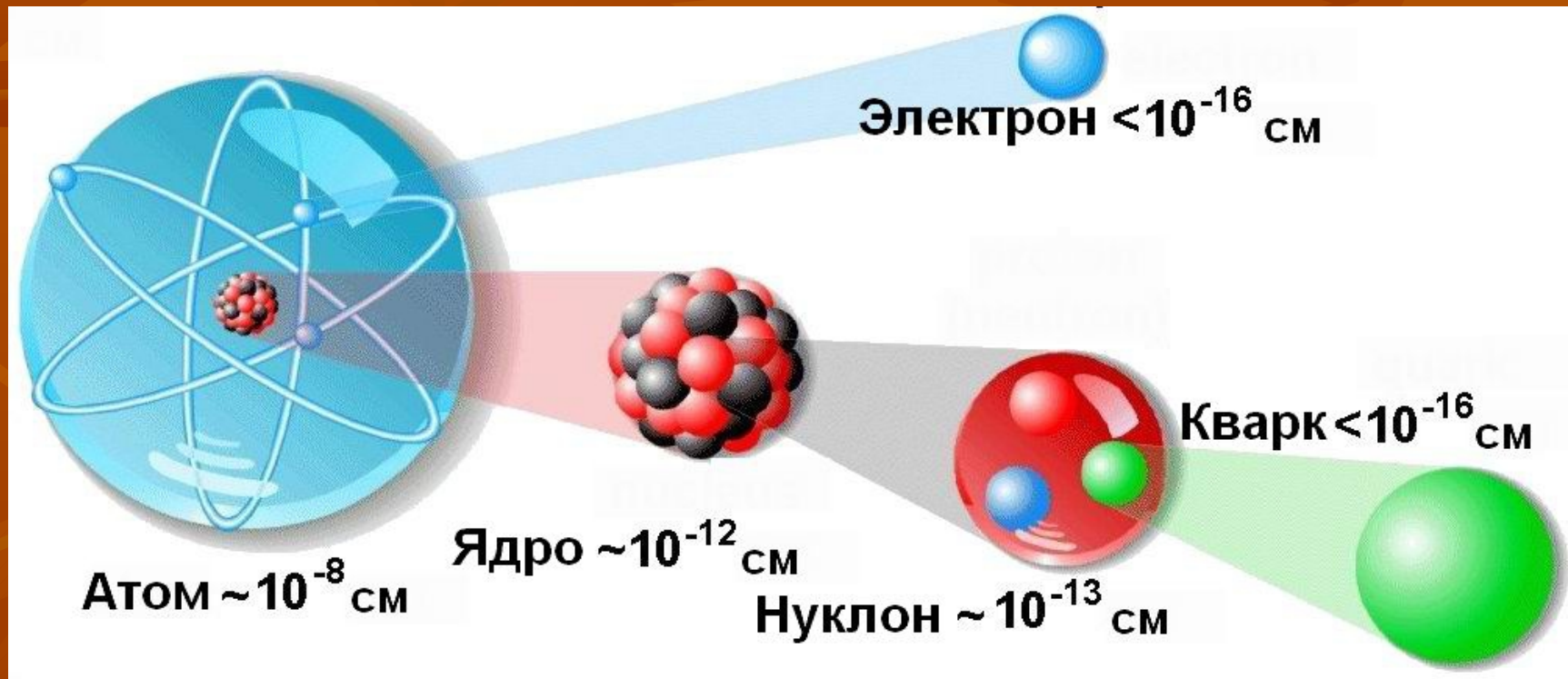


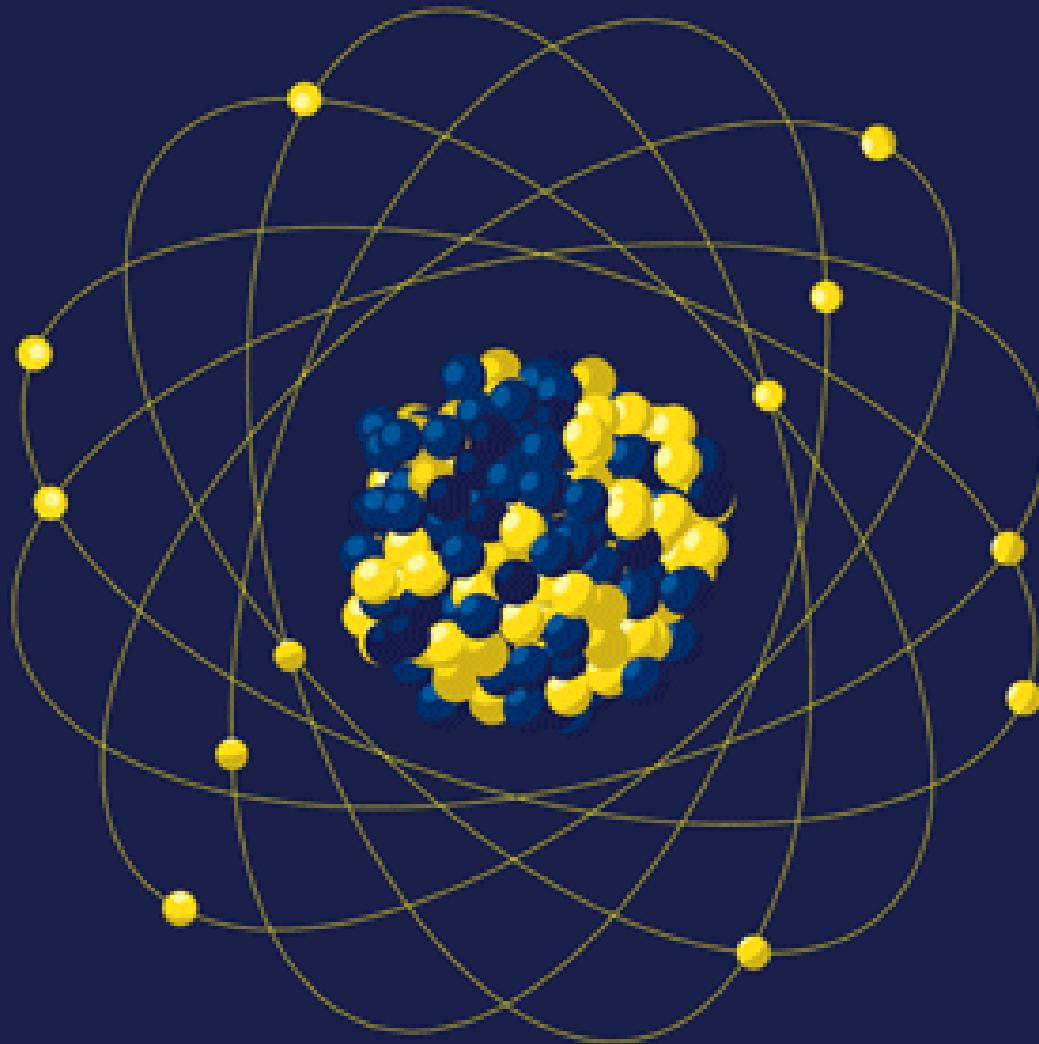
Ядерная энергия. Наши возможности и перспективы



Структура вещества



ATOM



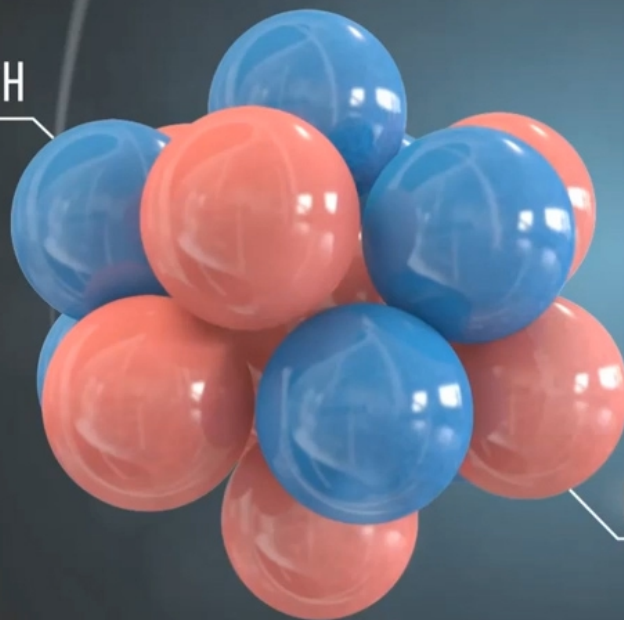
Ошибки, которые всегда с нами...

~~АТОМНЫЙ~~ ЛЕДОКОЛ С ЯДЕРНОЙ
СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ



ЯДРО

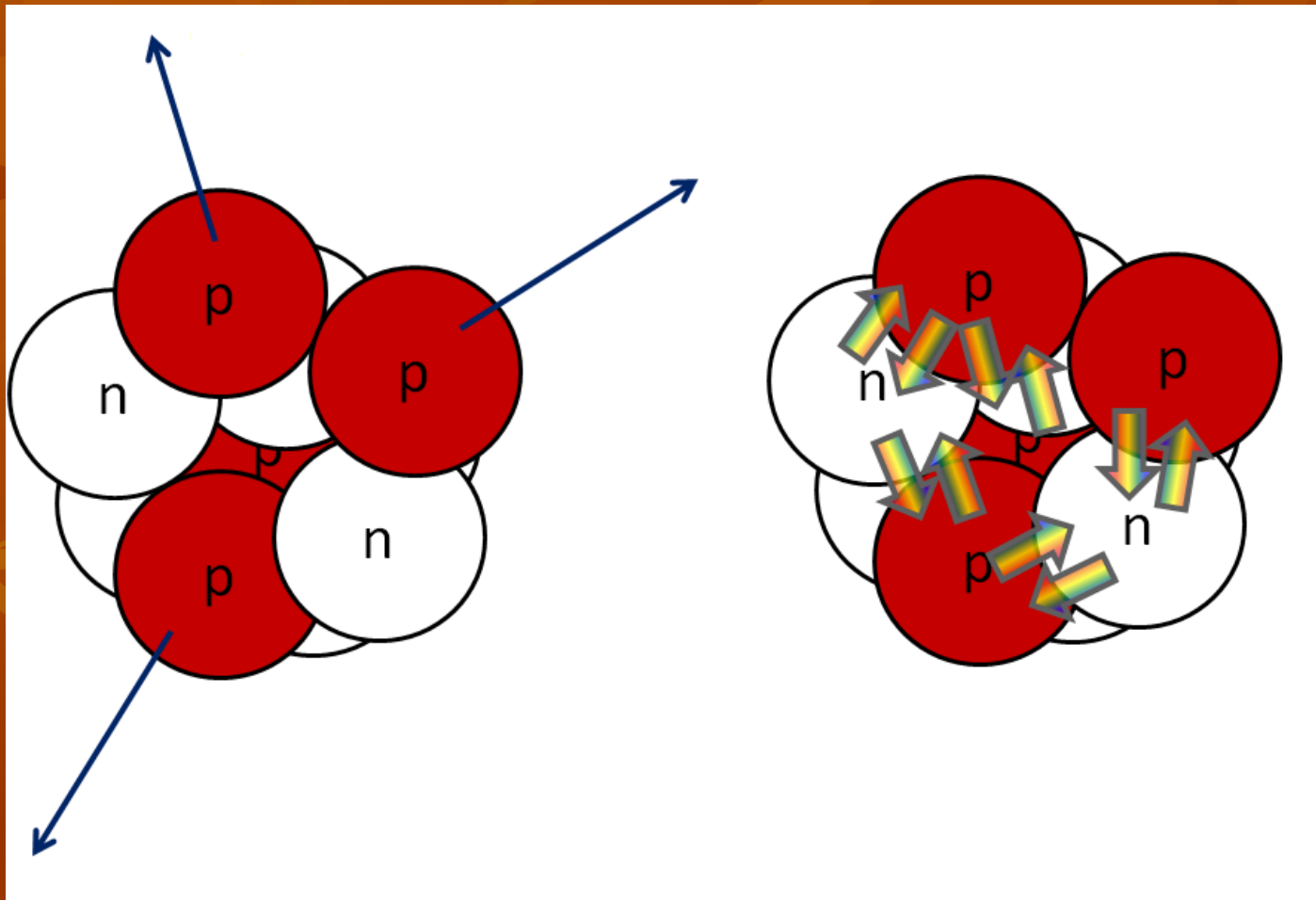
НЕЙТРОН



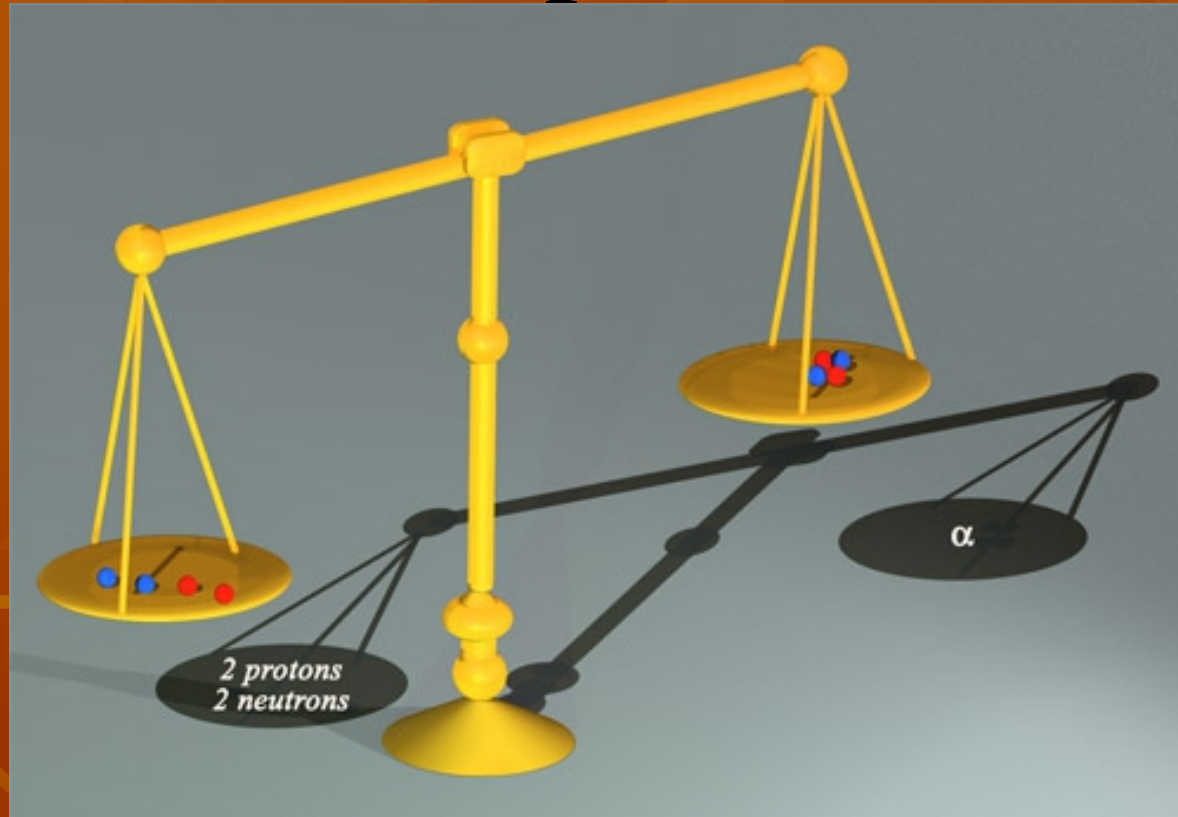
ПРОТОН



Ядерное (сильное) взаимодействие



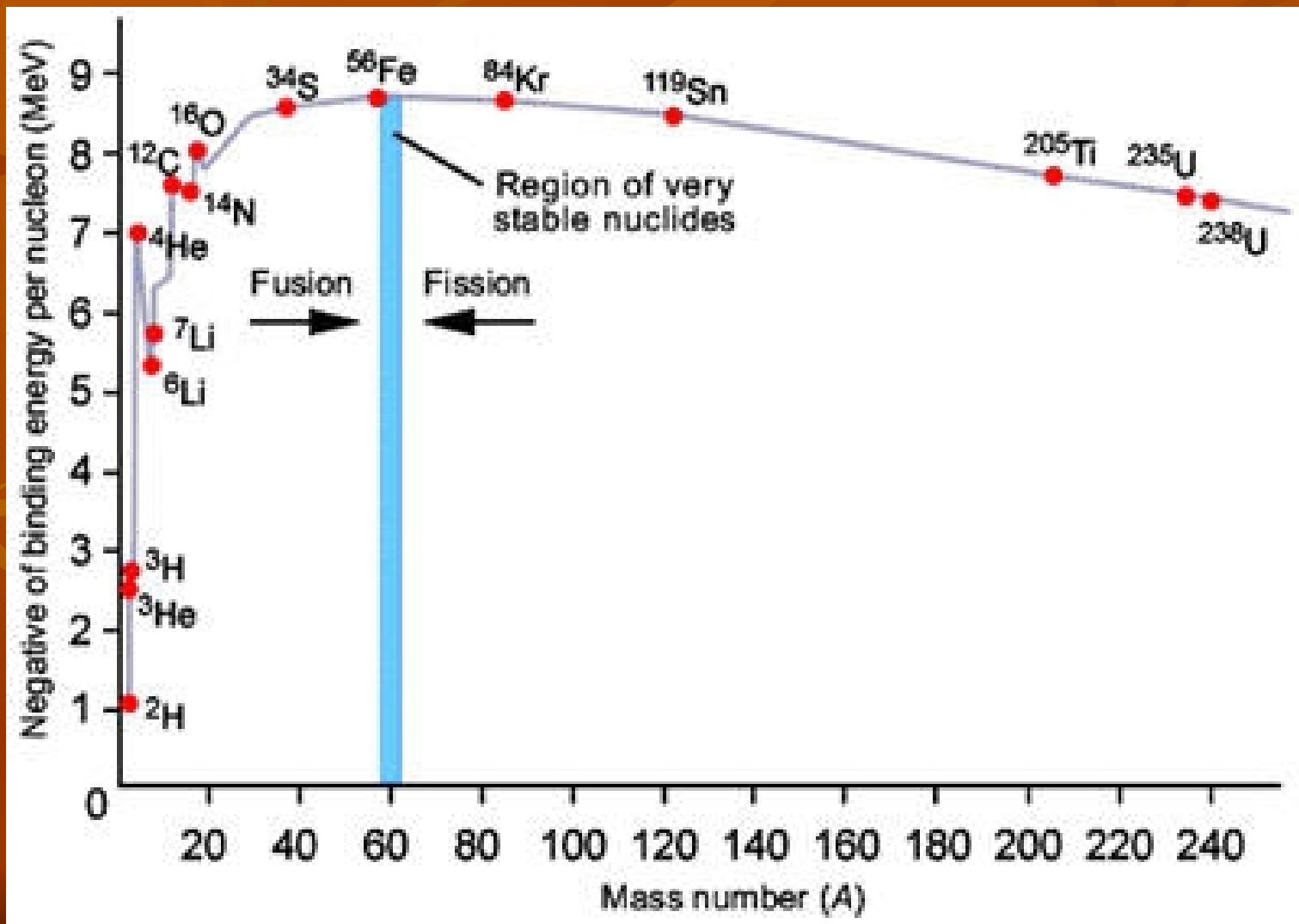
Дефект масс. Энергия связи ядра.



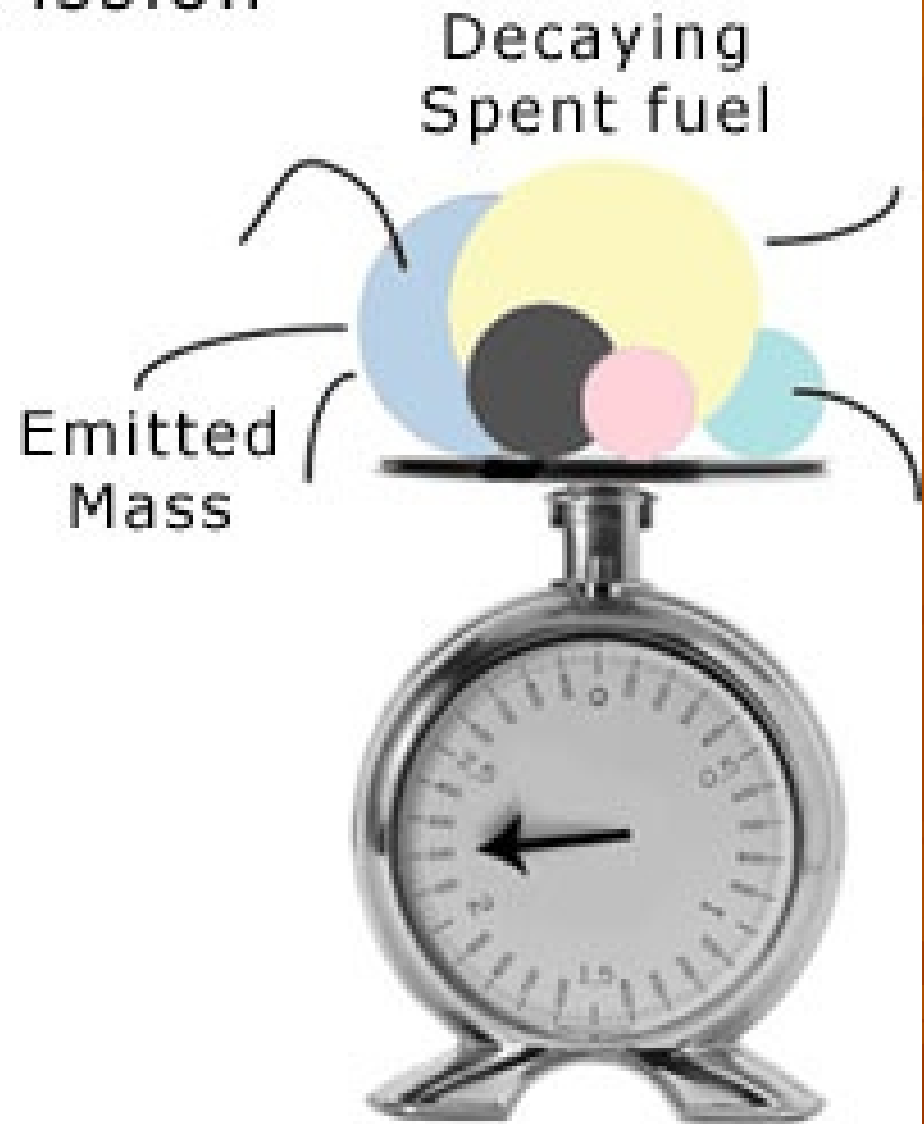
$$W(A, Z) = (Z \cdot m_p c^2 + N \cdot m_n c^2) - M(A, Z) c^2,$$

где $M(A, Z)$ – масса ядра.

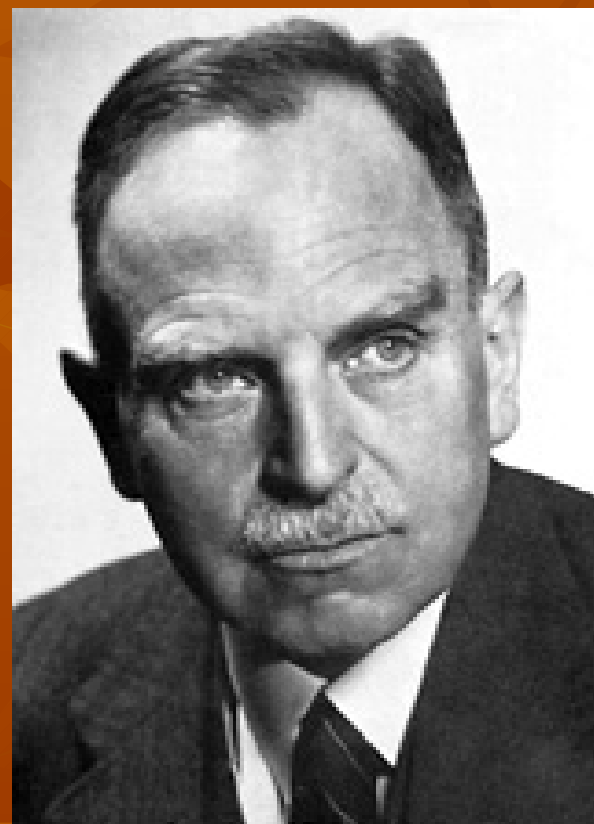
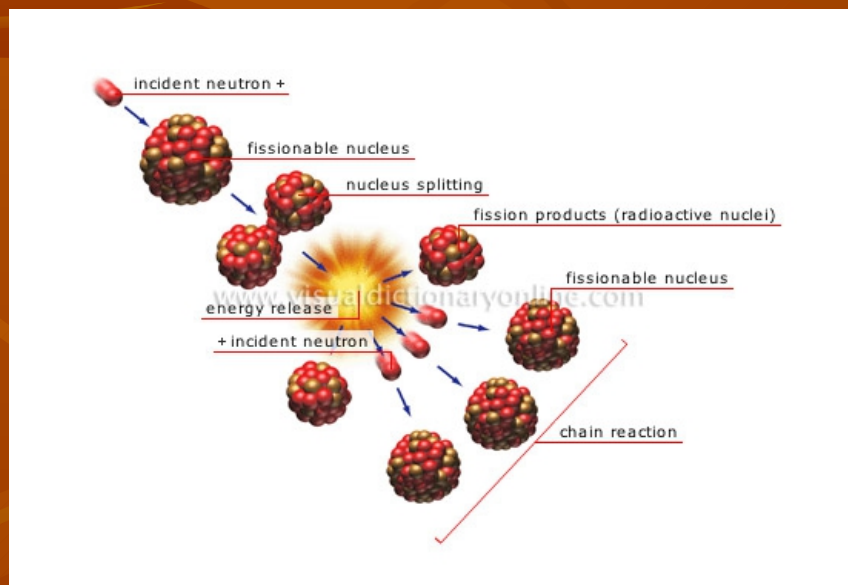
Удельная энергия связи



Before and After Fission

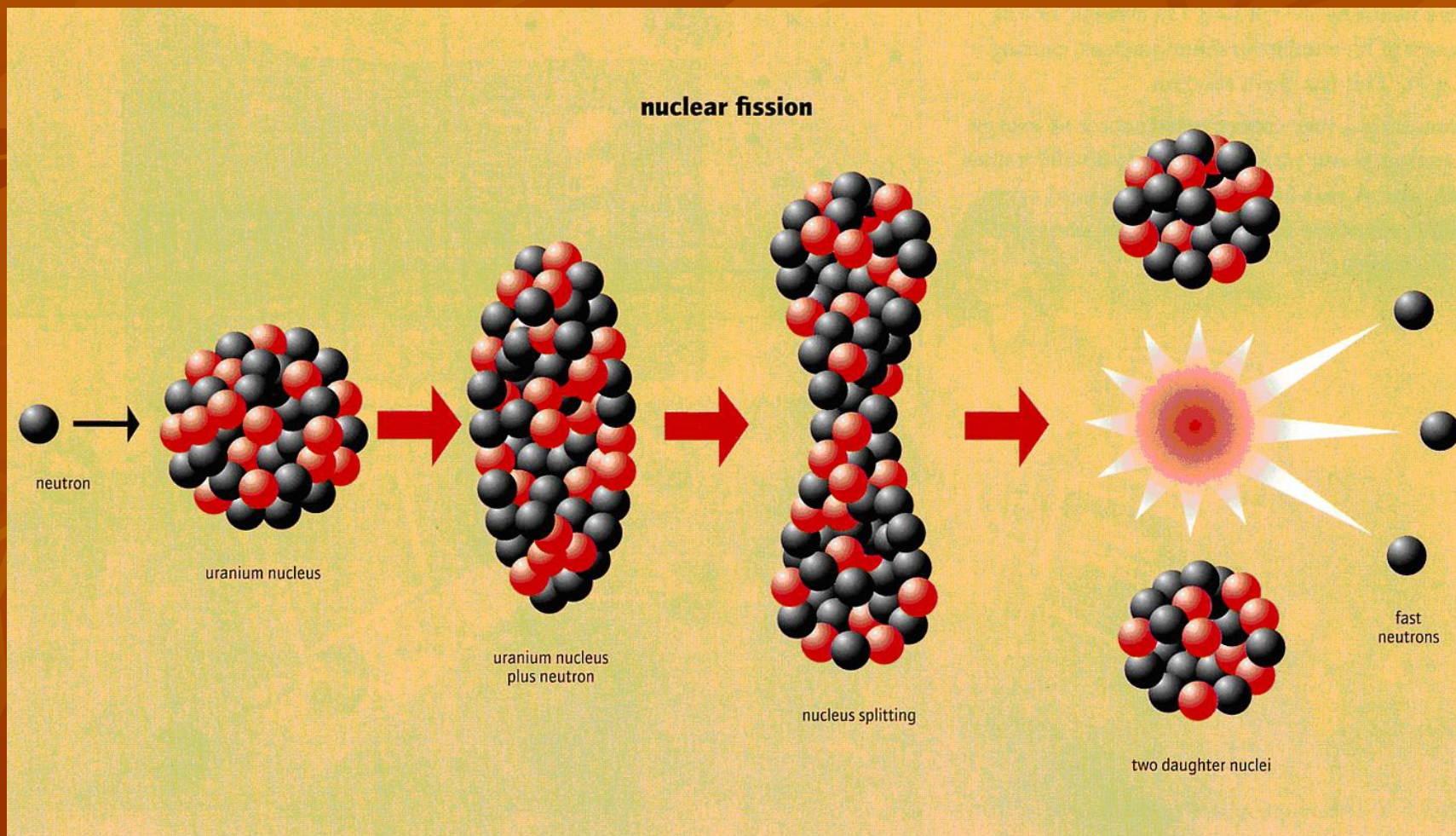


Открытие деления урана (О.Ган, Ф.Штрассман, 1938 г.)

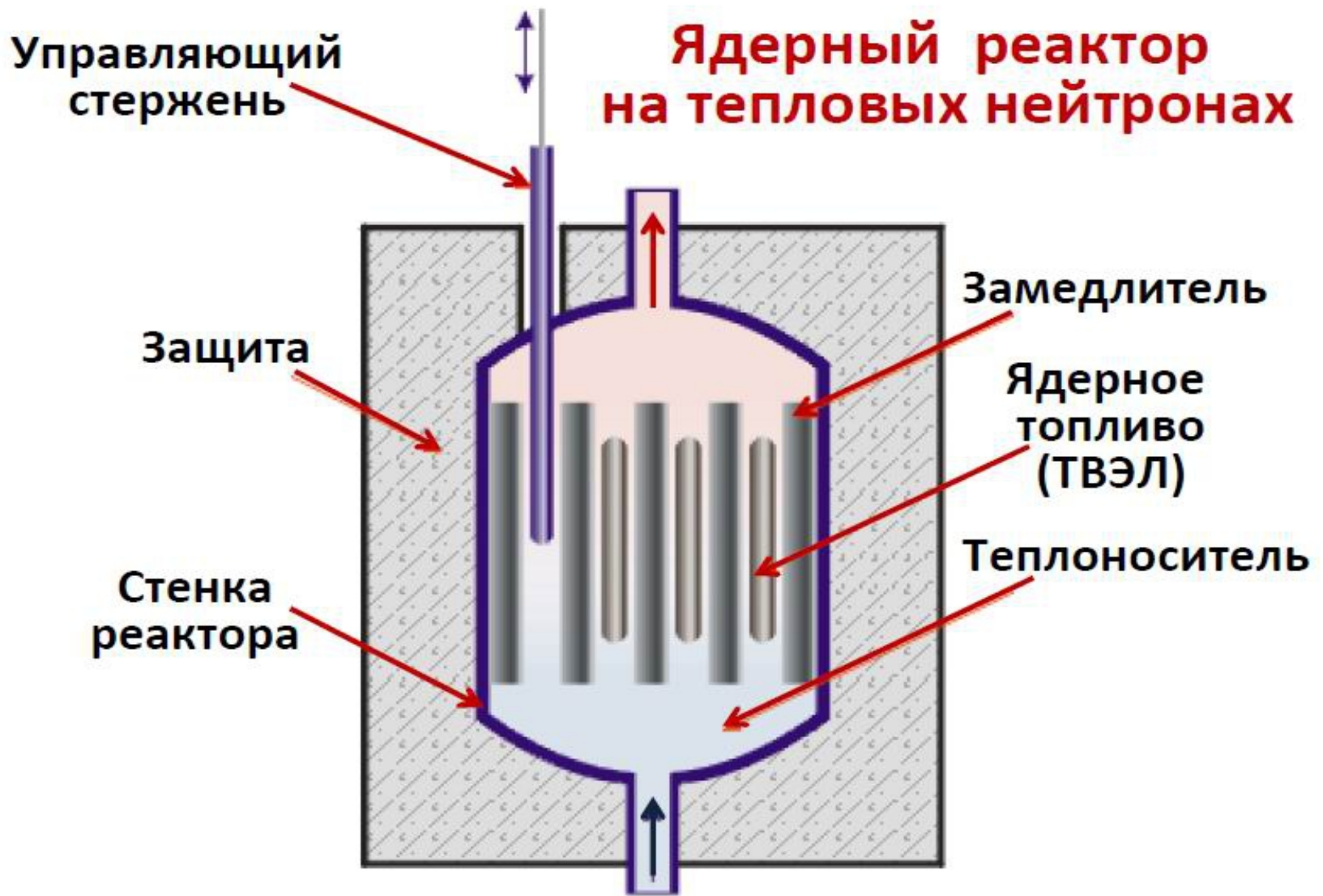


Нобелевская премия по химии, 1944 г.

Механизм деления



Ядерный реактор на тепловых нейтронах



Первый ядерный реактор (Э.Ферми, США, декабрь 1942 г.)

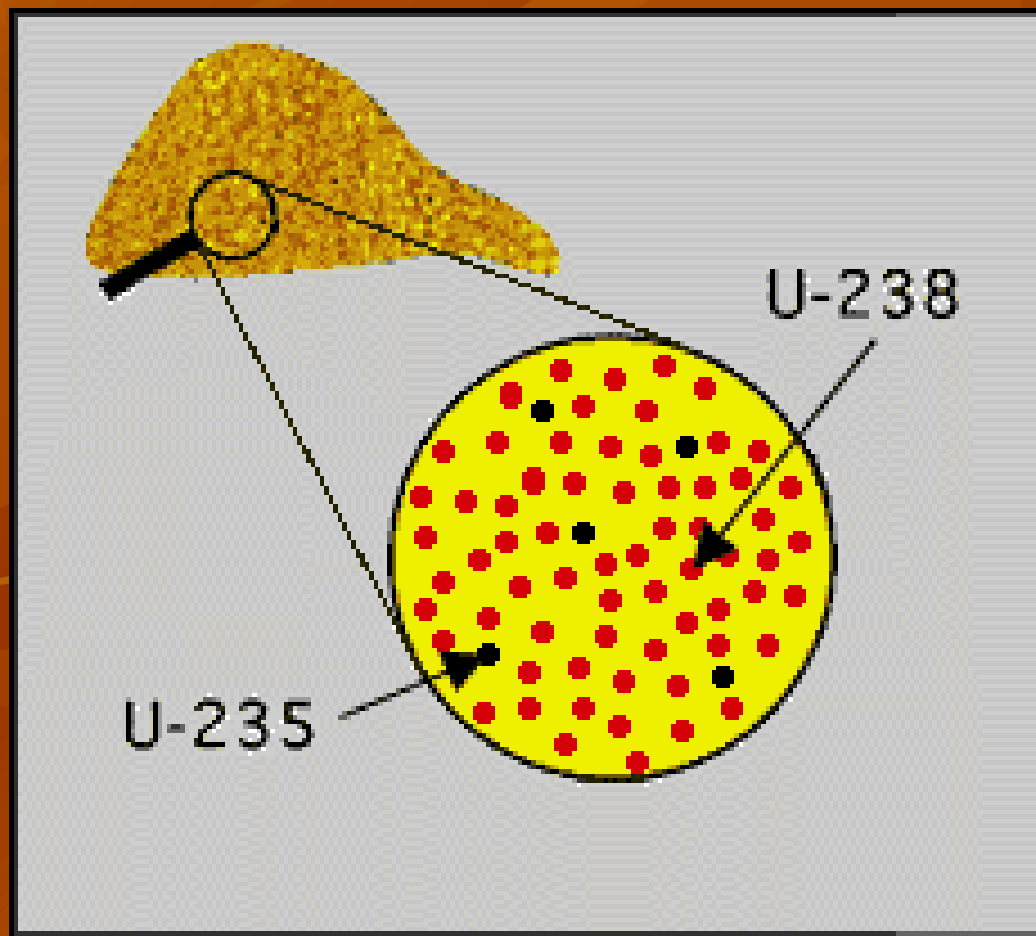


Уран

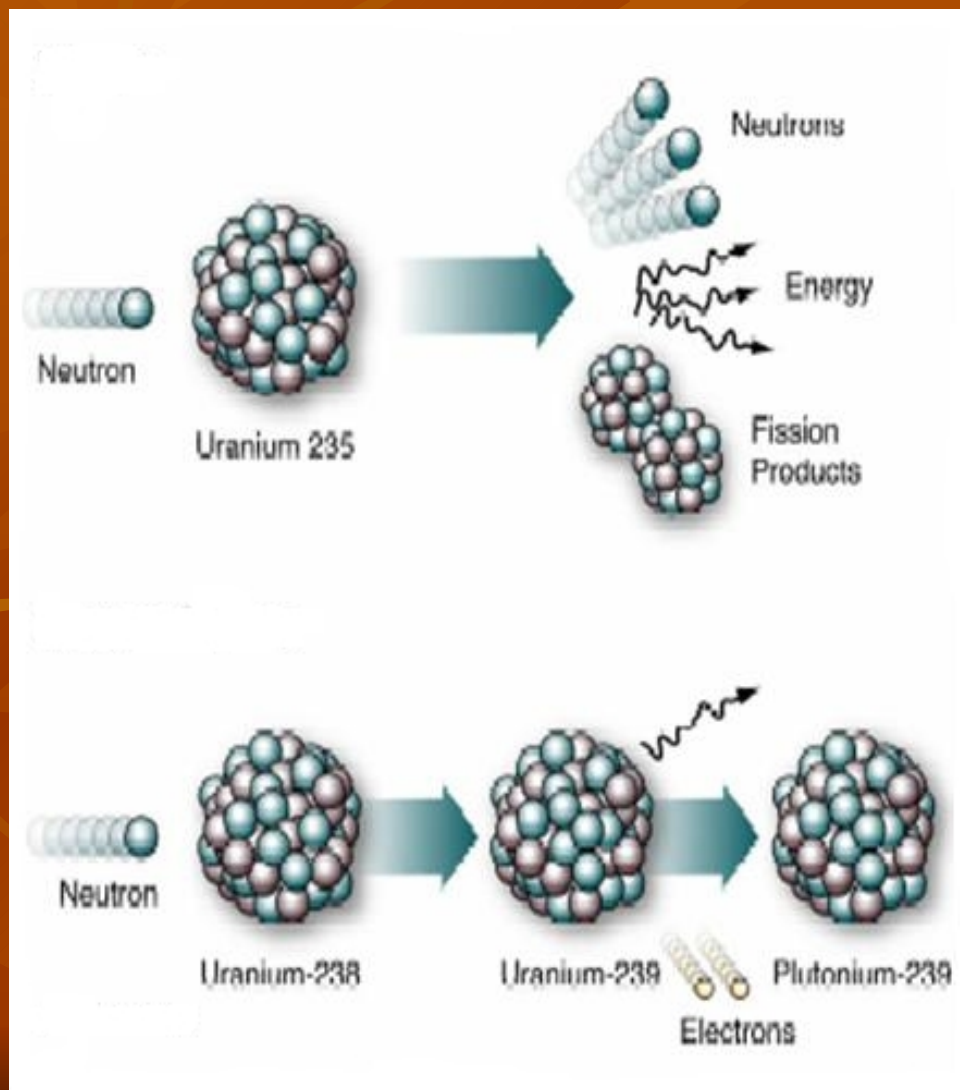




Изотопы урана



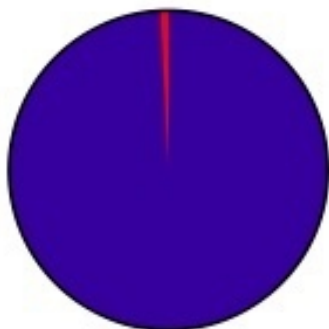
Свойства изотопов урана



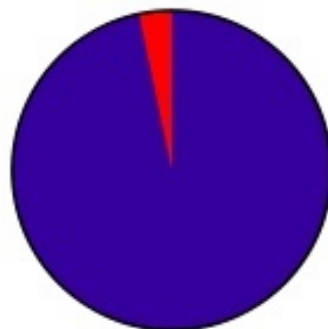




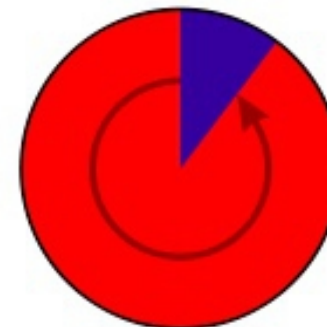
Степени обогащения



Natural uranium
> 99.2% U-238
0.72% U-235

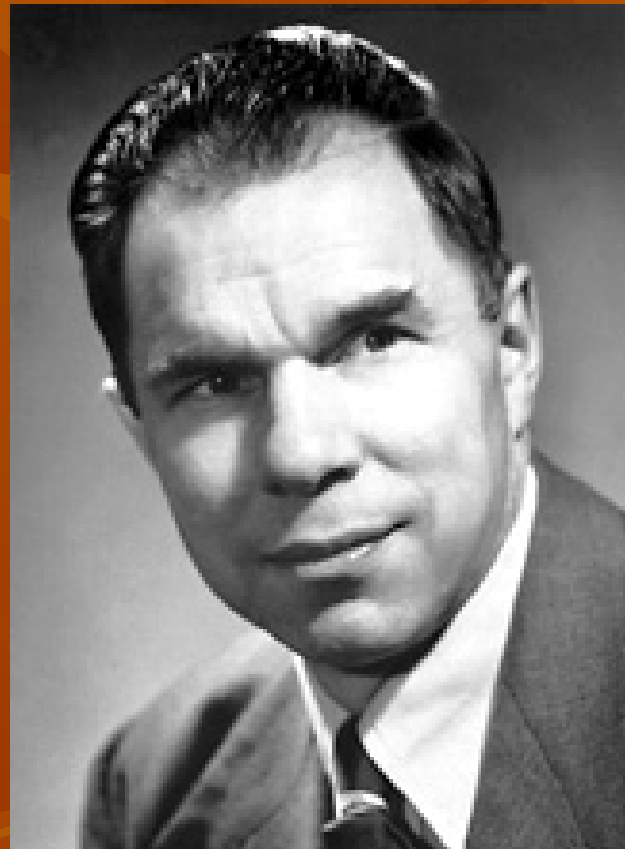
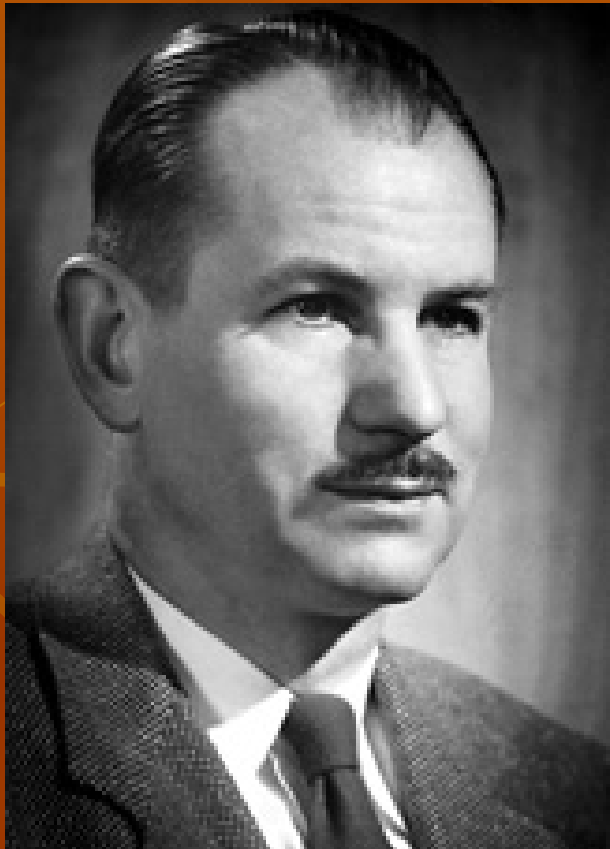


Low-enriched uranium
(reactor grade)
3-4% U-235



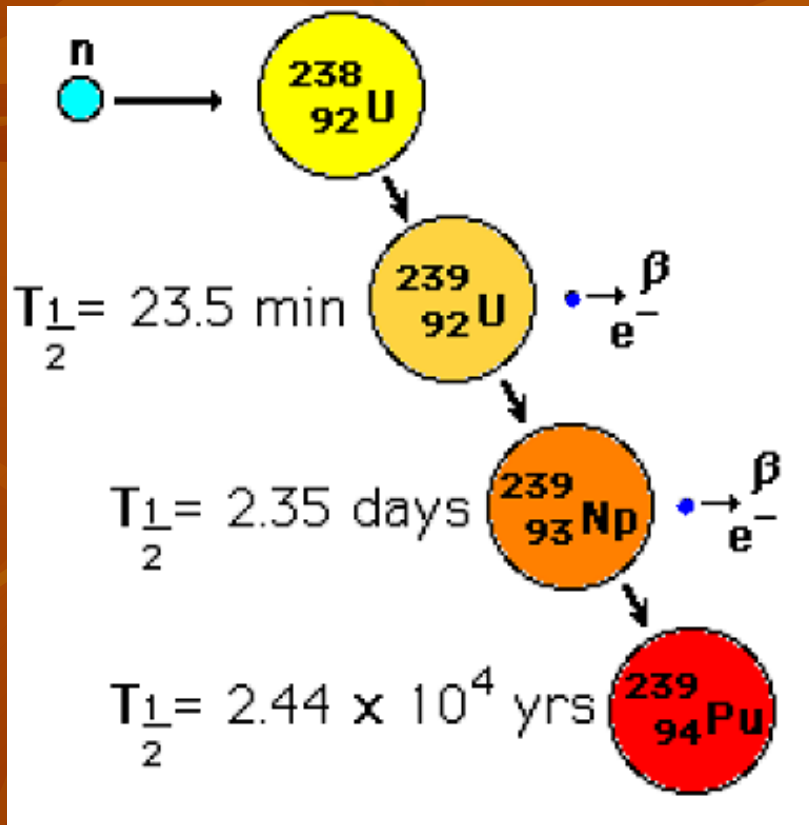
Highly enriched uranium
(weapons grade)
90% U-235

Открытие плутония (Э.Мак-Миллан, Г.Сиборг, 1940 г.)

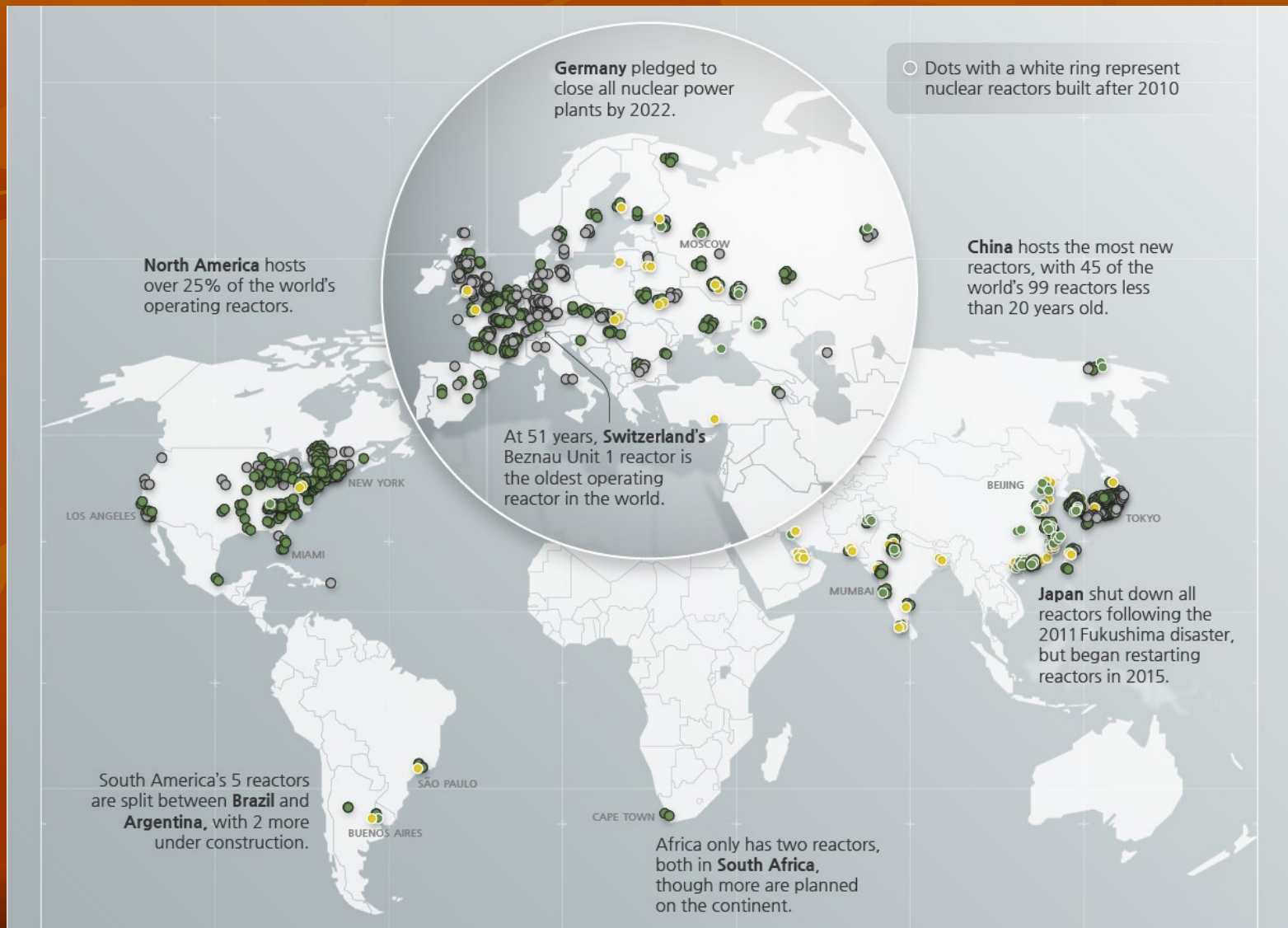


Нобелевская премия по химии, 1951 г.

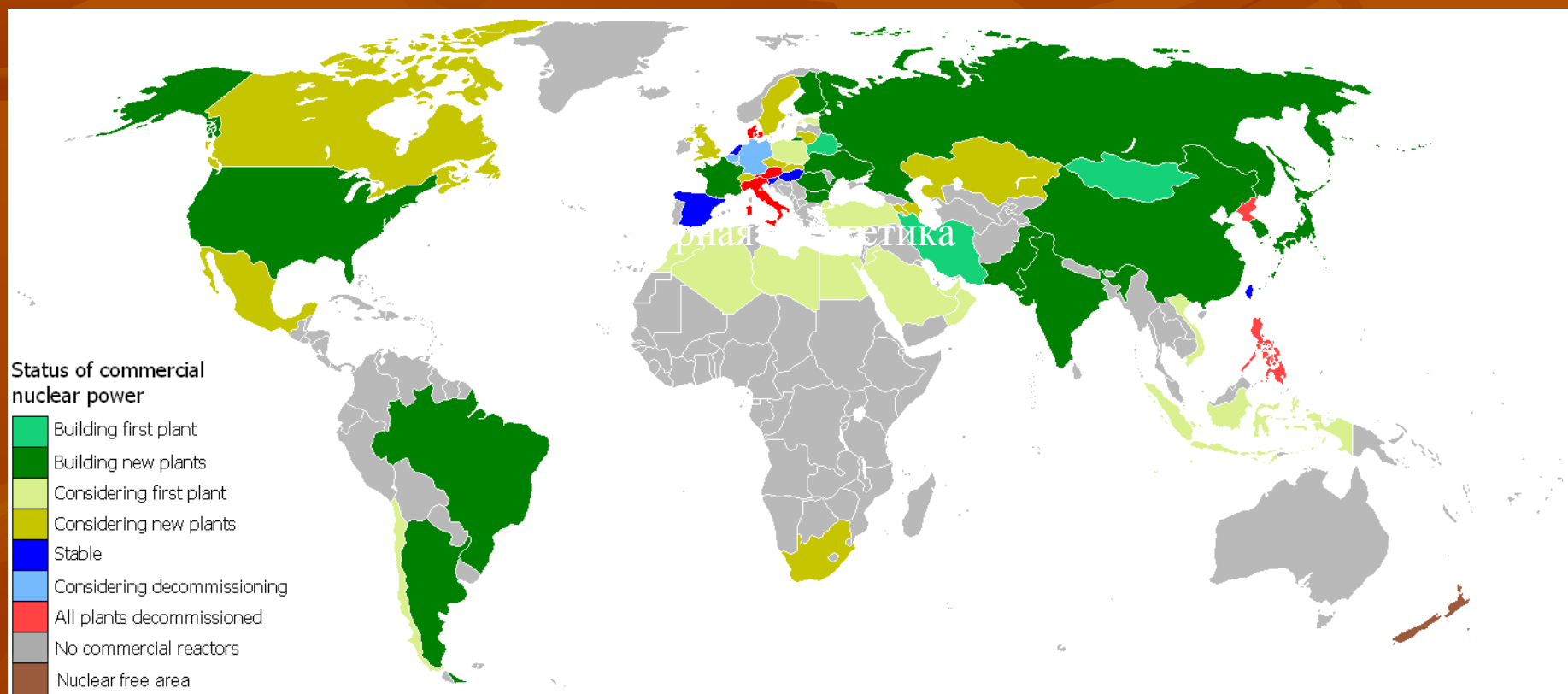
Производство плутония



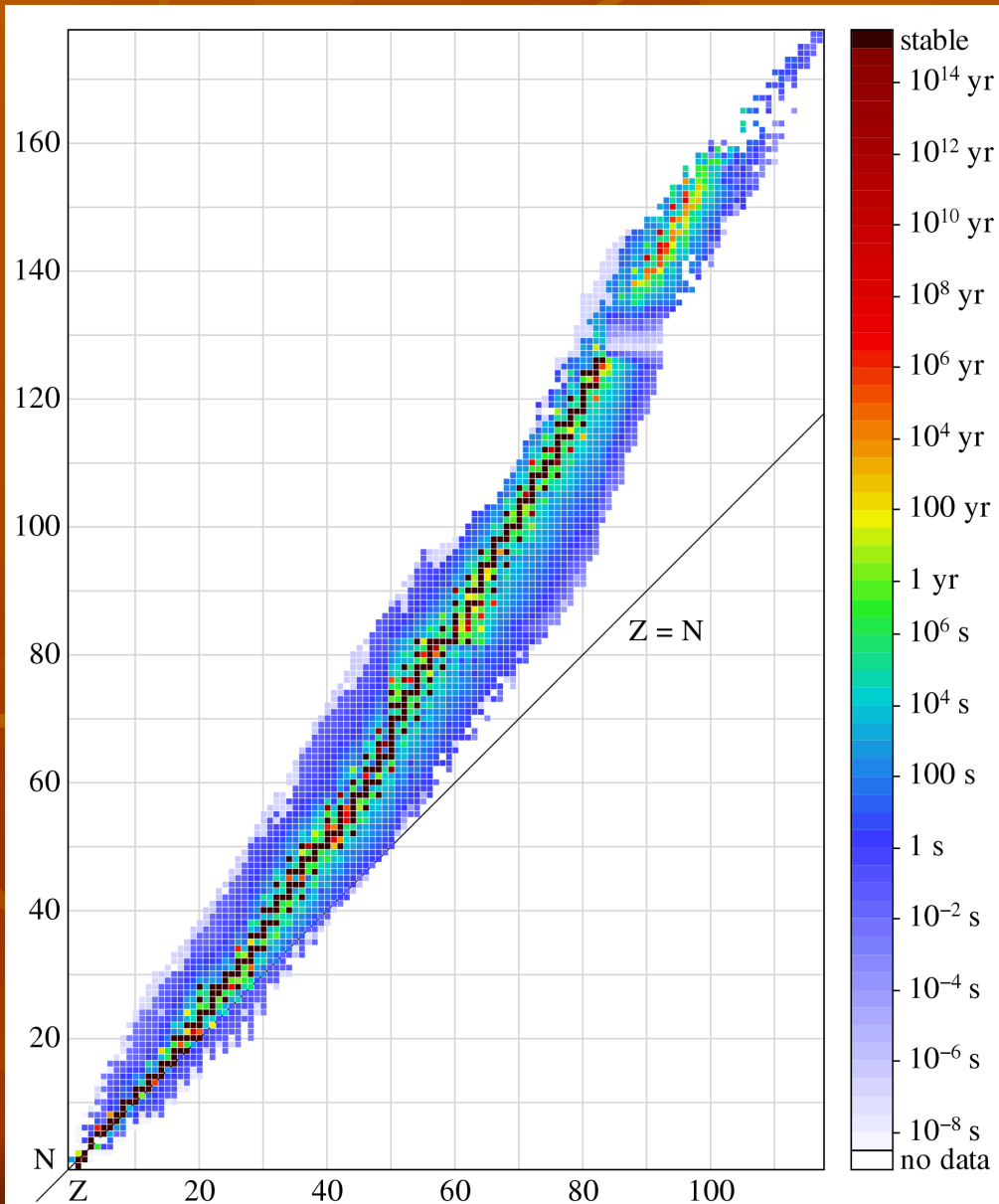
Ядерная энергетика

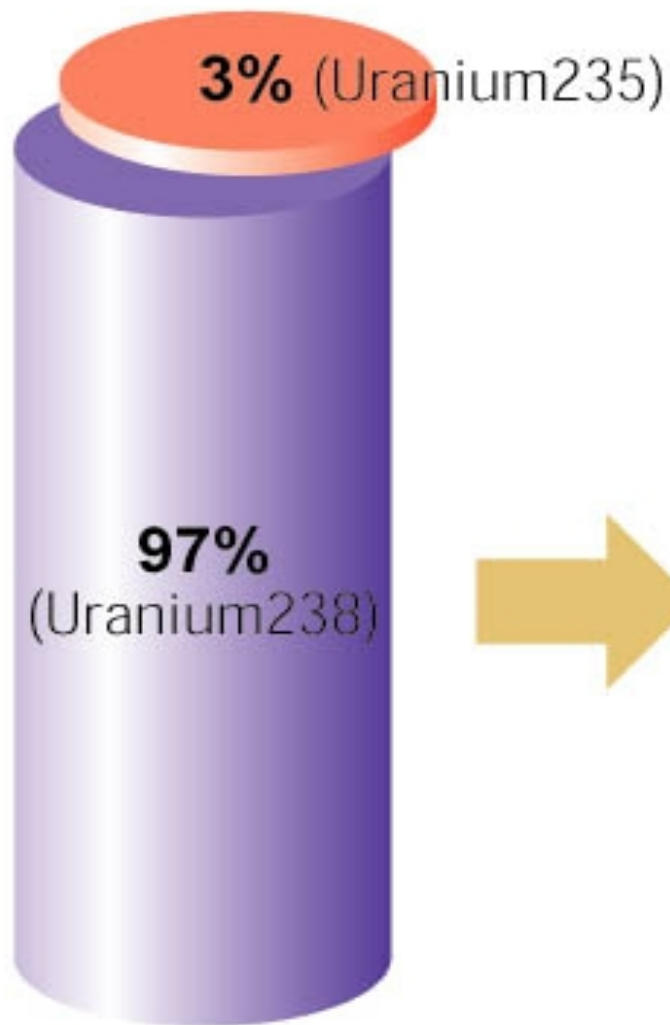


Ядерная энергетика

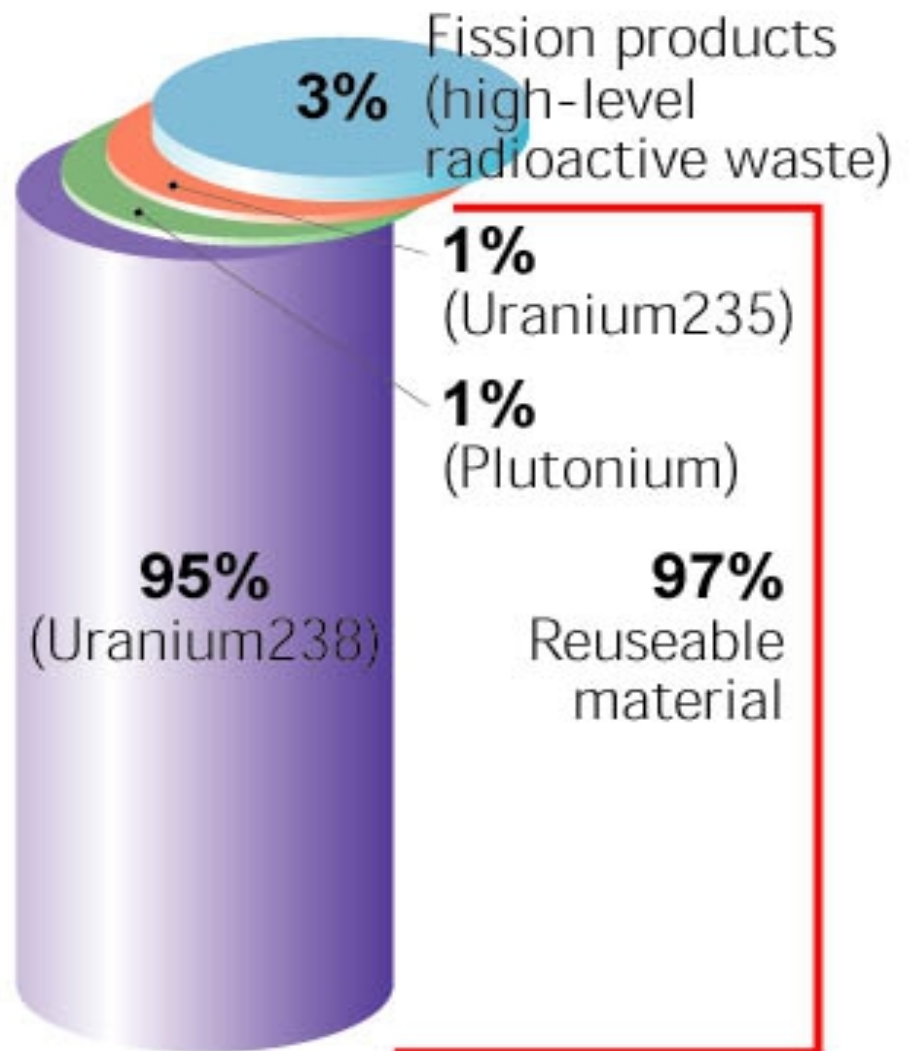


Проблема ядерных отходов





Uranium fuel



Spent fuel

Аварии на ядерных силовых установках

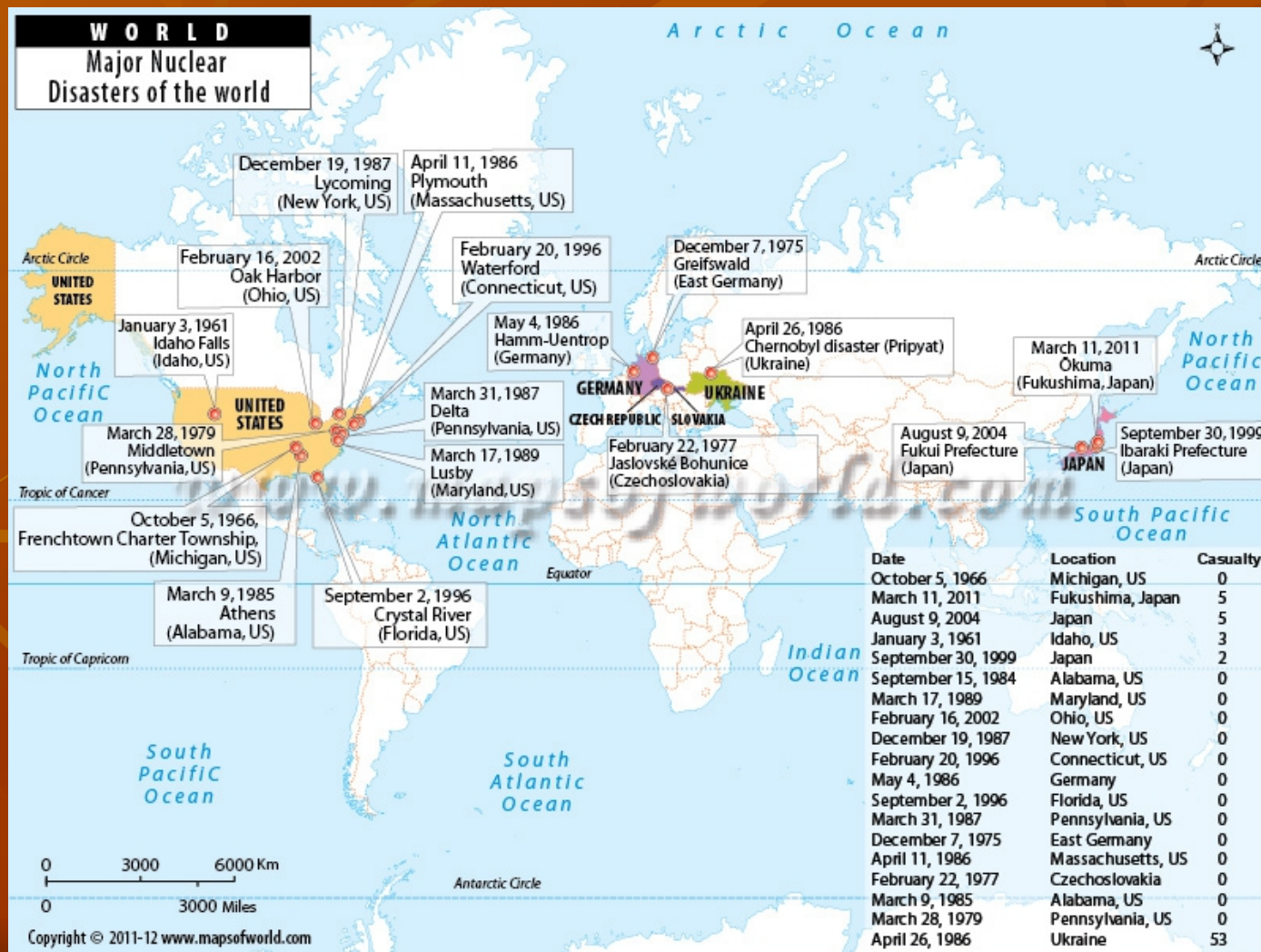
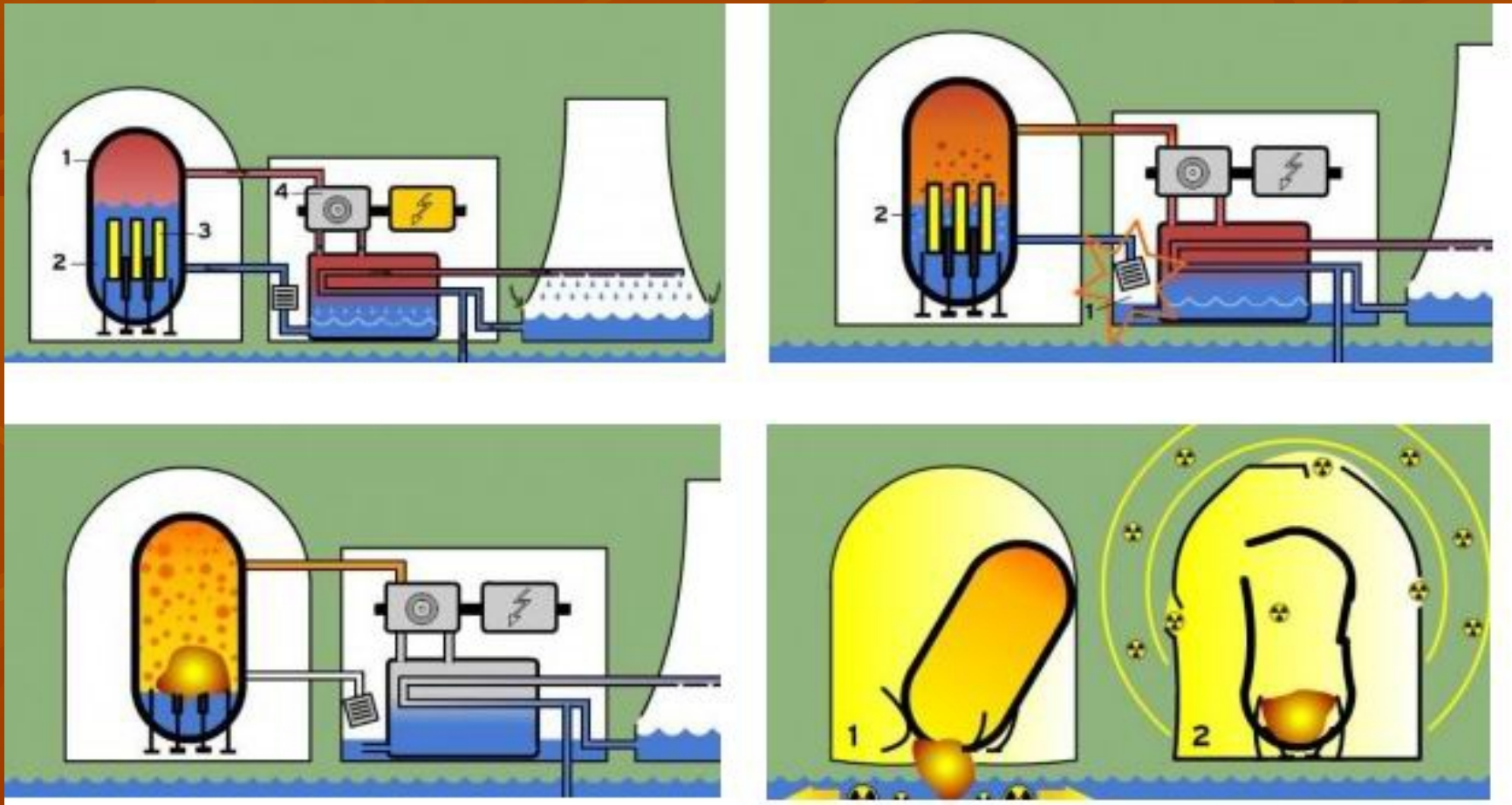
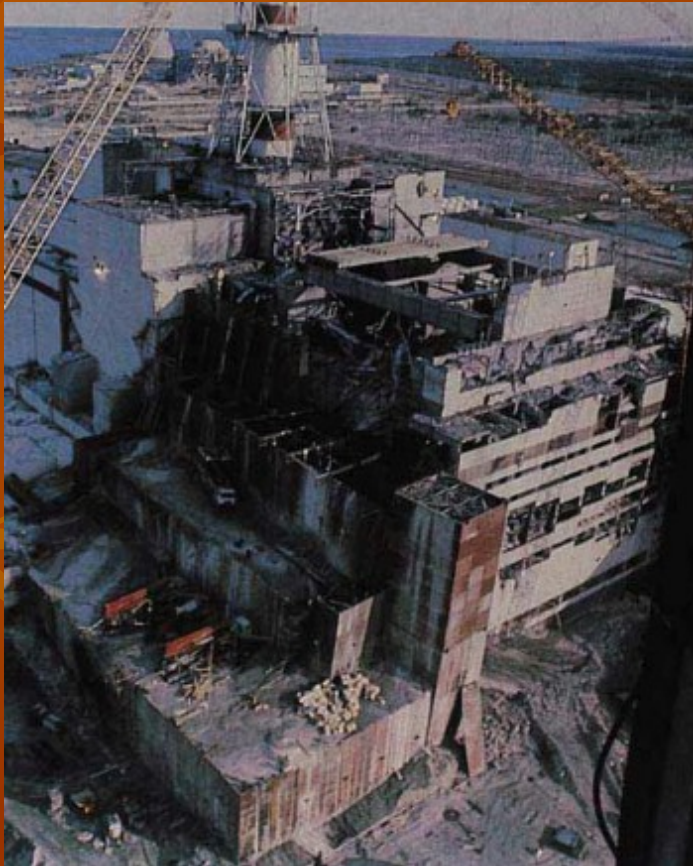


Схема перегрева реактора



Наиболее значительные аварии на станциях на ядерном топливе



СССР, Чернобыль, апрель 1986 г.

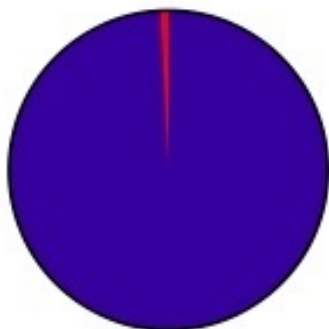


Япония, Фукусима I, март 2011 г.

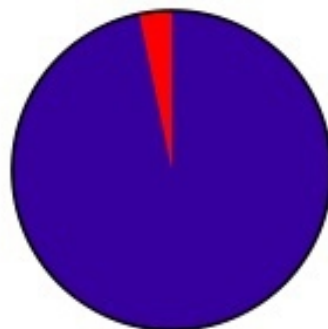
Ядерное оружие



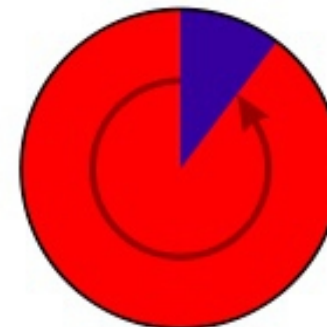
Степени обогащения



Natural uranium
> 99.2% U-238
0.72% U-235

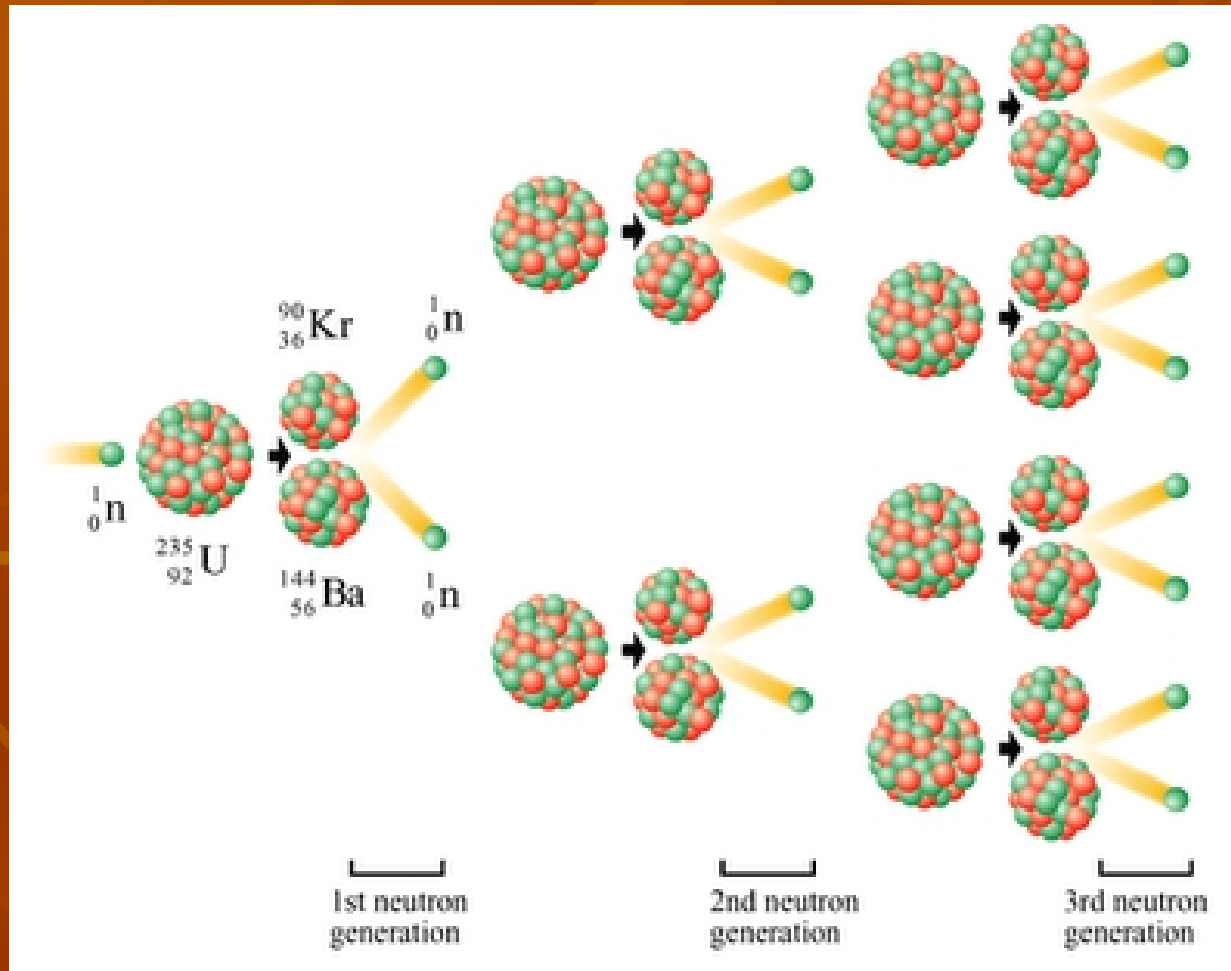


Low-enriched uranium
(reactor grade)
3-4% U-235



Highly enriched uranium
(weapons grade)
90% U-235

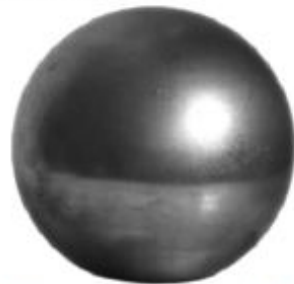
Механизм цепной реакции деления



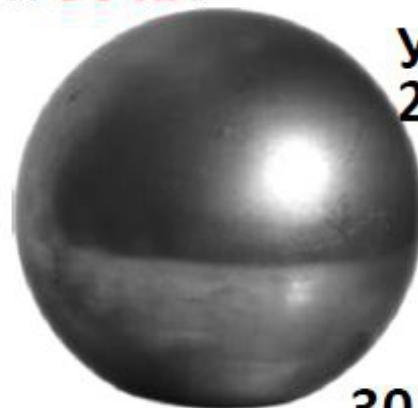
Критическая масса –
минимальная масса делящегося вещества,
в которой протекает незатухающая цепная
реакция деления

Критическая масса минимальна для сферических тел.
Металлические плутоний-239 и уран-235 в форме сферы имеют критические массы соответственно **11 и 50 кг.**

Плутоний
239



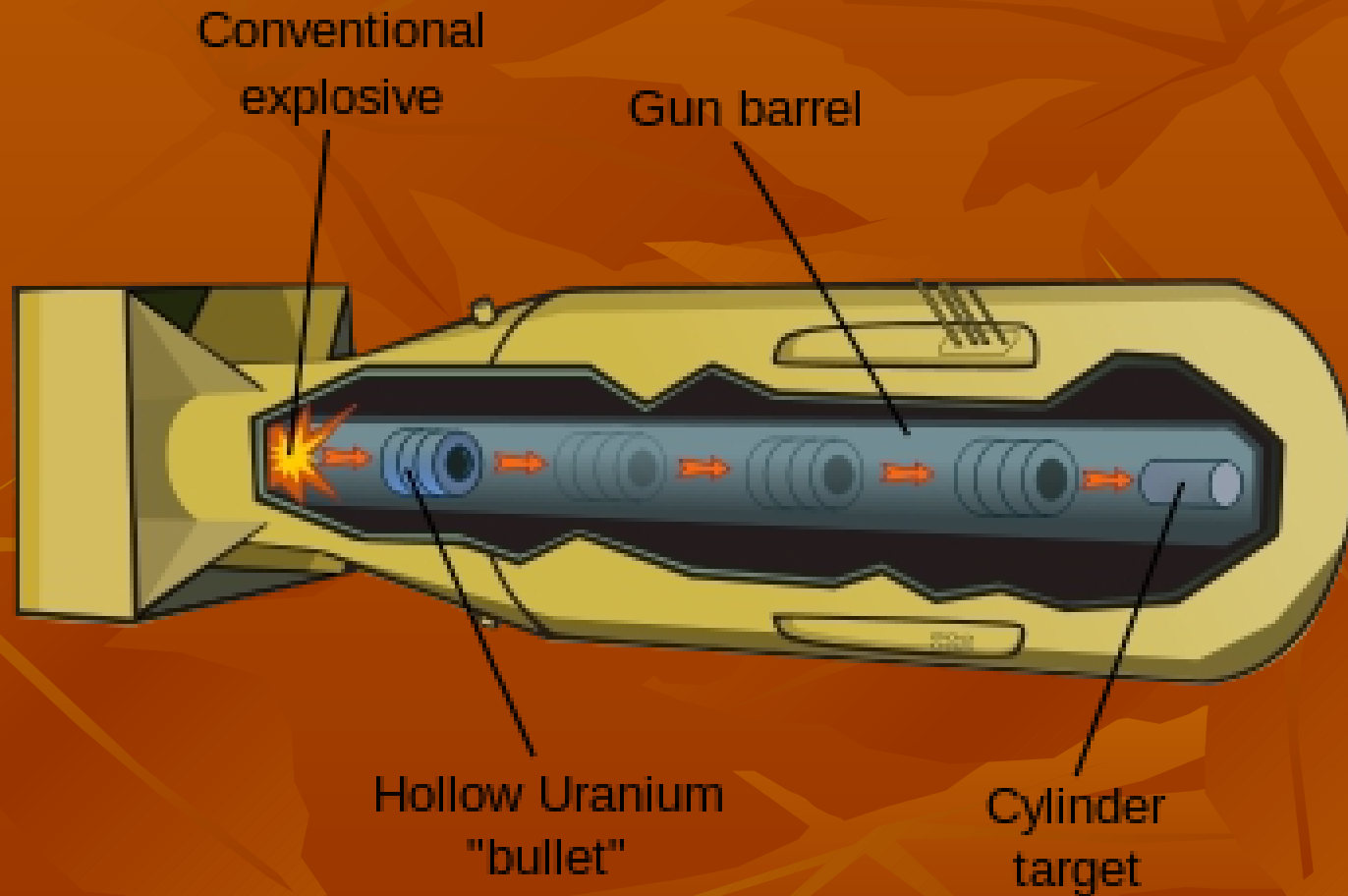
Уран
235



Хронология создания ядерного оружия

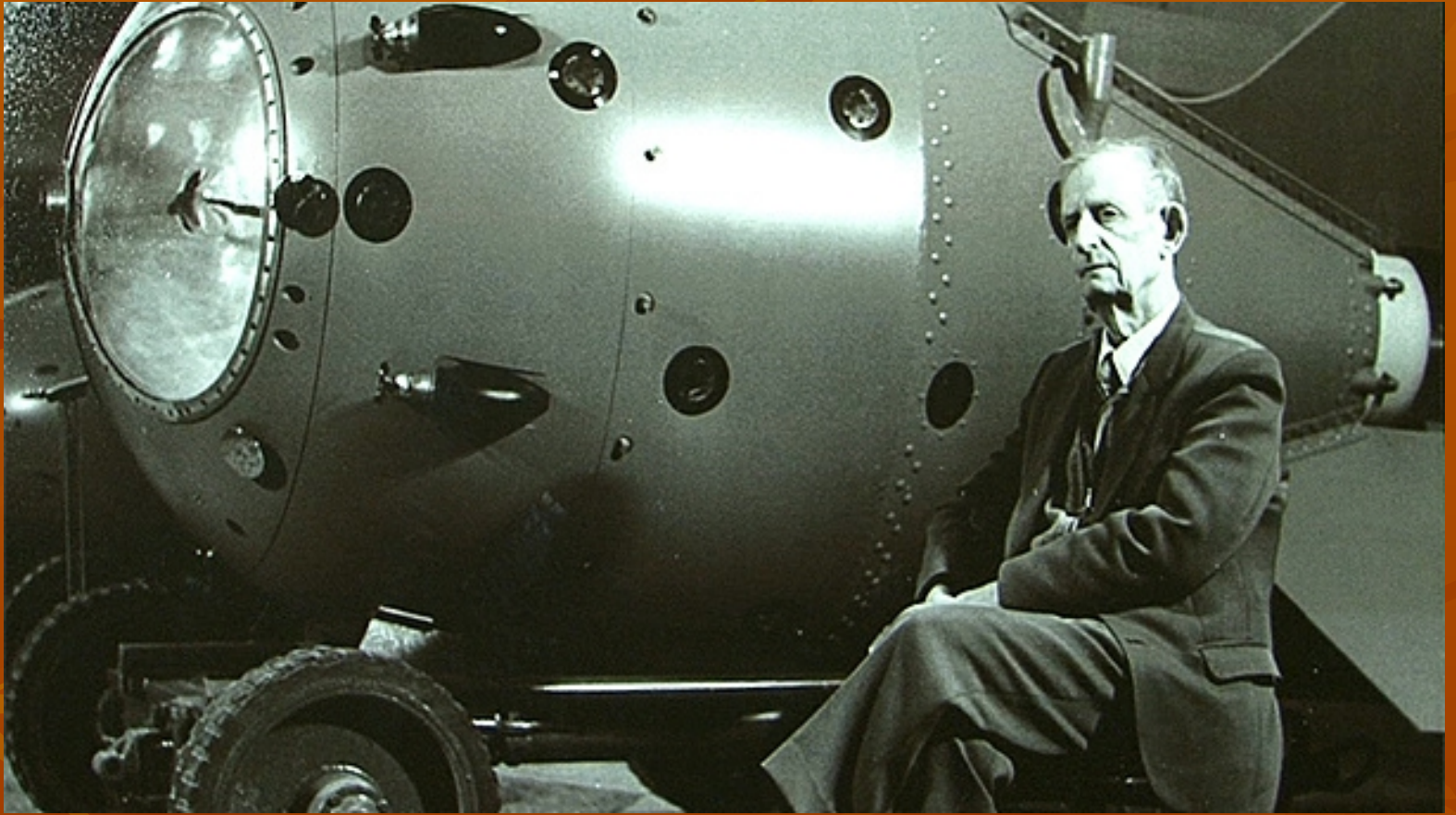
- 1938 г. - открытие цепной реакции деления
- 1940 г. - первые предложения о создании «урановой бомбы»
- 1942 г. - начало работ по созданию ядерного оружия в США, СССР и Германии
- 16 июля 1945 г. - взрыв первой ядерной бомбы (США)
- 6,9 августа 1945 г. - ядерные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки

Ядерный заряд «пушечного» типа



Хронология создания ядерного оружия

- Март 1945 г. - активизация работ по созданию ядерного оружия в СССР
- 1946 г. - запуск первого советского ядерного реактора
- 29 августа 1949 г. – взрыв первой советской ядерной бомбы (РДС-1)

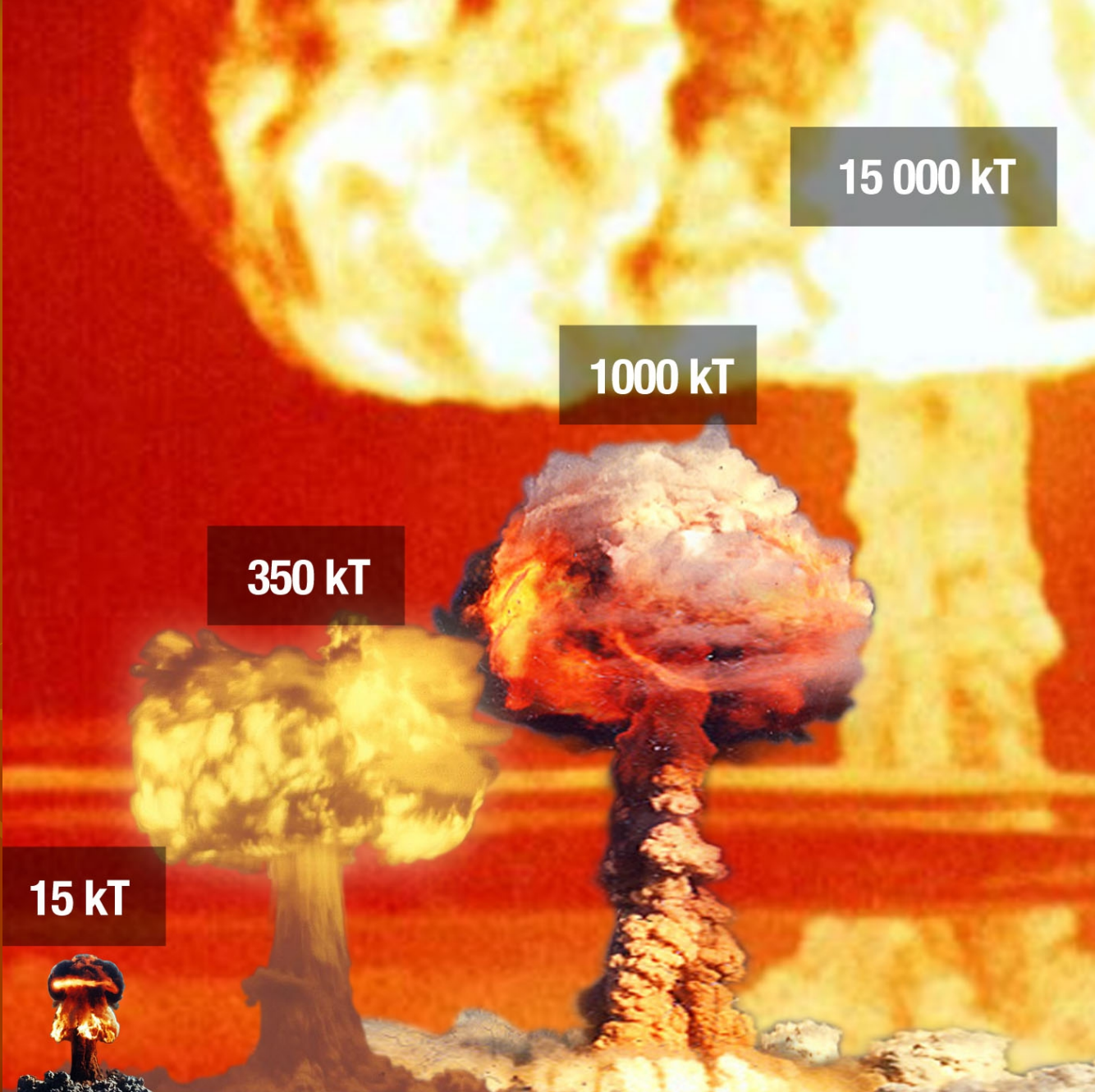


Академик Ю.Б.Харитон у макета бомбы РДС-1

Ядерные испытания 1949-1963

ГГ.





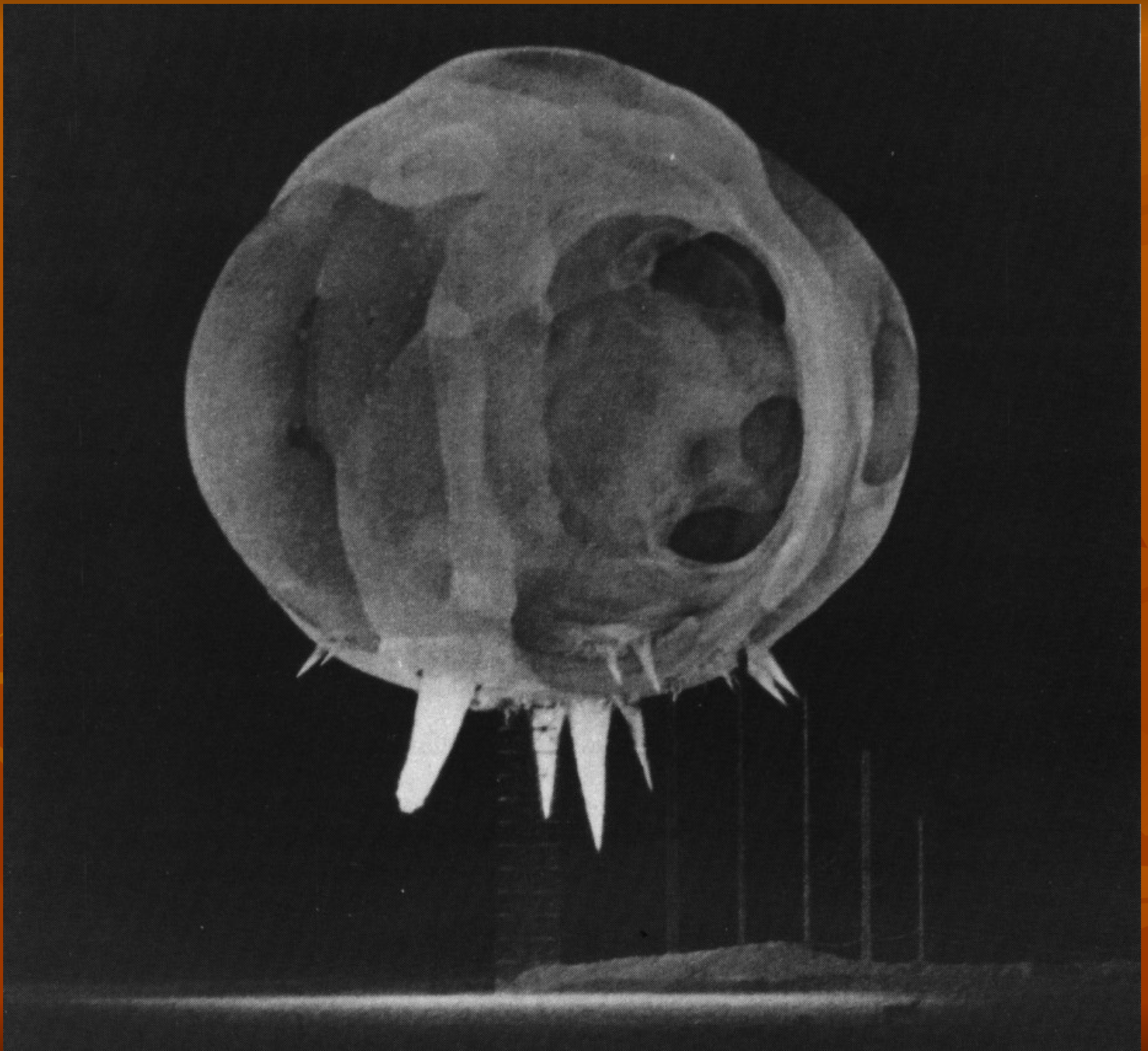
15 kT

350 kT

1000 kT

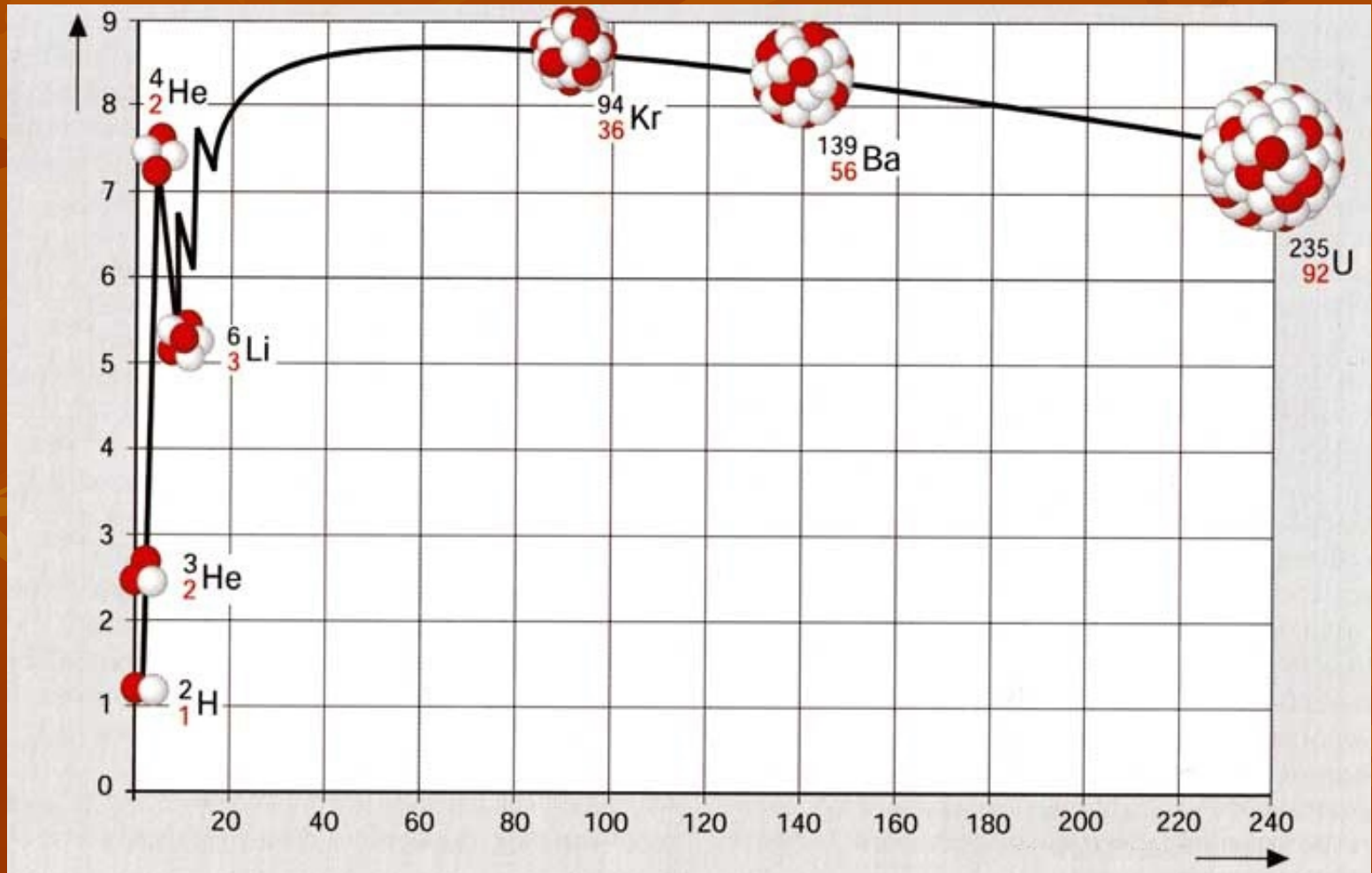
15 000 kT



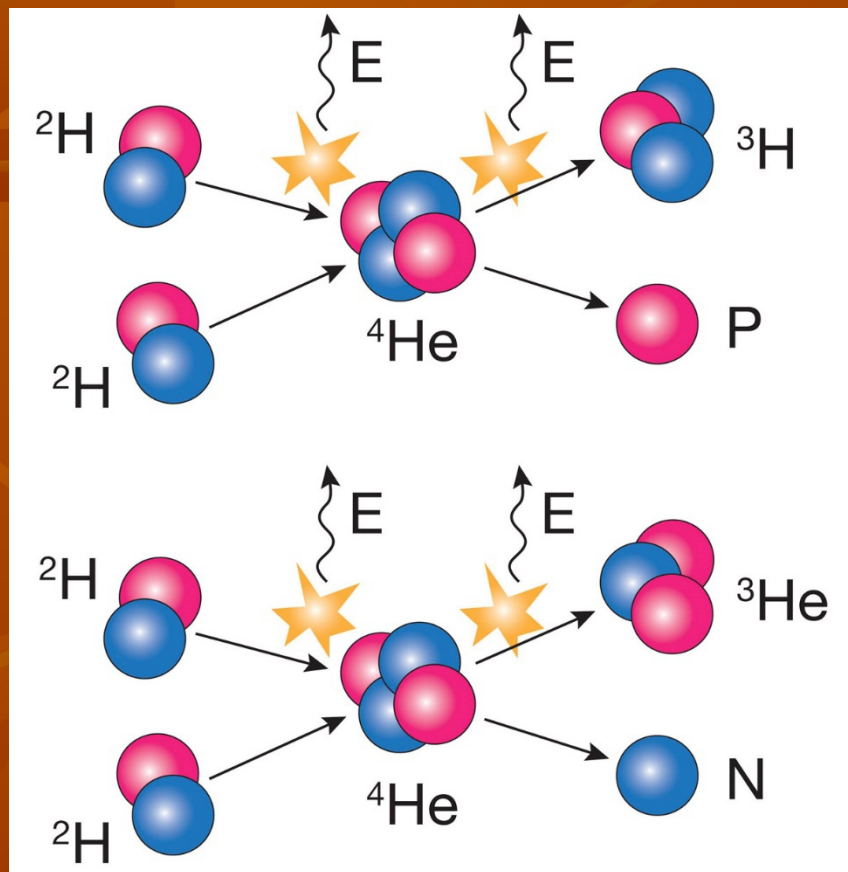




Энергия связи атомного ядра



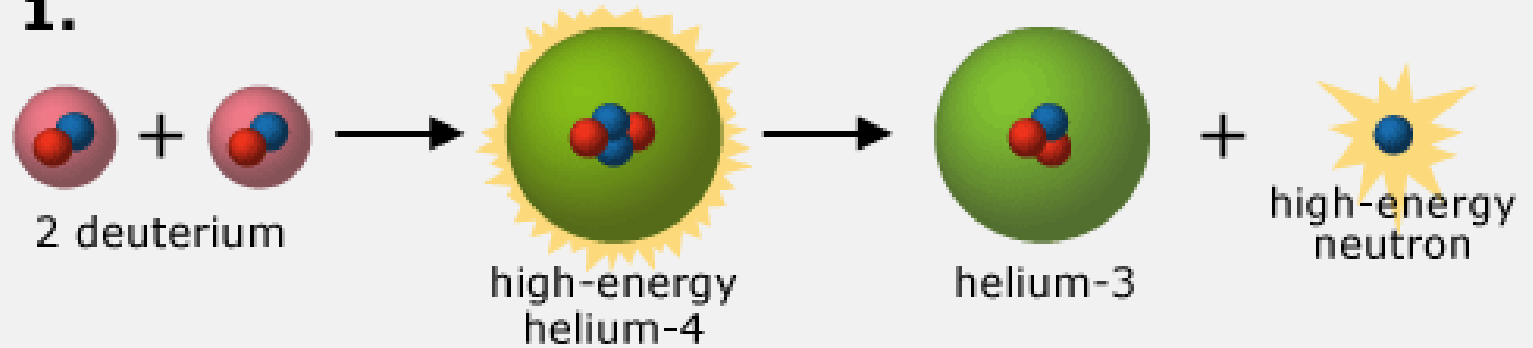
Открытие возможности синтеза (Г.Бете, 1938 г.)



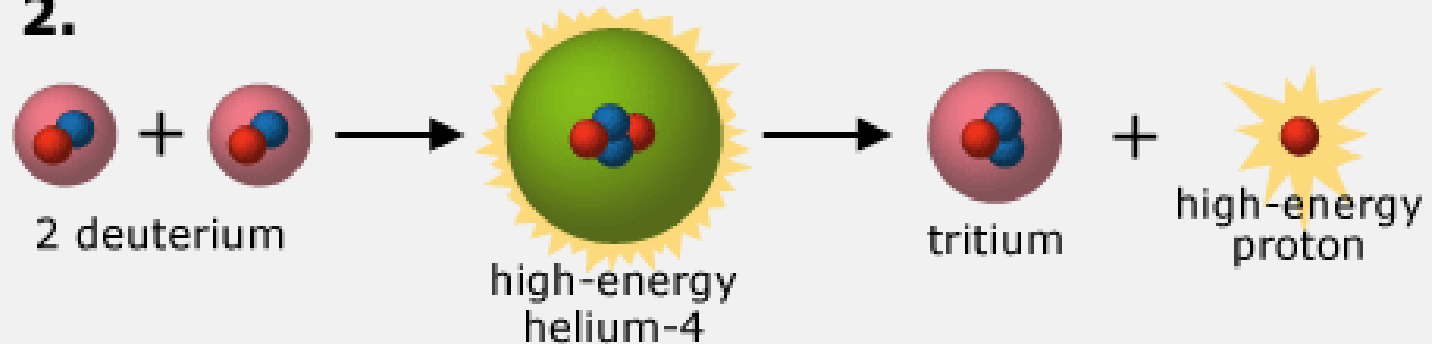
Нобелевская премия, 1967 г.

Three deuterium fusion reactions:

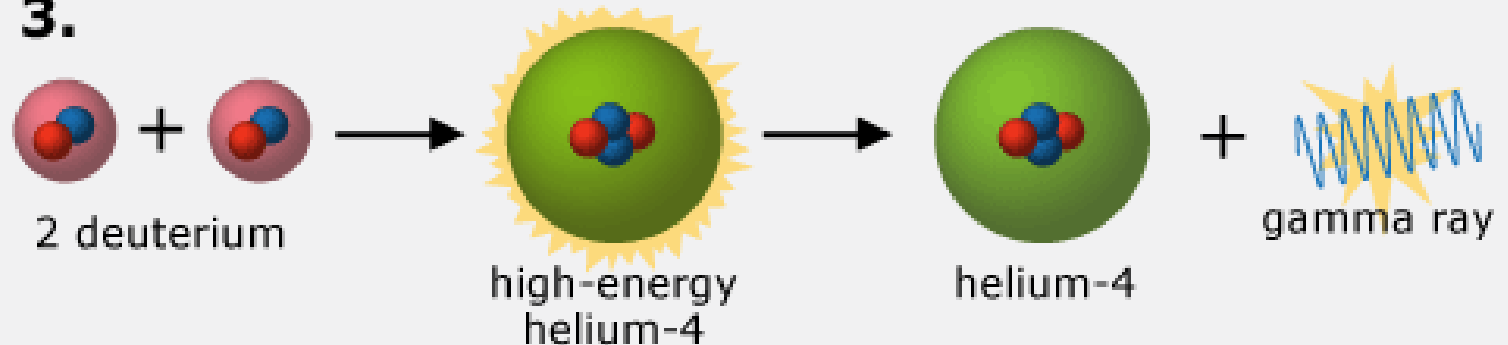
1.



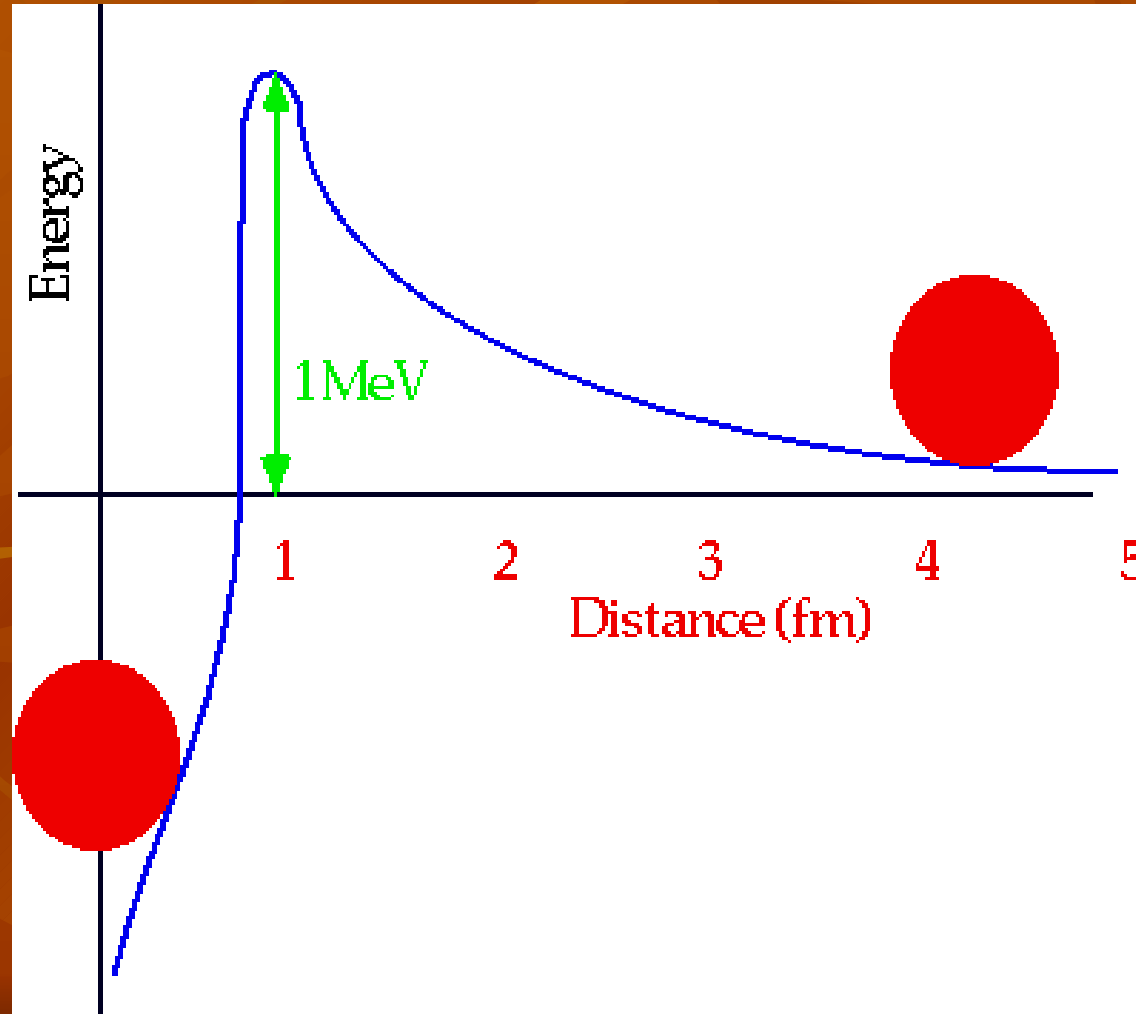
2.



3.



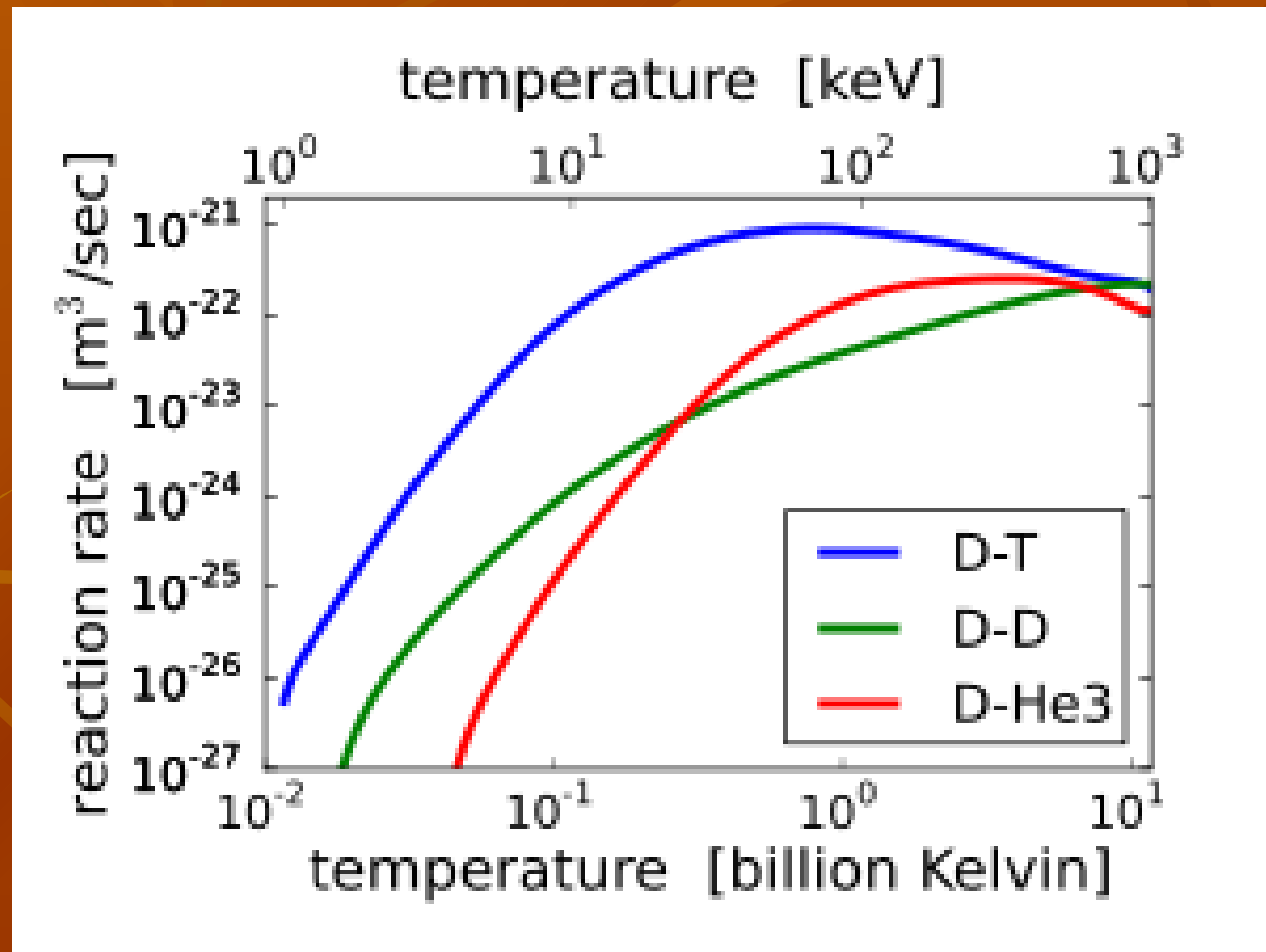
Кулоновский барьер при синтезе



Энергия = температура



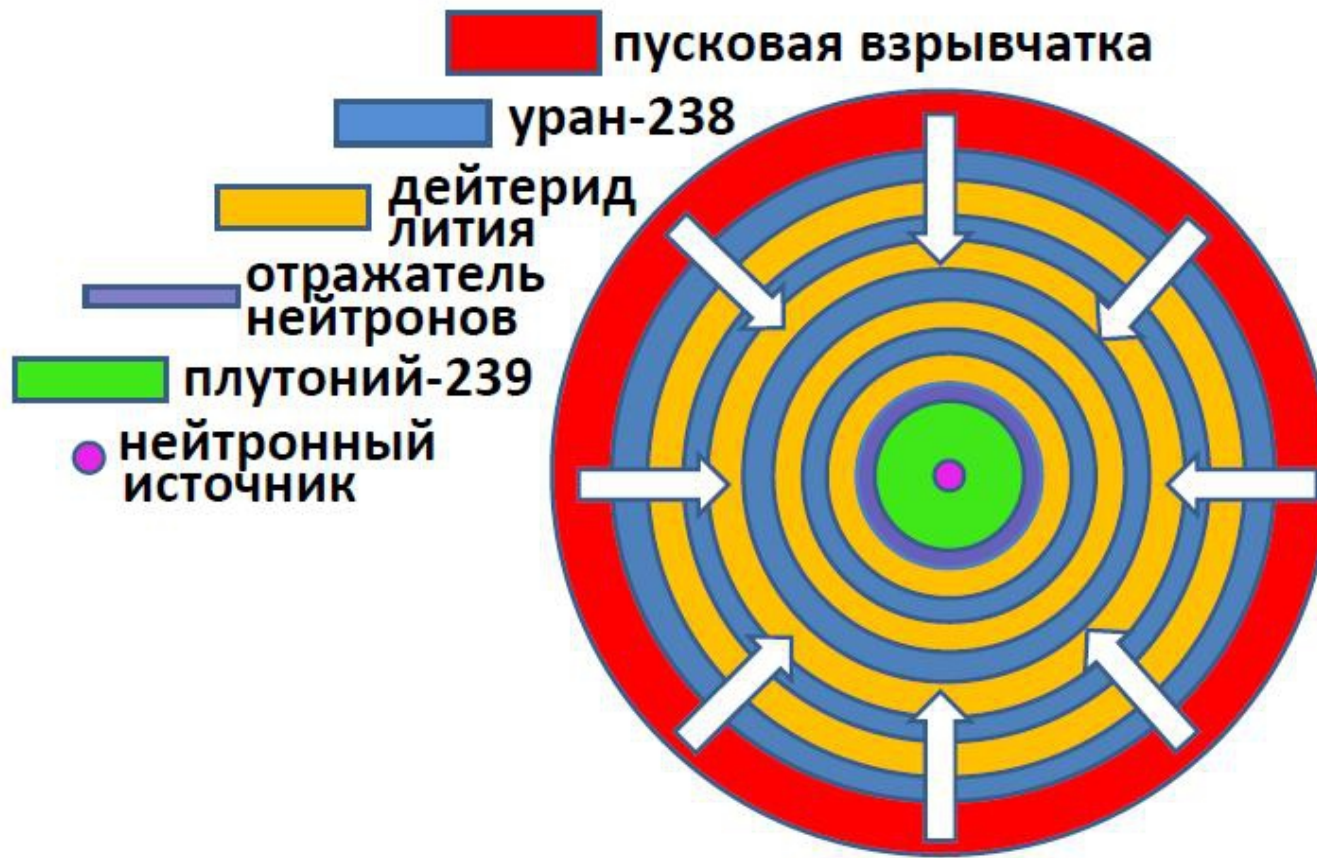
Условия протекания ТЕРМОядерных реакций



Условия протекания ТЕРМОядерных реакций



Бомба «слойка»



Дейтерид лития



Хронология создания термоядерного оружия

- Конец 40-х годов-начало разработки термоядерного оружия в СССР и США
- Май 1951 г-первое испытание термоядерного устройства (США)
- Август 1953 г.-взрыв первой термоядерной бомбы (СССР)
- Февраль 1954 г-взрыв первой бомбы современного типа (двухфазная, США)
- Ноябрь 1961 г-испытание самой мощной в истории термоядерной бомбы (СССР)

Cutaway of thermonuclear warhead

primary fission trigger

■ deuterium-tritium gas

■ plutonium-239

■ beryllium

■ chemical explosive



secondary fusion device

■ uranium-235

■ lithium deuteride (fusion fuel)

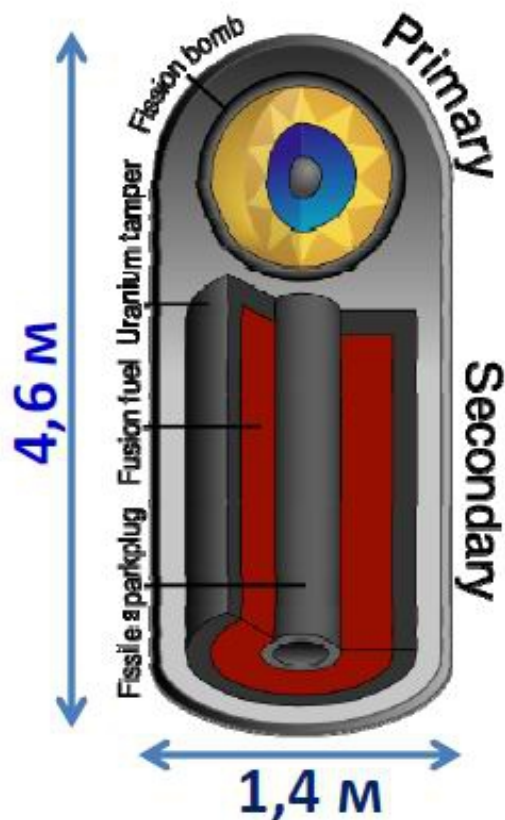
■ uranium-238 or 235

foam

uranium-238 case

neutron generator

Американское испытание Castle Bravo 28.02.1954 (атолл Бикини)



Т
е
л
л
е
р



У
л
а
м



5 Мт – синтез,
10 Мт – деление
урана-238

Кратер: диаметр 2 км,
глубина 75 м



Если бы мы не поспешили с водородной бомбой, с высокой вероятностью сейчас мы все говорили бы по-русски. Поэтому я ни о чём не сожалею.

Эдвард Теллер,
один из создателей американского
ядерного и термоядерного оружия



«ЦАРЬ-БОМБА» КАК ГАРАНТ МИРА НА ЗЕМЛЕ



3 РАЗА
взрывная волна
обогнула Землю



0
ЖЕРТВ
при взрыве
«Царь-бомбы»
никто
не пострадал



0 МР/ЧАС
уровень
радиации
на полигоне

«Царь-бомба»,
взорванная на полигоне
«Сухой нос» в 1961 г.

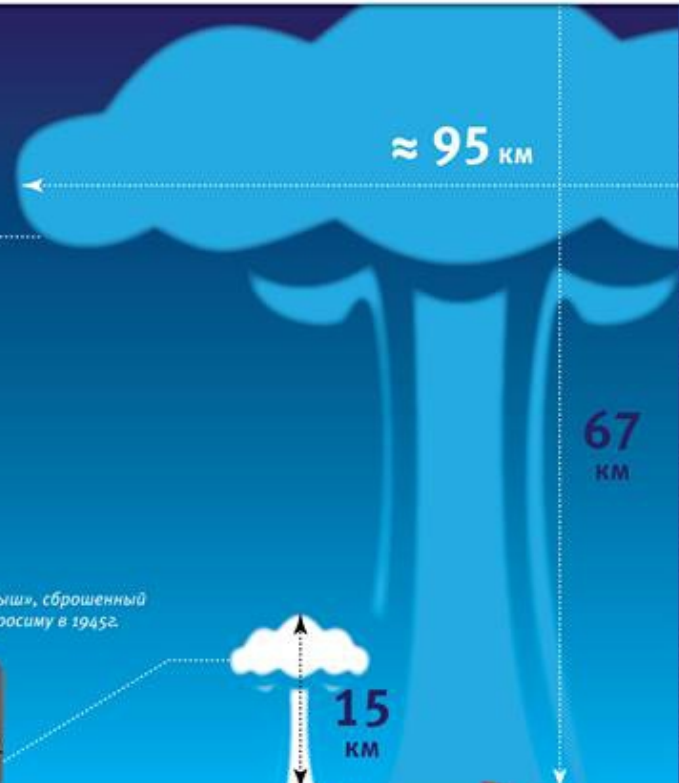


58
МЕГАТОНН
фактическая
мощность

«Малыш», сброшенный
на Хиросиму в 1945г.



4,1
ТОНН



МЕЗОСФЕРА
СТРАТОСФЕРА
ОЗОНОСФЕРА
ТРОПОСФЕРА

1 «ЦАРЬ-БОМБА» = **3600** БОМБ, СБРОШЕННЫХ НА ХИРОСИМУ



25,8
ТОНН

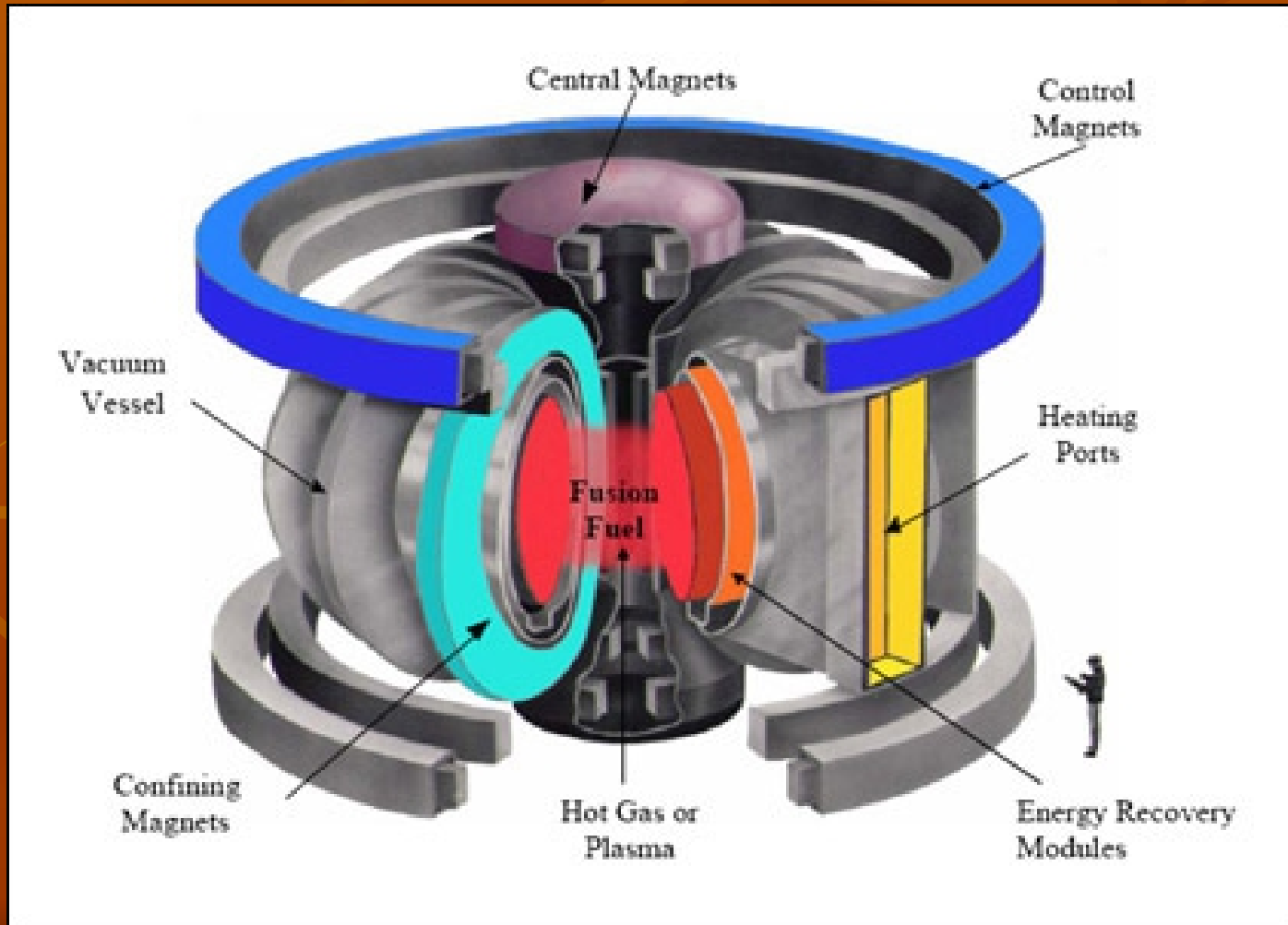
**САМЫЙ МОЩНЫЙ ВЗРЫВ В ИСТОРИИ,
ЗАНЕСЕН В КНИГУ РЕКОРДОВ ГИННЕССА.**

Взрыва такой силы на Земле не было со времен столкновения с астероидом, предположительно погубившим динозавров

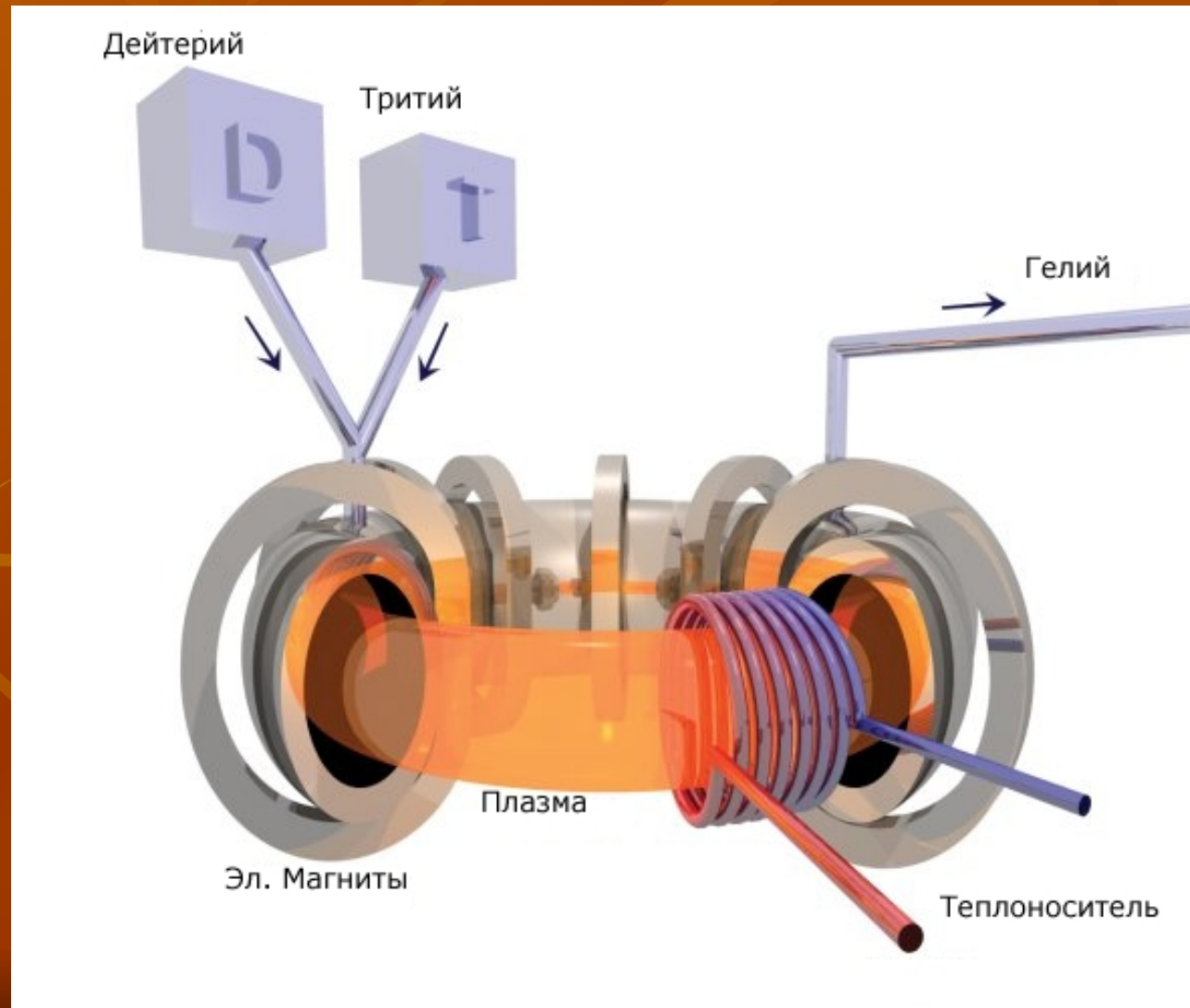




Проблемы управляемого термоядерного синтеза



ТОКАМАК (ТОроидальная КАмера с МАгнитными Катушками)



Принципиальная схема ТОКАМАКА

Магнитное удержание плазмы

- ТОКАМАК

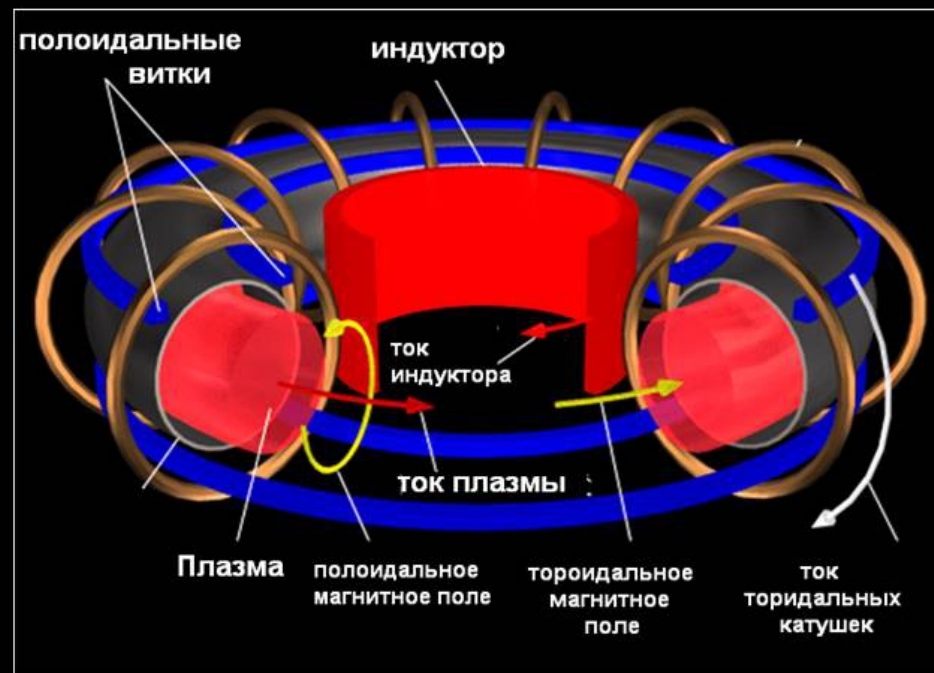
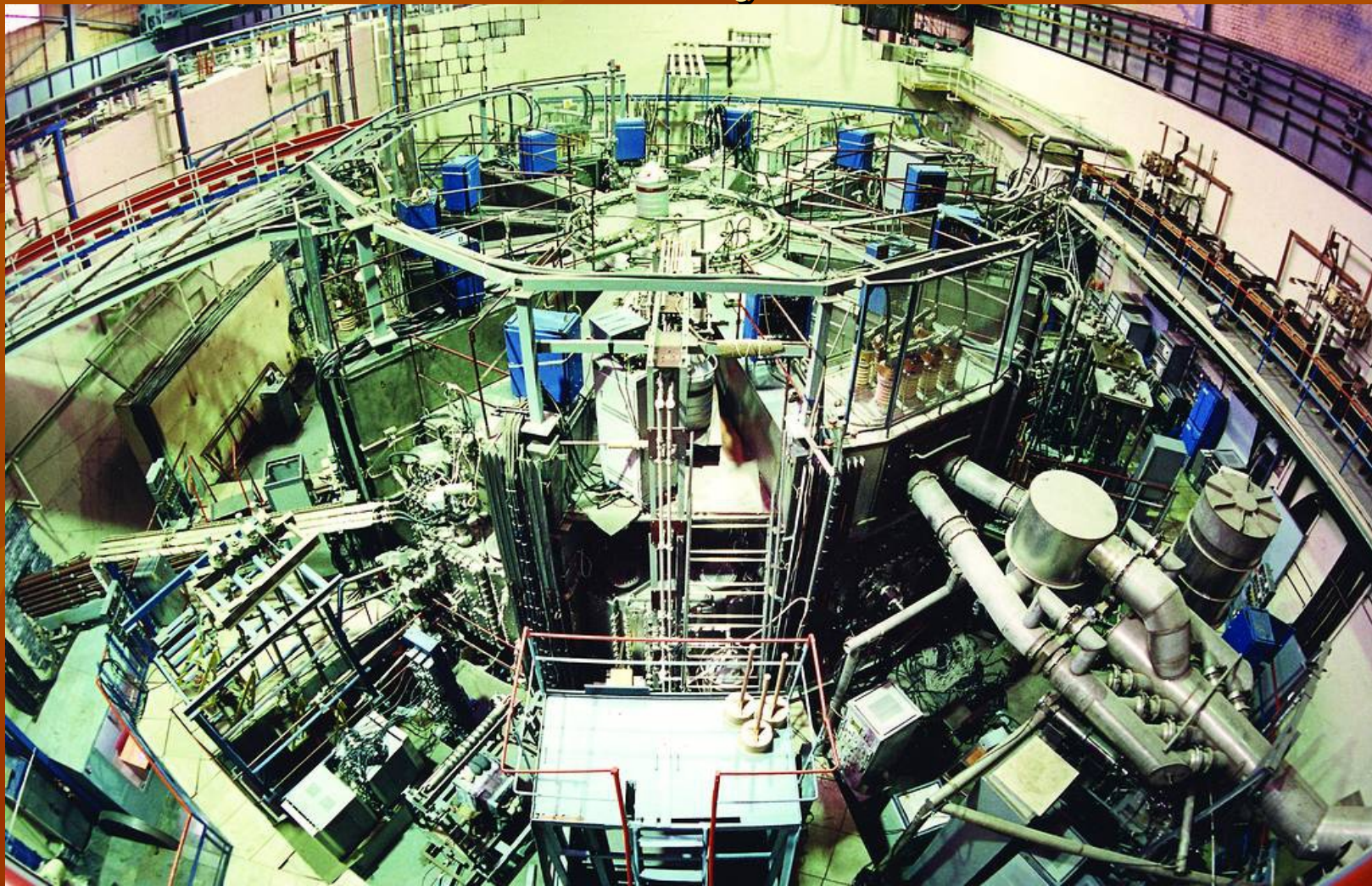


Схема принципиальных узлов ТОКАМАКА

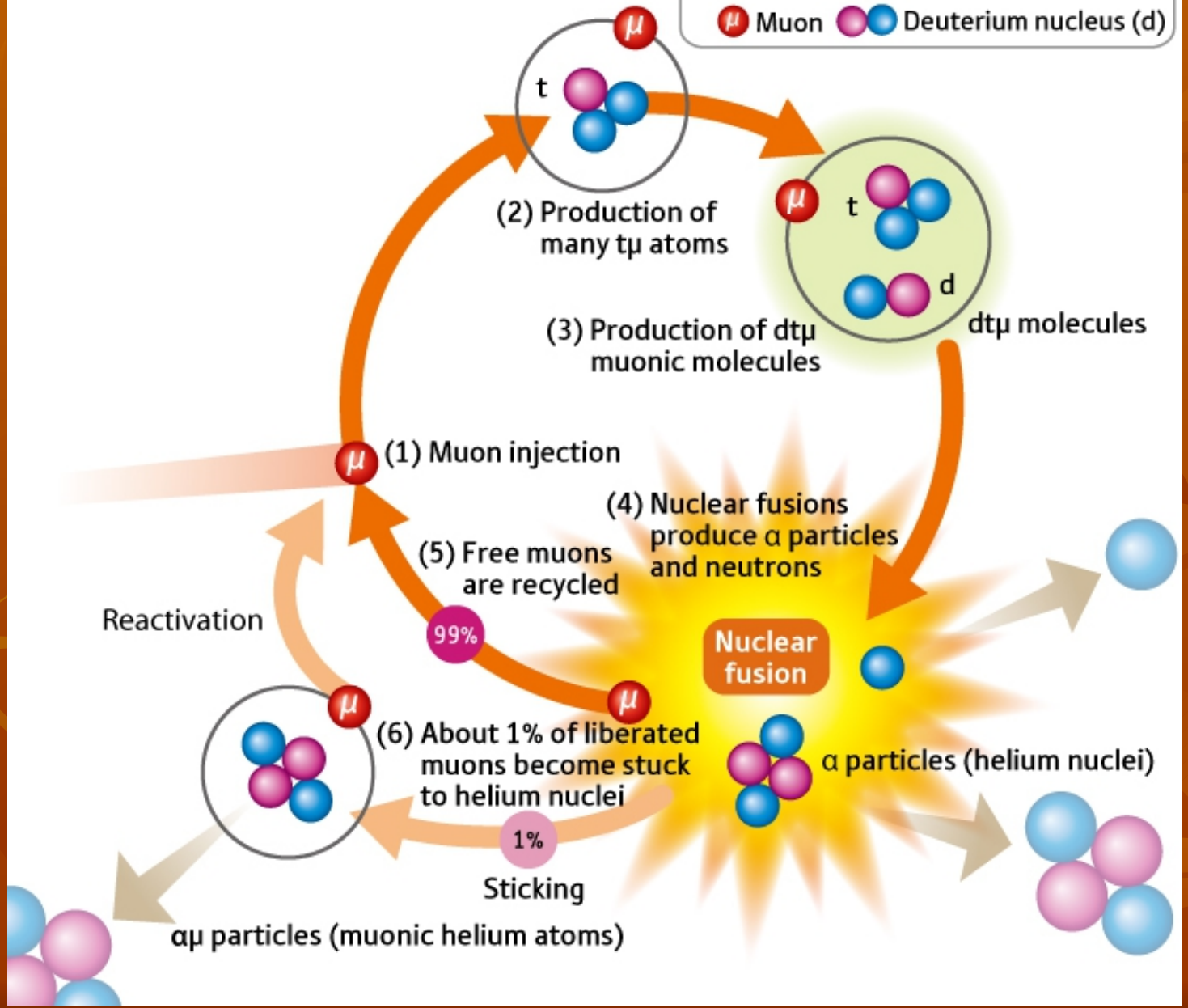
Токамак Т-15 Курчатовского Института



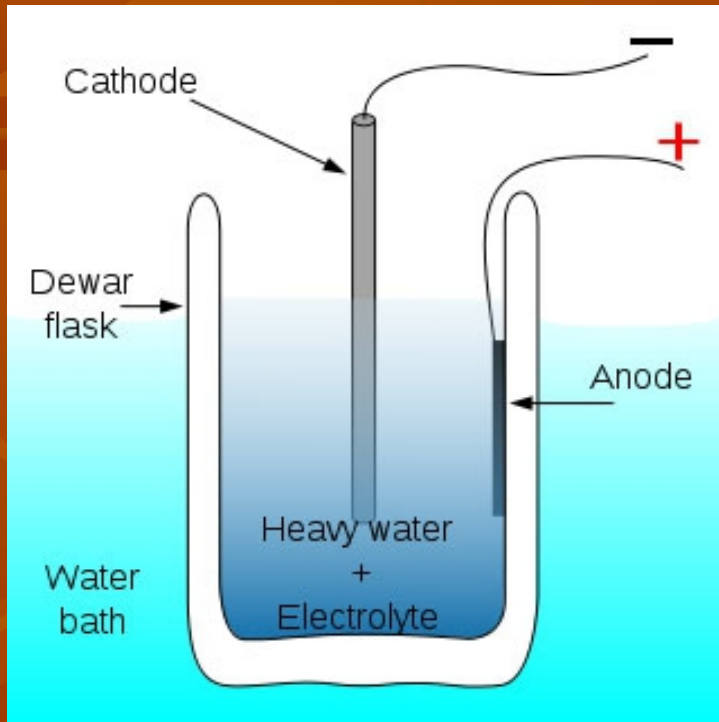
ITER – промышленный (нет) термоядерный реактор будущего



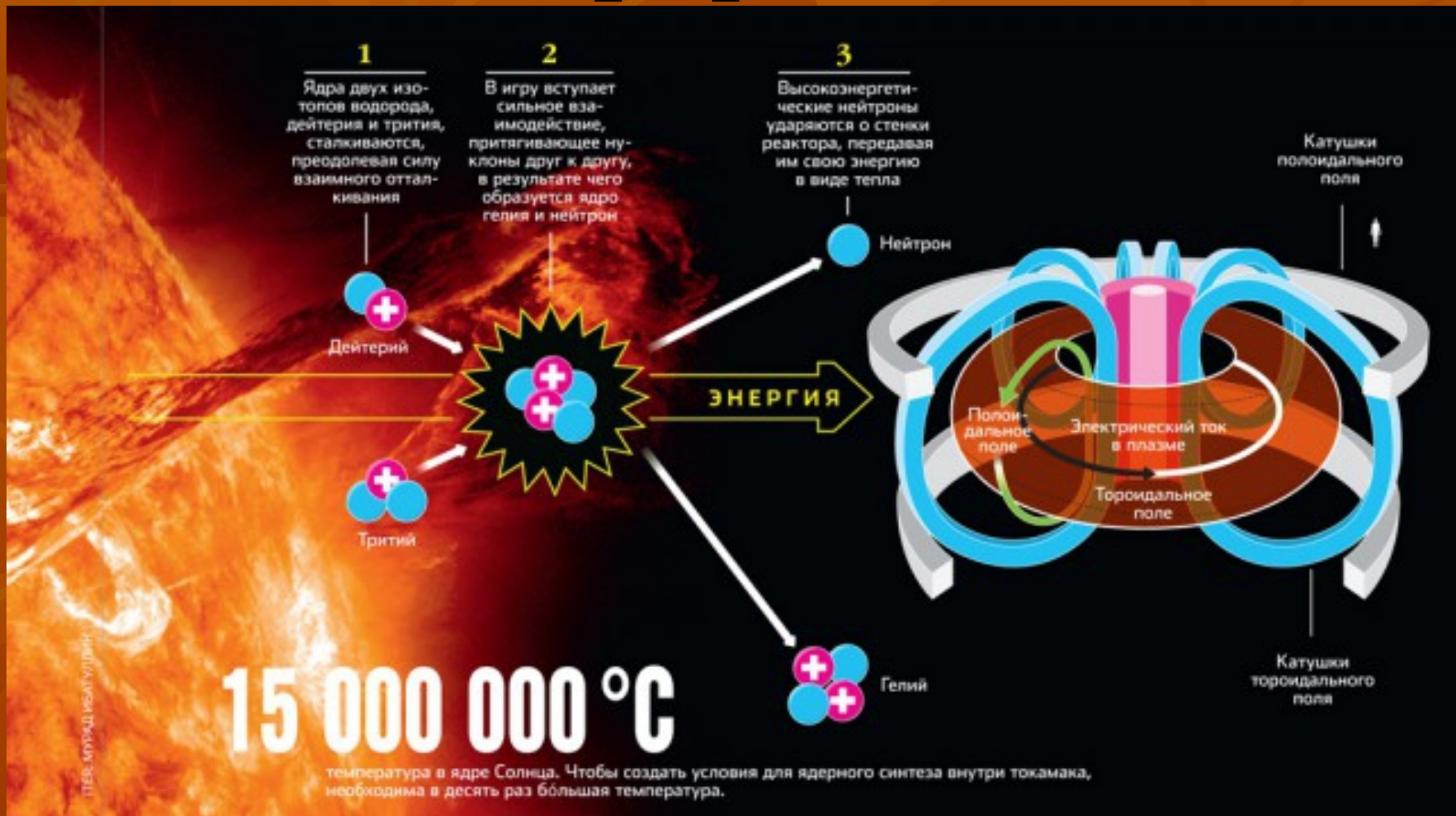
Proton — (pink circle)
 Neutron — (blue circle)
 μ Muon — (red circle with μ)
 Tritium nucleus (t) — (one pink, two blue circles)
 Deuterium nucleus (d) — (one pink, one blue circle)



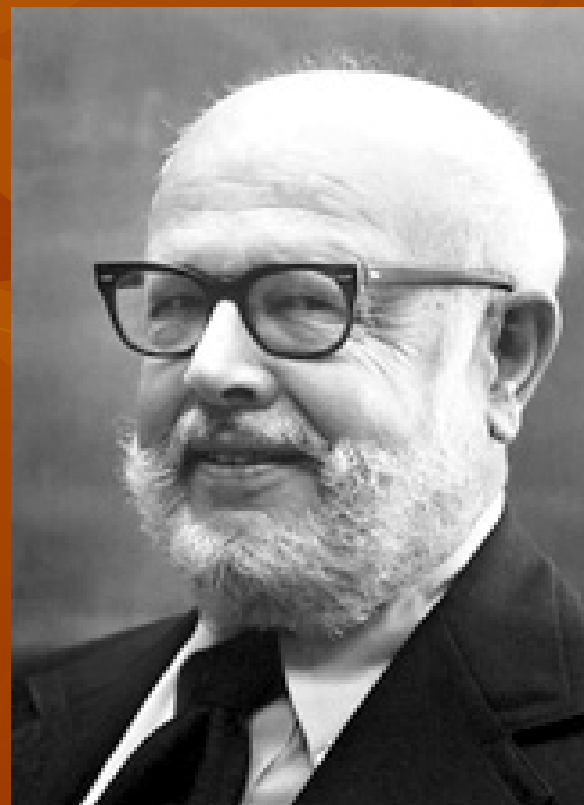
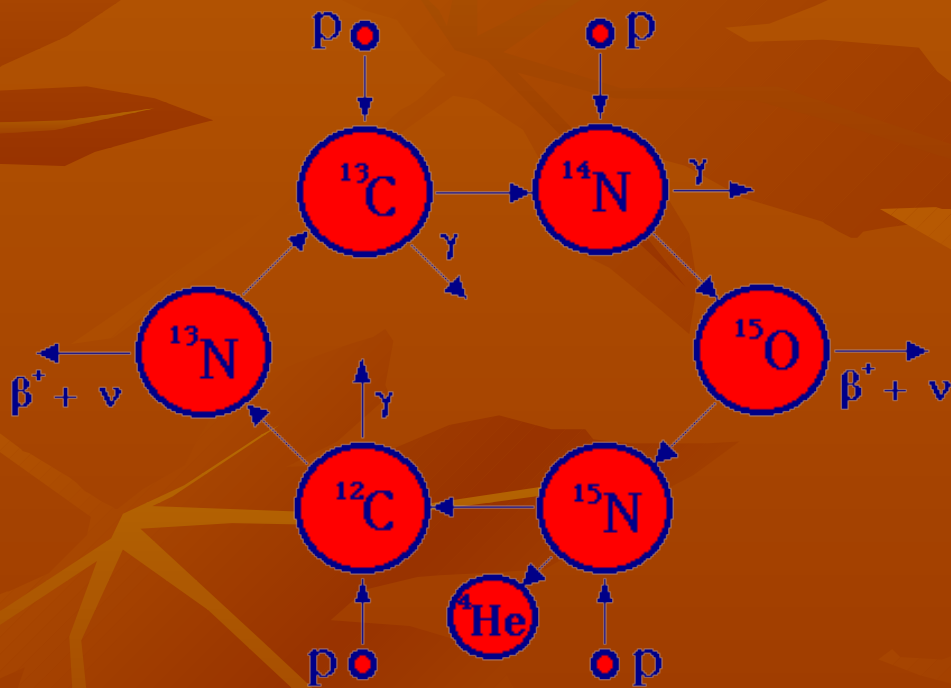
«Холодный синтез»



Термоядерный синтез в природе

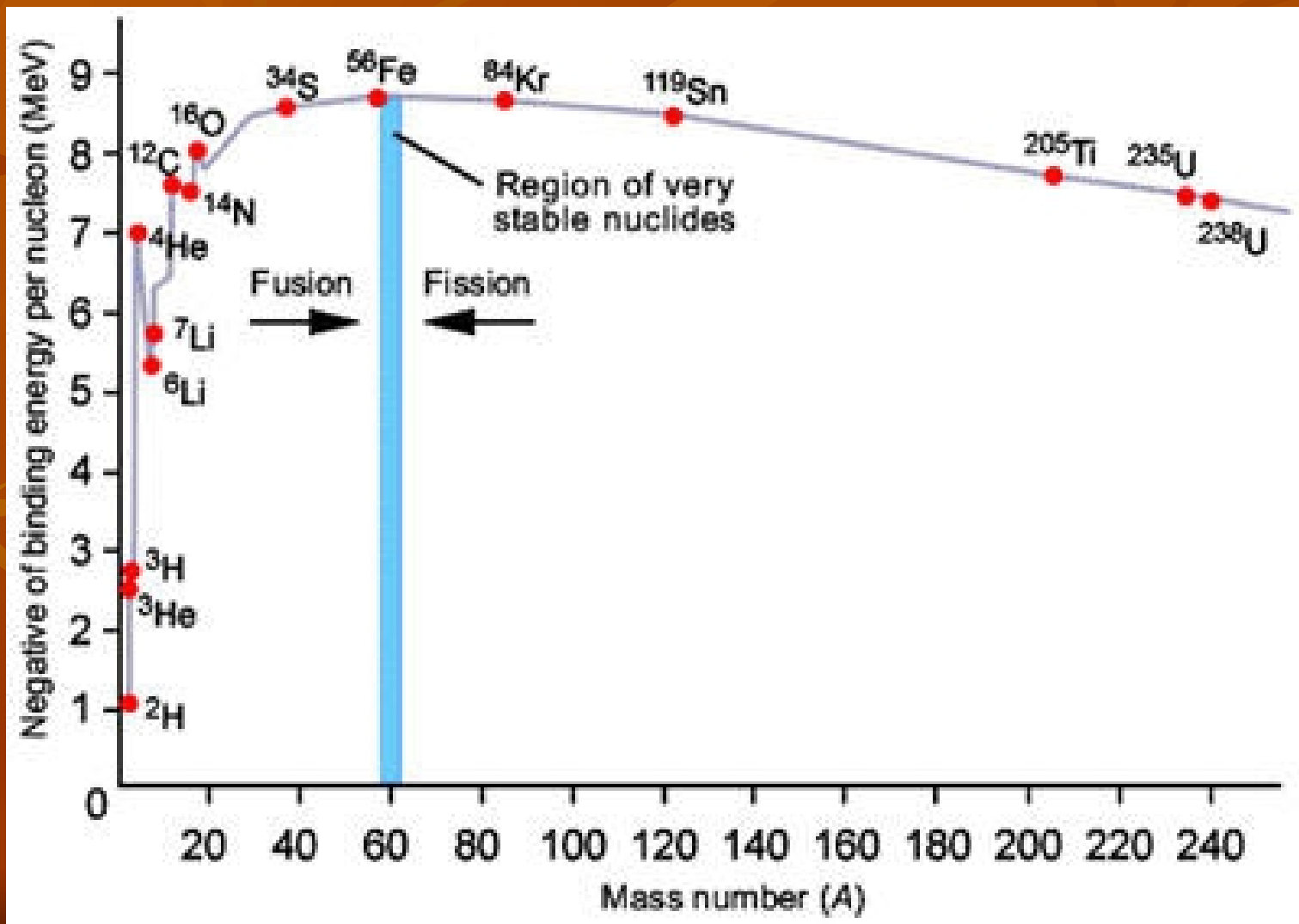


Теория образования химических элементов в звёздах (У.Фаулер и др., 1955)

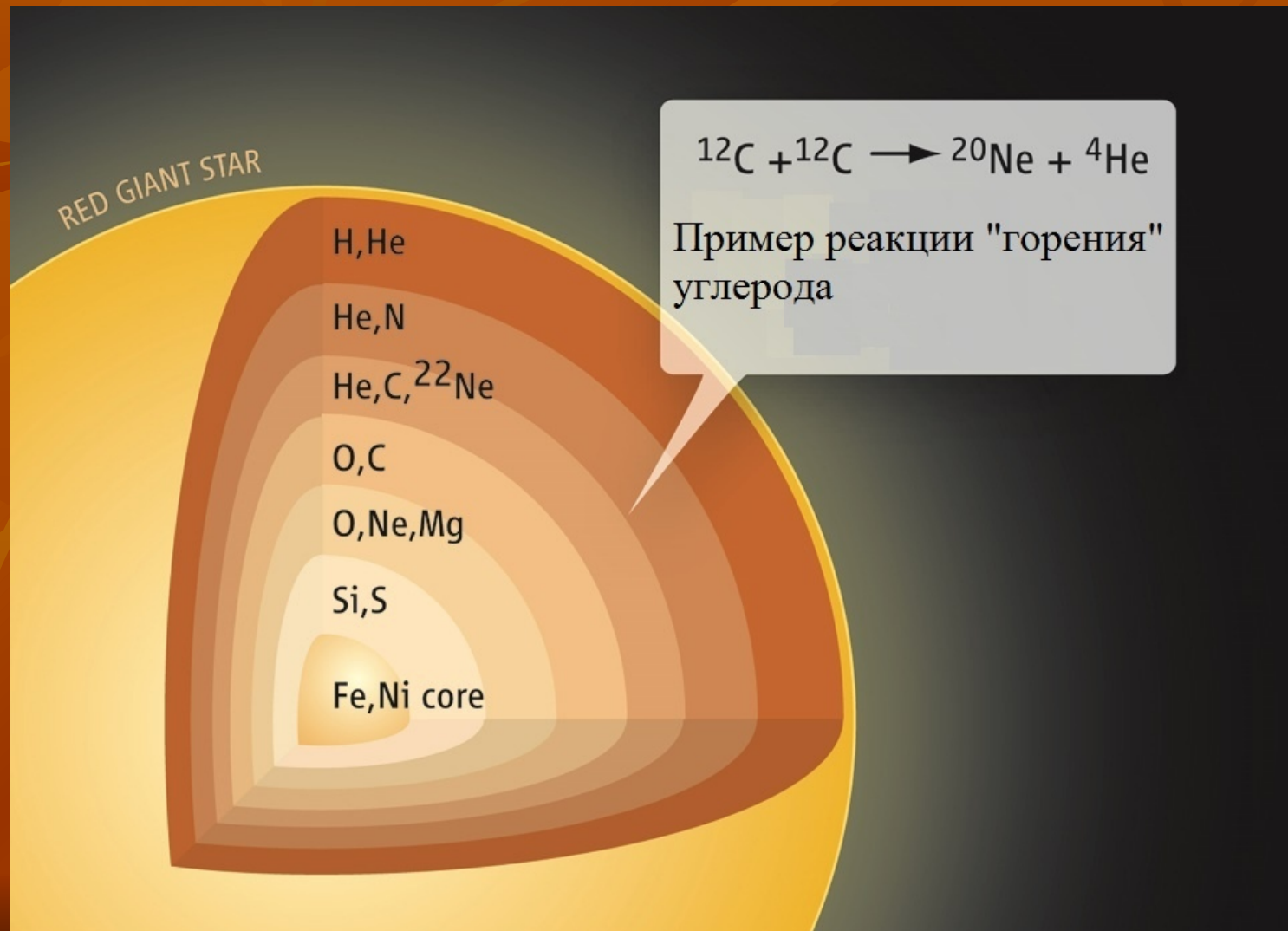


Нобелевская премия, 1983 г.

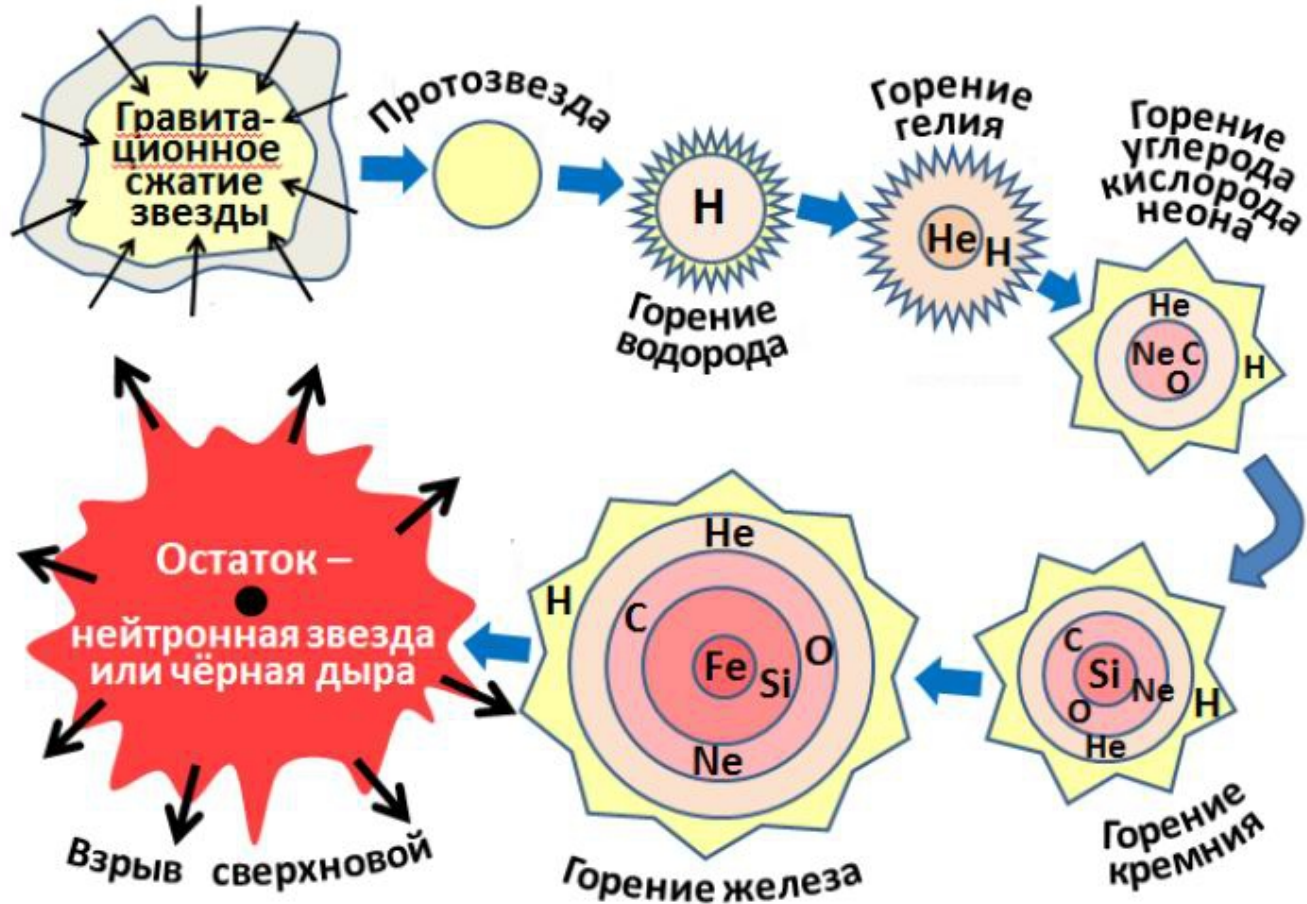
Удельная энергия связи



«Жизнь» массивной звезды



Основные этапы эволюция массивной ($> 25M_{\odot}$) звезды





Благодарю за внимание!