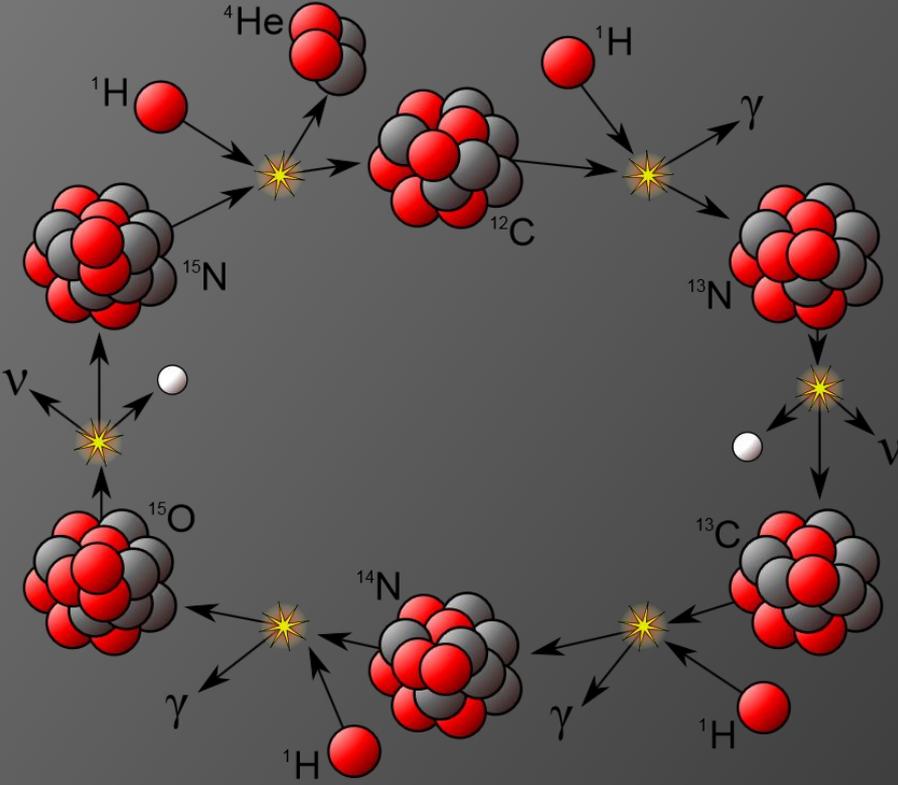


«Казанский национальный исследовательский  
технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ»

# РАДИОАКТИВНЫ Й РАСПАД

Выполнил: Кришкин Б.В.



	Proton	$\gamma$	Gamma Ray
	Neutron	$\nu$	Neutrino
	Positron		

Радиоактивный распад — спонтанное изменение состава или внутреннего строения нестабильных атомных ядер путём испускания элементарных частиц, гамма-квантов и/или ядерных фрагментов. Процесс радиоактивного распада также называют радиоактивностью, а соответствующие ядра радиоактивными. Радиоактивными называют также вещества, содержащие радиоактивные ядра.

Установлено, что радиоактивны все химические элементы с порядковым номером, большим 82, и некоторые более лёгкие элементы.

*Естественная радиоактивность* — самопроизвольный распад атомных ядер, встречающихся в природе.

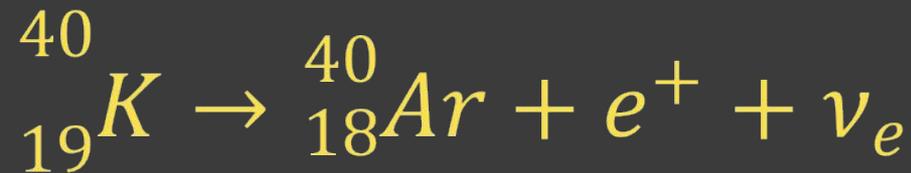
*Искусственная радиоактивность* — самопроизвольный распад атомных ядер, полученных искусственным путем через соответствующие ядерные реакции.

Ядро, испытывающее радиоактивный распад, и ядро, возникающее в результате этого распада, называют соответственно материнским и дочерним ядрами. Изменение массового числа и заряда дочернего ядра по отношению к материнскому описывается правилом смещения Содди.

Распад, сопровождающийся испусканием альфа-частиц, назвали альфа-распадом; распад, сопровождающийся испусканием бета-частиц, был назван бета-распадом. Термин «гамма-распад» применяется редко; испускание ядром гамма-квантов называют обычно изомерным переходом. Гамма-излучение часто сопровождает другие типы распада, когда в результате первого этапа распада возникает дочернее ядро в возбуждённом состоянии, затем испытывающее переход в основное состояние с испусканием гамма-квантов.

Энергетические спектры  $\alpha$ -частиц и  $\gamma$ -квантов, излучаемых радиоактивными ядрами, прерывистые, а спектр  $\beta$ -частиц — непрерывный.

Ядра с одинаковым массовым числом  $A$  (изобары) могут переходить друг в друга посредством бета-распада. В каждой изобарной цепочке содержится от 1 до 3 бета-стабильных нуклидов (они не могут испытывать бета-распад, однако не обязательно стабильны по отношению к другим видам радиоактивного распада). Остальные ядра изобарной цепочки бета-нестабильны; путём последовательных бета-минус- или бета-плюс-распадов они превращаются в ближайший бета-стабильный нуклид. Ядра, находящиеся в изобарной цепочке между двумя бета-стабильными нуклидами, могут испытывать и  $\beta^-$ , и  $\beta^+$ -распад. Например, существующий в природе радионуклид калий-40 способен распадаться в соседние бета-стабильные ядра аргон-40 и кальций-40:



# Закон радиоактивного распада

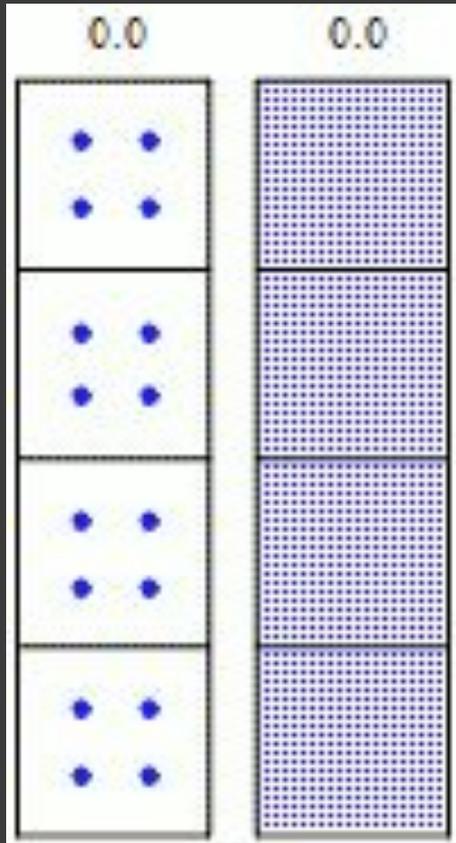
Закон радиоактивного распада — закон, открытый Фредериком Содди и Эрнестом Резерфордом экспериментальным путём и сформулированный в 1903 году. Современная формулировка закона:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

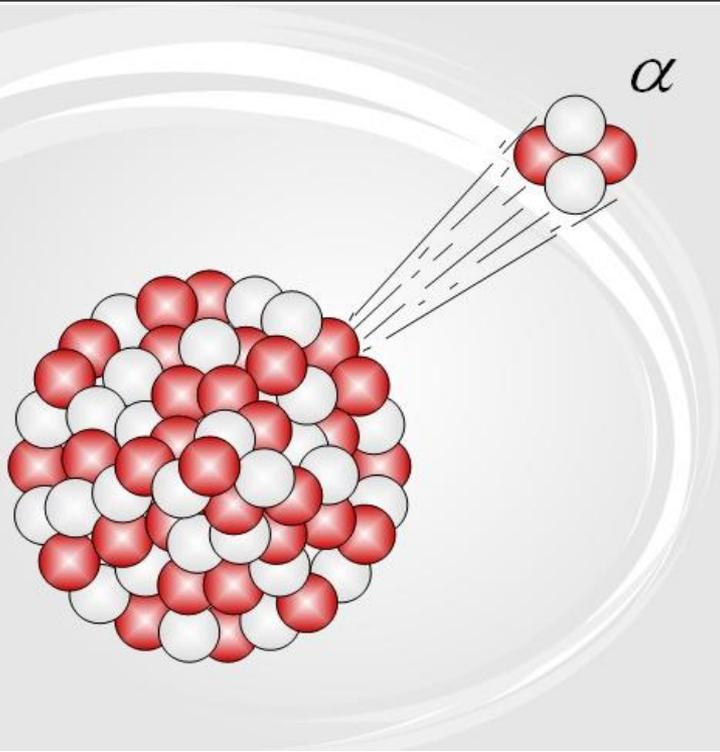
что означает, что число распадов за интервал времени  $t$  в произвольном веществе пропорционально числу  $N$  имеющихся в образце радиоактивных атомов данного типа.

В этом математическом выражении  $\lambda$  — постоянная распада, которая характеризует вероятность радиоактивного распада за единицу времени и имеет размерность  $s^{-1}$ . Знак минус указывает на убыль числа радиоактивных ядер со временем. Закон выражает независимость распада радиоактивных ядер друг от друга и от времени: вероятность распада данного ядра в каждую следующую единицу времени не зависит от времени, прошедшего с начала эксперимента, и от количества ядер, оставшихся в образце.

Этот закон считается основным законом радиоактивности, из него было извлечено несколько важных следствий, среди которых формулировки характеристик распада — среднее время жизни атома и период полураспада.

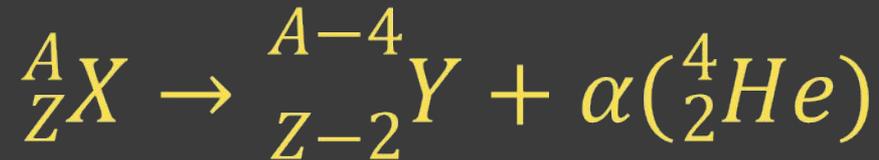


# Альфа-распад

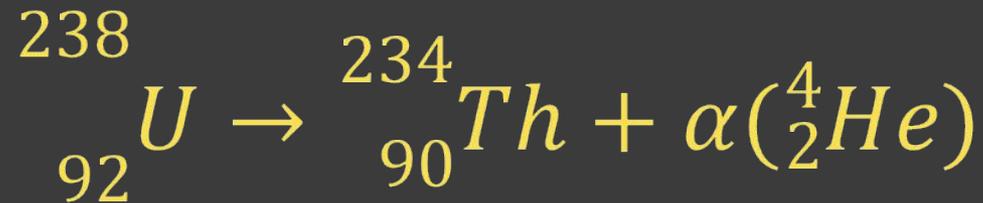


Альфа-распад — вид радиоактивного распада ядра, в результате которого происходит испускание альфа-частицы. При этом массовое число уменьшается на 4, а атомный номер — на 2. Альфа-распад наблюдается только у тяжёлых ядер. Альфа-частица испытывает туннельный переход через кулоновский барьер в ядре, поэтому альфа-распад является существенно квантовым процессом. Поскольку вероятность туннельного эффекта зависит от высоты барьера экспоненциально, период полураспада альфа-активных ядер экспоненциально растёт с уменьшением энергии альфа-частицы. При энергии альфа-частицы меньше 2 МэВ время жизни альфа-активных ядер существенно превышает время существования Вселенной. Поэтому, хотя большинство природных изотопов тяжелее цезия в принципе способны распадаться по этому каналу, лишь для немногих из них такой распад действительно зафиксирован.

Скорость вылета альфа-частицы 9400(Nd-144)-23700(Po-212m) км/с. В общем виде формула альфа-распада выглядит следующим образом:

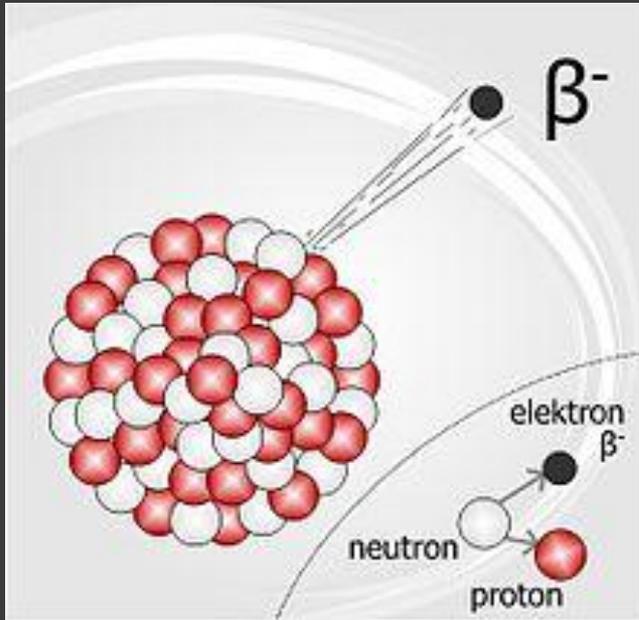


Пример альфа-распада для изотопа  $^{238}\text{U}$  :



Альфа-распад может рассматриваться как предельный случай кластерного распада.

# Бета-распад



Бета-распад — тип радиоактивного распада, обусловленного слабым взаимодействием и изменяющего заряд ядра на единицу. При этом ядро может излучать бета-частицу. В случае испускания электрона он называется «бета-минус-распадом», а в случае испускания позитрона — «бета-плюс-распадом». Кроме  $\alpha$ -распадов, к бета-распадам относят также электронный захват, когда ядро захватывает атомный электрон. Во всех типах бета-распада ядро излучает электронное нейтрино или антинейтрино.

В  $\beta^-$ -распаде слабое взаимодействие превращает нейтрон в протон, при этом испускаются электрон и антинейтрино:



На фундаментальном уровне это обусловлено превращением d-кварка в u-кварк с испусканием W-бозона.

В  $\beta^+$ -распаде протон превращается в нейтрон, позитрон и нейтрино:



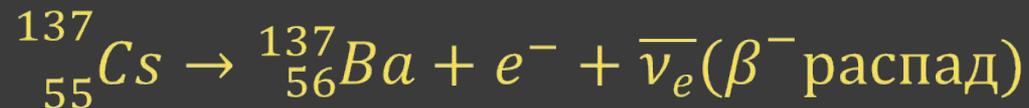
Таким образом, в отличие от  $\beta^-$ -распада,  $\beta^+$ -распад не может происходить в отсутствие внешней энергии, поскольку масса самого нейтрона больше массы протона.  $\beta^+$ -распад может случаться только внутри ядер, где абсолютное значение энергии связи дочернего ядра больше энергии связи материнского ядра. Разность между двумя этими энергиями идёт на превращение протона в нейтрон, позитрон и нейтрино и на кинетическую энергию получившихся частиц.

Во всех случаях, когда  $\beta^+$ -распад энергетически возможен (и протон является частью ядра с электронными оболочками), он сопровождается процессом электронного захвата, при котором электрон атома захватывается ядром с испусканием нейтрино:



Но если разность масс начального и конечного атомов мала, то электронный захват происходит, не сопровождаясь конкурирующим процессом позитронного распада; последний в этом случае запрещён законом сохранения энергии.

Когда протон и нейтрон являются частями атомного ядра, эти процессы распада превращают один химический элемент в другой. Например:



Бета-распад не меняет число нуклонов в ядре  $A$ , но меняет только его заряд  $Z$ . Таким образом может быть введён набор всех нуклидов с одинаковым  $A$ ; эти изобарные нуклиды могут превращаться друг в друга при бета-распаде.

# Двойной бета-распад

Двойной бета-распад,  $2\beta$ -распад,  $\beta\beta$ -распад — общее название нескольких видов радиоактивного распада атомного ядра, которые обусловлены слабым взаимодействием и изменяют заряд ядра на две единицы. Двойной бета-распад в собственном смысле слова сопровождается увеличением заряда ядра на две единицы и излучением двух электронов:



Другие виды  $2\beta$ -распада уменьшают заряд ядра на две единицы:

•двойной электронный захват,  $2\varepsilon$ -захват:



•электронный захват с эмиссией позитрона,  $\varepsilon\beta^+$ -распад:

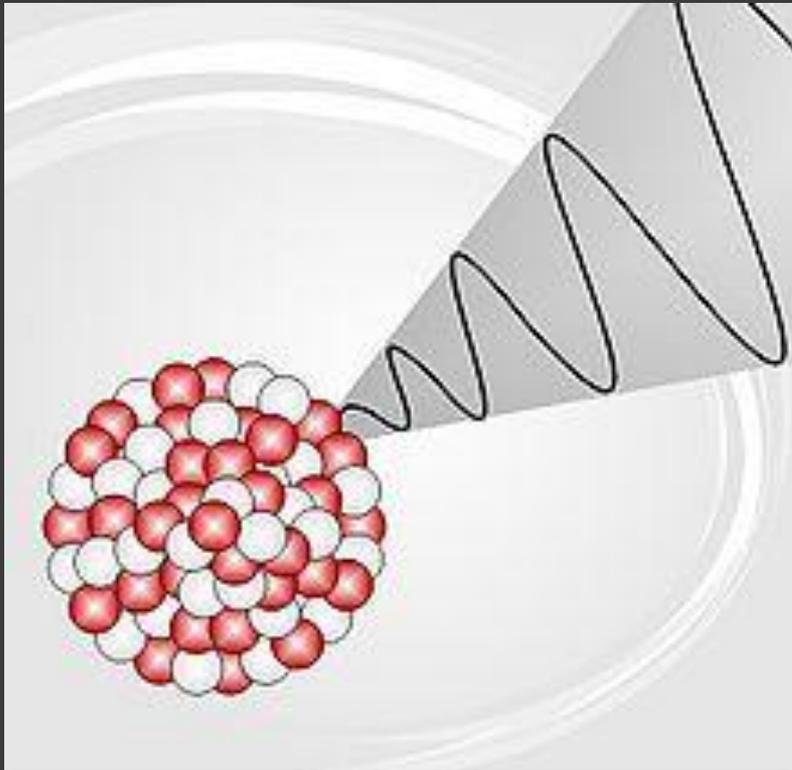


•двойной позитронный распад,  $2\beta^+$ -распад:



Двойной бета-распад — самый редкий из всех процессов радиоактивного распада. Все 11 нуклидов, для которых этот процесс достоверно наблюдался, имеют период полураспада больше чем  $7 \times 10^{18}$  лет, а у  $^{128}\text{Te}$  период полураспада составляет  $(3,5 \pm 2,0) \cdot 10^{24}$  лет, что на сегодня является абсолютным рекордом среди всех радиоактивных изотопов.

# Гамма-распад (изомерный переход)



Почти все ядра имеют, кроме основного квантового состояния, дискретный набор возбуждённых состояний с большей энергией (исключением являются ядра  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$  и  $^3\text{He}$ ). Возбуждённые состояния могут заселяться при ядерных реакциях либо радиоактивном распаде других ядер. Большинство возбуждённых состояний имеют очень малые времена жизни (менее наносекунды). Однако существуют и достаточно долгоживущие состояния (чьи времена жизни измеряются микросекундами, сутками или годами), которые называются изомерными, хотя граница между ними и короткоживущими состояниями весьма условна. Изомерные состояния ядер, как правило, распадаются в основное состояние (иногда через несколько промежуточных состояний). При этом излучаются один или несколько гамма-квантов; возбуждение ядра может сниматься также посредством вылета конверсионных электронов из атомной оболочки. Изомерные состояния могут распадаться также и посредством обычных бета- и альфа-распадов.