

Обеспечение радиационной безопасности персонала при эксплуатации АЭС

Лекция 1

Радиоактивность и ионизирующее излучение



Содержание

Введение

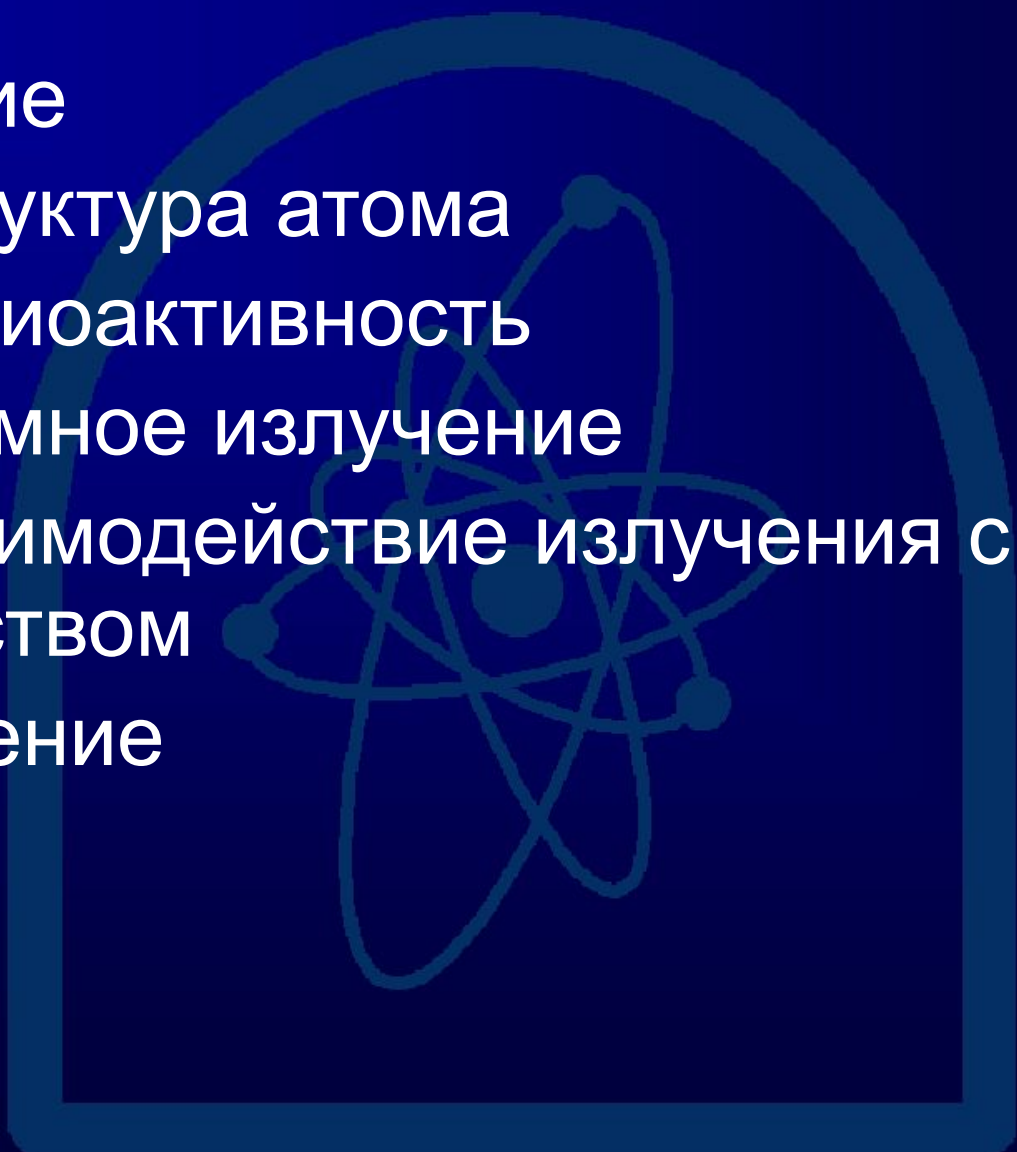
1.1. Структура атома

1.2. Радиоактивность

1.3. Атомное излучение

1.4. Взаимодействие излучения с
веществом

Заключение



Введение

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.



1.1. 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

Зарядовое
число

Химический
символ

Число
нейтронов

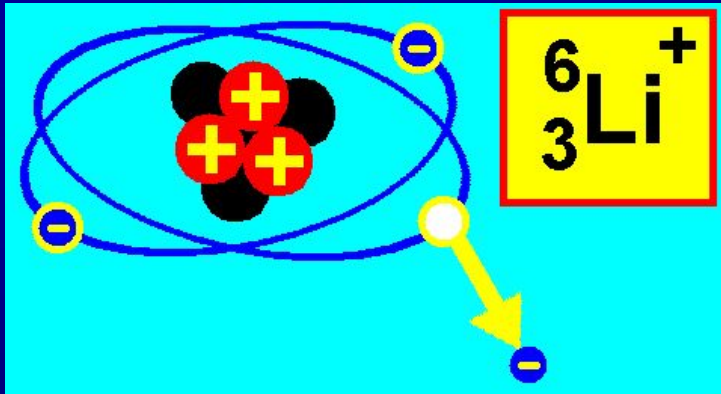


$$A = Z + N$$

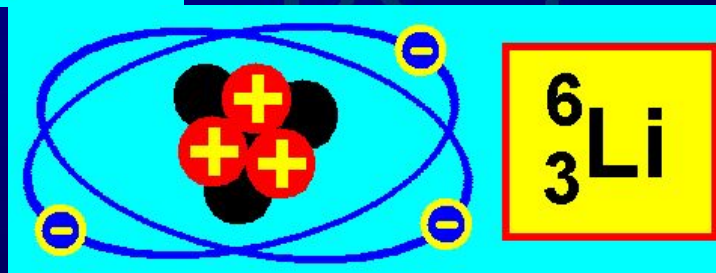
Пример записи:



Атом и ионы

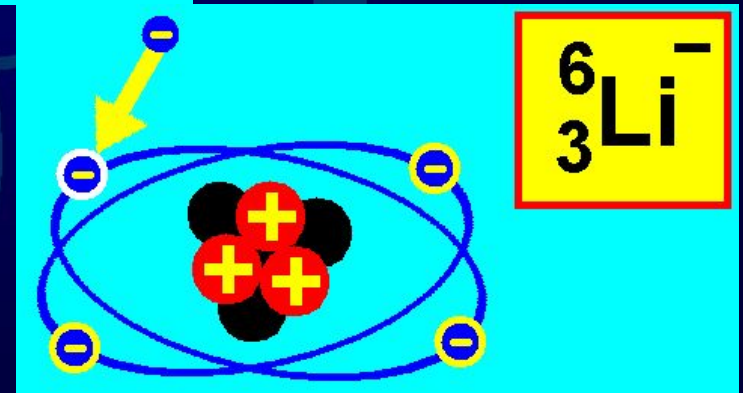


Положительный
ион лития-6



Атом
лития-6

Отрицательный
ион лития-6



Периодическая таблица элементов

| | I | | | | | | VII | VIII | | | |
|---|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| 1 | (H) | | | | | | | 1 1,0079 ВОДОРОД | 2 4,00260 ГЕЛИЙ | | |
| 2 | Li 3 6,94 ЛИТИЙ | Be 4 9,01218 БЕРИЛЛИЙ | 5 10,81 БОР | 6 12,011 УГЛЕРОД | 7 14,0067 АЗОТ | 8 15,999, КИСЛОРОД | 9 18,998403 ФТОР | 10 20,17, НЕОН | | | |
| 3 | Na 11 22,98977 НАТРИЙ | Mg 12 24,305 МАГНИЙ | 13 26,98154 АЛЮМИНИЙ | 14 28,086, КРЕМНИЙ | 15 30,97376 ФОСФОР | 16 32,06 СЕРА | 17 35,453 ХЛОР | 18 39,94, АРГОН | | | |
| 4 | K 19 39,098, КАЛИЙ | Ca 20 40,08 КАЛЬЦИЙ | Sc 21 44,9559 СКАНДИЙ | Ti 22 47,90 ТИТАН | V 23 50,9415 ВАНАДИЙ | Cr 24 51,996 ХРОМ | Mn 25 54,9380 МАРГАНЕЦ | Fe 26 55,84, ЖЕЛЕЗО | Co 27 58,932 КОБАЛЬТ | Ni 28 58,70 НИКЕЛЬ | |
| | 29 63,54, Cu МЕДЬ | 30 65,38 Zn ЦИНК | 31 69,72 Ga ГАЛЛИЙ | 32 72,5, Ge ГЕРМАНИЙ | 33 74,9216 As МЫШЬЯК | 34 78,9, Se СЕЛЕН | 35 79,904 Br БРОМ | 36 83,80 Kr КРИПТОН | | | |
| 5 | Rb 37 85,467, РУБИДИЙ | Sr 38 87,62 СТРОНЦИЙ | Y 39 88,9059 ИТТРИЙ | Zr 40 91,22 ЦИРКОНИЙ | Nb 41 92,9064 НИОБИЙ | Mo 42 95,94 МОЛИБДЕН | Tc 43 98,9062 ТЕХНЕЦИЙ | Ru 44 101,0 РУТЕНИЙ | Rh 45 102,9055 РОДИЙ | Pd 46 106,4 ПАЛЛАДИЙ | |
| | 47 107,868 Ag СЕРЕБРО | 48 112,41 Cd КАДМИЙ | 49 114,82 In ИНДИЙ | 50 118,6, Sn ОЛОВО | 51 121,7, Sb СУРЬМА | 52 127,6, Te ТЕЛЛУР | 53 126,9045 I ИОД | 54 131,30 Xe КСЕНОН | | | |
| 6 | Cs 55 132,9054 ЦЕЗИЙ | Ba 56 137,33 БАРИЙ | La 57 138,905, ЛАНТАН | Hf 72 178,4, ГАФНИЙ | Ta 73 180,947, ТАНТАЛ | W 74 183,8, ВОЛЬФРАМ | Re 75 186,207 РЕНИЙ | Os 76 190,2 ОСМИЙ | Ir 77 192,2, ИРИДИЙ | Pt 78 195,0, ПЛАТИНА | |
| | 79 196,9665 Au ЗОЛОТО | 80 200,5, Hg РУТУТЬ | 81 204,3, Tl ТАЛЛИЙ | 82 207,2 Pb СВИНЕЦ | 83 208,9804 Bi ВИСМУТ | 84 [209]* Po ПОЛОНИЙ | 85 [210] At АСТАТ | 86 [222] Rn РАДОН | | | |
| 7 | Fr 87 [223] ФРАНЦИЙ | Ra 88 226,0254 РАДИЙ | Ac ** 89 [227] АКТИНИЙ | Ku 104 [261] КУРЧАТОВИЙ | 105 | | | | | | |

* лантаноиды

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Ce 58 140,12 ЦЕРИЙ | Pr 59 140,9077 ПРАЗЕОДИМ | Nd 60 144,2, НЕОДИМ | Pm 61 [145] ПРОМЕТИЙ | Sm 62 150,4 САМАРИЙ | Eu 63 151,96 ЕВРОПИЙ | Gd 64 157,2, ГАДОЛИНИЙ | Tb 65 158,9254 ТЕРБИЙ | Dy 66 162,5, ДИСПРОЗИЙ | Ho 67 164,9304 ГОЛЬМИЙ | Er 68 167,2, ЭРБИЙ | Tm 69 168,9342 ТУЛЯЙ | Yb 70 173,0, ИТТЕРБИЙ | Lu 71 174,967, ЛЮТЕЦИЙ |
|--------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|

** актиноиды

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Th 90 232,0381 ТОРИЙ | Pa 91 231,0369 ПРОТАКТИНИЙ | U 92 238,02, УРАН | Np 93 237,0482 НЕПУНИЙ | Pu 94 [244] ПЛУТОНИЙ | Am 95 [243] АМЕРИЦИЙ | Cm 96 [247] КЮРИЙ | Bk 97 [247] БЕРКЛИЙ | Cf 98 [251]* КАЛИФОРНИЙ | Es 99 [254] ЭЙНШТЕЙНИЙ | Fm 100 [257] ФЕРМИЙ | Md 101 [258] МЕНДЕЛЕВИЙ | (No) 102 [259] (НОБЕЛИЙ) | (Lr) 103 [260] (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.



Таблица нуклидов

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|------|------|------|------|-------|-------|------------|------|-------|---|----|
| 6 | | C-8 | C-9 | C-10 | C-11 | C-12 | C-13 | C-14 | C-15 | C-16 | | |
| 5 | | B-7 | B-8 | B-9 | B-10 | B-11 | B-12 | B-13 | B-14 | B-15 | | |
| 4 | ↑ Z | Be-6 | Be-7 | Be-8 | Be-9 | Be-10 | Be-11 | Be-12 | | Be-14 | | |
| 3 | | Li-5 | Li-6 | Li-7 | Li-8 | Li-9 | | Li-11 | | | | |
| 2 | | He-3 | He-4 | He-5 | He-6 | He-7 | He-8 | He-9 | | | | |
| 1 | | H-1 | H-2 | H-3 | | | | | | | | |
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | | | | | | | | N → | | | | |



1.2. Радиоактивность

Радиоактивность – это ядерное превращение:

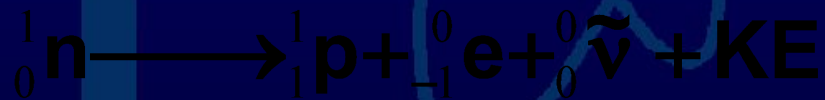
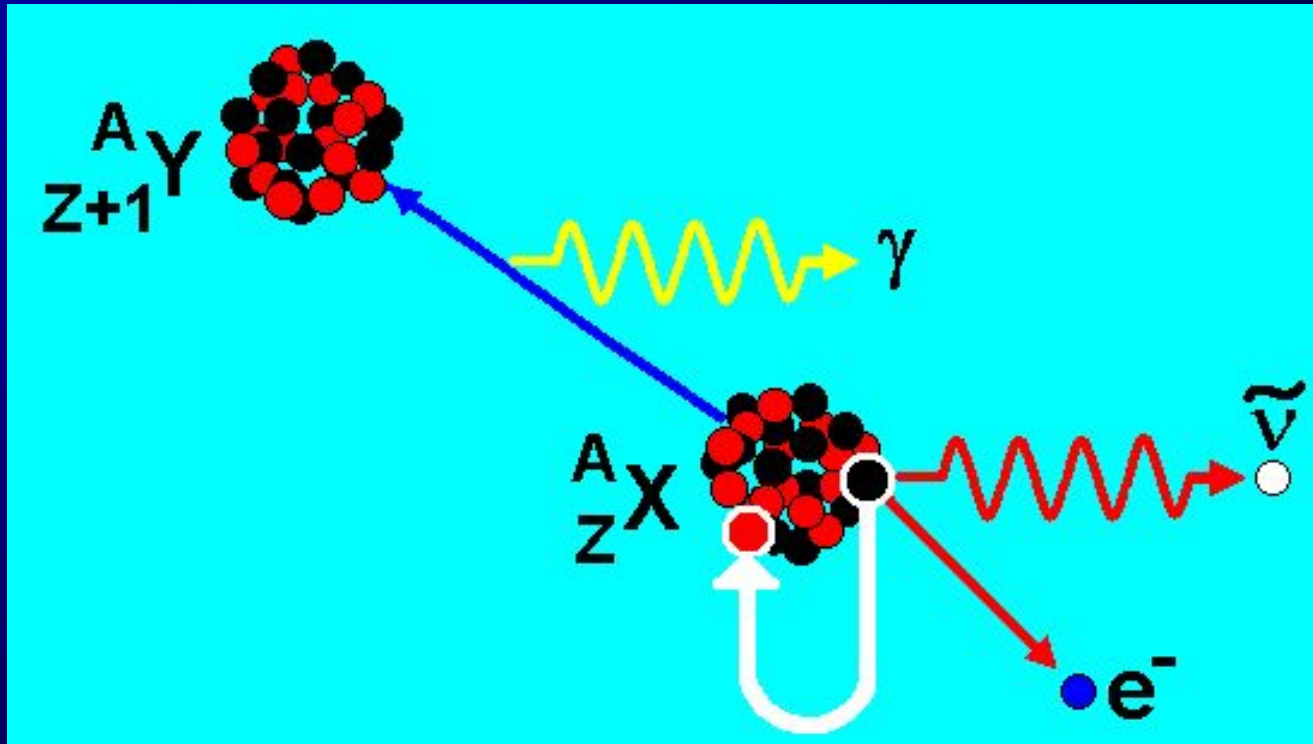
- **ядерное, потому что оно возникает в ядре атома;**
- **превращение, потому что начальное и результирующие ядра различны.**

Другими словами, ядерные превращения есть распады ядер.

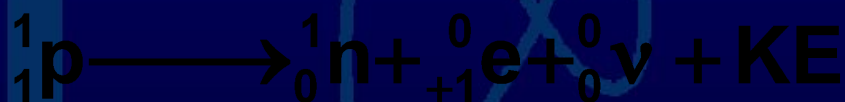
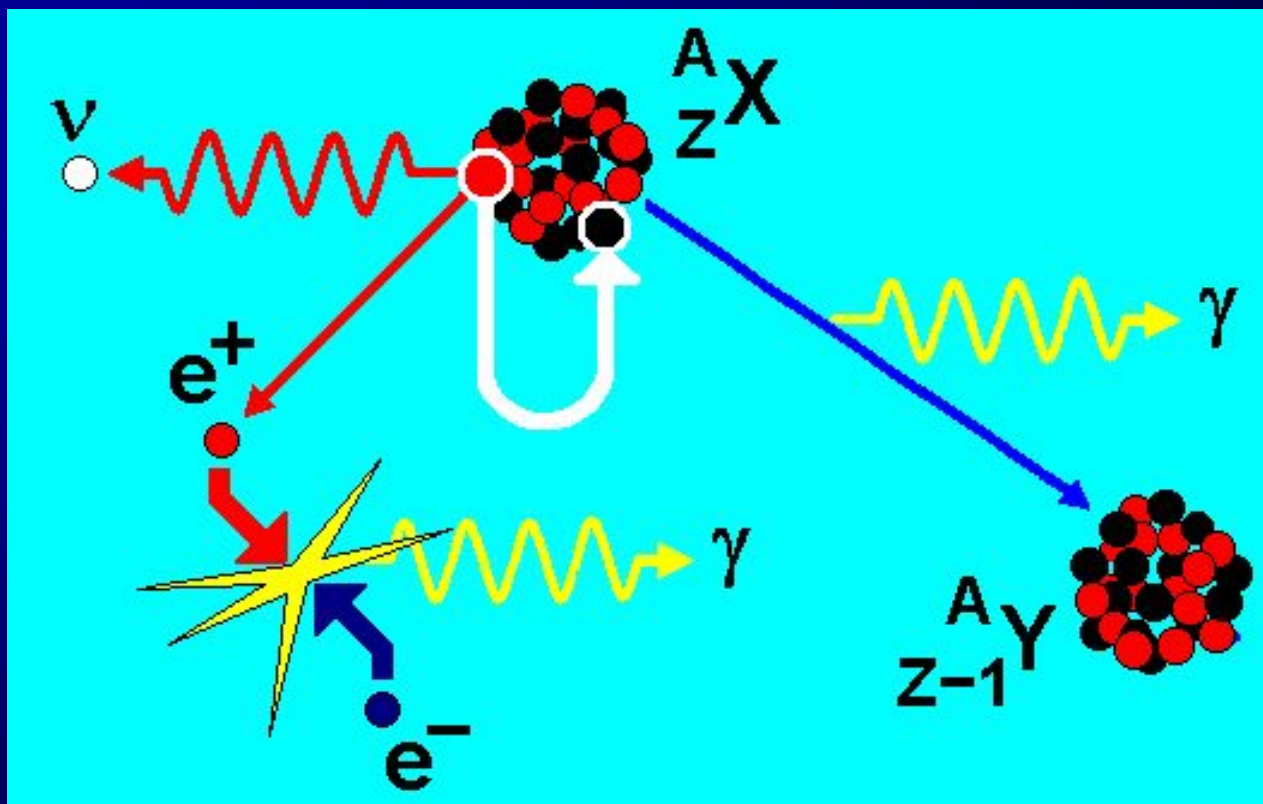
Радиоактивный атом при распаде ядра испускает излучение.



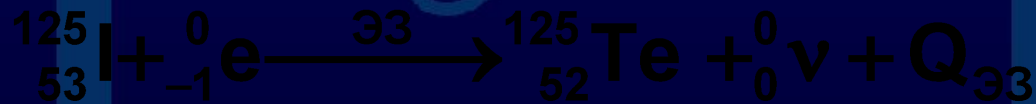
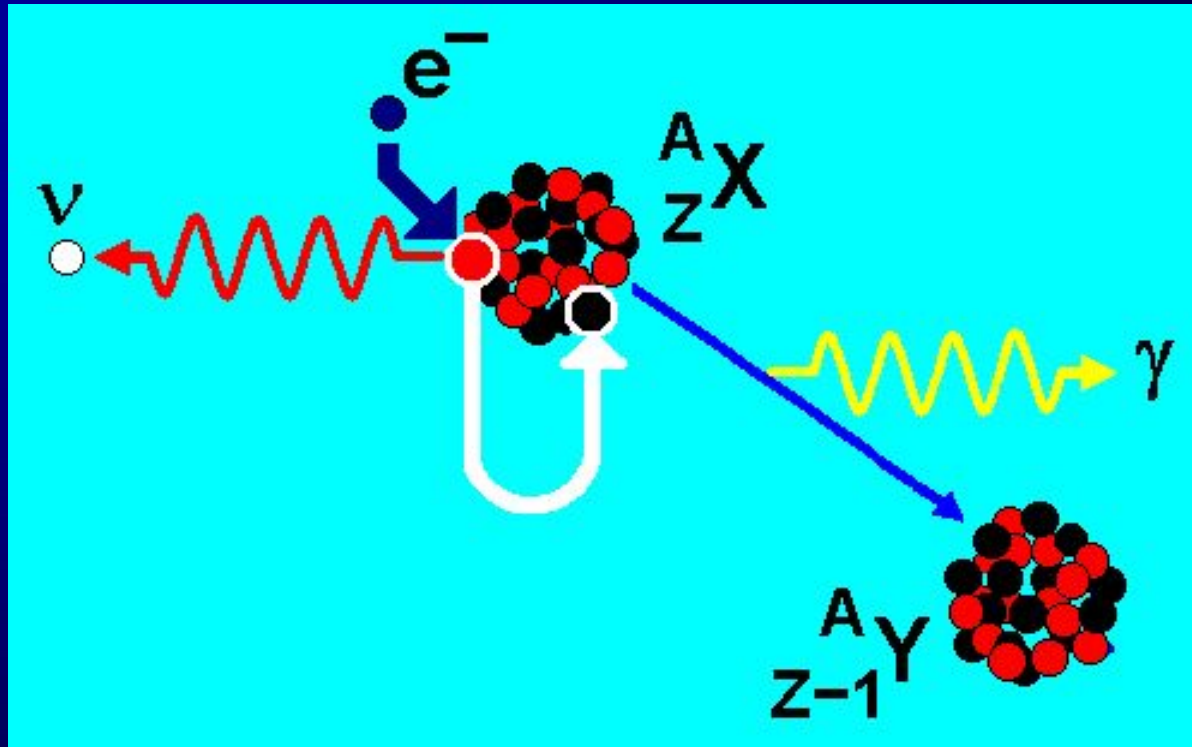
Бета-минус или бета-распад



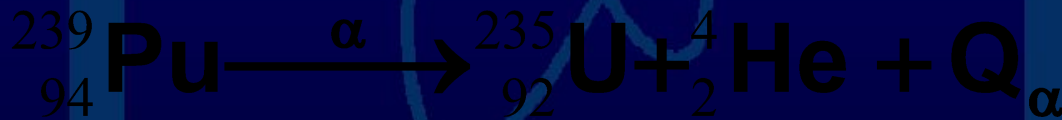
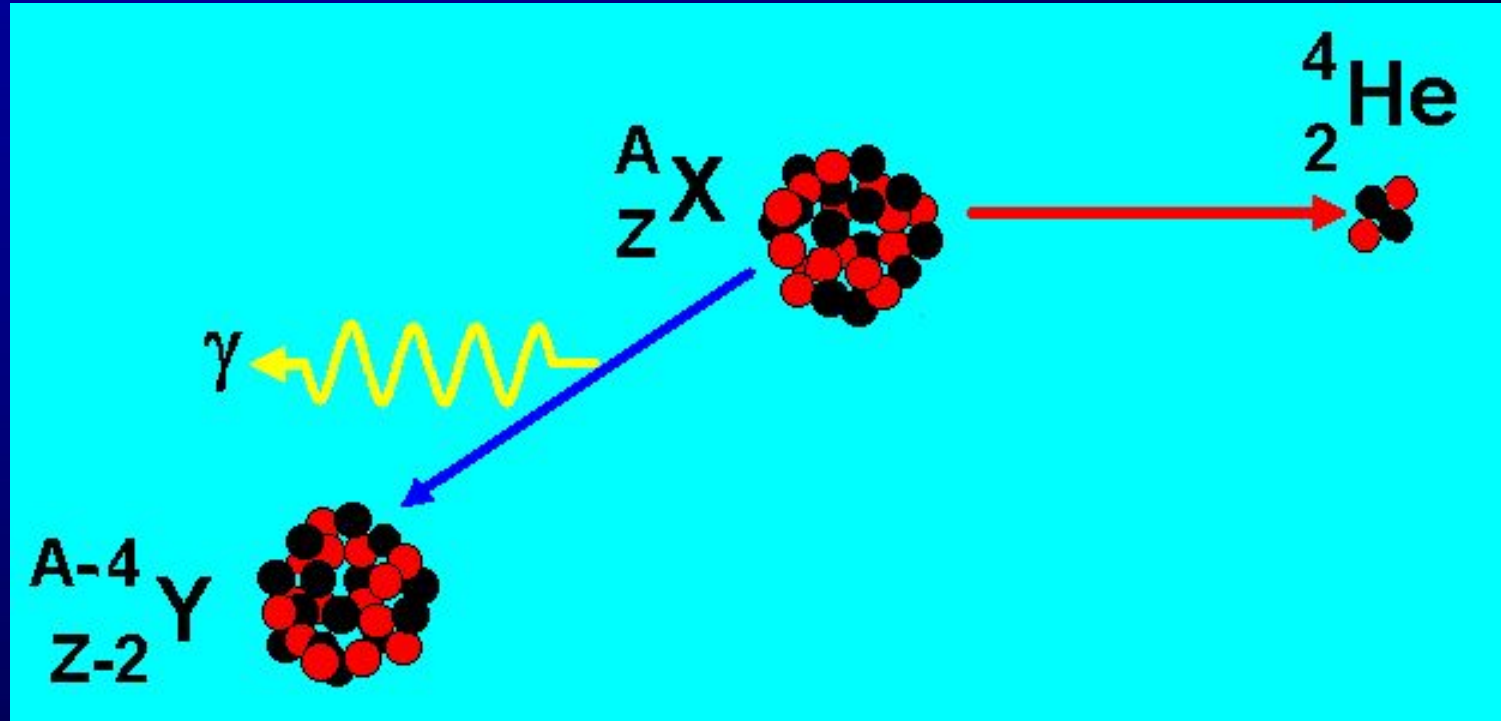
Бета-плюс или позитронный распад



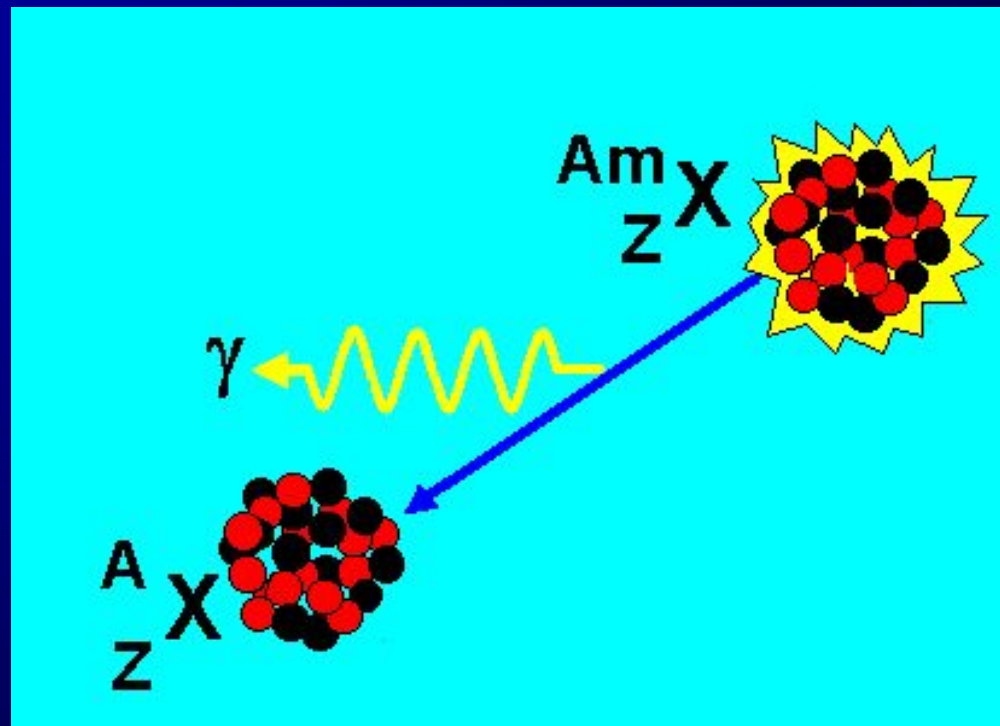
Электронный захват



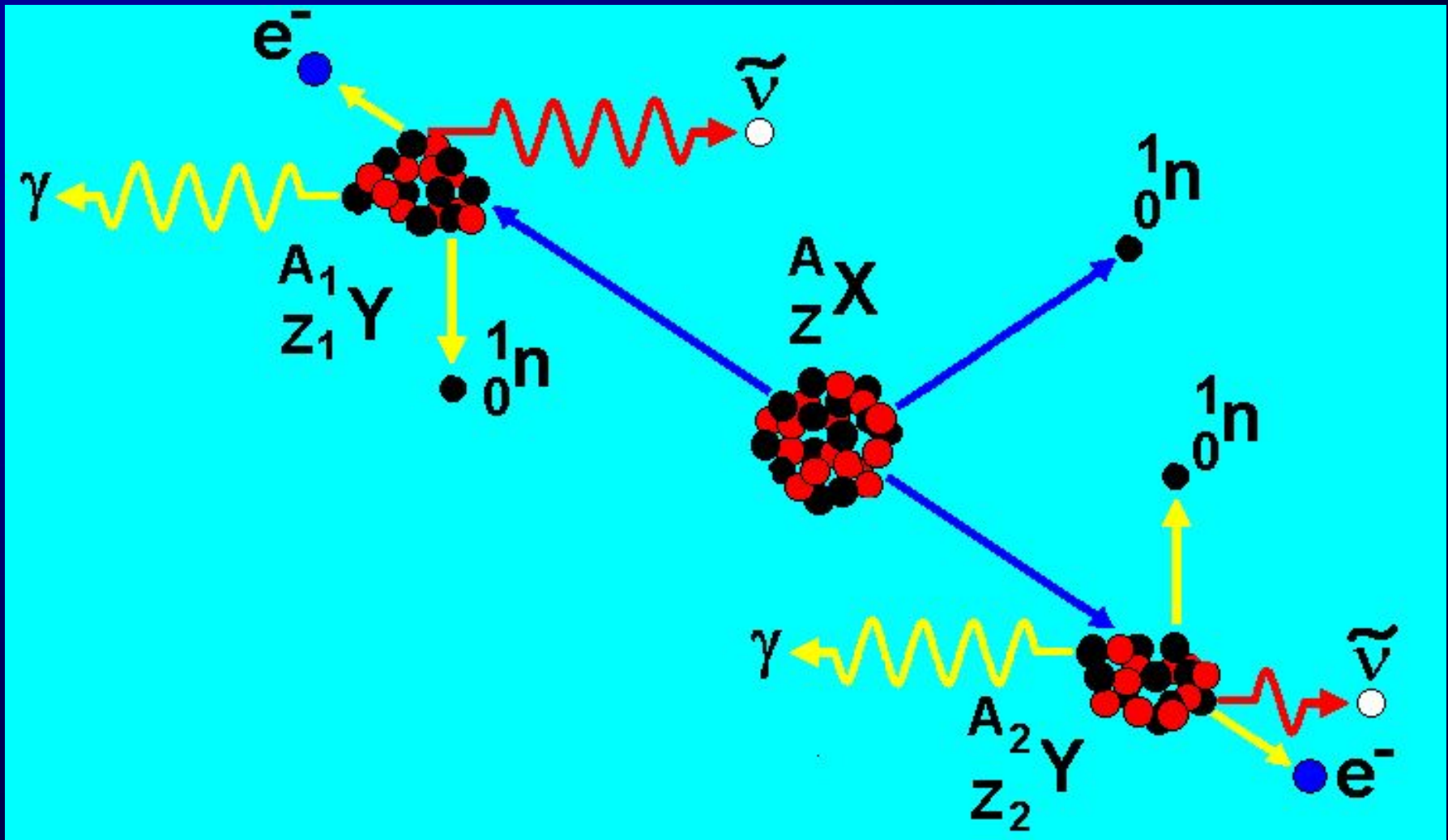
Альфа-распад



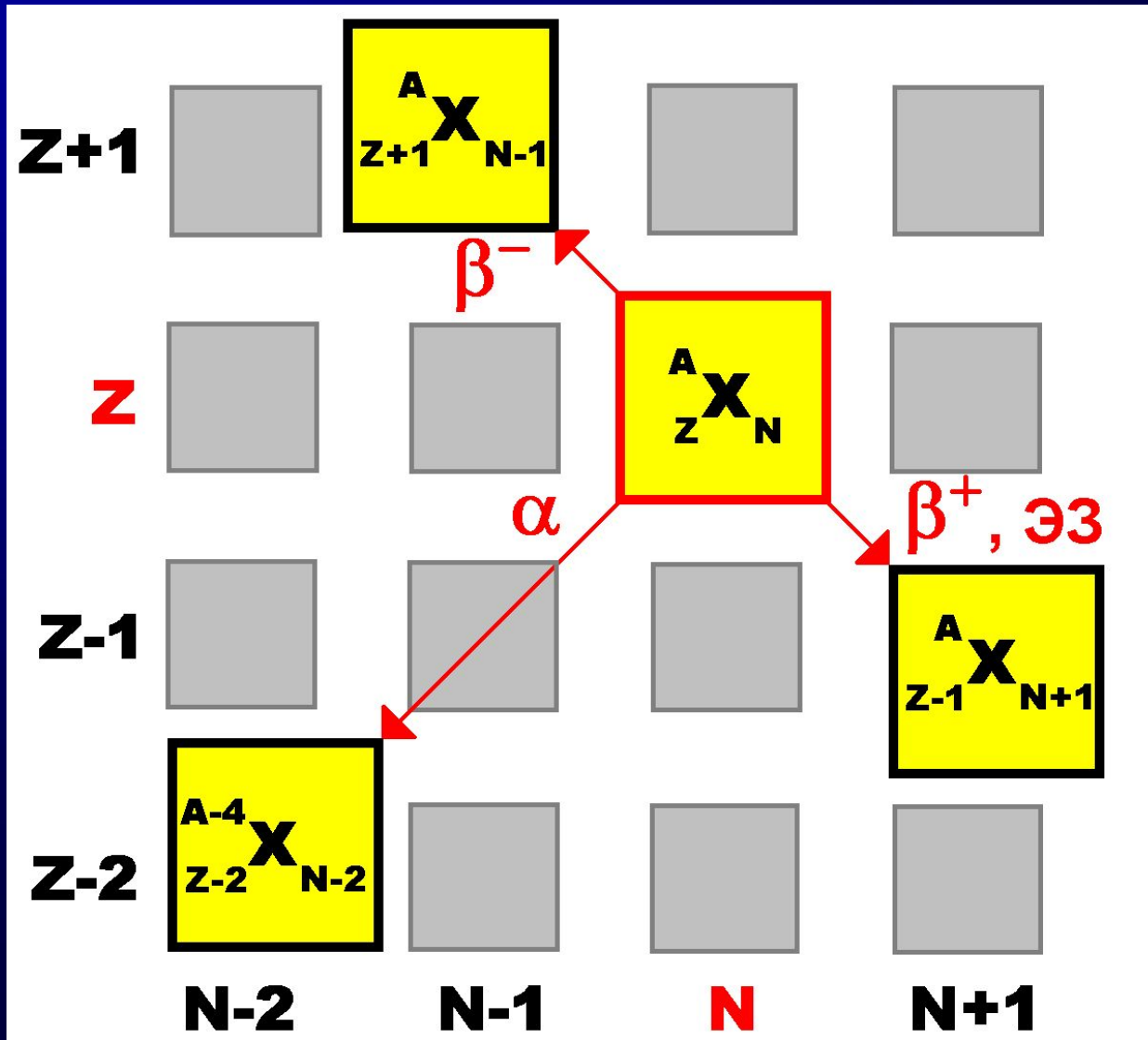
Изомерный переход



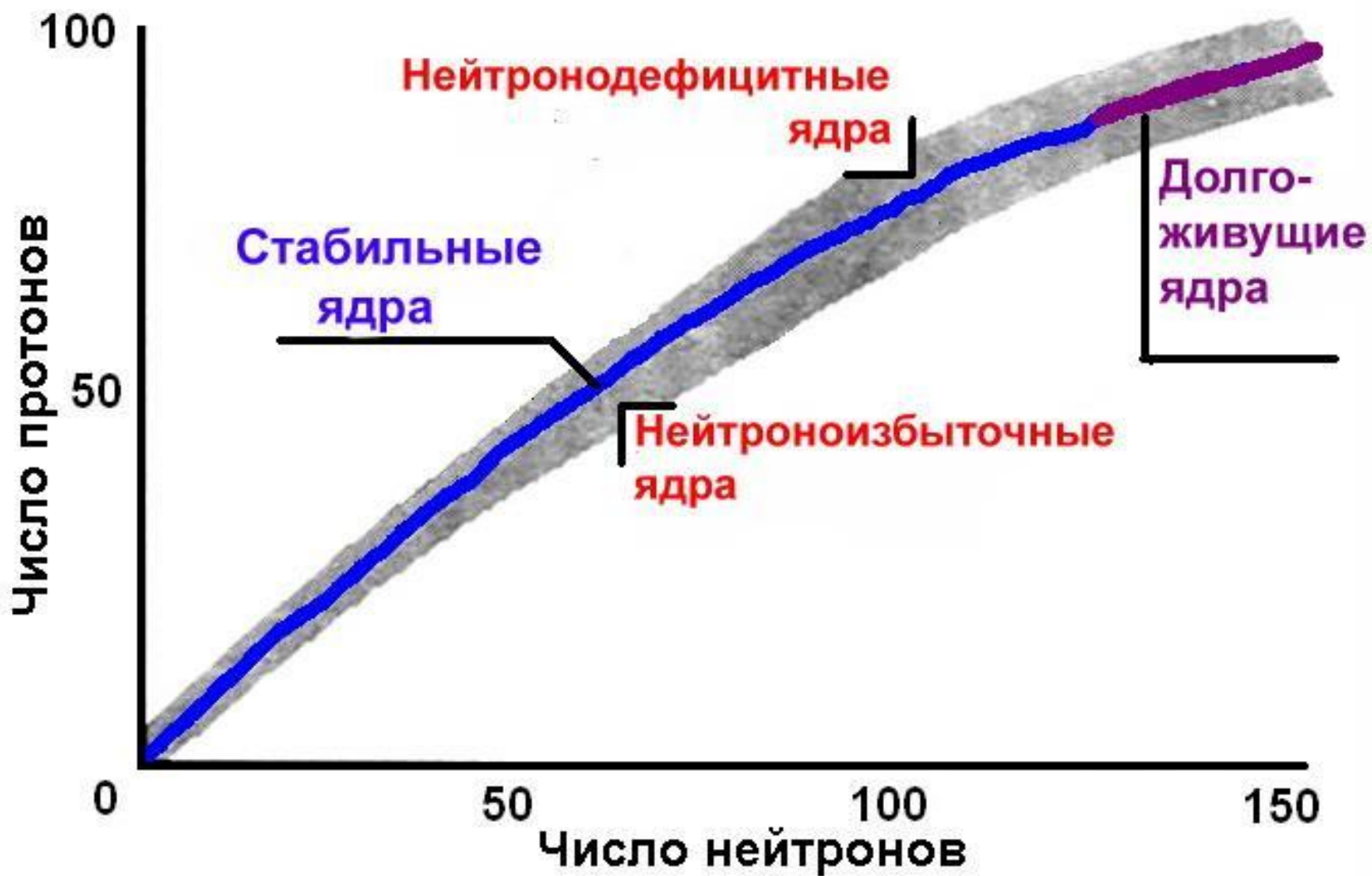
Спонтанное деление



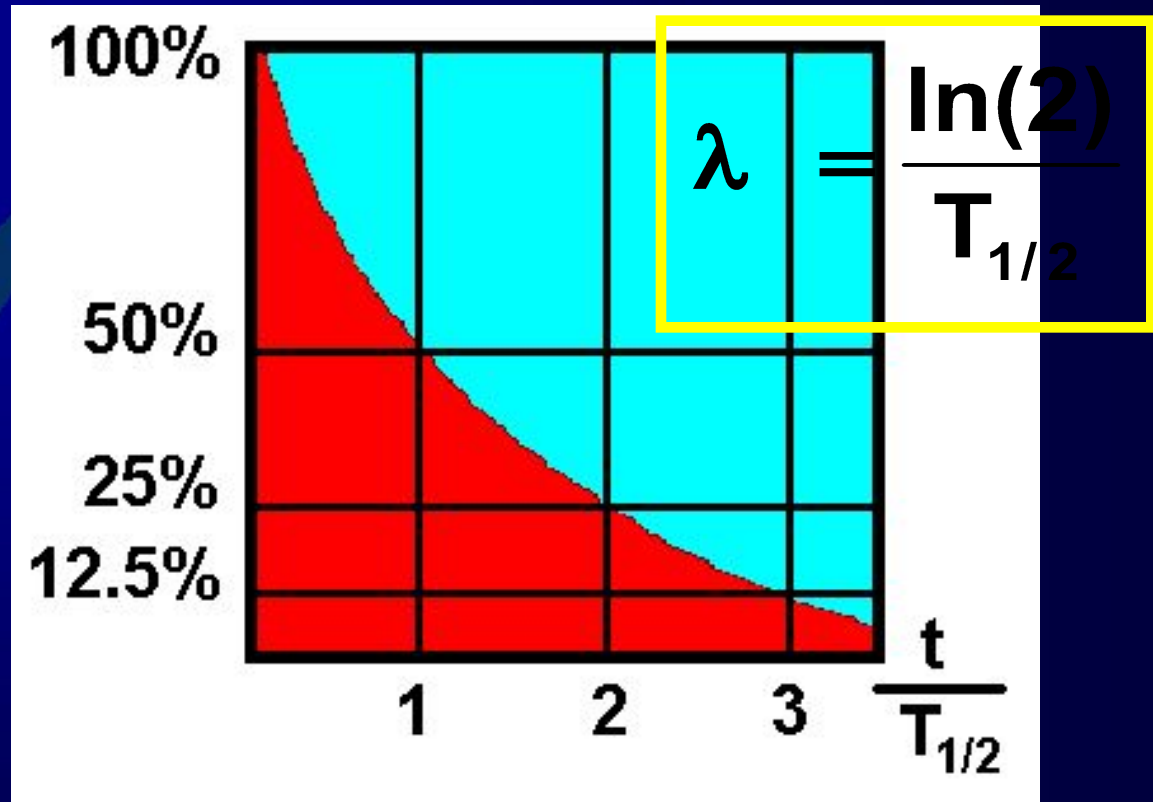
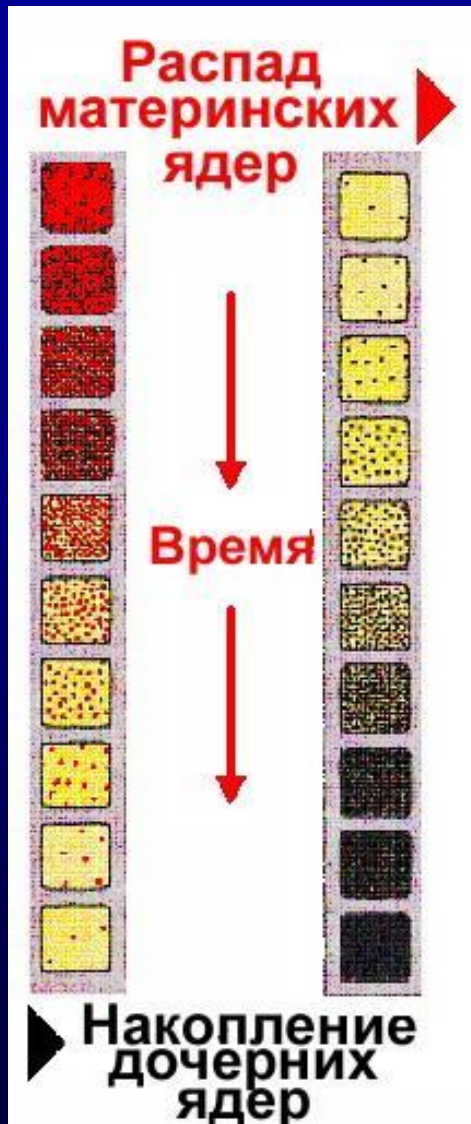
Преобразование ядер при их превращениях



Область стабильности



Концепция периода полураспада



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

Цепочки радионуклидов



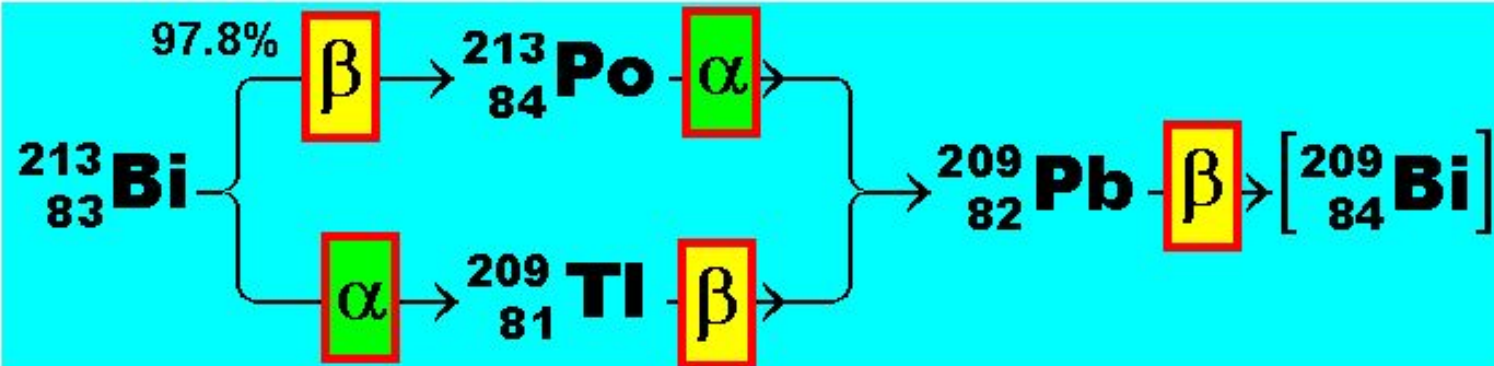
Элементарная



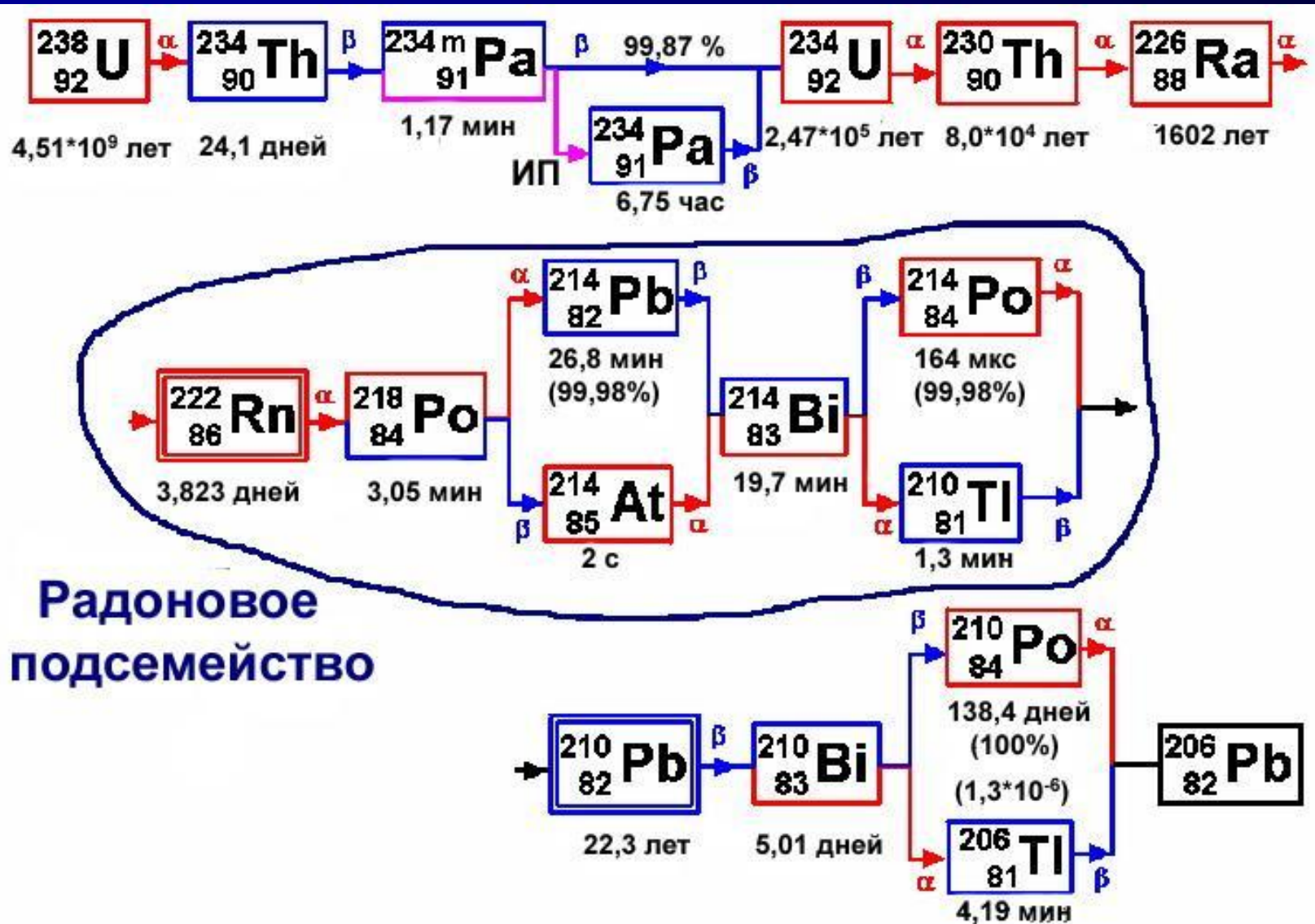
Простая



Сложная



Урановое семейство



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.

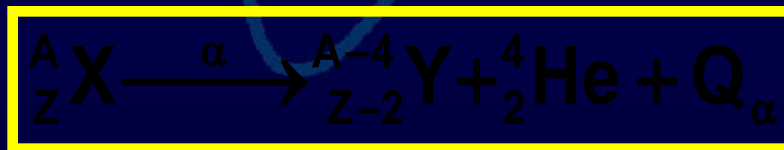
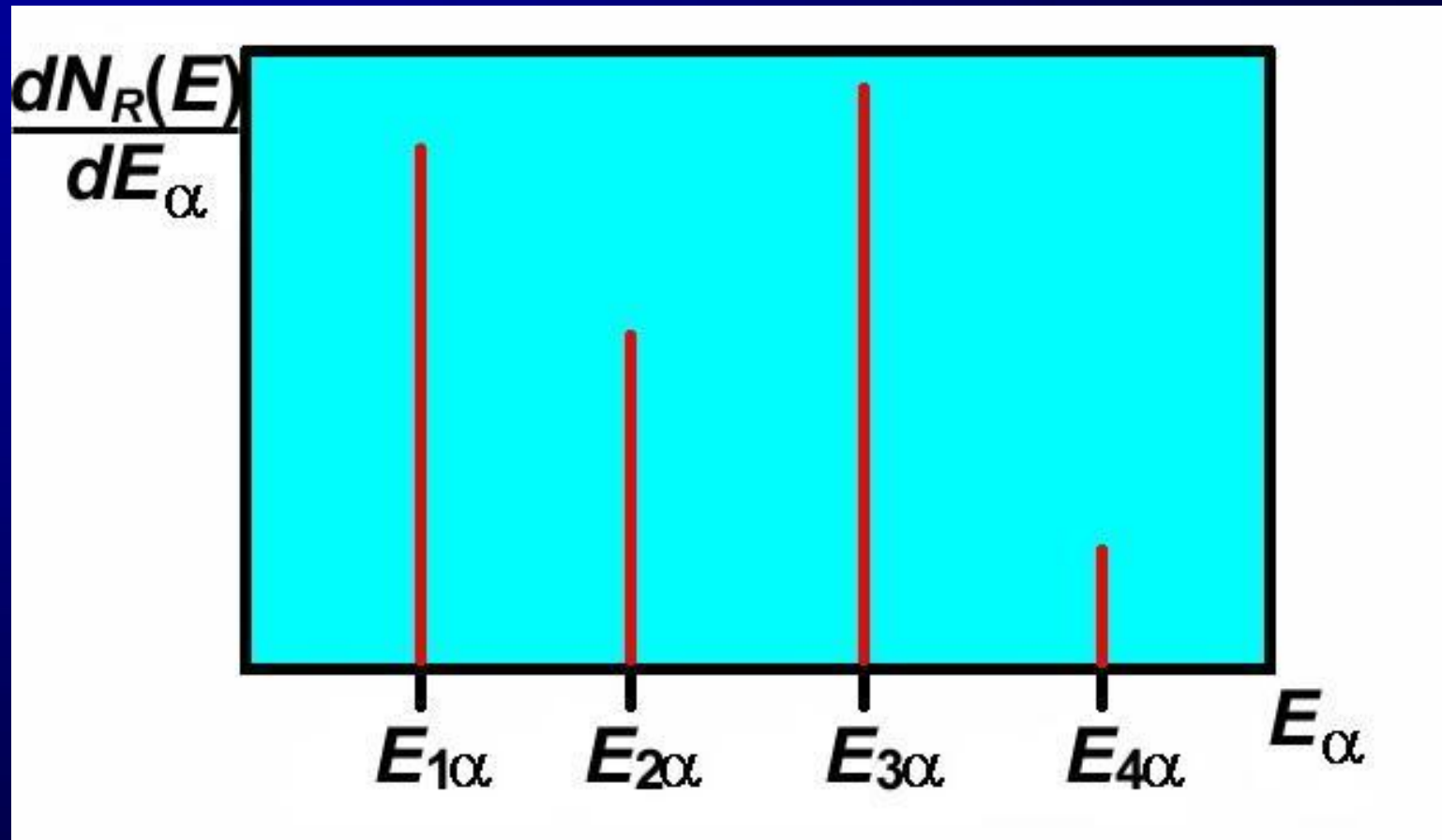


Ионизирующее излучение

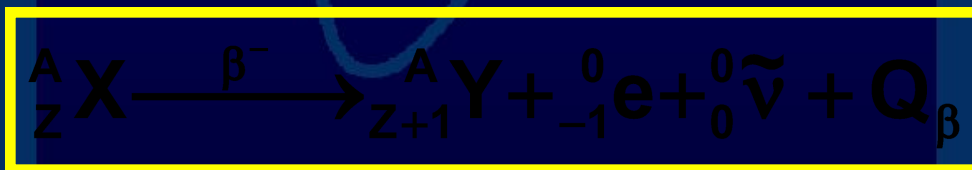
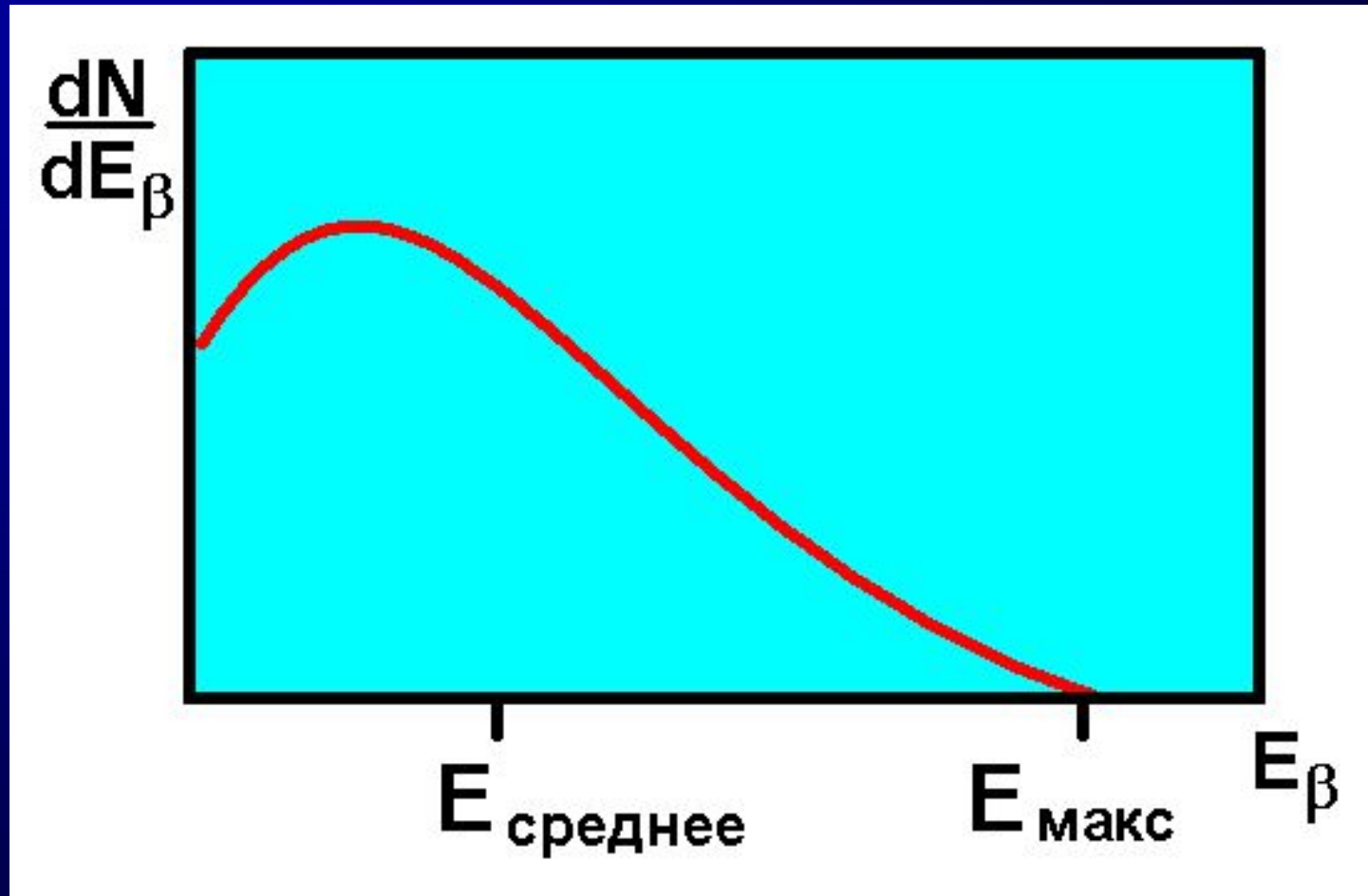
- Ионизирующим называют излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к ионизации атомов и молекул, т.е. к возникновению в облученном веществе ионов разных знаков.
- В общем, все излучения можно разделить на две основные категории: косвенно ионизирующие и непосредственно ионизирующие, в зависимости от возможности ионизировать вещество.



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

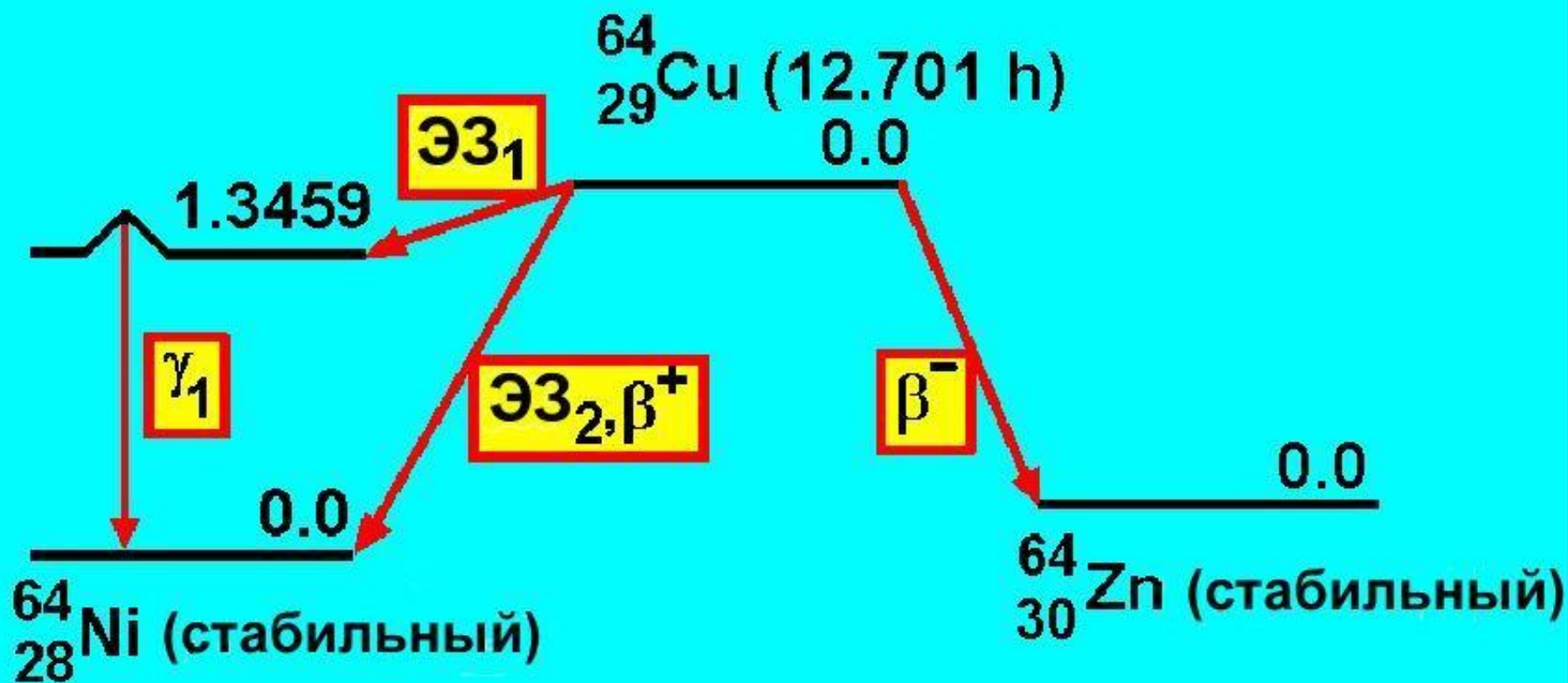
Частицы или фотоны

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.

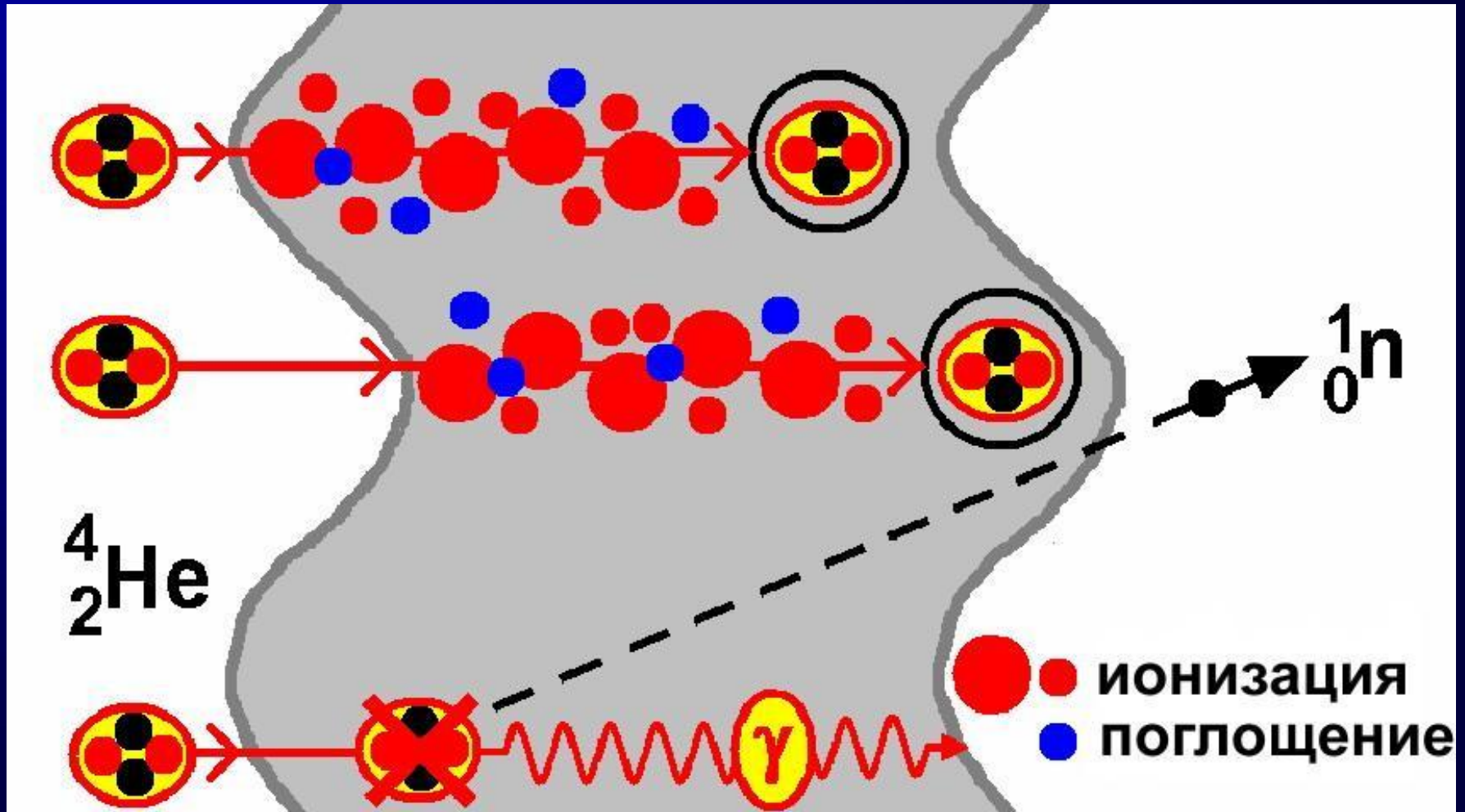
Нейтроны и фотоны могут вызвать ионизацию только косвенно.

Прямая ионизация

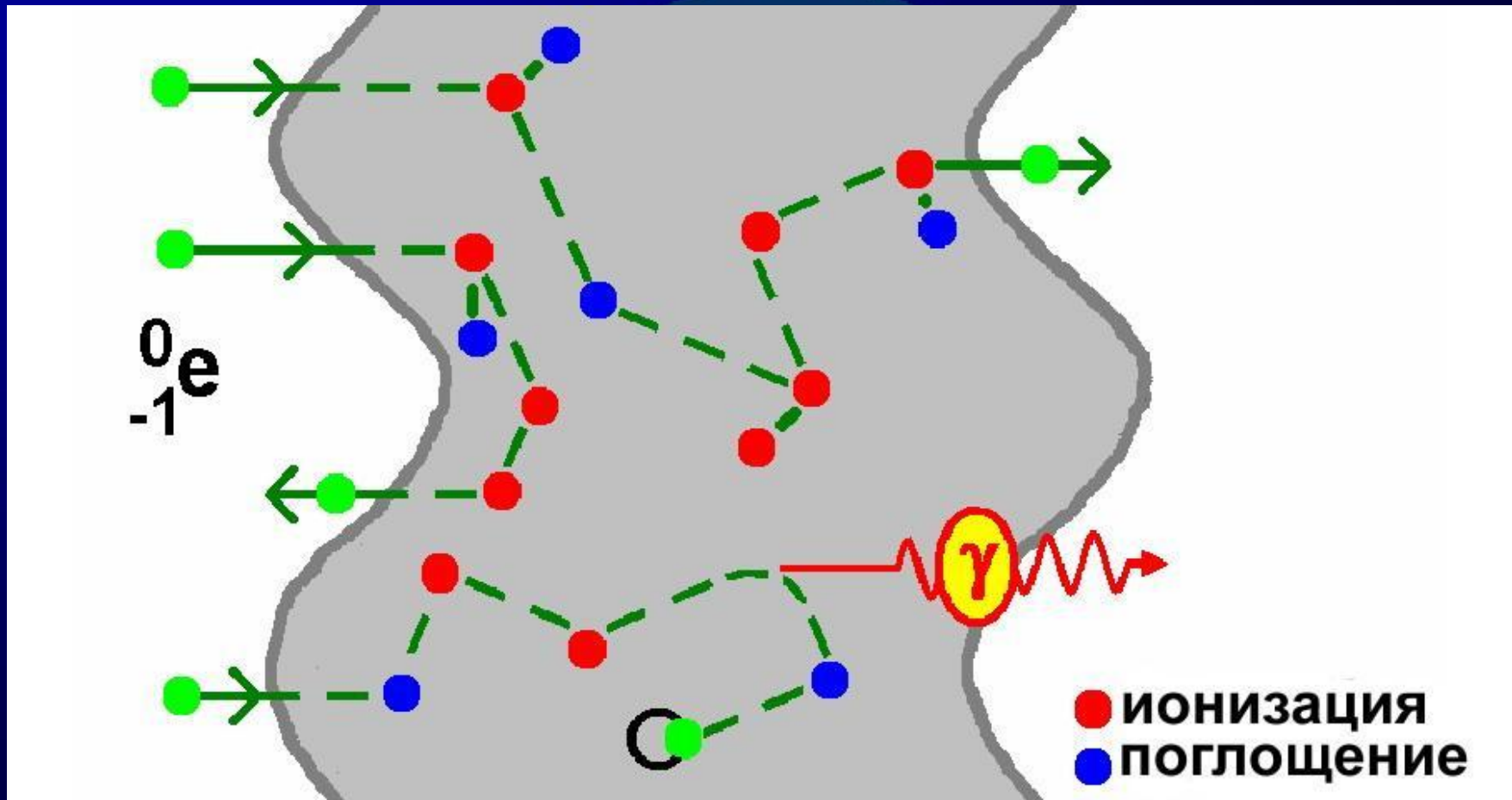
Прямая ионизация атомов и молекул заряженными частицами — основной процесс передачи энергии излучения веществу.

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

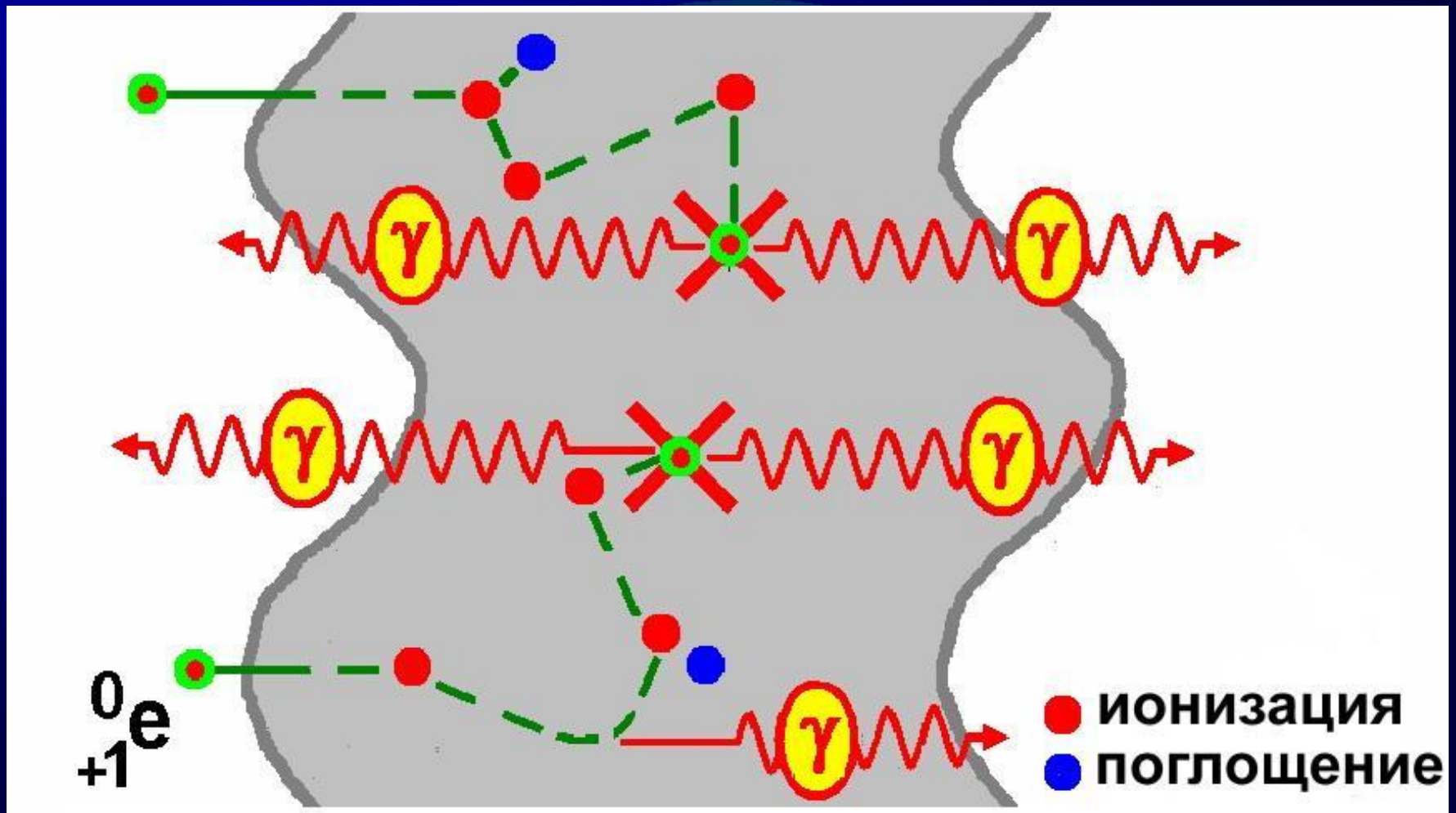
Взаимодействие альфа-частиц



Взаимодействие электронов



Взаимодействие позитронов



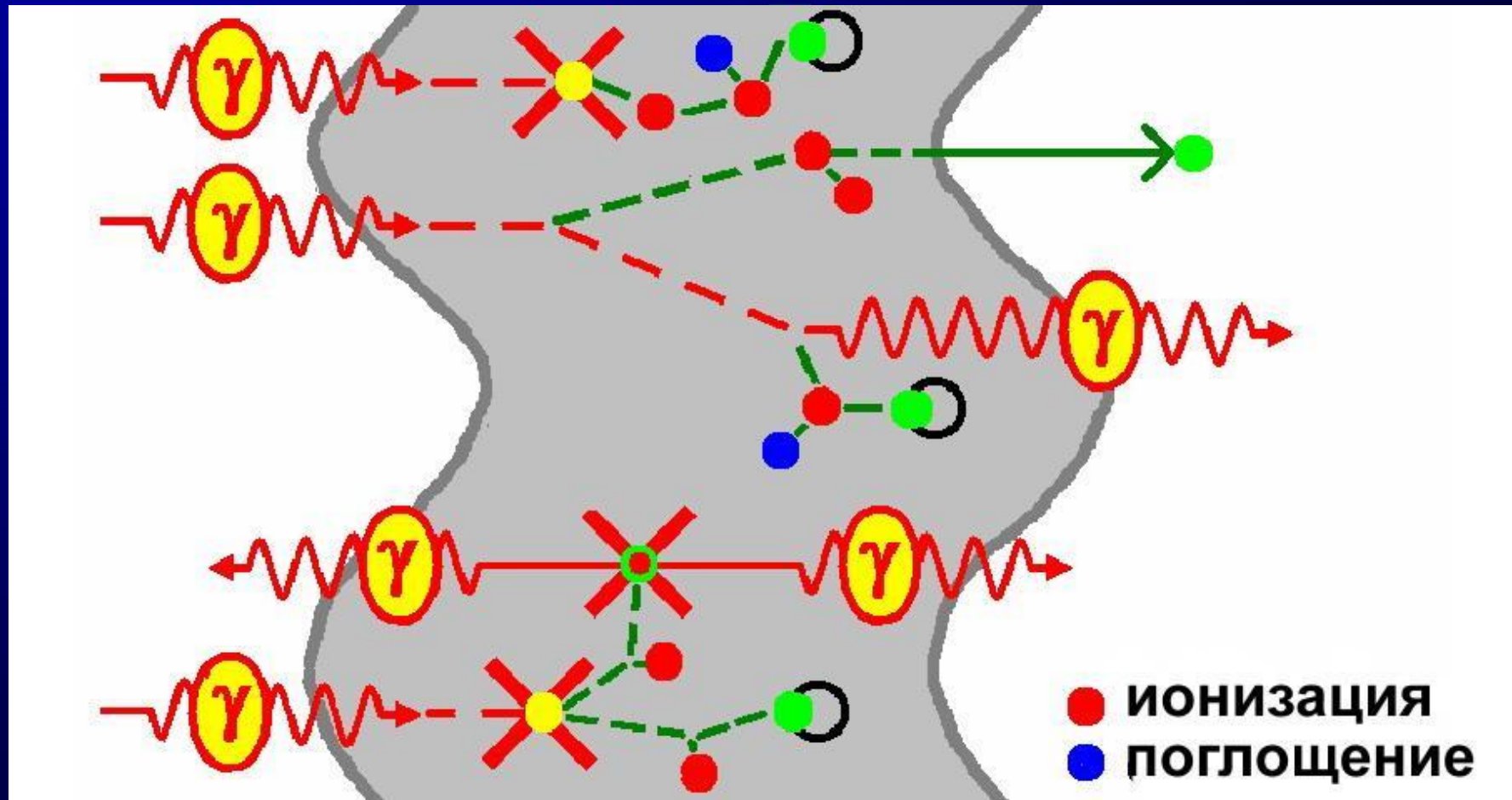
Косвенная ионизация

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

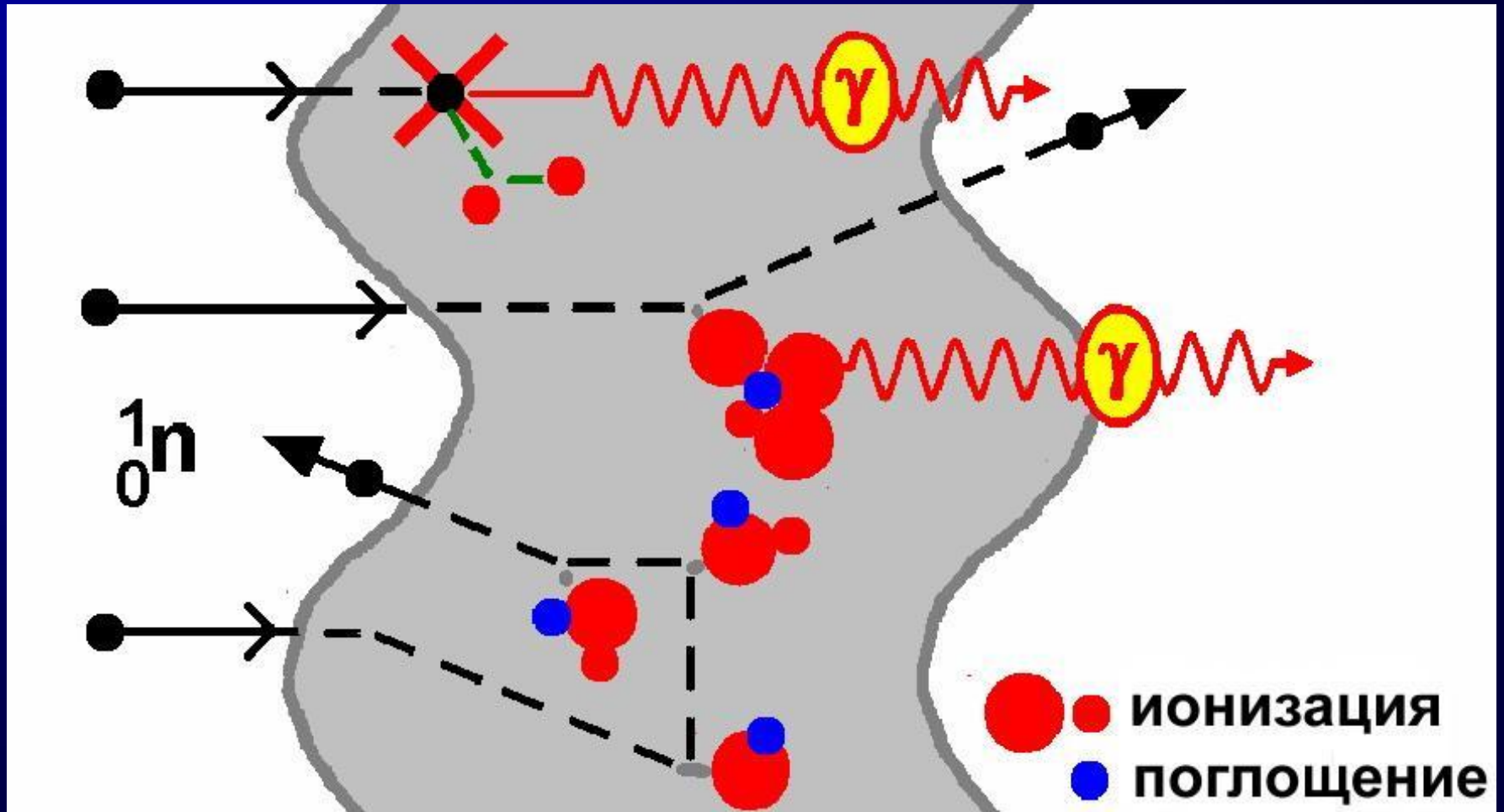
Ионизация вещества возникает от взаимодействия **вторичных заряженных частиц** с электронной структурой атома.



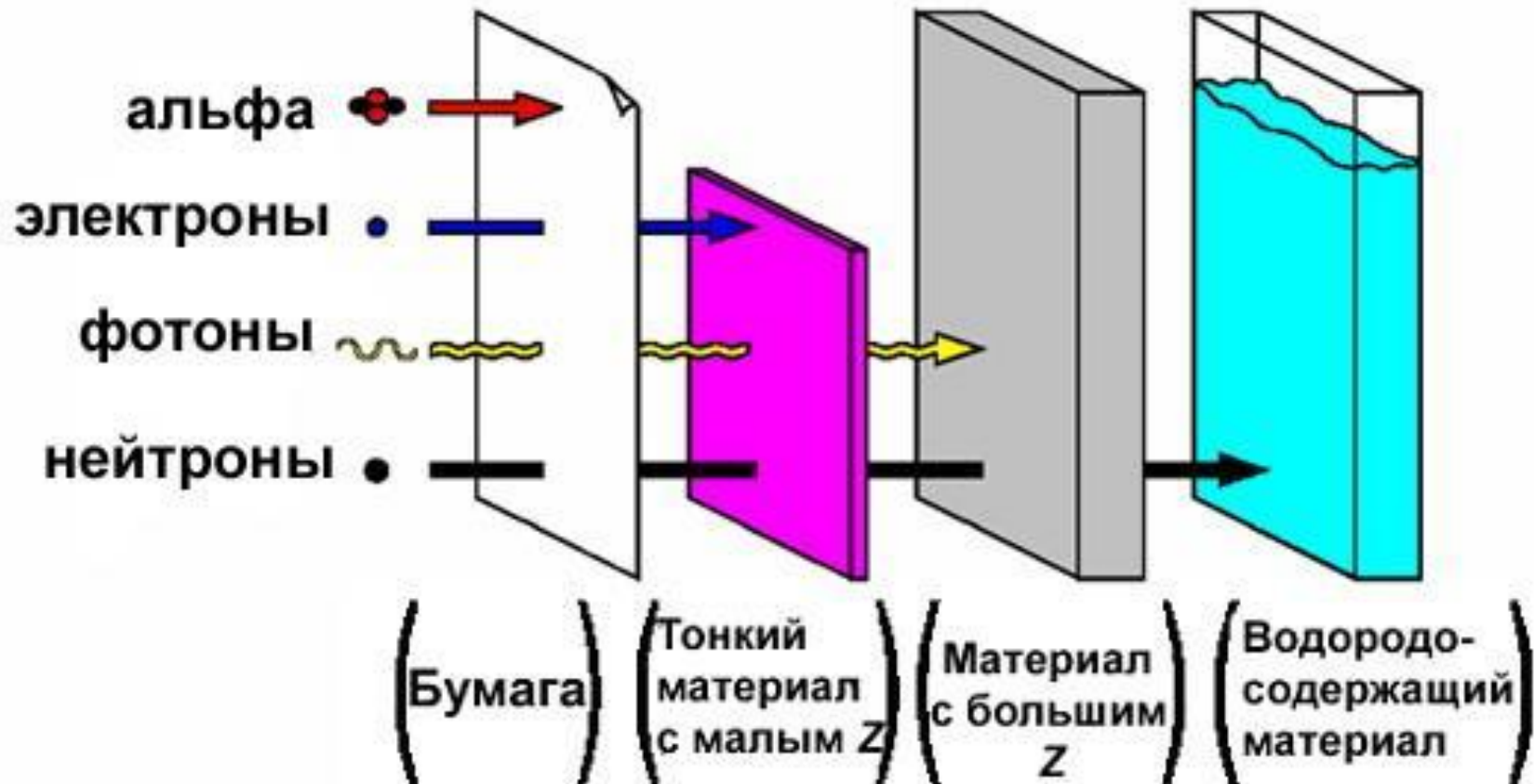
Взаимодействие фотонов



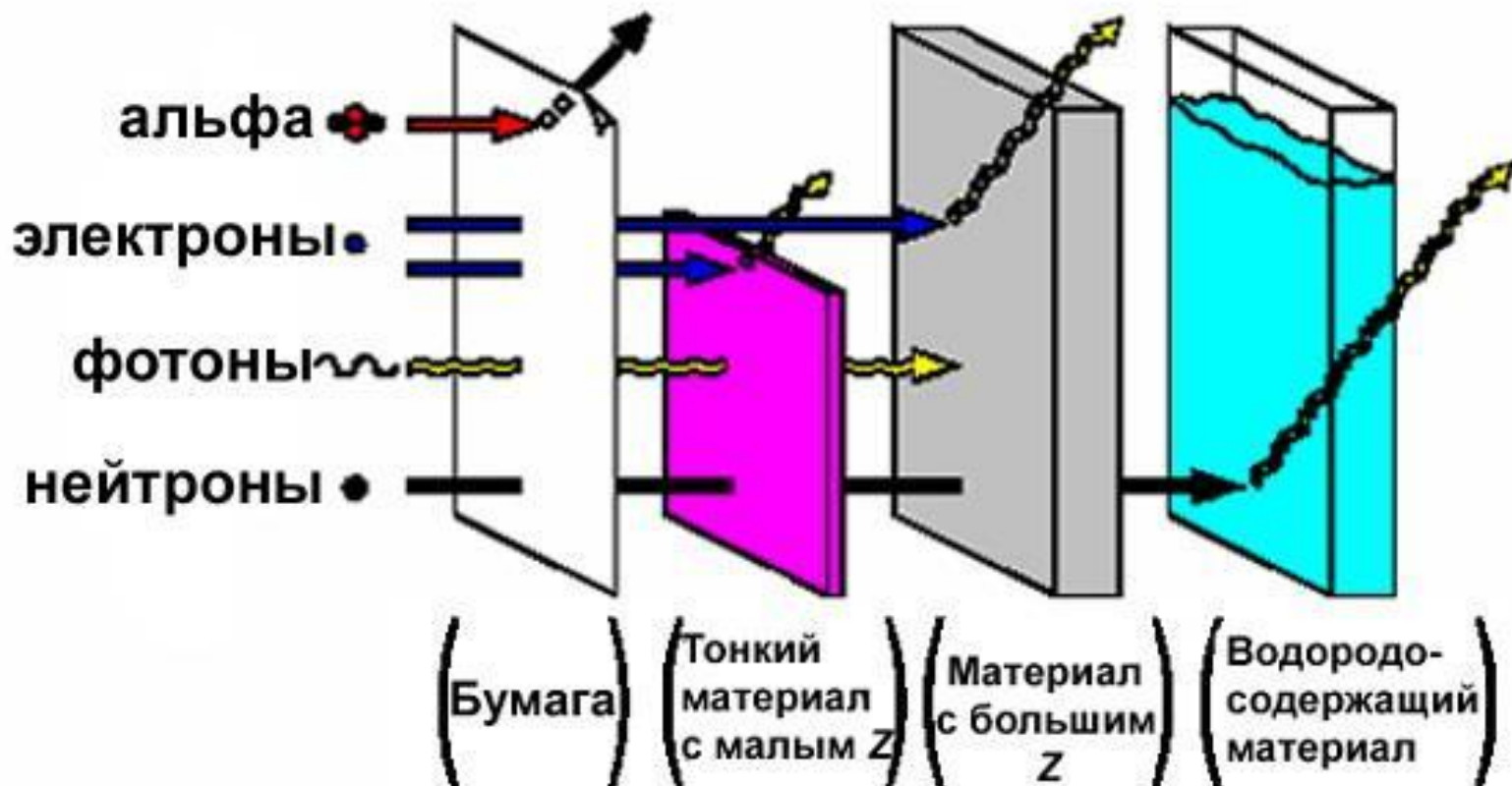
Взаимодействие нейтронов



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.