществом;
- проникновение излучения сквозь материалы защиты.



РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Выход частиц (η) – вероятность испускания частиц на одно ядерное превращение.

- * Для γ -квантов: переход между уровнями энергии – квантовый выход.
- * Если при переходе происходит конверсия на атомной оболочке, то это выход конверсионного электрона.

$$v = A \cdot \eta,$$

A – активность радионуклида, Бк;

v – число испускаемых при p/a распаде в единицу времени корпускулярных частиц

(α -, β^+ -, β^- -частиц) или γ -квантов.

- **Активность радионуклида** в источнике – ожидаемая скорость спонтанных ядерных превращений данного радионуклида, происходящих в источнике.

$$A(t) = \lambda \cdot \bar{N}(t)$$

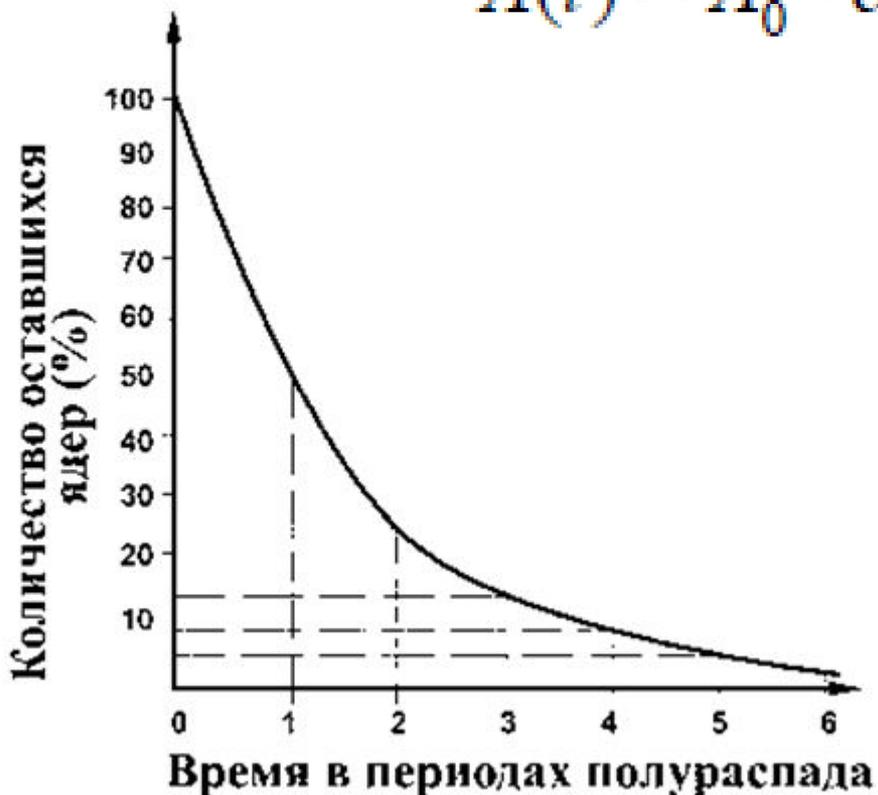
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

- ✓ Единица активности – беккерель (Бк). $1 \text{ Бк} = 1 \text{ с}^{-1}$.
- ✓ Внесистемная единица активности – кюри (Ки). $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

- **Активность источника** – суммарная активность всех радионуклидов, входящих в источник.

Закон радиоактивного распада

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}}}$$



A_0 – активность радионуклида в источнике в момент времени $t = 0$;

λ , $T_{1/2}$ – постоянная распада и период полураспада.

Закон накопления ожидаемого числа **радиоактивных атомов** $N(t)$ при постоянной скорости их образования q и начальном значении $N(0) = 0$

$$\bar{N}(t) = \frac{q}{\lambda} \cdot \left(1 - e^{-\lambda t} \right)$$

Линейный коэффициент ослабления μ – отношение ожидаемого значения доли dN/N косвенно ионизирующих частиц, испытавших взаимодействие при прохождении элементарного пути dl в веществе, к длине этого пути

$$\mu = \frac{dN}{N} \cdot \frac{1}{dl}, \quad [\text{м}^{-1}], [\text{см}^{-1}].$$

Массовый коэффициент ослабления μ_m – отношение линейного коэффициента ослабления μ к плотности вещества ρ , через которое проходит косвенно ИИ

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}, \quad [\text{м}^2/\text{кг}], [\text{см}^2/\text{г}].$$

