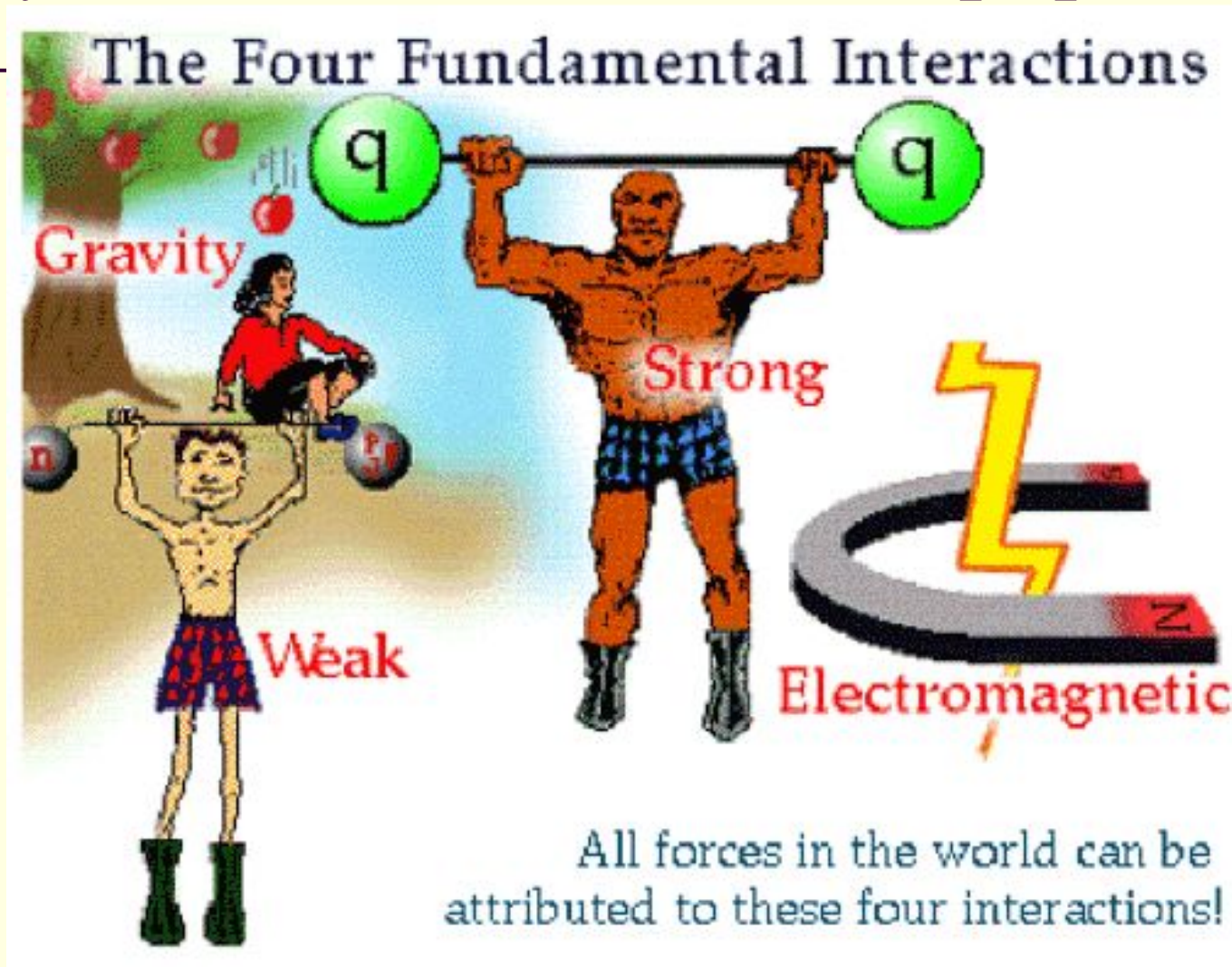


# Ядерные реакции

Лекция с элементами  
*самостоятельной работы*

# Фундаментальные силы природы



# Ядерные реакции

---

Ядерными называются реакции (самопроизвольно возникающие или искусственно вызванные), при которых исходное атомное ядро претерпевает более или менее глубокие превращения, в результате которых образуются новые ядра или изменяется состояние ядра.

# Стабильность ядра

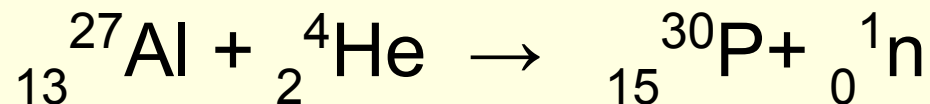
- Основные влияющие на стабильность факторы- масса ядра, его заряд и соотношение числа протонов и нейтронов в ядре.
- Стабильной связи нуклонов в ядре отвечает соотношение:

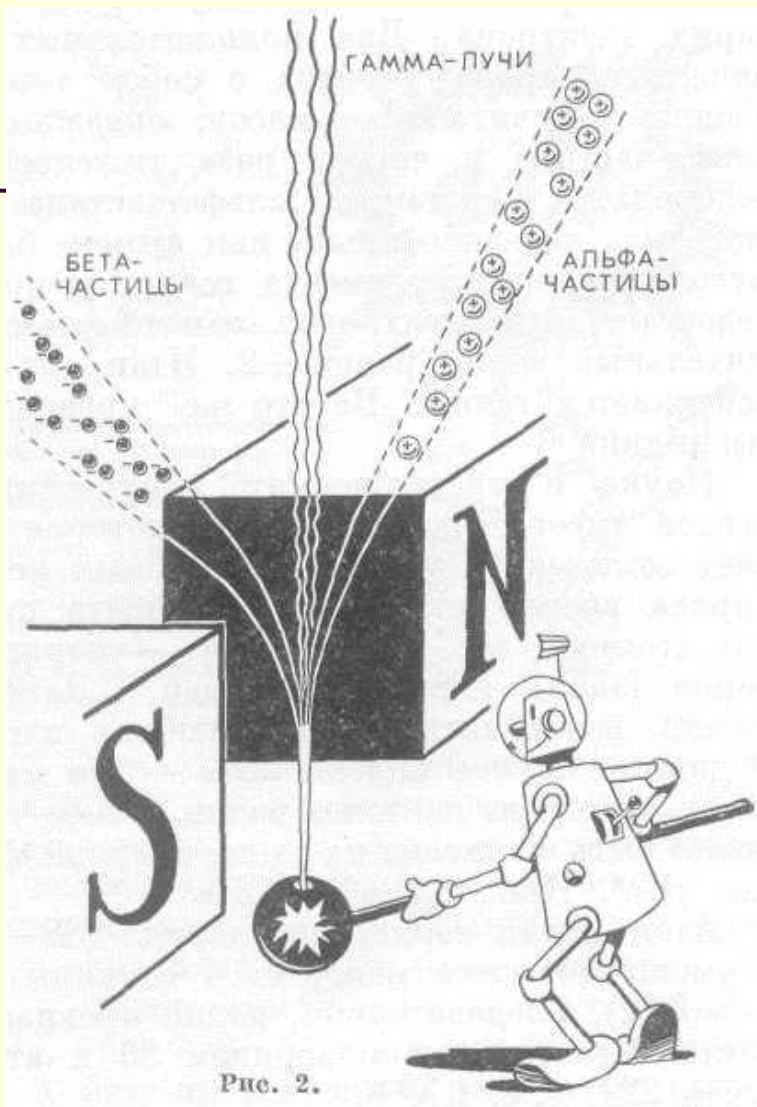
$$N/Z = 1 + 0,015 A^{2/3}$$

$$A < 250$$

# Радиоактивность

- 1898 г. Пьер и Мария Кюри открыли явление естественной радиоактивности (Ra, Po и Th).
- 1934 г. Ирен Кюри и Фредерик Жолио-Кюри открыли искусственную радиоактивность для тех изотопов, которые не встречаются в природе, но могут быть получены в результате ядерных процессов:

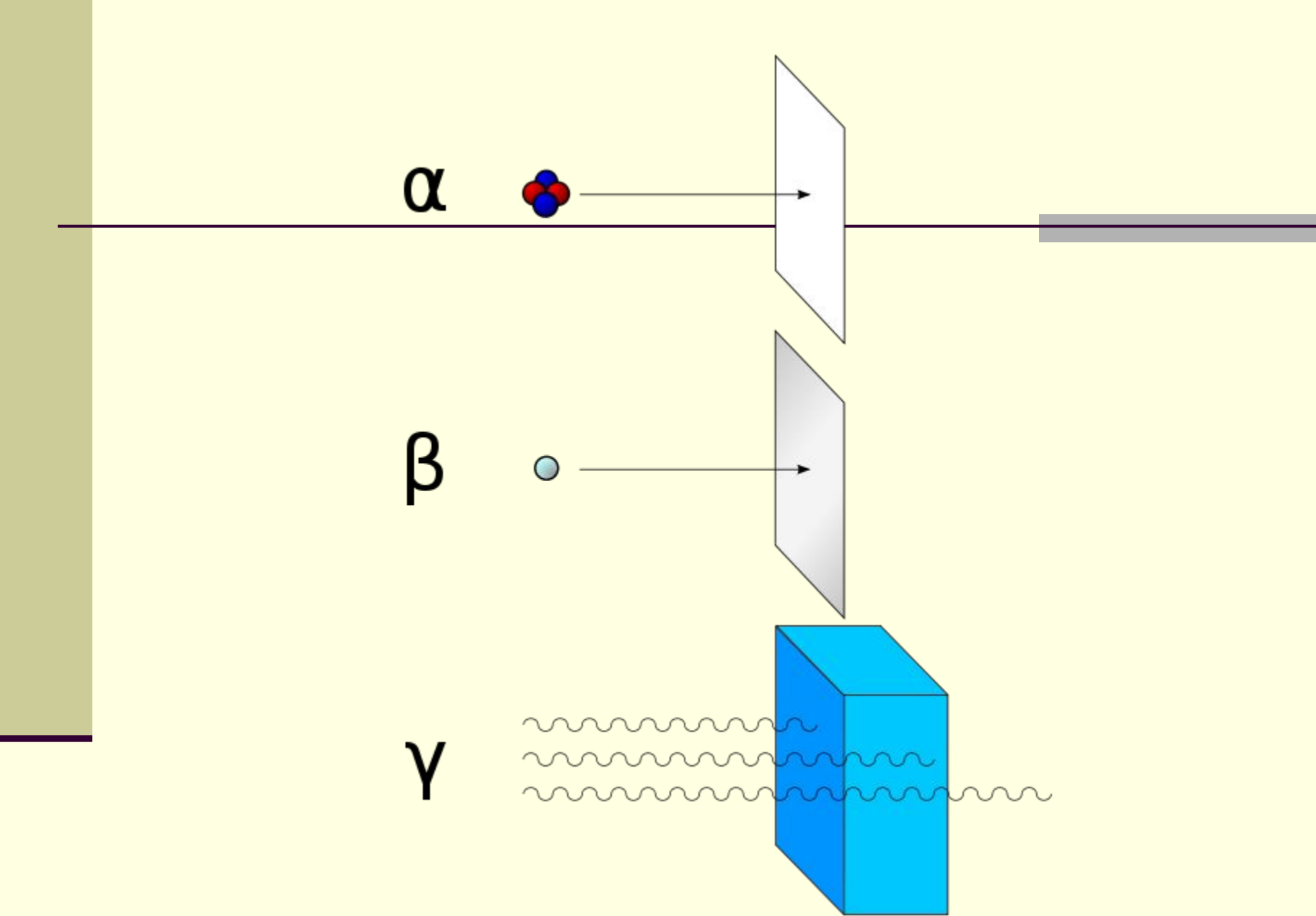




# Радиоактивное излучение

неоднородно:

- ▣ **α лучи** (Э. Резерфорд) отклоняются в электрическом поле к (-) полюсу. Скорость 20км/сек., длина пробега 3 - 11см.
- ▣ **β лучи** (Э. Резерфорд) отклоняются в электрическом поле к (+) полюсу. Скорость близка к скорости света (~300000 км/сек.)
- ▣ **γ лучи** (П. Виллар) не отклоняются ни в электрическом ни в магнитном поле. По природе это электромагнитное излучение с очень маленькой длиной волны ( $\lambda = 0,0005 - 0,04$  нм.)





Бумага  
0,2 мм

Оргстекло  
10 мм

Свинец  
15 см

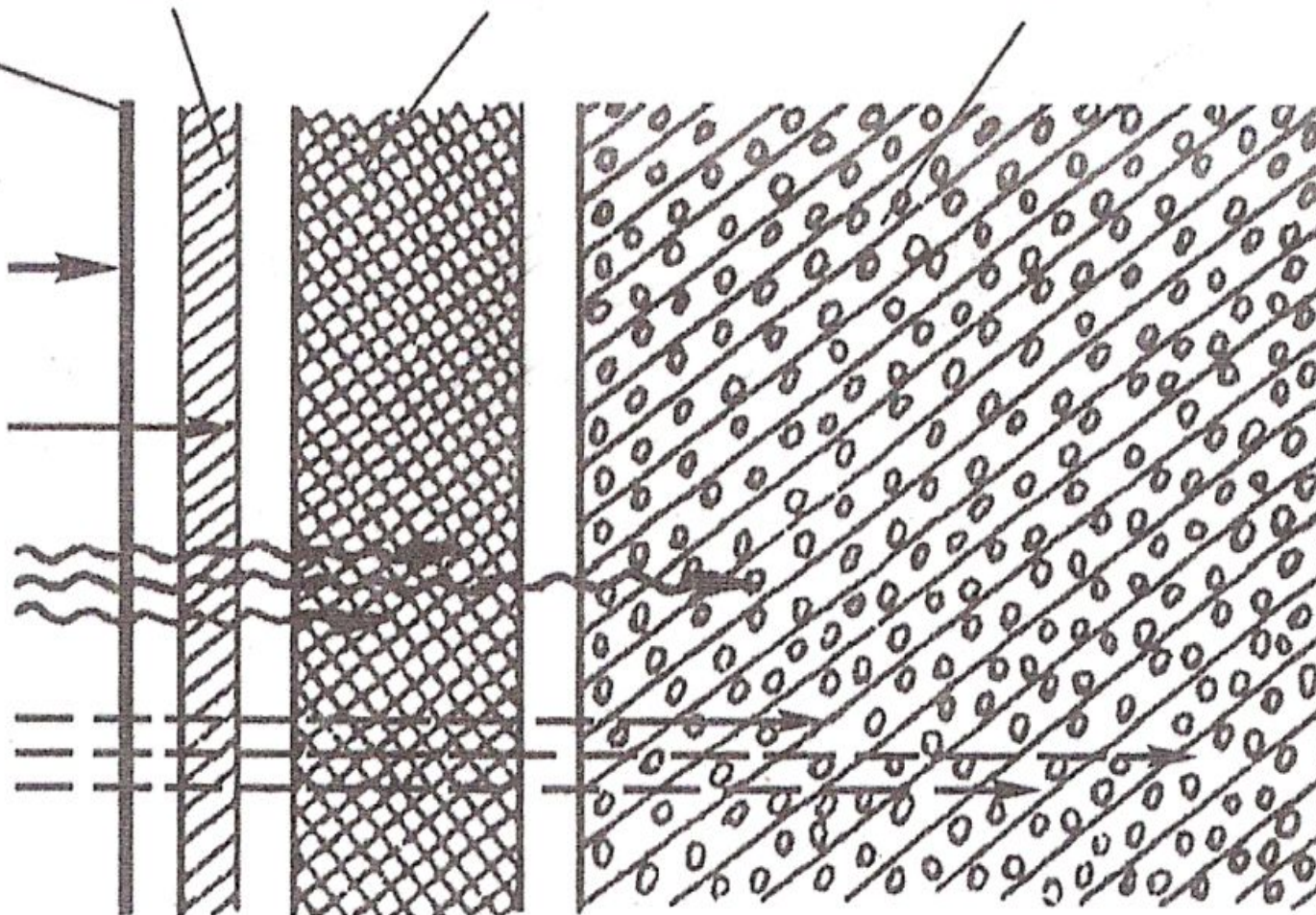
Бетон  
3 м

$\alpha$ -частицы

$\beta$ -частицы

$\gamma$ -кванты

Нейтроны



# Из 39 природных радиоактивных элементов

- ✓ 4 элемента имеют  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  лучи;
- ✓ 21 элемент  $\alpha$ ,  $\gamma$  лучи;
- ✓ 14 элементов  $\beta$ ,  $\gamma$  лучи.

# Естественную радиоактивность изучали Содди и Фаянс (1913 г.)

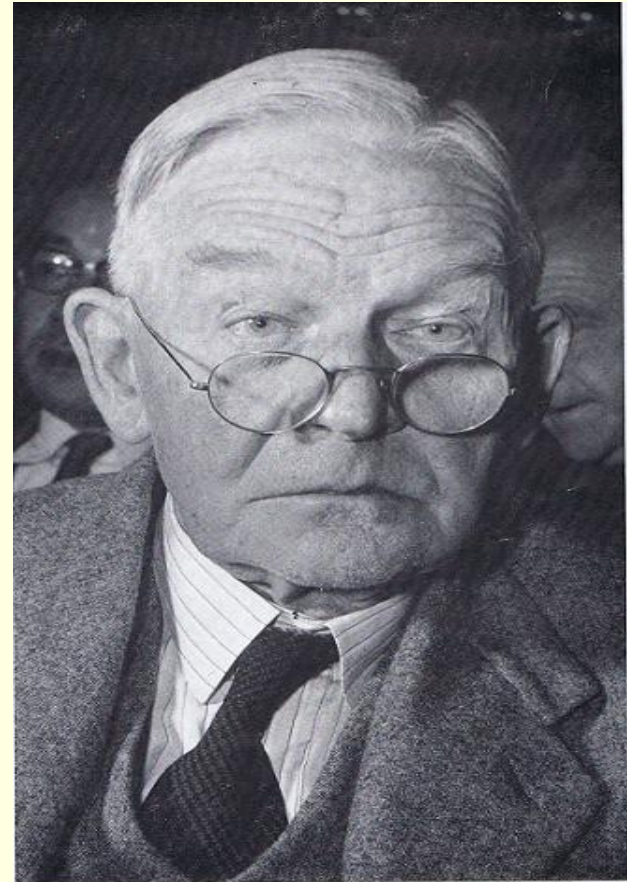
---

Они сформулировали правило сдвига или **закон смещения** при радиоактивном распаде.

К основным видам радиоактивности относятся:

- 1)  $\alpha$ -распад,
- 2) трансформационные превращения :  $\beta^-$  распад,  $\beta^+$ -распад, электронный захват,
- 3) спонтанное деление.

# Федерико Содди



Professor Soddy, the man to whom humanity owes so much

# Казимир Фаянс

---

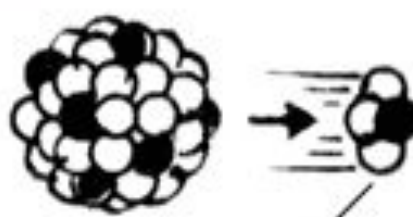
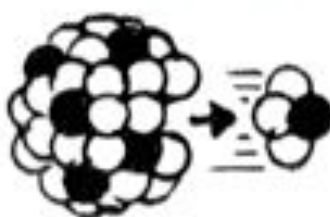


В.И. Комарова 2017 (очное)

## Альфа-распад

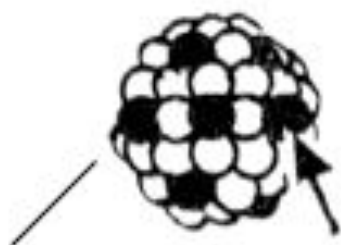


Ядро атома



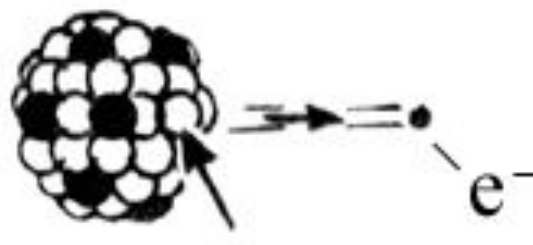
Альфа-частица

## Бета-распад



Ядро атома

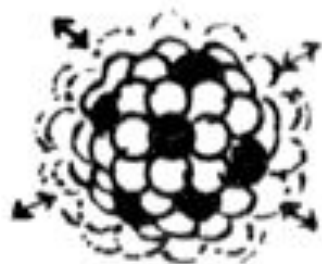
Нейтрон



Протон

e<sup>-</sup>

## Гамма-излучение

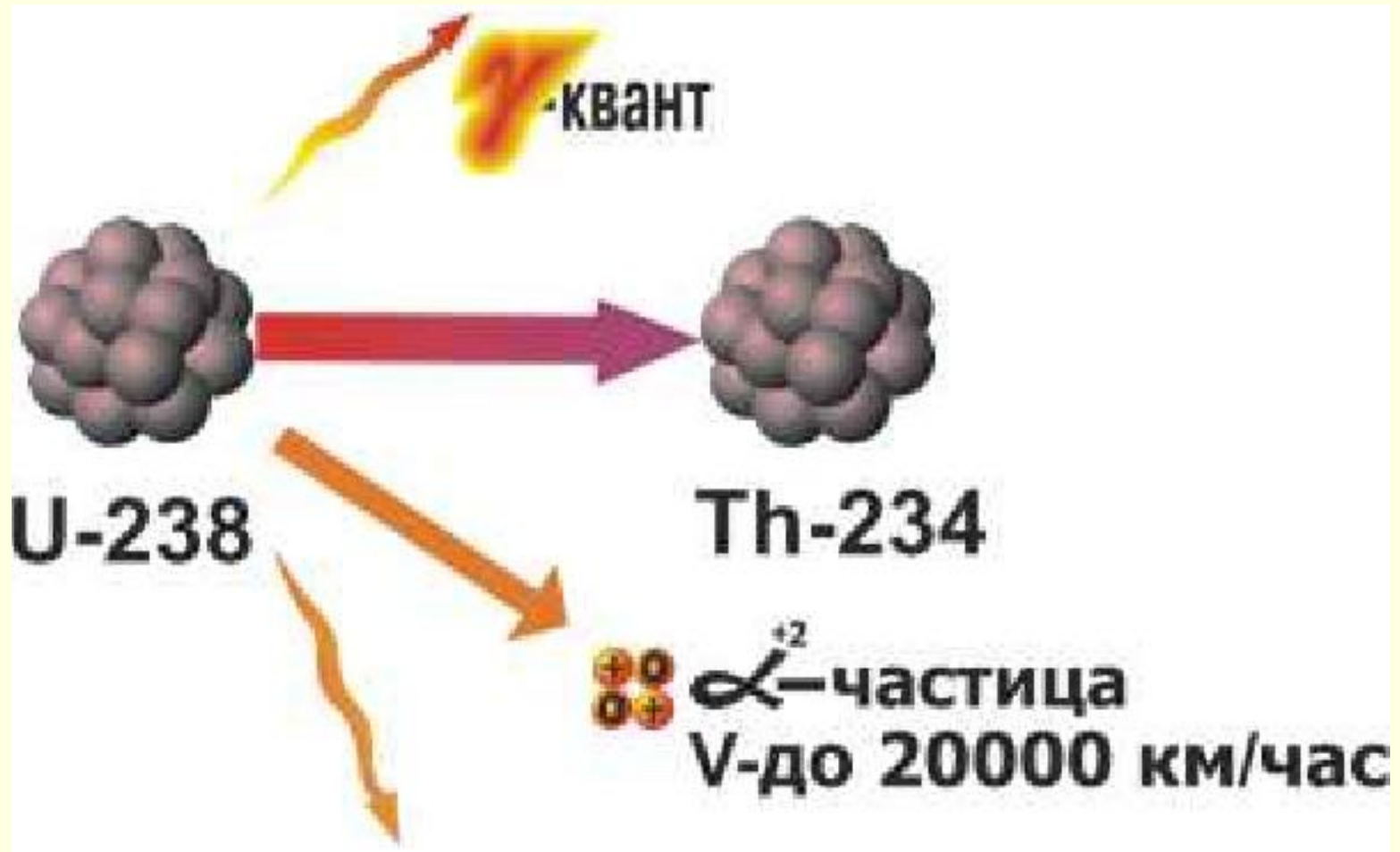


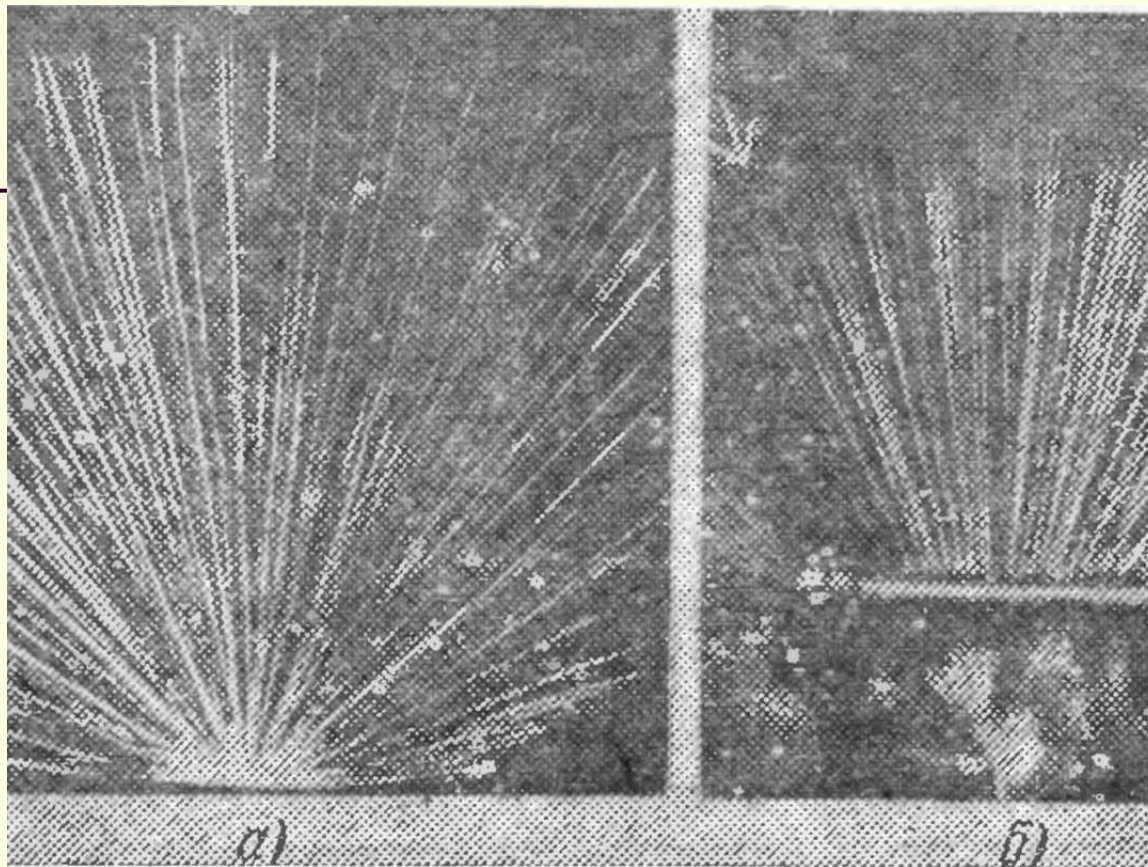
Возбуждённое ядро



Гамма-квант

# 1) $\alpha$ -распад





Трек (след) испускаемых альфа-частиц в слое фотоэмульсии



# Правило сдвига для альфа-распада:

---

- *При альфа-распаде дочерний элемент в таблице Д.И. Менделеева располагается на две клетки левее исходного.*
- Для *s*-, *p*-, *d*- семейств это означает переход элемента на две группы влево
- ***! напишите самостоятельно уравнение альфа-распада урана-238***

# Ядерные реакции проходят самопроизвольно,

если исходное ядро неустойчивое.

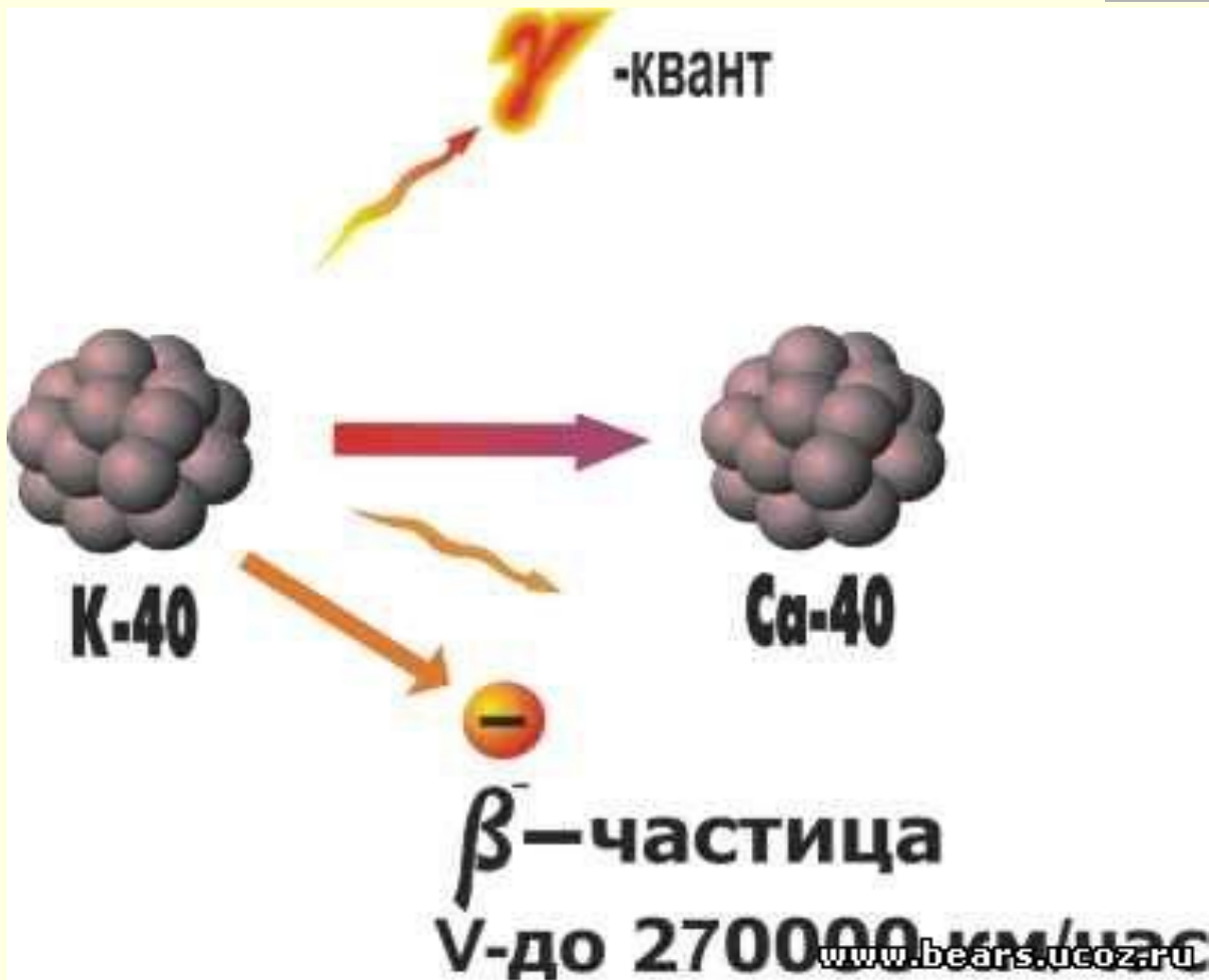
- Ядра бывают протонно-дефицитные или нейтронно-дефицитные.
- протонно-дефицитные ядра стабилизируются путем перехода нейтрона в протон: *(напишите самостоятельно!)*
- нейтронно-дефицитные стабилизируются путем перехода протона в нейтрон: *(напишите самостоятельно!)*

## *2) Трансформационные превращения*

---

- не приводят к изменению общего числа нуклонов в ядре. Поэтому его масса практически не изменяется и все превращения изобарны.
- Отдача позитрона протоном равнозначна присоединению электрона.

## 2) Трансформационные превращения: $\beta^-$ -распад



## 2) Трансформационные превращения: $\beta^-$ -распад

---

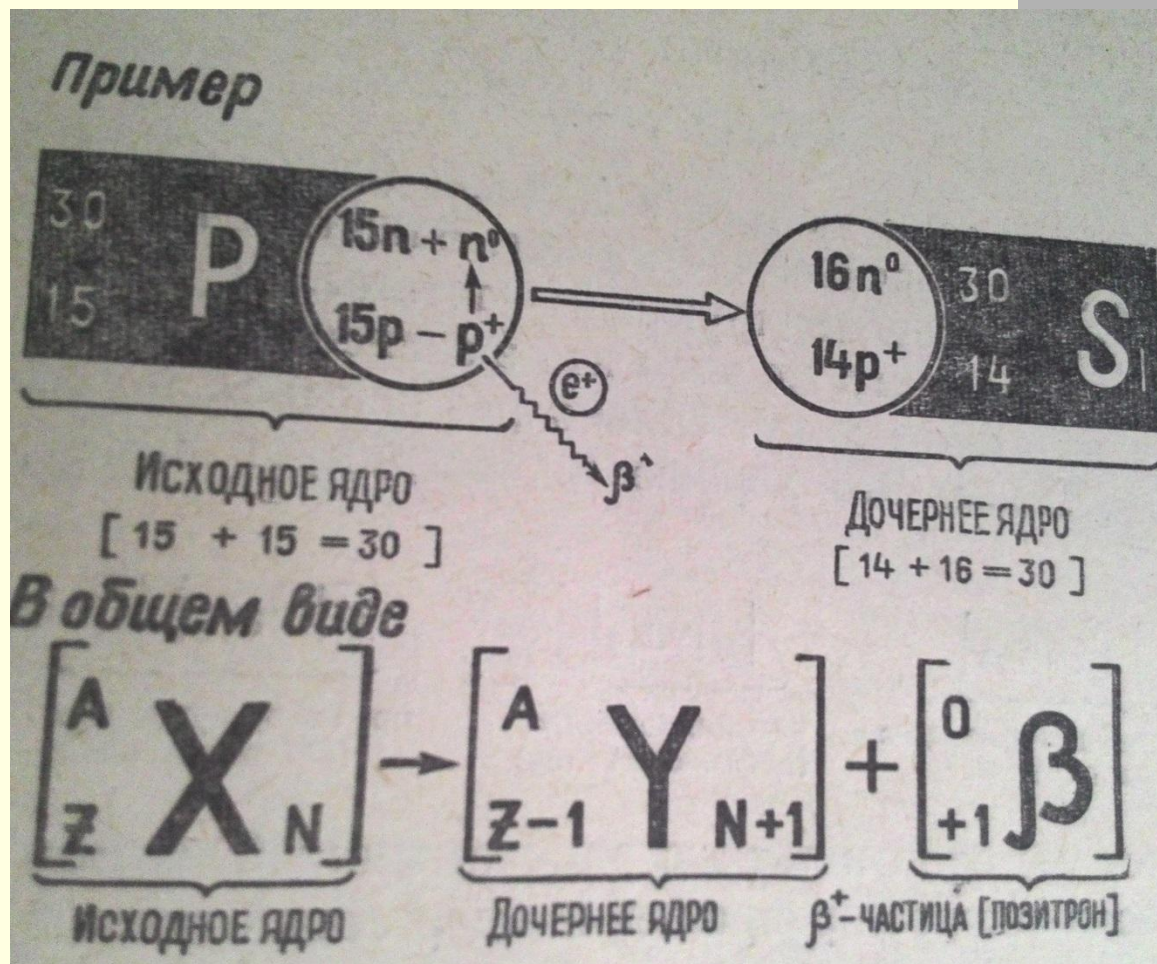
Правило сдвига:

*При эмиссии ядром электрона порядковый номер элемента увеличивается на единицу; дочерний элемент размещается на одну клетку правее исходного*

Для *s*-, *p*-, *d*- семейств это означает переход элемента в следующую по порядку группу

***! напишите самостоятельно уравнение  $\beta^-$ -распада урана-238***

## 2) Трансформационные превращения: $\beta^+$ -распад



## 2) Трансформационные превращения: $\beta^+$ -распад

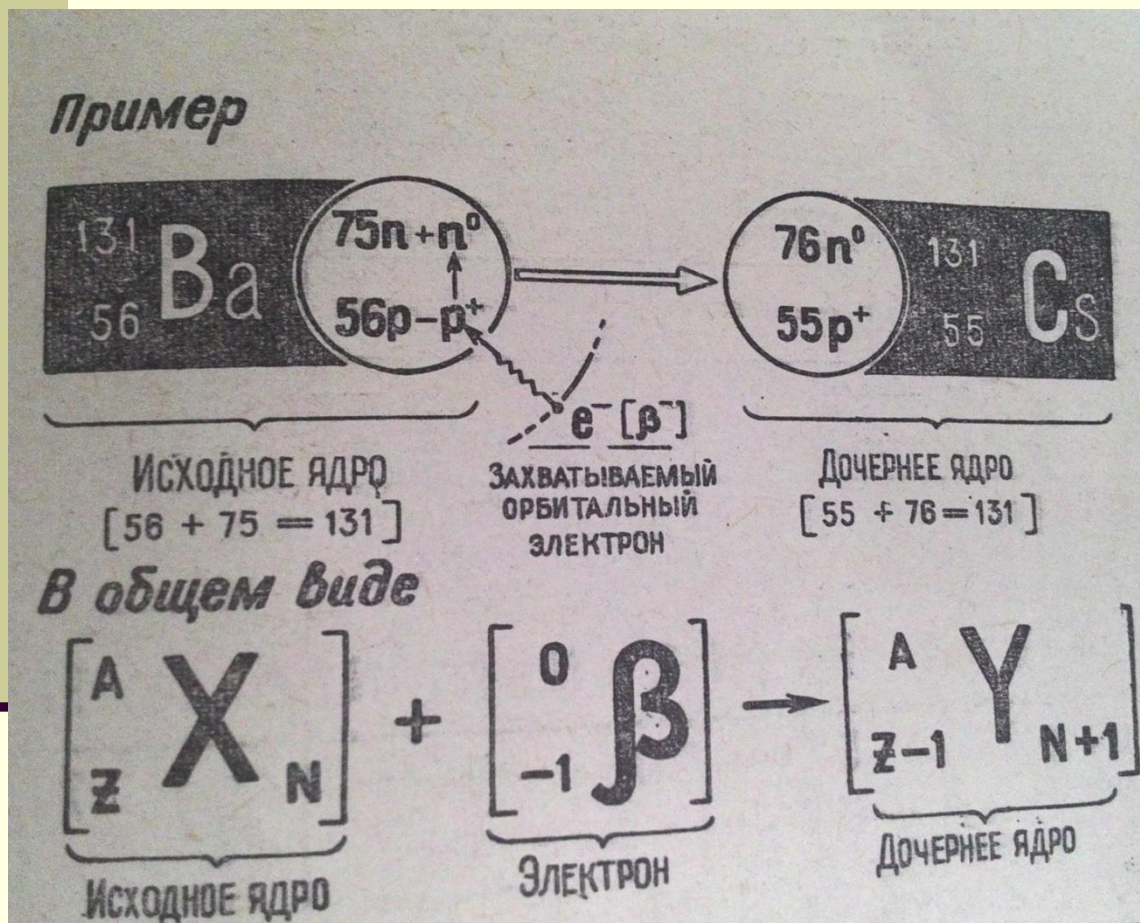
---

Правило сдвига:

*При эмиссии ядром позитрона порядковый номер элемента уменьшается на единицу; дочерний элемент размещается на одну клетку левее исходного*

***! напишите самостоятельно уравнение  $\beta^+$  -распада урана-238***

## 2) Трансформационные превращения: Электронный захват (Е-захват, К-захват)



**! напишите  
самостоятельно  
уравнение этой  
реакции**



# Один и тот же радиоактивный ИЗОТОП

может претерпевать неодинаковое превращение ядер своих атомов: ядра атома

${}_{19}^{40}\text{K}$  одновременно подвержены  $\beta^-$ -распаду с образованием  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$  и частично  $\beta^+$ -распаду или электронному захвату с образованием изотопа инертного элемента аргона  ${}_{18}^{40}\text{Ar}$ .

*Такое двойственное поведение сильно распространено.*

Нуклид меди трансформируется по тройной схеме  ${}_{29}^{64}\text{Cu}$  :  $\beta^-$ -распад,  $\beta^+$ -распад, K-захват. **напишите самостоятельно уравнение этих реакций**

### 3) Спонтанное деление-

---

- самопроизвольный распад ядер атомов тяжелых элементов на два и более ядра. Открыли Флеров и Петержак, 1940 г.
- Неустойчивость тяжелых ядер связана с большим числом протонов в них. Это обуславливает увеличение внутриядерных кулоновских сил отталкивание, что облегчает самораскалывание ядра.

## 4) Другие виды радиоактивных превращений

---

- Существует явление двойного  $\beta^-$ -распада: радиоактивное ядро испускает одновременно два электрона.
- Возможна эмиссия двух позитронов или захват сразу двух электронов из оболочки атома.
- Вероятен и двухпротонный распад.

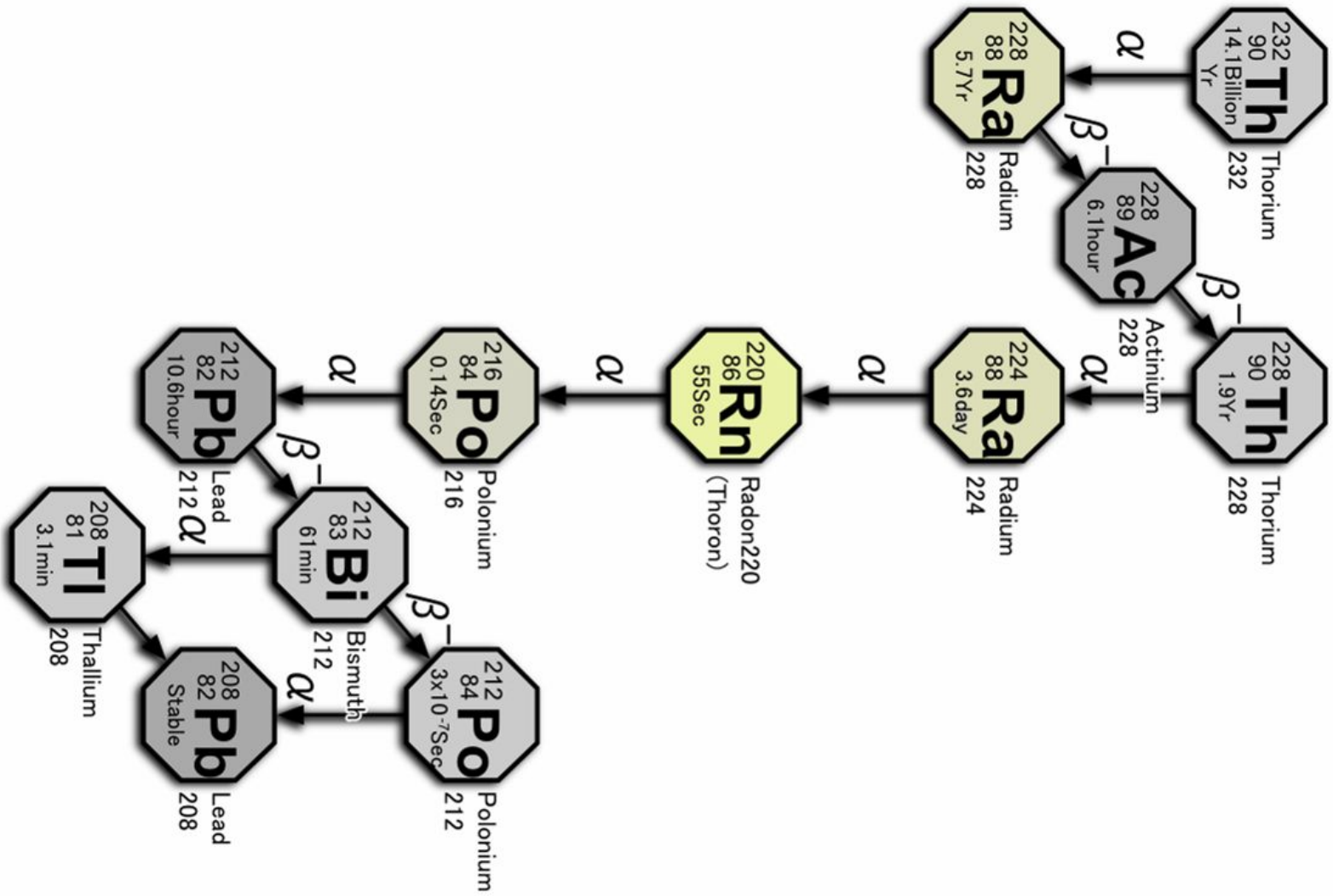
# Радиоактивные ряды

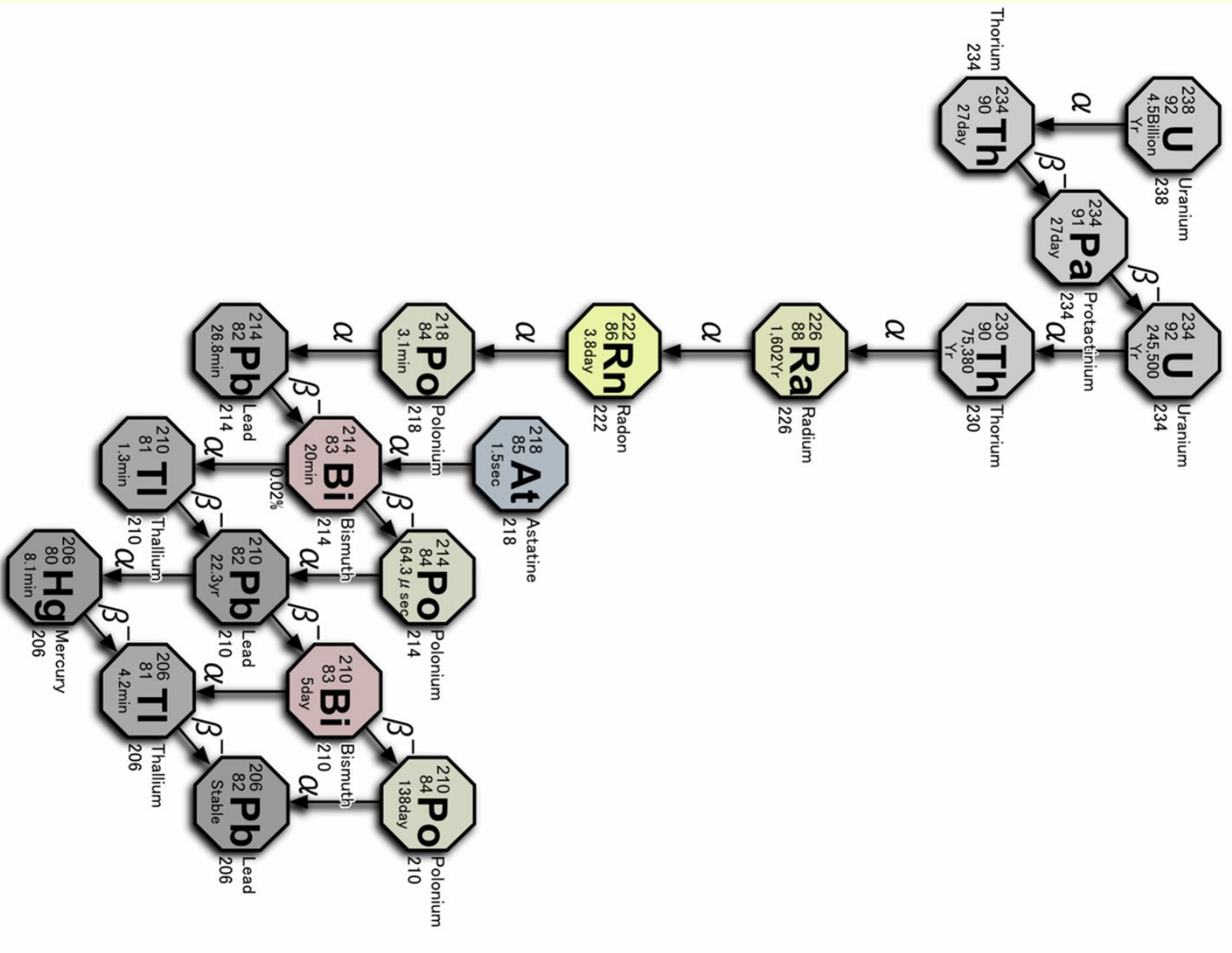
---

- Переход нестабильного ядра в стабильное возможен как в одну, так и в несколько ступеней. Некоторые ядра претерпевают ряд превращений, образуя при этом своеобразные семейства

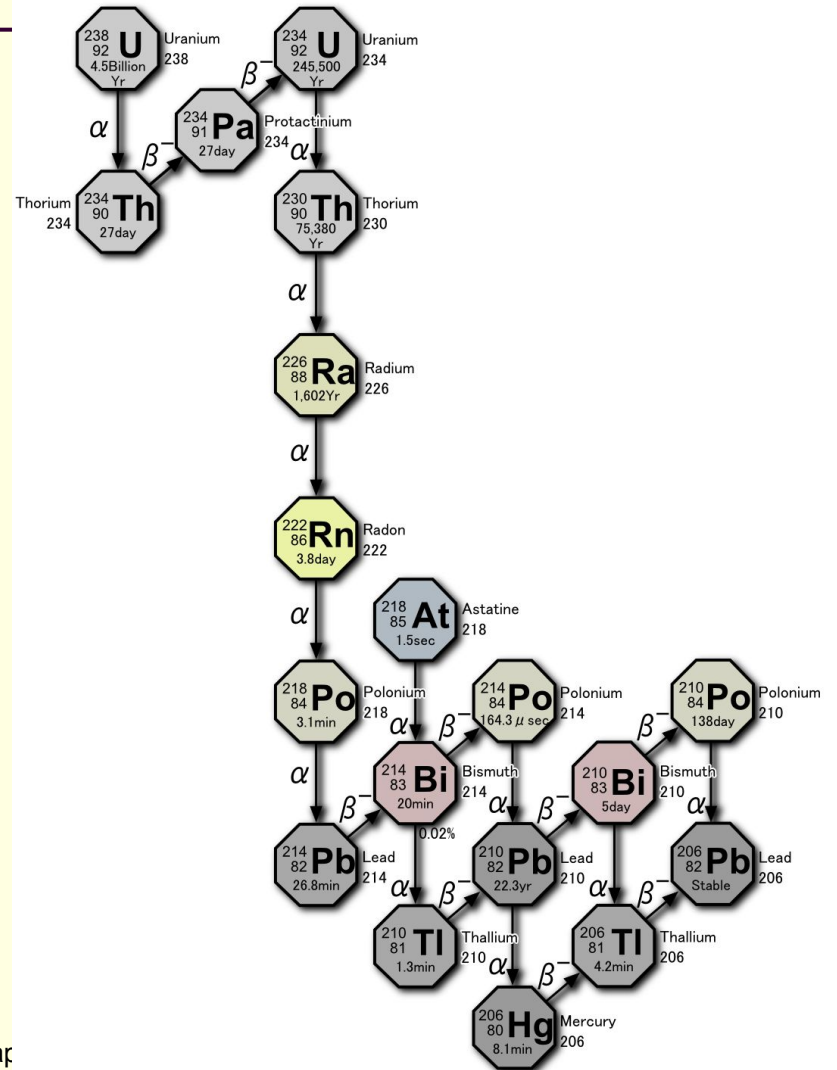
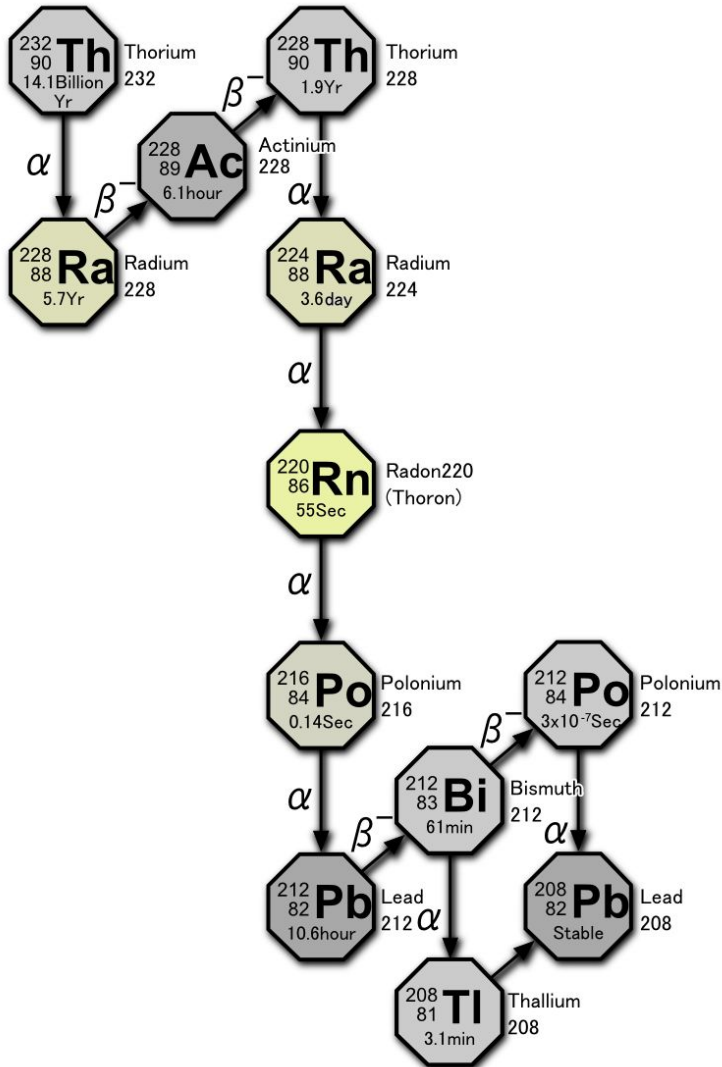
# Радиоактивные семейства

Семейство	Исходное ядро	Конечное ядро (стабильное)
Уран — Радий	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{206}_{82}\text{Pb}$
Уран — Actinium	$^{235}_{92}\text{U}$	$^{207}_{82}\text{Pb}$
Торий	$^{232}_{90}\text{Th}$	$^{208}_{82}\text{Pb}$
Нептуний	$^{237}_{93}\text{Np}$	$^{209}_{83}\text{Bi}$





# Радиоактивные ряды тория и урана





# Количественная характеристика ядерных превращений

---

- Мера интенсивности радиоактивного распада- единица *кюри*.
- *Активностью в 1 кюри обладает такое количество данного вещества, в котором в течение 1 сек распадается 37 млрд атомных ядер*

## Закон радиоактивного распада



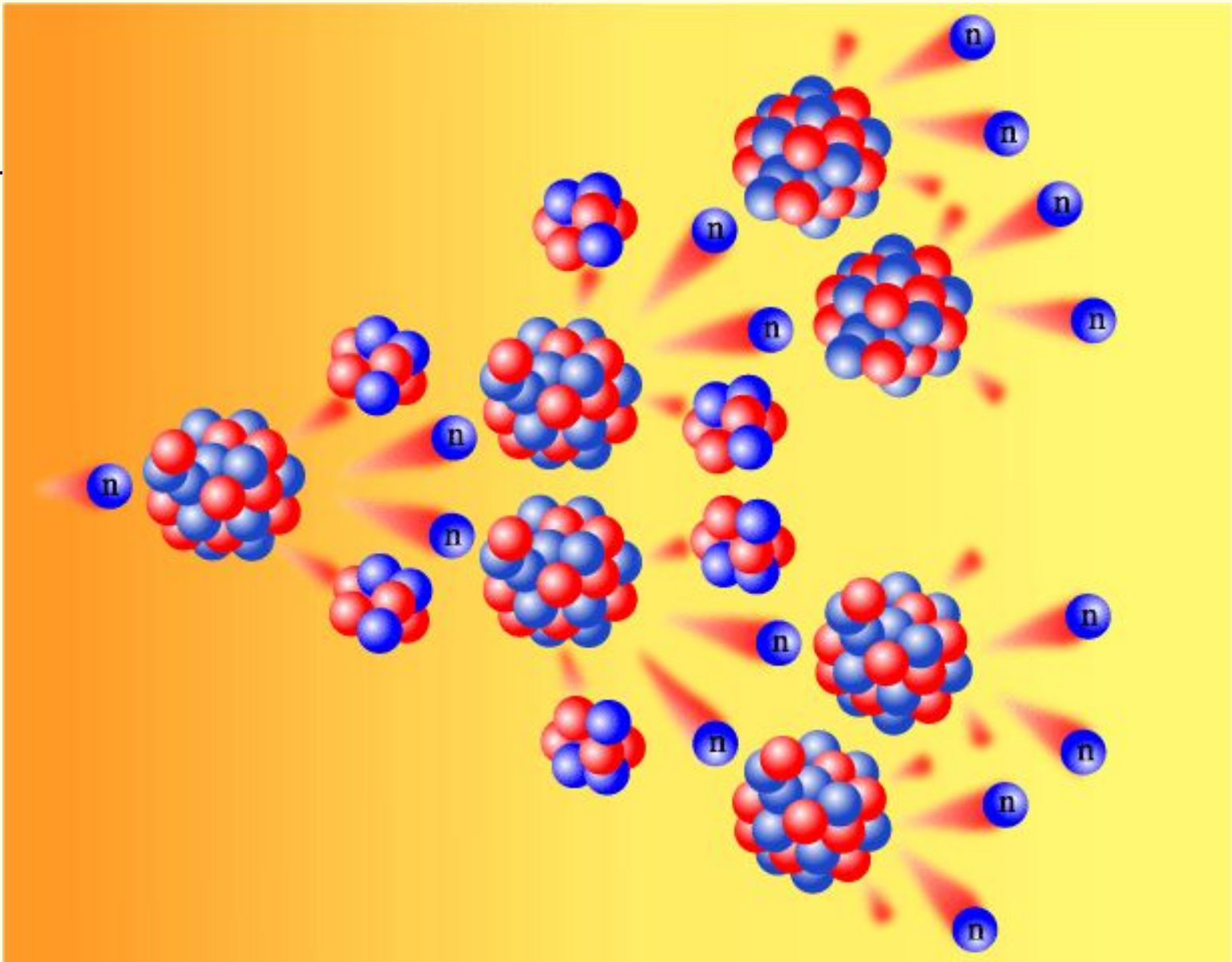
Время, за которое распадается половина из начального числа радиоактивных атомов, называют периодом полураспада.

# Искусственные ядерные реакции

вызываются «**бомбардировкой**» ядра-мишени частицами достаточно высокой энергии.

В 1932 г. был открыт процесс деления ядер урана под действием нейтронов. Это открытие заложило основу атомной энергетики.

Один грамм  ${}_{92}^{235}\text{U}$  выделяет  $7,5 \cdot 10^7$  кДж, что больше, чем выделяется тепла при сгорании 2 тонн угля!!!



В.И. Комарова 2017 (очное)

# Примеры ядерных реакций

*(самостоятельная работа!!!)*

---

- Первое наблюдавшееся превращение ядра (Резерфорд, 1919)
- Открытие нейтрона
- Первое расщепление ядра
- Открытие позитрона и первое получение искусственного радиоактивного нуклида (Жолио-Кюри, 1932)
- Первое искусственное получение неизвестного элемента



В.И. Комарова 2017 (очное)



В.И. Комарова 2017 (очное)

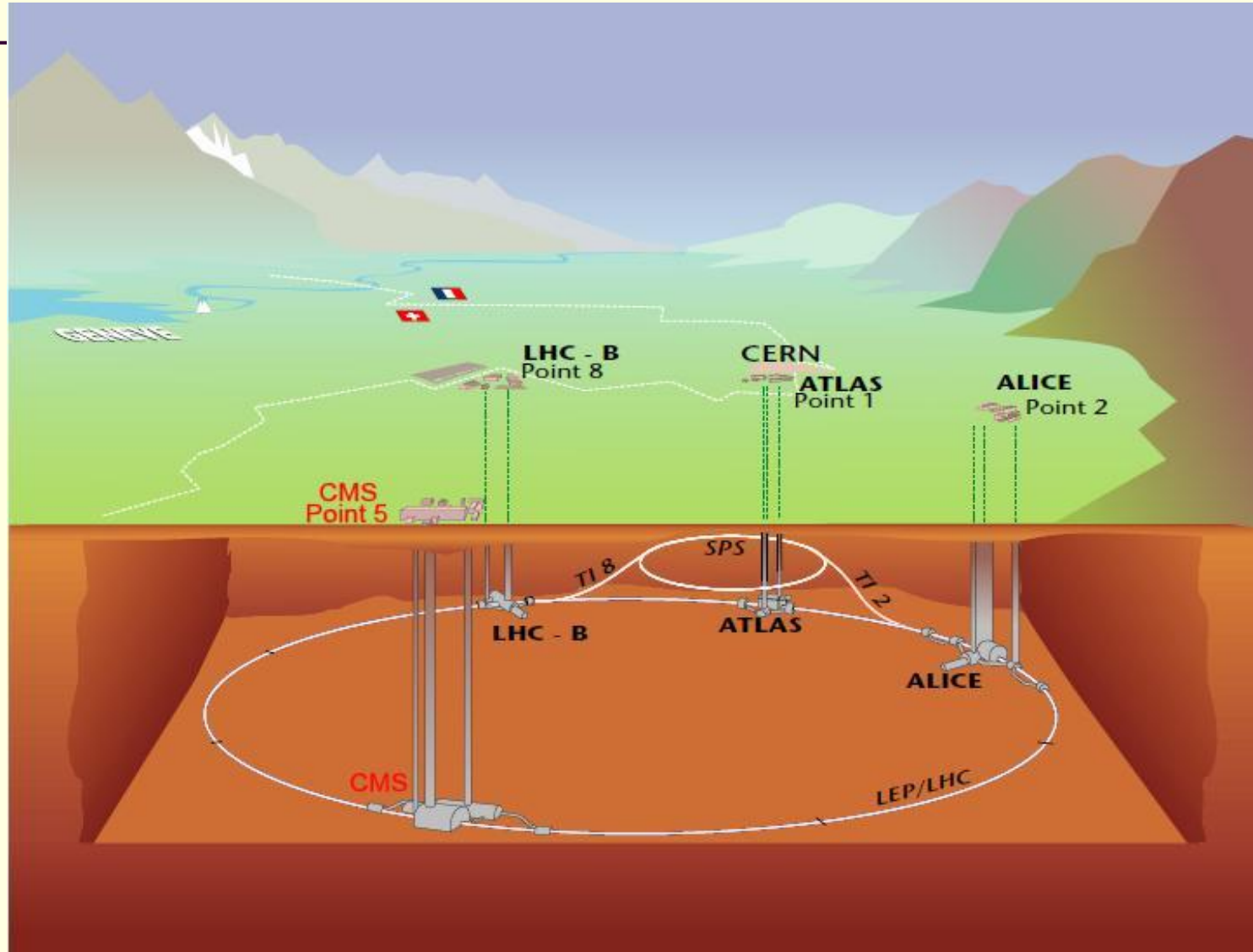
# Еще один источник массы

---

- Всю Вселенную заполняет невидимое **ХИГГСОВСКОЕ ПОЛЕ**
- Частицы «цепляются» за него и **СТАНОВЯТСЯ МАССИВНЫМИ**
- На коллайдере LHC физики изучат, **КАК ИМЕННО** возникает это поле



# Схема коллайдера LHC

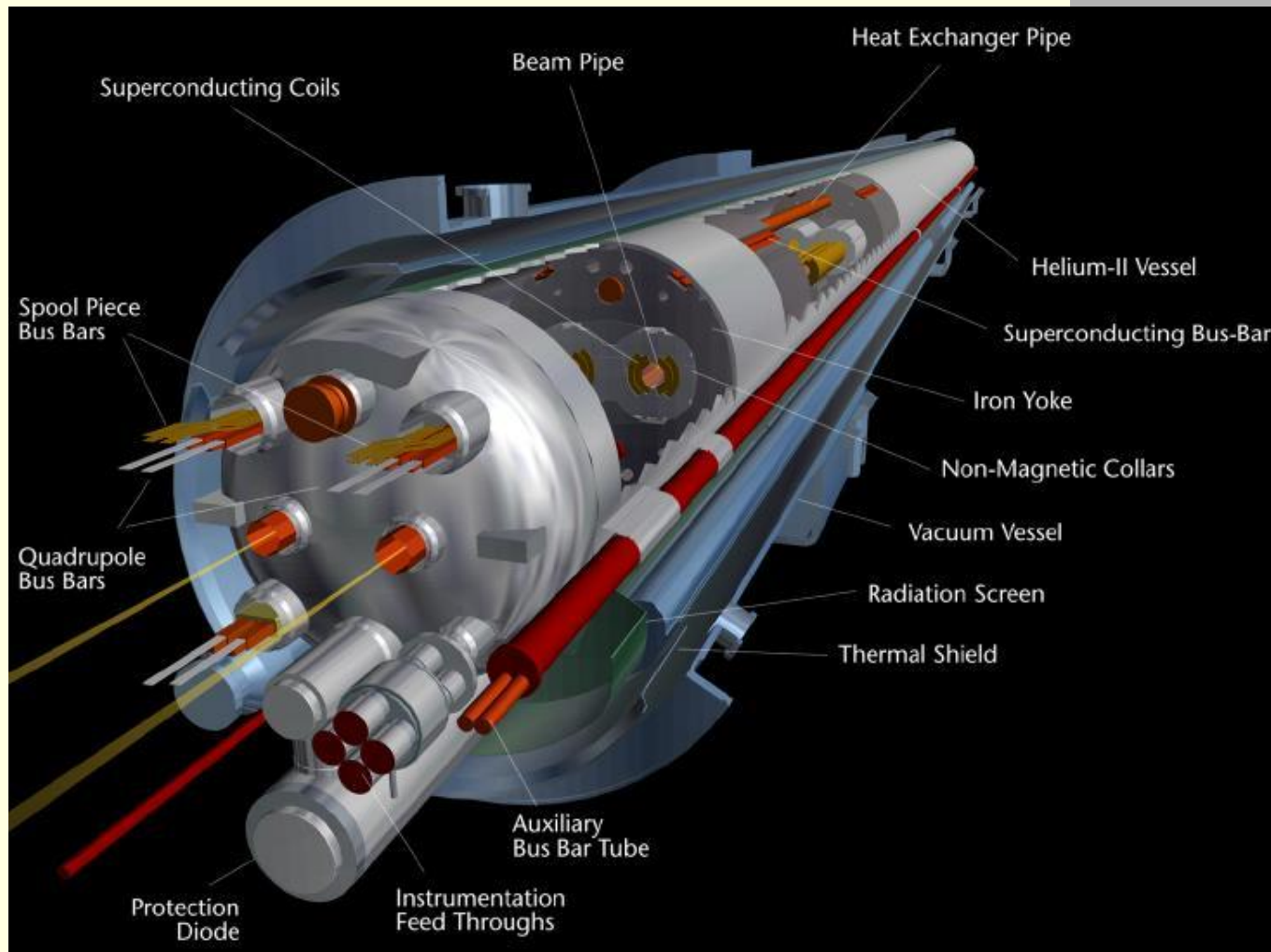


# Туннель LHC



В.И. Комарова 2017 (очное)

# Сегмент ускорительного кольца LHC



Но это не конец истории. Есть и  
**другие источники массы.**

- нейтрино
- суперчастицы (?)
- темная материя

**LHC должен открыть новую эру  
в понимании микромира**