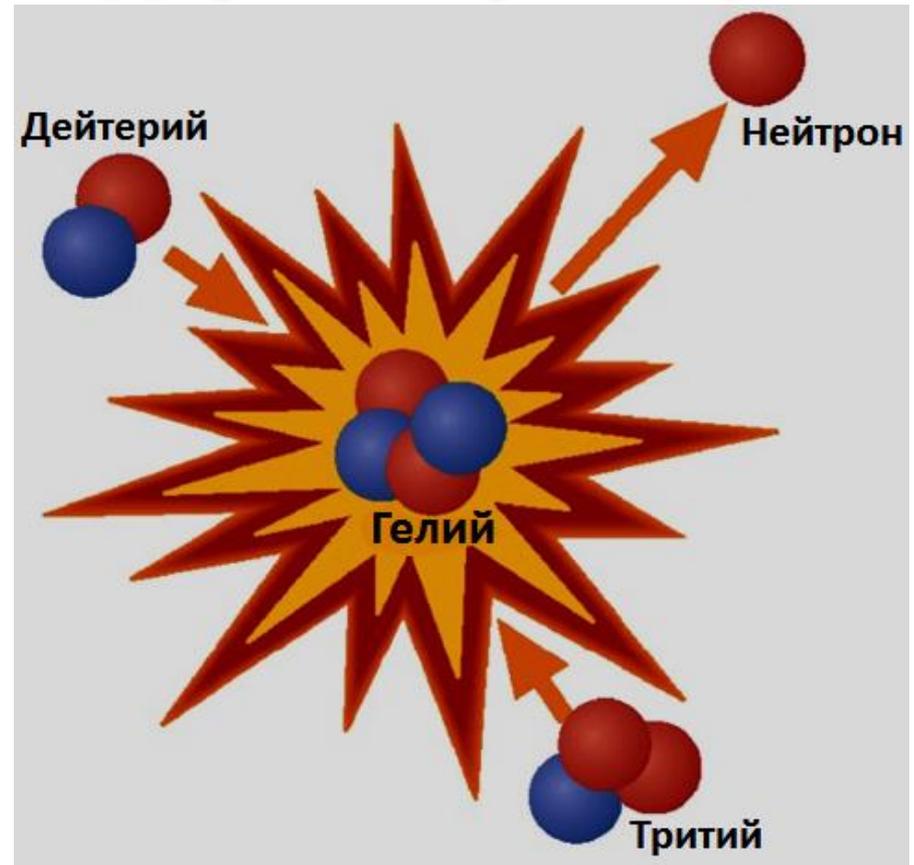
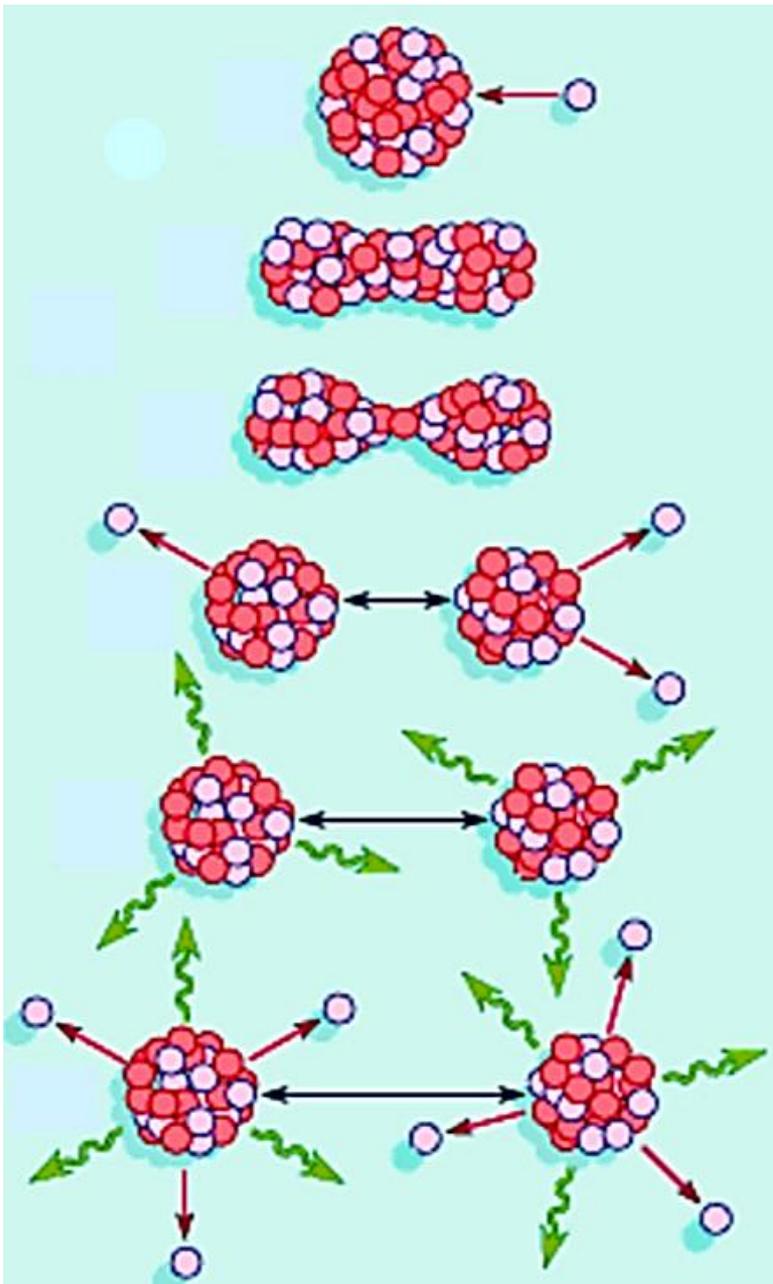


Ядерные реакции

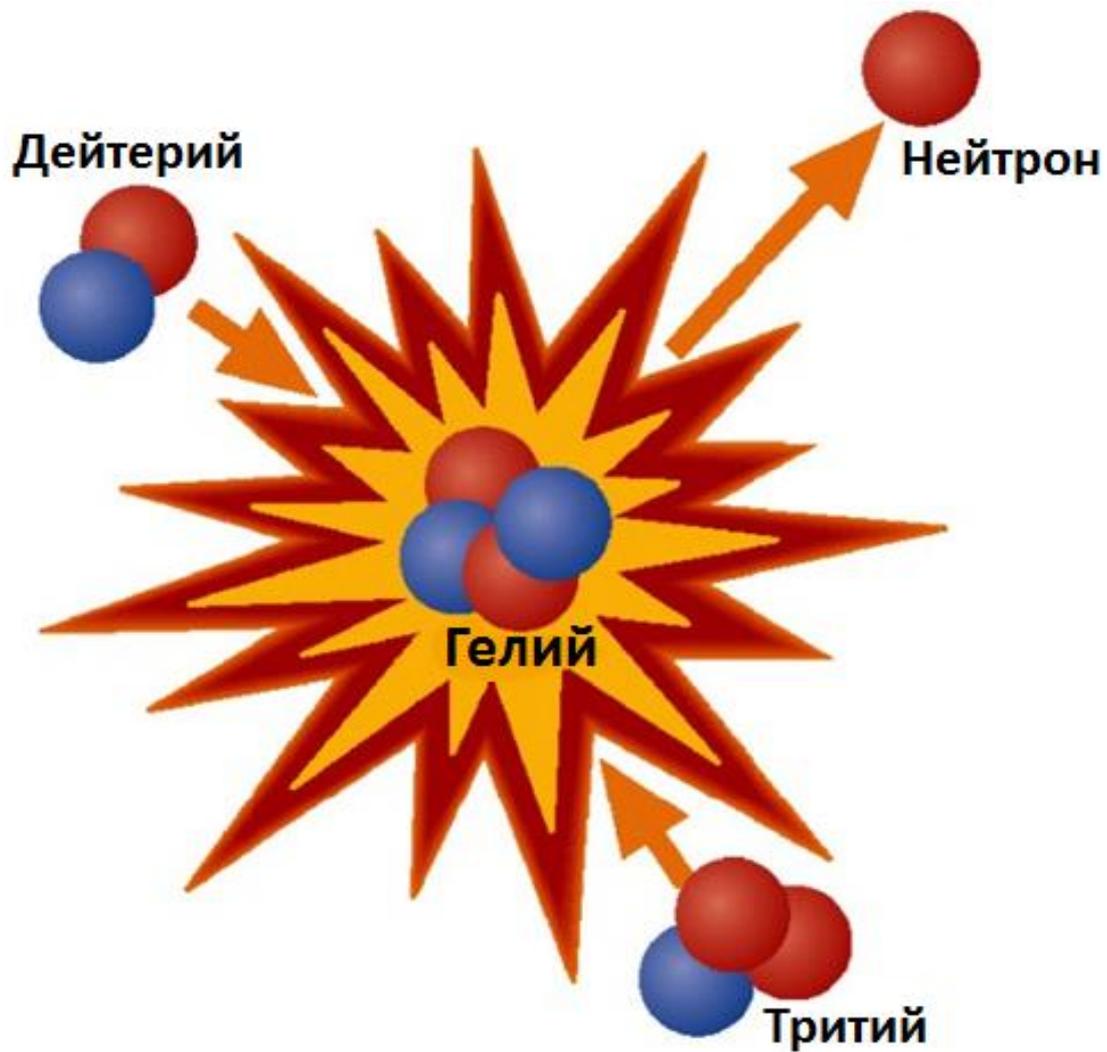


Деление и синтез ядер.
Получение ядерной
энергии.

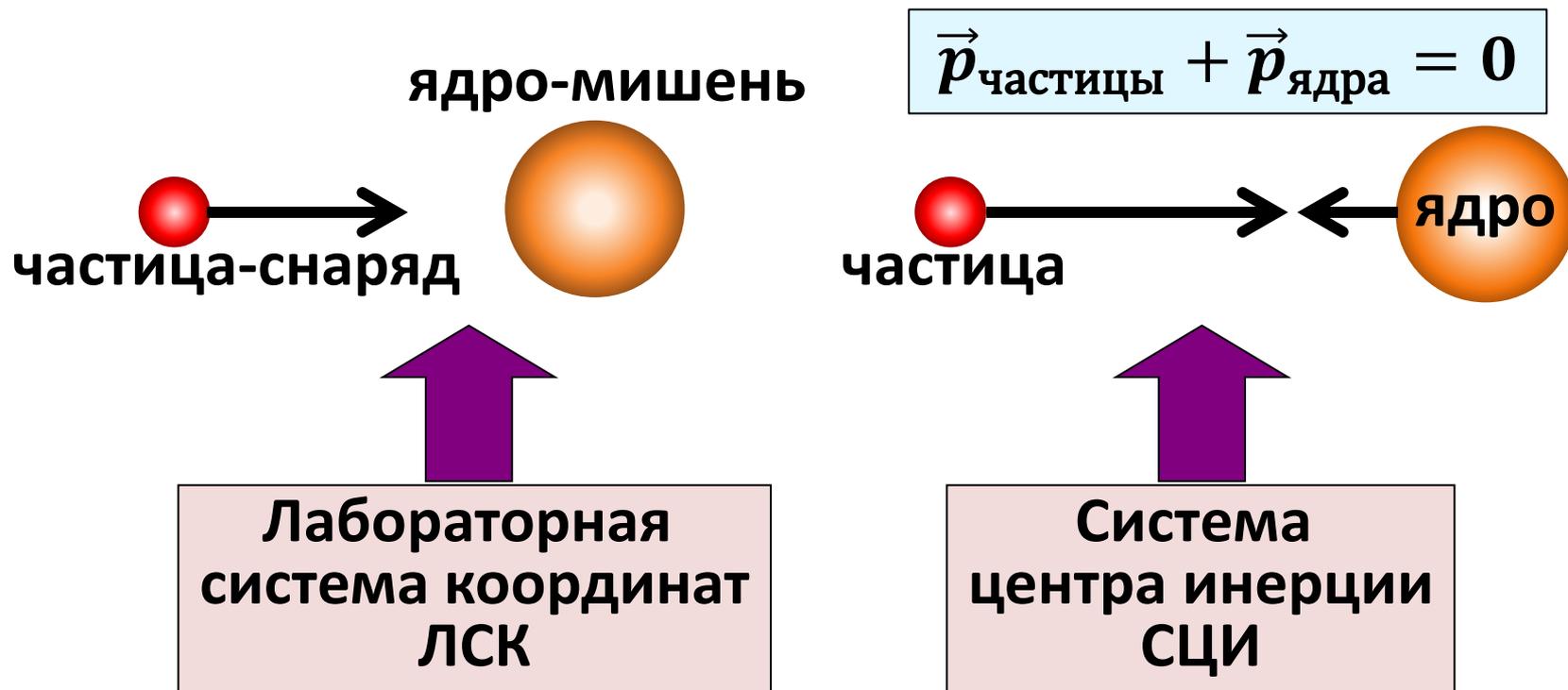
Темы лекции

1. Ядерные реакции. Обозначения, каналы реакции.
2. Законы сохранения в ядерных реакциях.
3. Порог реакции.
4. Механизмы ядерной реакции.
5. Реакции через составное ядро и прямые реакции.
6. Деление ядер. Хронология.
7. Механизм и энергия деления. Продукты деления.
8. Цепная реакция деления. Ядерный реактор.
9. Атомная бомба. История её создания.
10. Синтез ядер. Основные реакции синтеза.
11. Водородная (термоядерная) бомба.
12. Советский военный термоядерный проект.

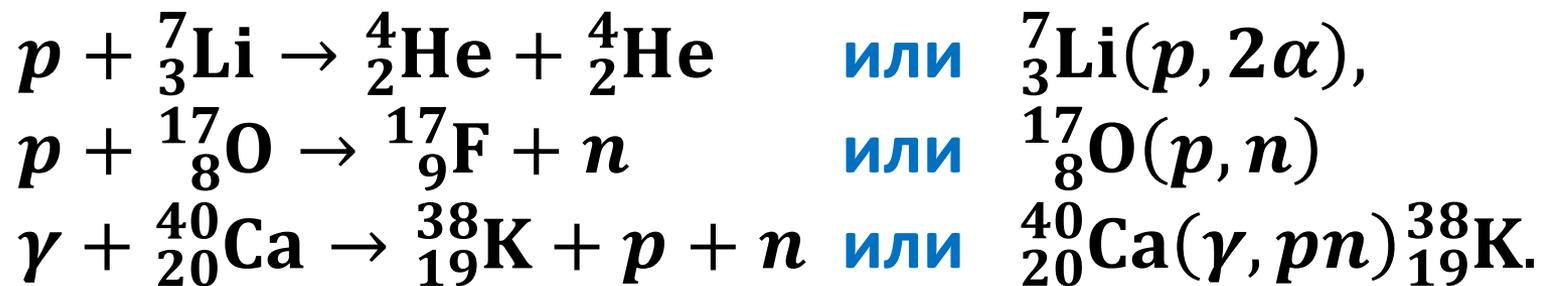
Ядерные реакции



Любой процесс столкновения элементарной частицы с ядром или ядра с ядром будем называть ядерной реакцией. Наряду с радиоактивным распадом ядерные реакции – основной источник сведений об атомных ядрах.

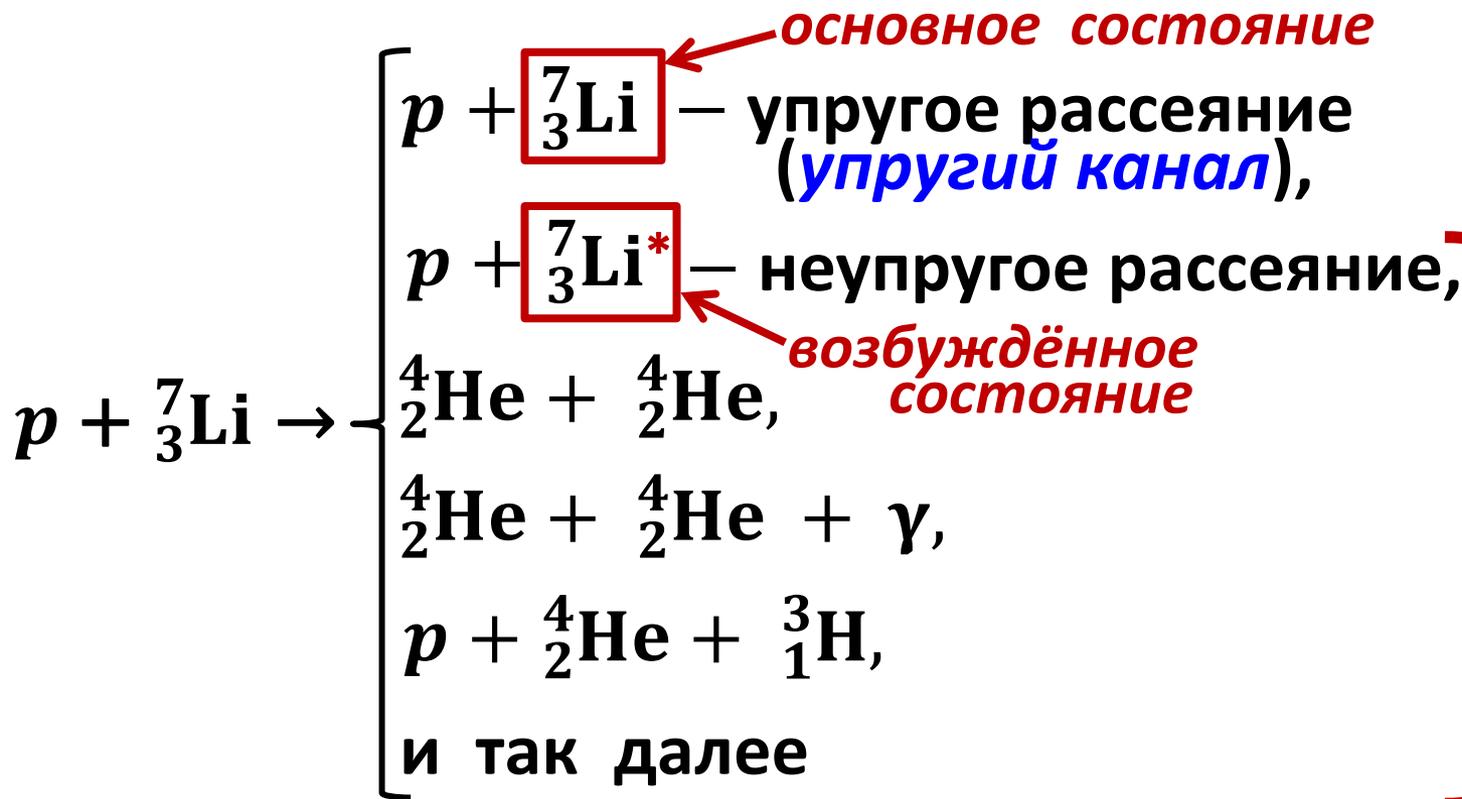


Обозначения ядерных реакций:



Первая ядерная реакция
осуществлена
Э. Резерфордом
в 1919 г.:





**Каналы
ядерной реакции**

**неупругие
каналы**

Законы сохранения момента количества движения и изоспина

Рассмотрим реакцию $a + A \rightarrow B + b$

Сохранение момента количества движения требует выполнения равенств:

$$\vec{J}_a + \vec{J}_A + \vec{L}_{aA} = \vec{J}_b + \vec{J}_B + \vec{L}_{bB},$$

$$(J_z)_a + (J_z)_A + (L_z)_{aA} = (J_z)_b + (J_z)_B + (L_z)_{bB},$$

где J — спины участвующих частиц (ядер),
а L — их относительные орбитальные моменты.

Сохранение изоспина имеет место в сильном (ядерном) взаимодействии и требует выполнения равенств:

$$\vec{I}_a + \vec{I}_A = \vec{I}_b + \vec{I}_B,$$

$$(I_3)_a + (I_3)_A = (I_3)_b + (I_3)_B,$$

где I — изоспины участвующих частиц (ядер),
а I_3 — их третьи проекции.

Относительных изоспинов нет!

Закон сохранения чётности

Вновь рассмотрим реакцию $a + A \rightarrow B + b$

Сохранение чётности
(кроме слабого взаимодействия)
требует равенства:

$$\pi_a \pi_A (-1)^{L_{aA}} = \pi_b \pi_B (-1)^{L_{bB}},$$

где $\pi_{a,b,A,B}$ – внутренние чётности объектов,

а $(-1)^{L_{aA}}$ и $(-1)^{L_{bB}}$ – их относительные
орбитальные чётности,

L_{aA} и L_{bB} – относительные орбитальные моменты
начальных и конечных частиц (ядер)

Рассмотрим реакцию $A + B \rightarrow C + D + \dots$

Если для энергии реакции Q имеет место соотношение:

$$Q = (m_A + m_B)c^2 - (m_C + m_D + \dots)c^2 < 0,$$

то реакция возможна, если суммарная кинетическая энергия объектов A и B превышает некое «пороговое» значение.

Формула для пороговой энергии ядерной реакции в ЛСК (вывод в Лекции 1):

$$(E_A)_{\text{пор}} = |Q| \left(1 + \frac{m_A}{m_B} + \frac{|Q|}{2m_B c^2} \right) \approx |Q| \left(1 + \frac{m_A}{m_B} \right)$$

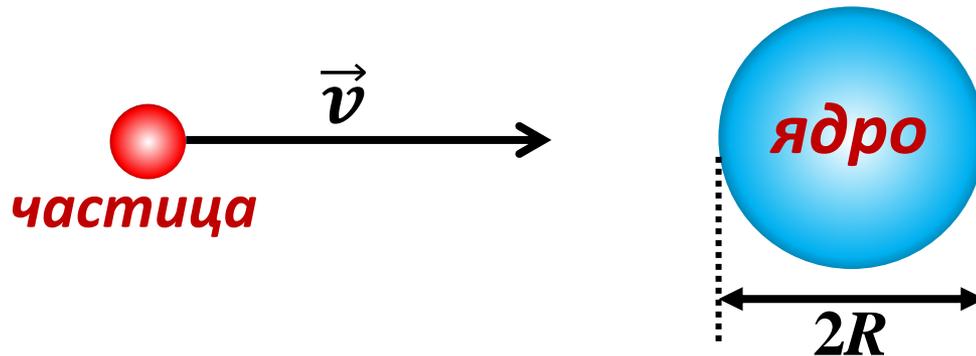
Ещё одна универсальная формула для пороговой энергии в ЛСК (вывод в Лекции 1):

$$(E_A)_{\text{пор}} = \frac{(m_C + m_D + \dots)^2 c^4 - (m_A + m_B)^2 c^4}{2m_B c^2}$$

Механизмы ядерных реакций

Будем классифицировать ядерные реакции по времени их протекания.

В качестве временного масштаба удобно использовать **ядерное время $\tau_{\text{я}}$** – время пролёта частицы через ядро



$$\tau_{\text{я}} = \frac{2R}{v} \approx 10^{-22} \text{сек} \left\{ \begin{array}{l} \text{Нуклон:} \\ 25 \text{ МэВ, } A = 25, \\ 100 \text{ МэВ, } A = 200. \end{array} \right.$$

1. Если время реакции $t_{\text{р}} \approx \tau_{\text{я}}$, то это **прямая реакция** (время реакции минимально).
2. Если $t_{\text{р}} \gg \tau_{\text{я}}$, то реакция идёт через **составное ядро**.

Прямая реакция:

Частица ***a*** передает энергию одному-двум нуклонам ядра и они сразу покидают его, не обмениваясь энергией с другими нуклонами.

Частица ***a*** может также испытать рассеяние на ядре.

Составное ядро:

Частица ***a*** запутывается в ядре, делясь энергией со многими нуклонами ядра.

В ядре устанавливается статистическое равновесие и оно живёт долго до распада.

При протекании реакции через составное ядро она идёт в два этапа:



- 1 – образование составного ядра C в возбужденном состоянии C^* ,
- 2 – его распад.

Энергия возбуждения составного ядра в пренебрежении его отдачей

$$E_C^* \approx T_a + B_a,$$

где T_a – кинетическая энергия частицы a ,
 B_a – энергия отделения этой частицы из составного ядра.

В среднем на один нуклон составного ядра

приходится энергия $\frac{E_C^*}{A} \approx \frac{T_a + B_a}{A} < B_{n,p}$

Составное ядро

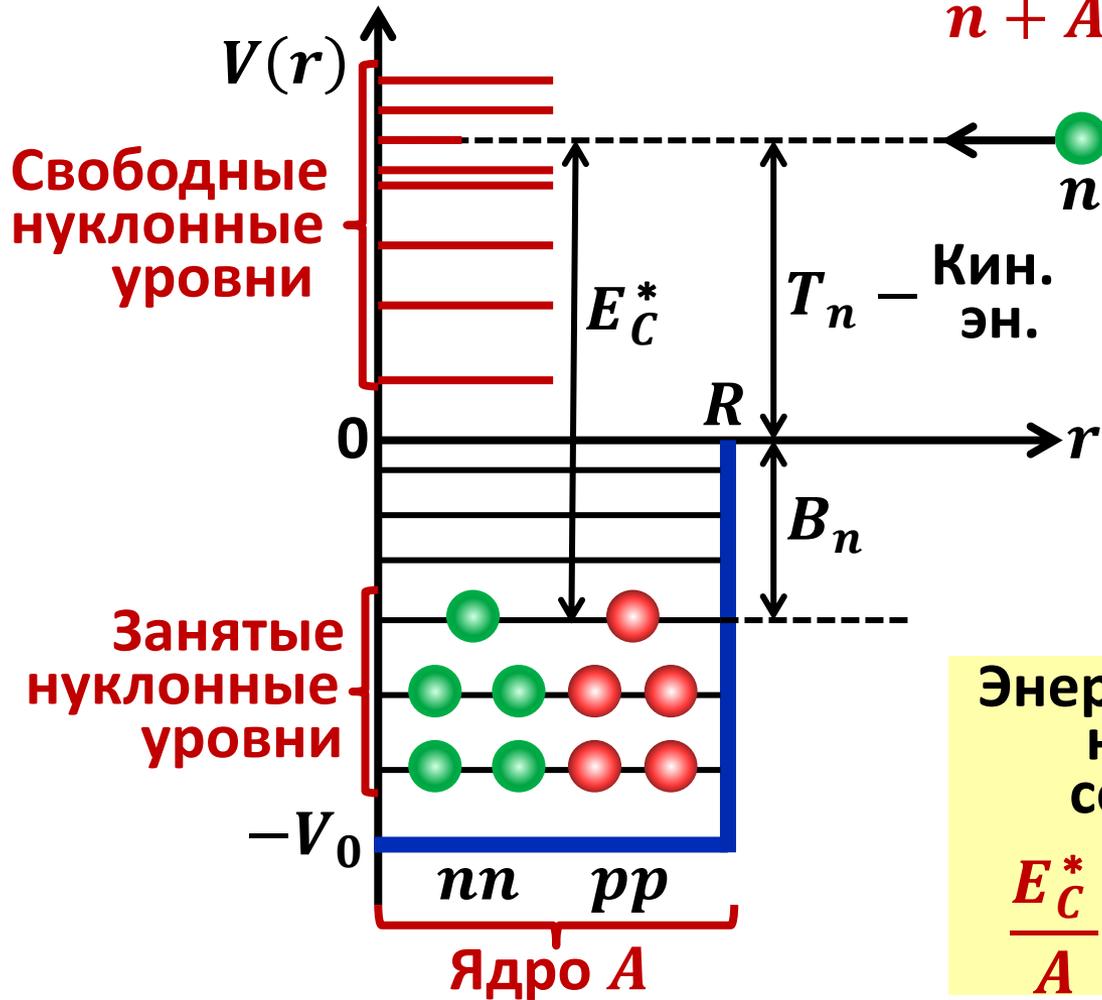
(механизм предложен Нильсом Бором в 1936 г.)

Если реализуется вариант реакции через составное ядро, то энергия частицы-снаряда a делится среди многих нуклонов ядра. Каждый из них имеет энергию недостаточную для вылета из ядра.

Проходит много времени прежде чем в результате случайных соударений нуклонов на одном из них (или группе связанных нуклонов) сконцентрируется энергия достаточная для вылета из ядра и частица b вылетает из ядра:



Энергия возбуждения составного ядра



Рассмотрим реакцию, вызываемую нейтроном:



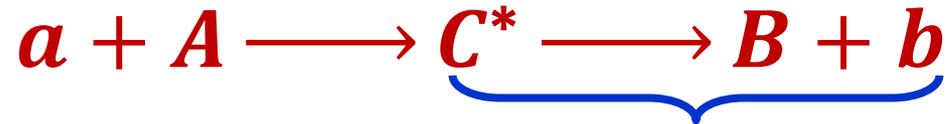
Энергия возбуждения составного ядра C :
 $E_C^* \approx T_n + B_n$.
 Энергией отдачи ядра пренебрегаем

Энергия, приходящаяся на один нуклон составного ядра:

$$\frac{E_C^*}{A} \approx \frac{T_n + B_n}{A} < B_{n,p}$$

Анимация на Лекции

**Распад
составного
ядра**



распад составного ядра

Составное ядро живёт долго ($t_p \gg \tau_j$)
и после большого числа
случайных межнуклонных взаимодействий
«*забывает*» историю своего образования.

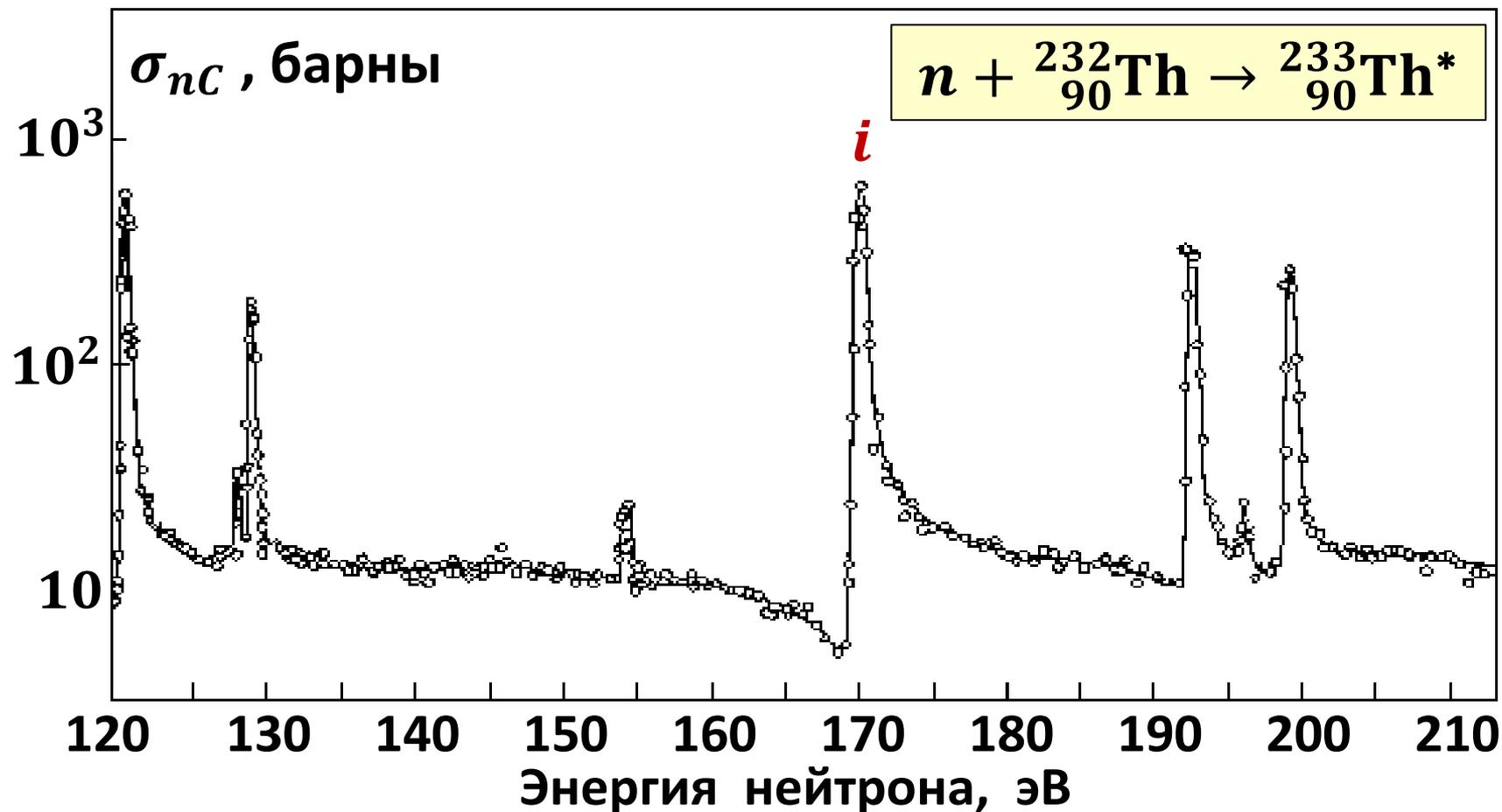
Поэтому эффективное сечение реакции,
идущей через составное ядро,
можно представить в виде:

$$\sigma_{ab} \equiv \sigma_{a+A \rightarrow V+b} = \overset{1}{\sigma_{aC}} \cdot \overset{2}{W_b},$$

стадии реакции

где σ_{aC} — сечение образования составного ядра,
 W_b — вероятность распада составного ядра.

Уровни составного ядра, пример



Время жизни резонанса τ и его ширина на половине высоты Γ связаны соотношением $\tau \cdot \Gamma = \hbar$

Ширины Γ резонансов (уровней ${}^{233}_{90}\text{Th}$)
в сечении реакции $n + {}^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{233}_{90}\text{Th}^*$ меньше **1 эВ**.

Это означает, что время жизни этих уровней

$$\tau = \frac{\hbar}{\Gamma} \geq 10^{-15} \text{ сек},$$

что на четыре порядка превышает
время пролёта нейтрона с энергией **100-200 эВ**
через ядро **тория-232** ($\approx 10^{-19}$ сек).

Таким образом, наблюдаемые резонансы
– уровни составного ядра.

Форма резонанса – Брейт-Вигнеровская:

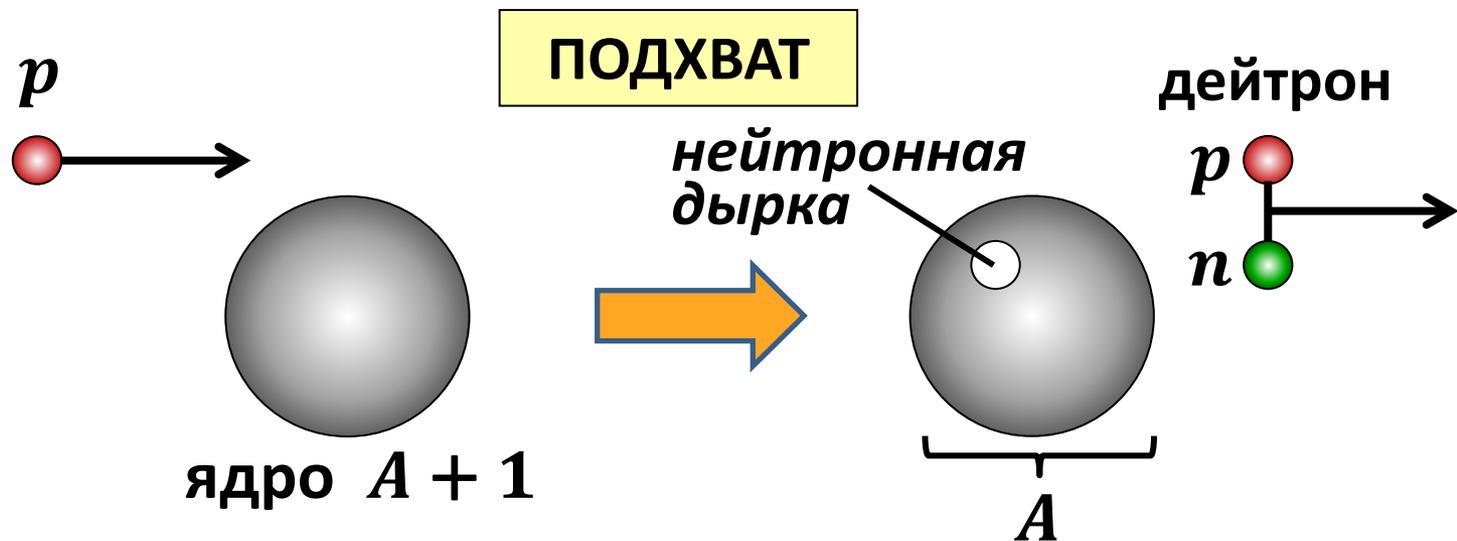
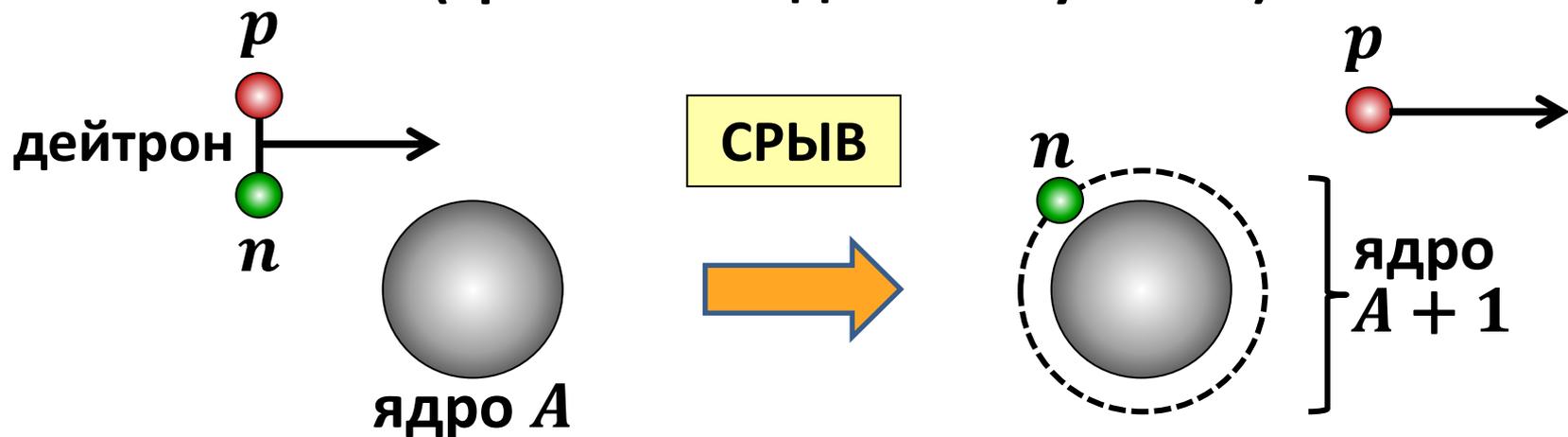
$$\sigma_i(E^*) = \frac{\sigma_0(i)}{(E^* - E_i)^2 + \frac{(\Gamma_i)^2}{4}}$$

Прямые ядерные реакции

Прямые реакции протекают без образования составного ядра за времена \approx характерного ядерного времени (времени пролета частицы-снаряда через ядро).

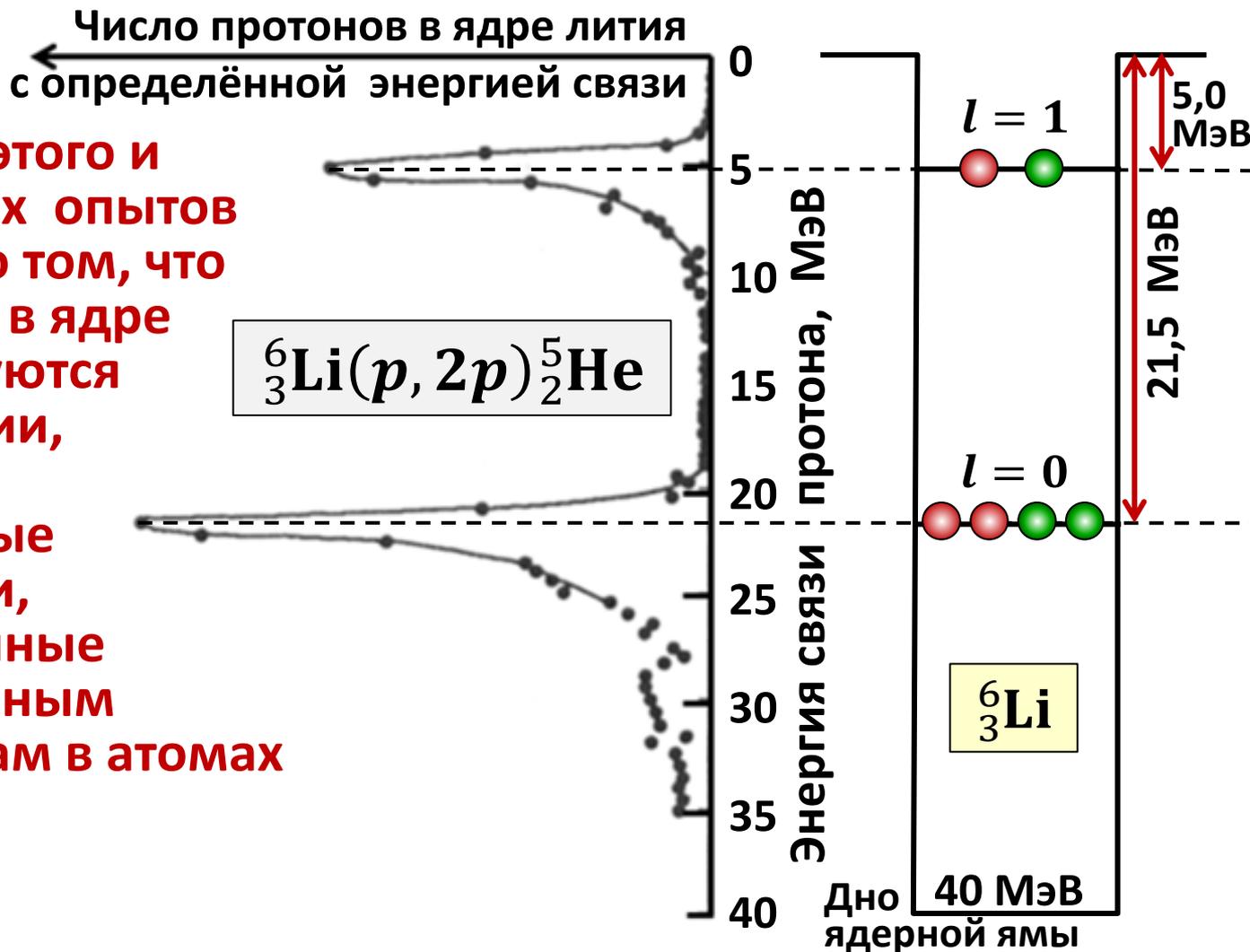
В прямых реакциях налетающая частица передает свою энергию одному-двум нуклонам ядра-мишени, которые сразу вылетают из ядра, не успев обменяться этой энергией с остальными нуклонами ядра.

Пример: реакции однонуклонной передачи
(срыва и подхвата нуклона)

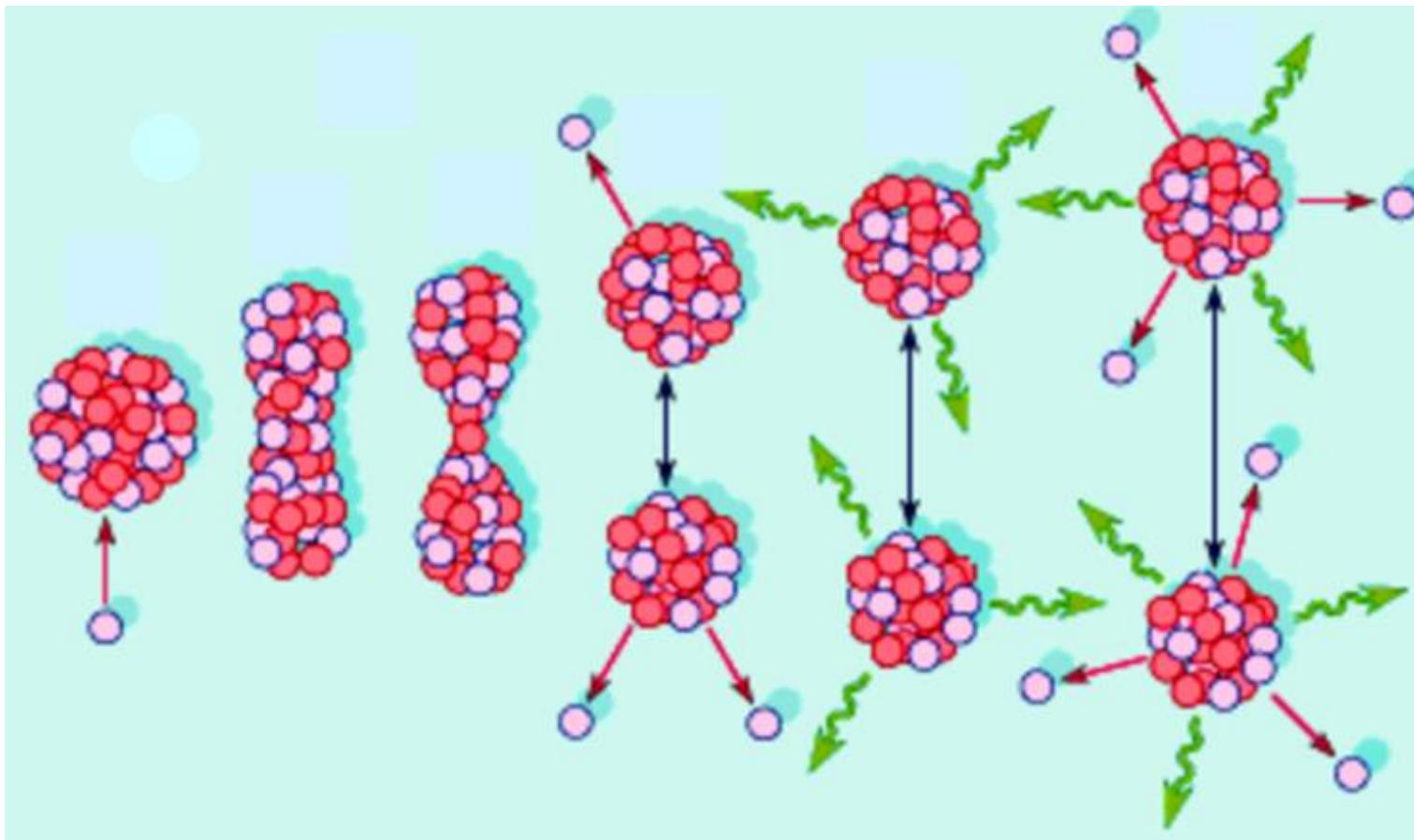


Реакция $(p, 2p)$ по выбиванию протона из ядра ${}^6_3\text{Li}$ показывает наличие у этого ядра 2-х групп протонов с энергиями связи 5,0 и 21,5 МэВ. Менее связанные протоны имеют орбитальный момент $l = 1$, для более связанных $l = 0$.

Данные этого и подобных опытов говорят о том, что нуклоны в ядре группируются по энергии, образуя нуклонные оболочки, аналогичные электронным оболочкам в атомах



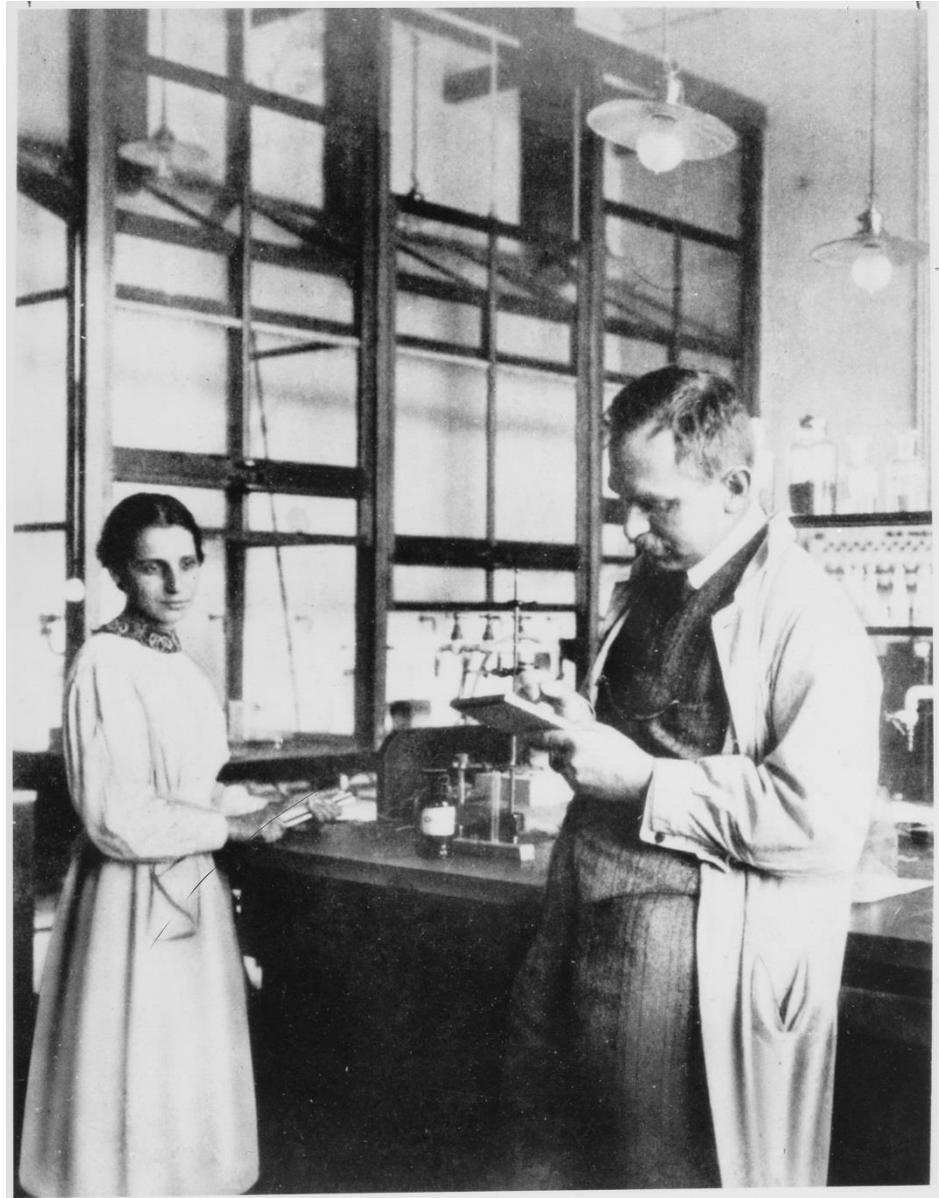
**Деление и синтез ядер.
Получение ядерной энергии.**



Хронология

- **1938.** Открытие деления атомных ядер (**Германия**)
Ган и **Штрассман** – опыт,
Мейтнер и **Фриш** – интерпретация.
- **1942.** Осуществлена первая управляемая реакция деления в первом ядерном реакторе (**США**).
- **1945.** Взорваны первые три атомные бомбы (**США**), в том числе над Хиросимой и Нагасаки.
- **1946.** Первый ядерный реактор в Европе (**СССР**).
- **1949.** Взорвана первая советская атомная бомба.
- **1951-52.** Первые наземные термоядерные испытания (**США**).
- **1953.** Первый взрыв водородной бомбы (**СССР**).
- **1954.** Испытана полноценная (двухфазная) водородная бомба (**США**).
- **1954.** Первая атомная электростанция (**СССР**).
- **1961.** Взорвана самая мощная в истории водородная бомба (**СССР**).

**Отто Ган
и
Лиза Мейтнер
в 1925 г.**

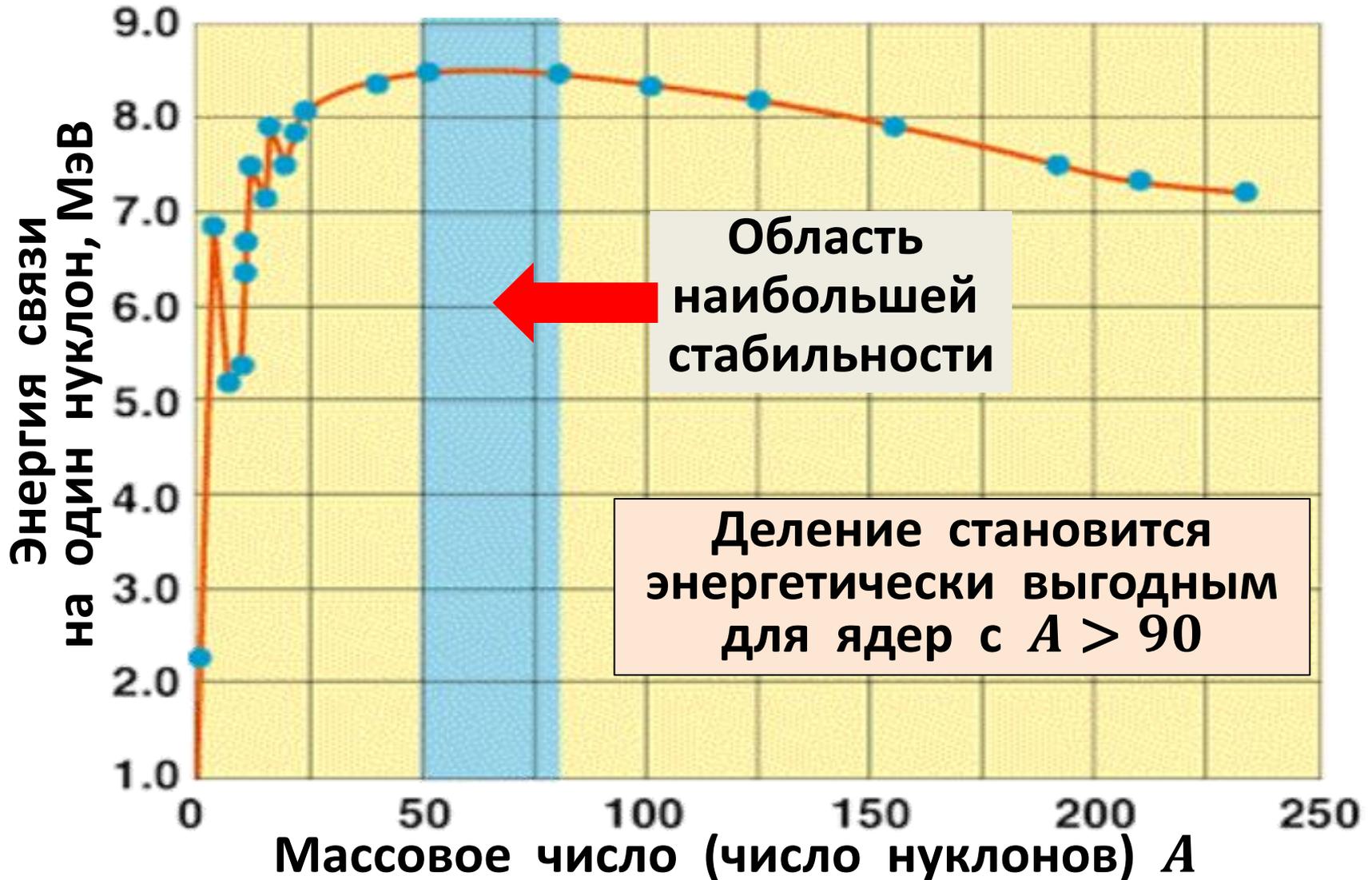


Делением атомных ядер называют их распад на два (реже, три и более) осколка сравнимой массы. Деление может быть самопроизвольным (спонтанным) или вынужденным (вызванным взаимодействием с налетающей частицей или ядром).

Деление энергетически выгодно для тяжёлых ядер и является основным источником ядерной энергии. Энерговыделение в этом процессе составляет $\approx 10^{14}$ Дж/кг и на много порядков превосходит энерговыделение всех других освоенных человеком источников энергии.

Энергия деления используется в атомных электростанциях (АЭС) и ядерном оружии.

Ядерная энергия. Как её извлечь?



Ядерная энергия. Как её извлечь?

Энергия связи на один нуклон



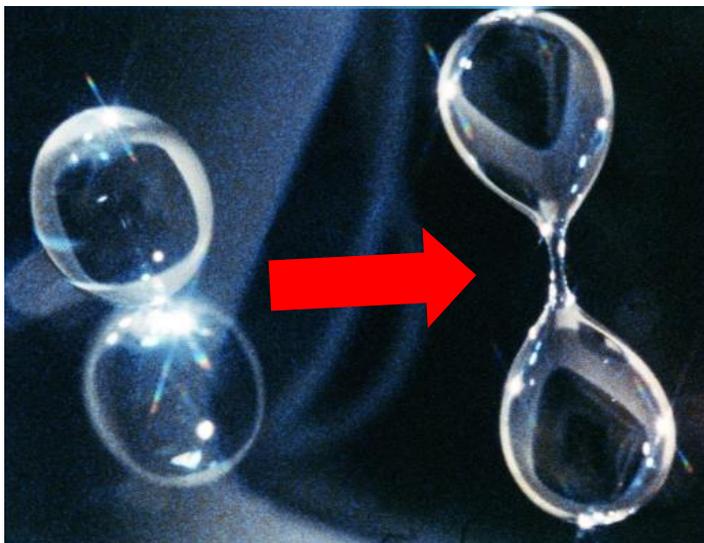
Водородная (термоядерная) бомба

Атомная бомба и ядерные реакторы

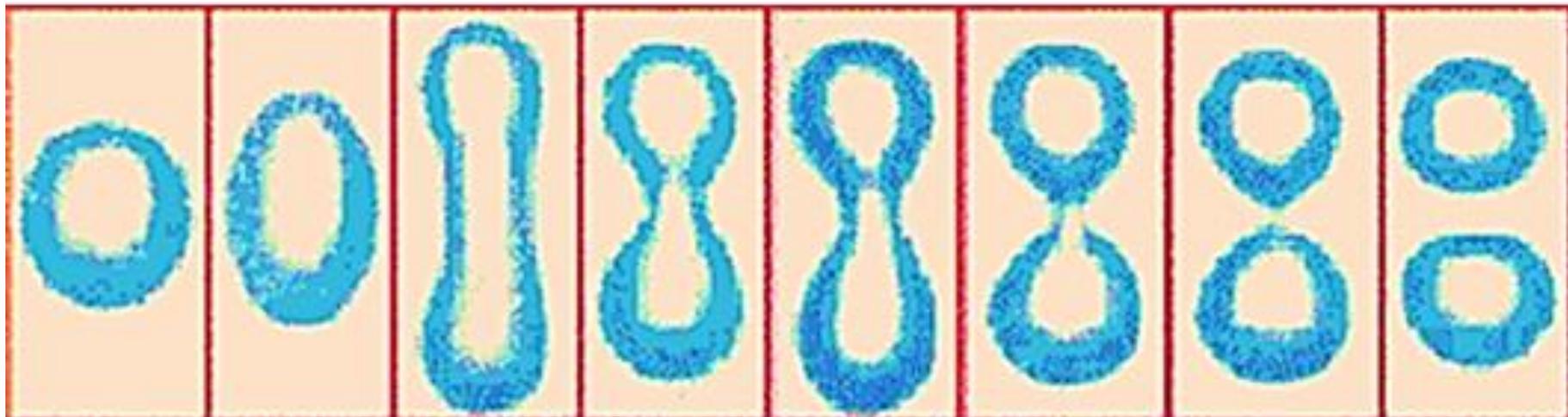
При делении **1-го** тяжёлого ядра выделяется энергия $\approx 200 \cdot 1 \text{ МэВ} = 200 \text{ МэВ}$

1 г ядерного топлива ≈ 20 тонн тринитротолуола

**Процесс деления атомного ядра
сходен с процессом деления жидкой капли**



**Фото
последовательных
деформаций
и деления
колеблющейся
жидкой капли**



Процесс деления легко понять, используя ядерную модель жидкой капли и формулу Вайцзеккера для энергии связи ядра

Энергия ядра:

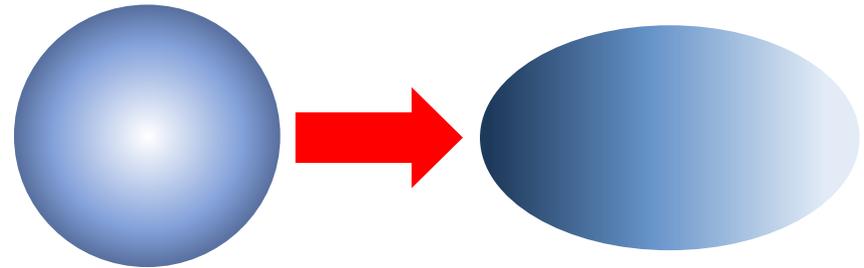
$$M(A, Z)c^2 = (Z \cdot m_p c^2 + N \cdot m_n c^2) - W(A, Z)$$

Его энергия связи (спариванием пренебрегаем):

$$\begin{aligned} W(A, Z) &= E_{\text{об}} - E_{\text{пов}} - E_{\text{кул}} - E_{\text{симм}} = \\ &= a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_{\text{сим}} \frac{(A-2Z)^2}{A} \end{aligned}$$

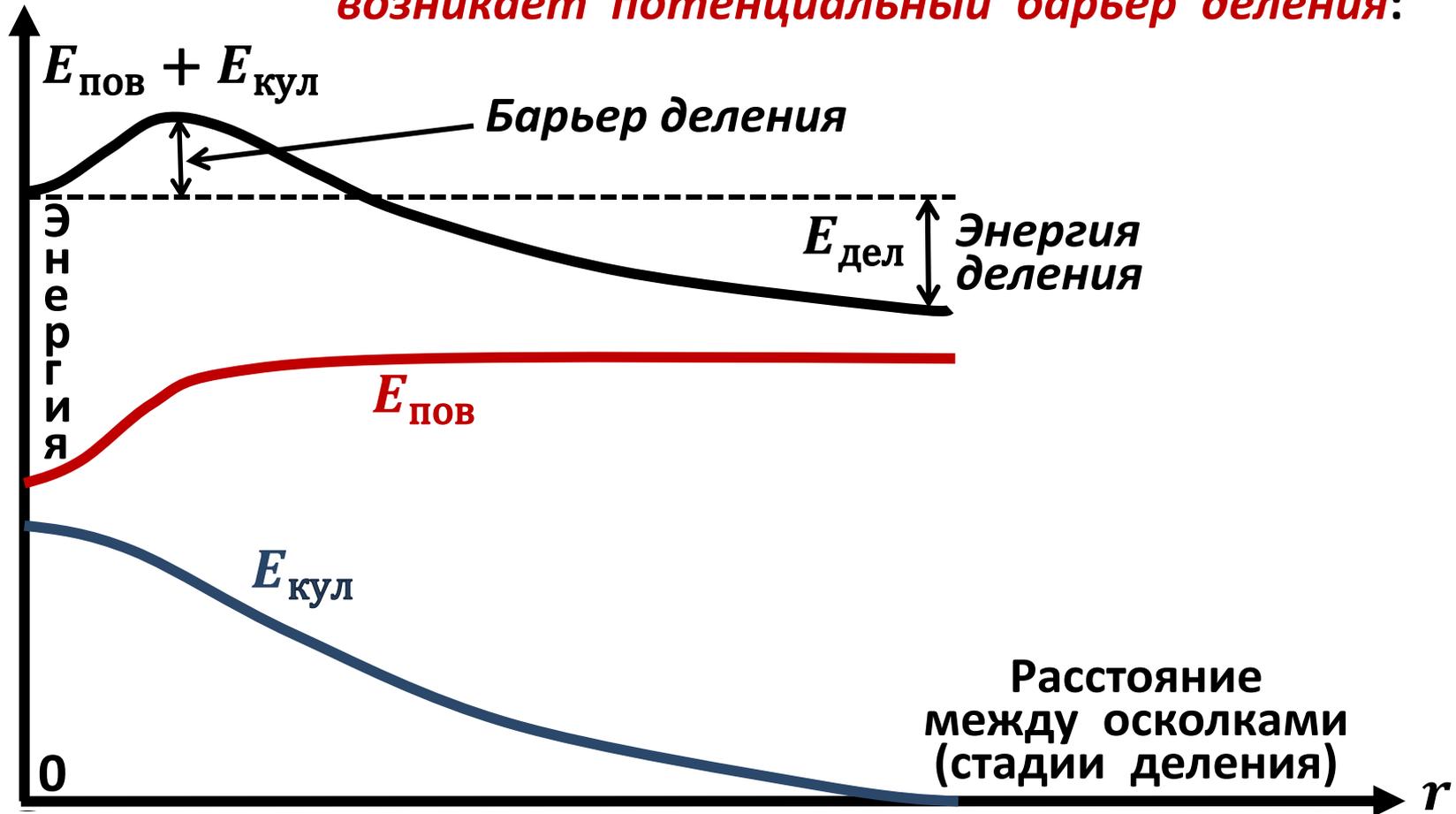
В процессе деления меняются лишь поверхностная $E_{\text{пов}}$ и кулоновская $E_{\text{кул}}$ энергии и изменение энергии ядра $\Delta M(A, Z)c^2$ можно записать в виде: $\Delta M(A, Z)c^2 = \Delta E_{\text{пов}} + \Delta E_{\text{кул}}$

Начало процесса деления отвечает переходу от сферического ядра к вытянутому при сохранении его объёма.



При этом поверхностная энергия $E_{\text{пов}}$ растёт, так как растёт площадь поверхности, а кулоновская энергия $E_{\text{кул}}$ уменьшается, так как растёт среднее расстояние между протонами. Поверхностное натяжение растёт с увеличением поверхности и стремится вернуть ядру форму сферы. Кулоновское отталкивание протонов наоборот стремится увеличить отклонение формы ядра от сферической. Результат противоположных этих тенденций (и сумма $E_{\text{пов}} + E_{\text{кул}}$) зависит от соотношения $E_{\text{пов}}$ и $E_{\text{кул}}$.

Для не слишком тяжёлых ядер $E_{\text{пов}} > E_{\text{кул}}$ и поверхностная энергия на ранних стадиях деления растёт быстрее, чем падает кулоновская. Для таких ядер **возникает потенциальный барьер деления:**

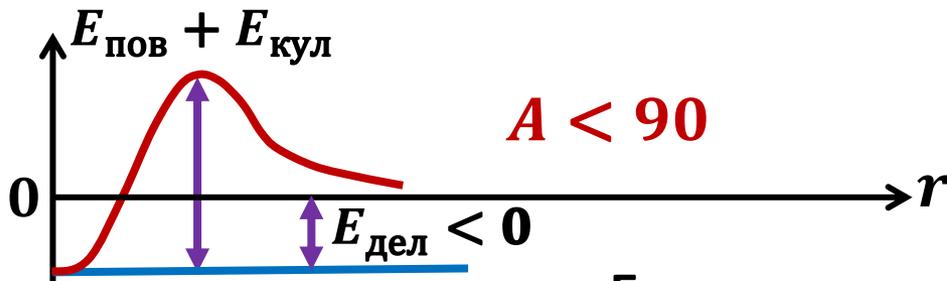


Кулоновское отталкивание протонов (кулоновская энергия) инициирует деление ядра. Поверхностное натяжение (поверхностная энергия) препятствует делению ядра.

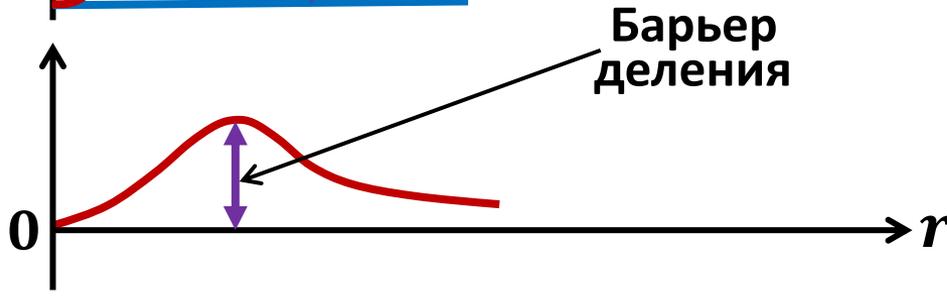
Поэтому статус (способность) ядра к делению можно характеризовать отношением $E_{\text{кул}}/E_{\text{пов}}$.

В свою очередь это отношение пропорционально величине Z^2/A , называемой *параметром деления*:

$$\frac{E_{\text{кул}}}{E_{\text{пов}}} = \frac{a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}}{a_s A^{2/3}} \sim \frac{Z^2}{A}$$



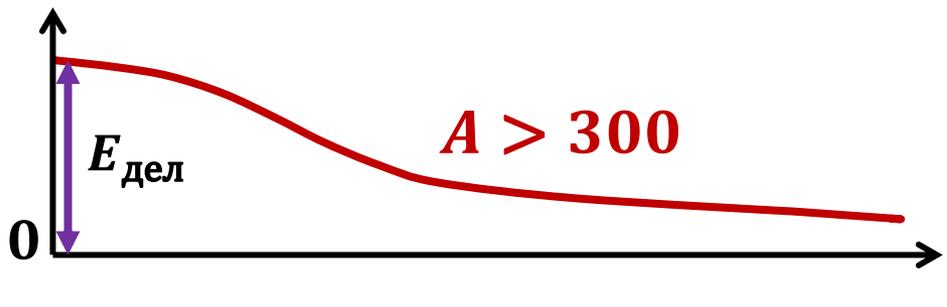
$$\frac{Z^2}{A} < 17, \quad E_{\text{дел}} < 0$$



$$\frac{Z^2}{A} = 17, \quad E_{\text{дел}} \approx 0$$

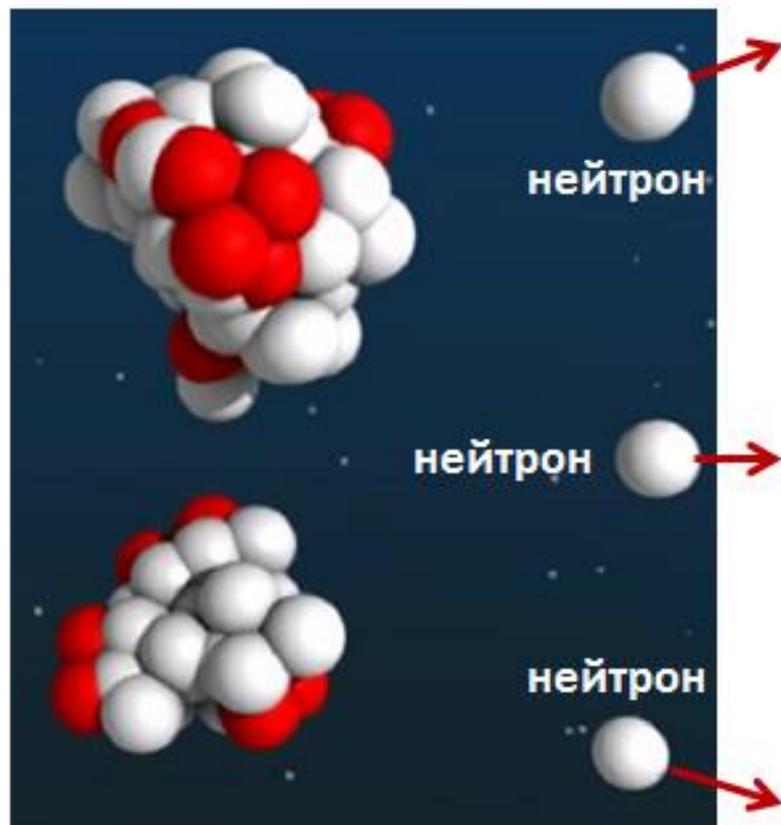
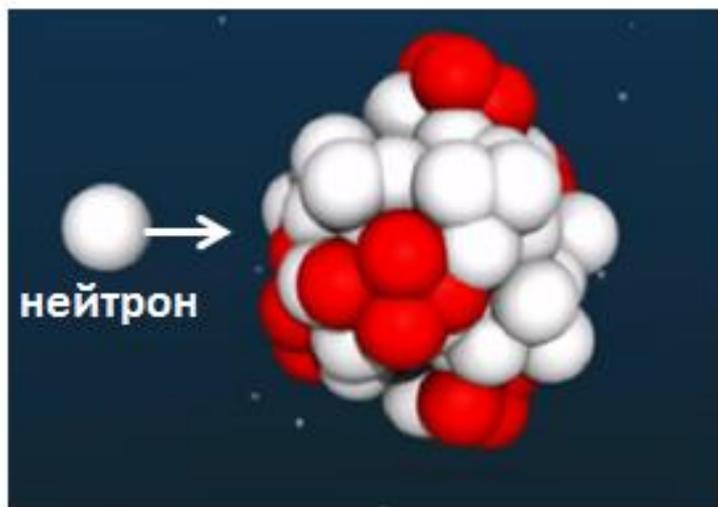


$$17 < \frac{Z^2}{A} < 48, \quad E_{\text{дел}} > 0$$



$$\frac{Z^2}{A} > 48, \quad E_{\text{дел}} > 0$$

Видео деления на Лекции



Продукты деления:

- 2 осколка,
- 2-3 мгновенных нейтрона,
- мгновенные γ -кванты,
- продукты β^- и γ -распада осколков.

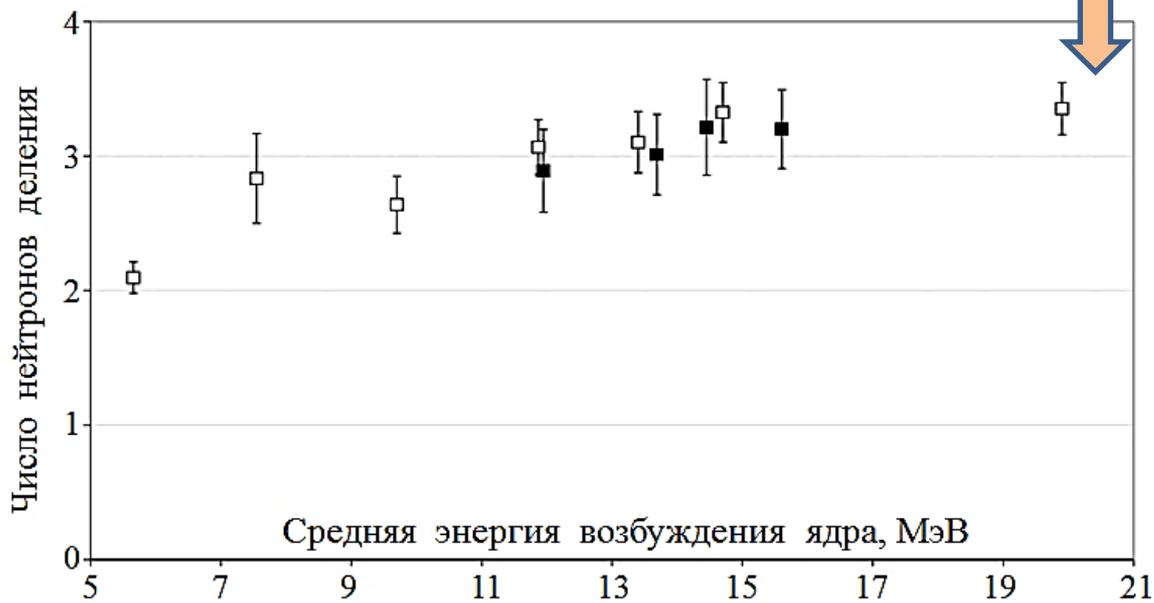
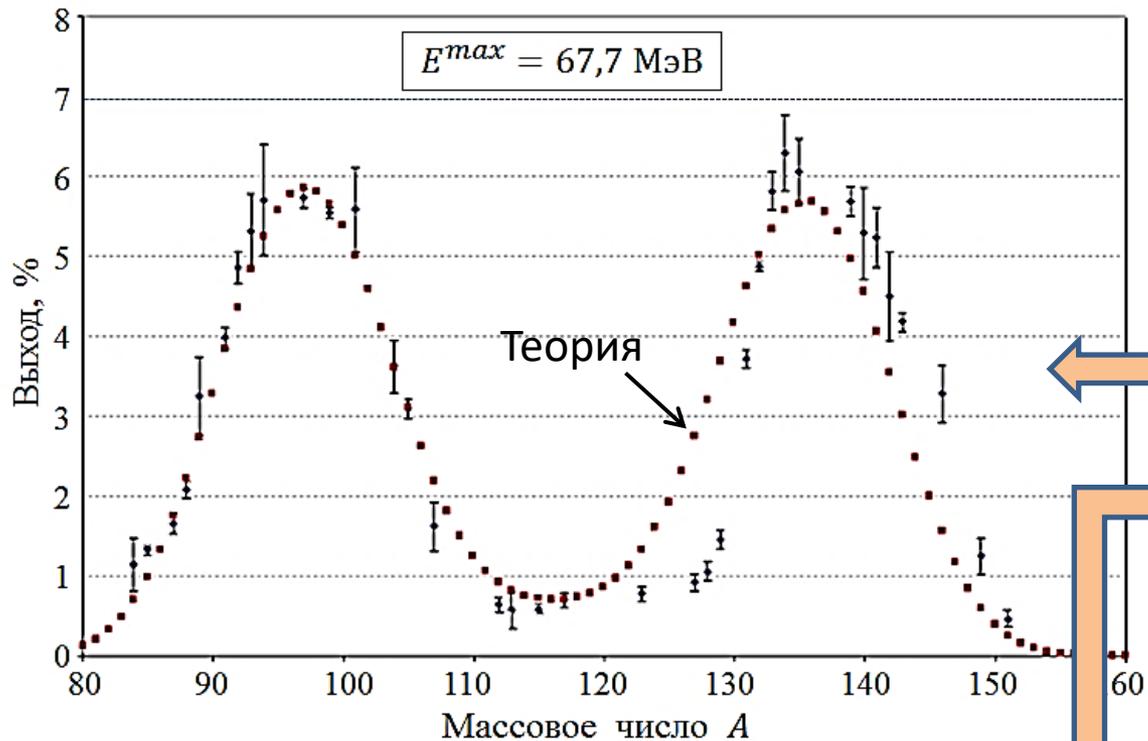
Характерная особенность деления:
осколки, как правило, существенно различаются по массам.

Реакция наиболее вероятного деления изотопа $^{235}_{92}\text{U}$, вызванного захватом нейтроном:



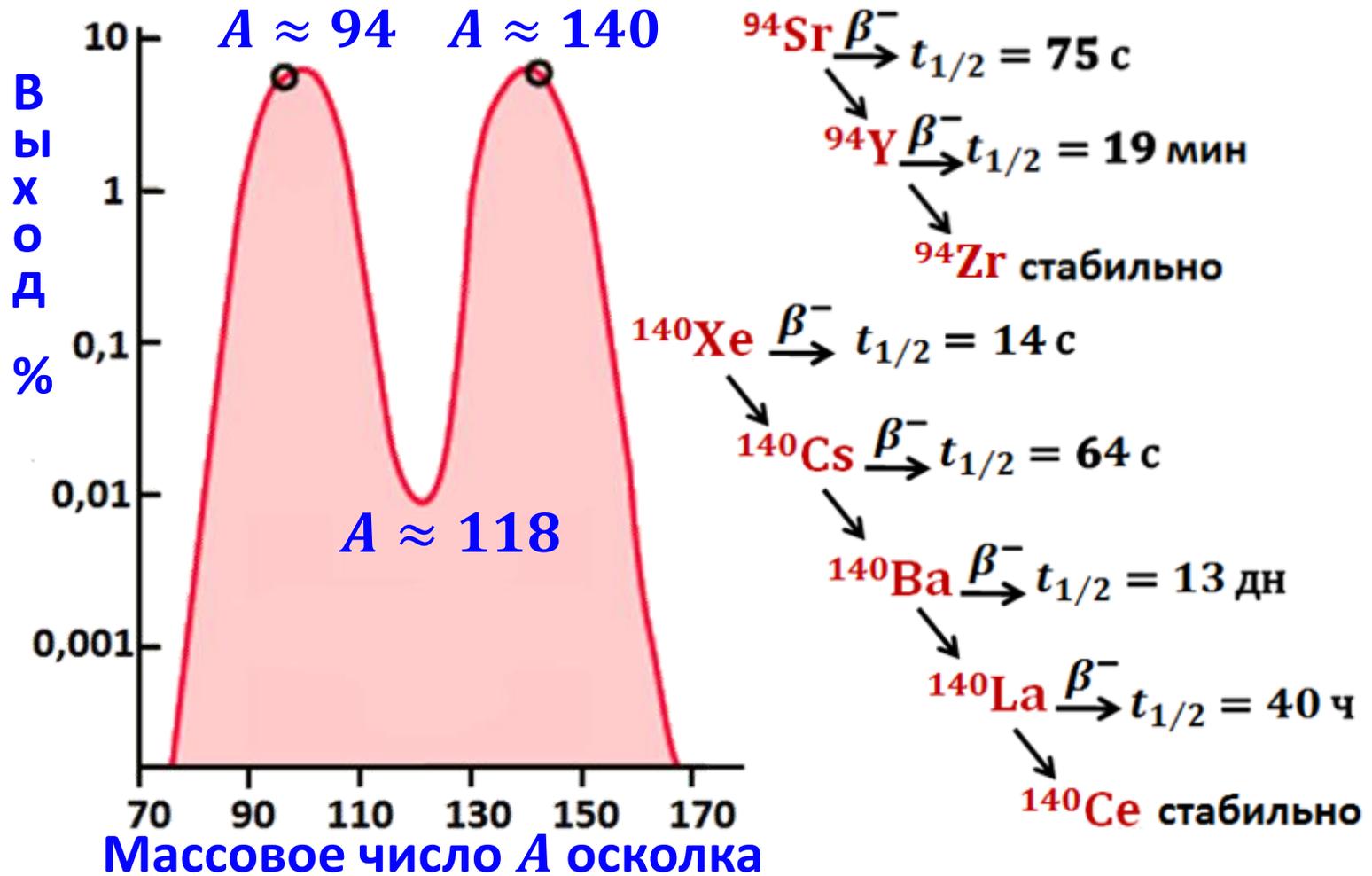
Распределение энергии наиболее вероятного деления урана-235 тепловыми нейтронами:

Кин. энергия. осколков	173,1 МэВ
Кин. энергия нейтронов	$2 \times 2 \text{ МэВ} = 4 \text{ МэВ}$
Мгновенное γ -излучение	6,5 МэВ
Продукты распада осколков	24,2 МэВ
Полная энергия деления	207,8 МэВ

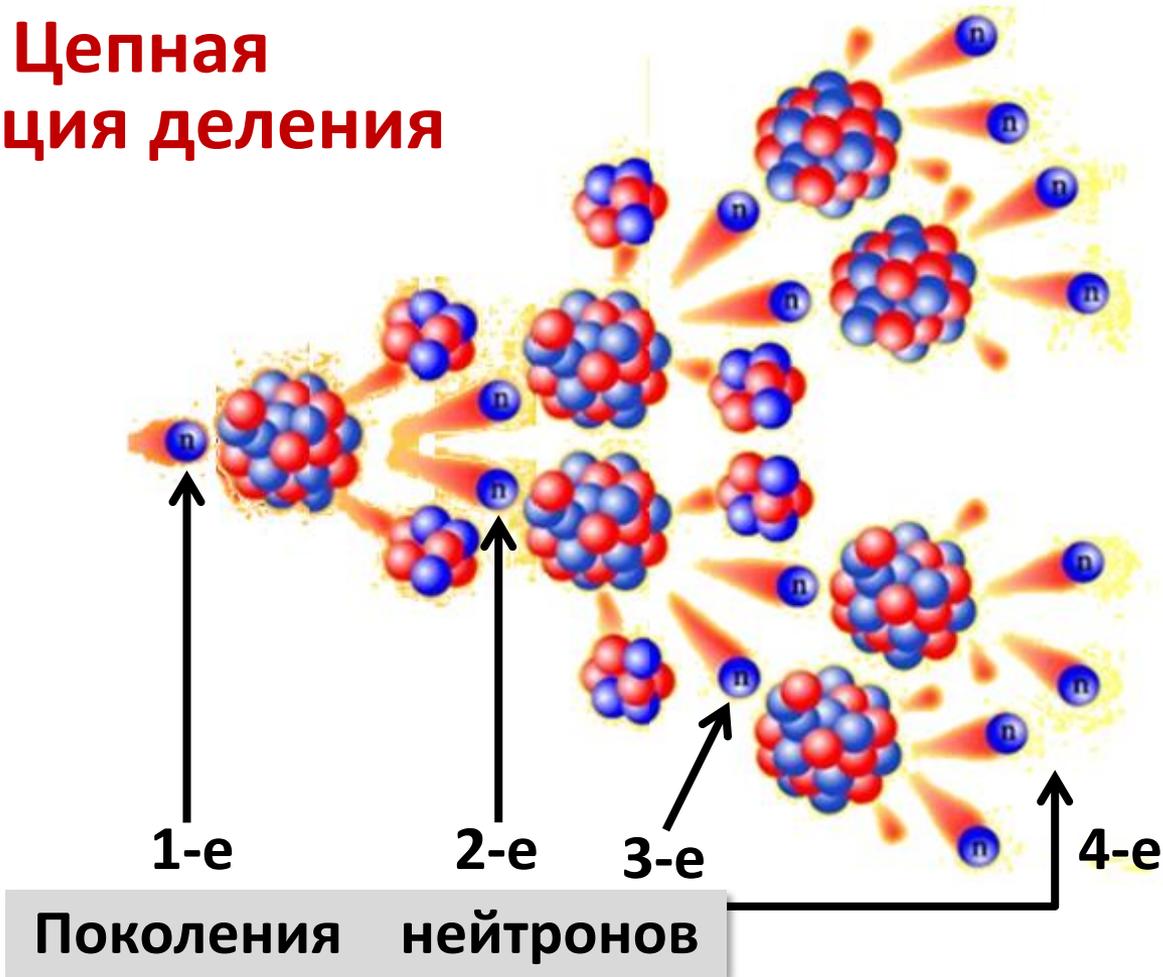


← Массовое распределение осколков деления и число нейтронов деления, полученные сотрудниками кафедры Общей ядерной физики при облучении урана-238 гамма-квантами от ускорителя электронов с энергией 67,7 МэВ Научно-исследовательского института ядерной физики (НИИЯФ) МГУ

Массовое распределение осколков деления $^{236}_{92}\text{U}$ и их наиболее вероятный распад



Цепная реакция деления



В одном акте деления используемых в атомной бомбе ядер ${}^{235}_{92}\text{U}$ и ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ испускается в среднем 2-3 нейтрона.

Условие осуществления цепной реакции деления:

*Число нейтронов, вызывающих деление
в следующем поколении, должно быть
не меньше, чем в предыдущем.*

- Если оно не зависит от поколения, т. е. неизменно, то коэффициент размножения нейтронов $k = 1$ – режим критический – и цепная реакция протекает в стационарном режиме (это имеет место в ядерных реакторах).
- Если оно уменьшается ($k < 1$) – режим подкритический – и цепная реакция затухает.
- Если оно увеличивается ($k > 1$) – режим надкритический – и цепная реакция лавинообразно (экспоненциально) нарастает и завершается ядерным взрывом.

Единственным встречающимся в природе элементом, который может служить в качестве ядерного горючего, является уран. В естественной смеси изотопов урана доминирует уран-238 (99,3%), а урана-235 всего 0,7%.

Цепная реакция возможна лишь на уране-235 и за счет его присутствия – в обогащённой им смеси изотопов урана.

$^{235}_{92}\text{U}$ делится нейтронами любых энергий

– как быстрых (энергии 1-3 МэВ), образующихся при делении, так и тепловых с энергиями 0,02-0,04 эВ, находящихся в тепловом равновесии с атомами среды.

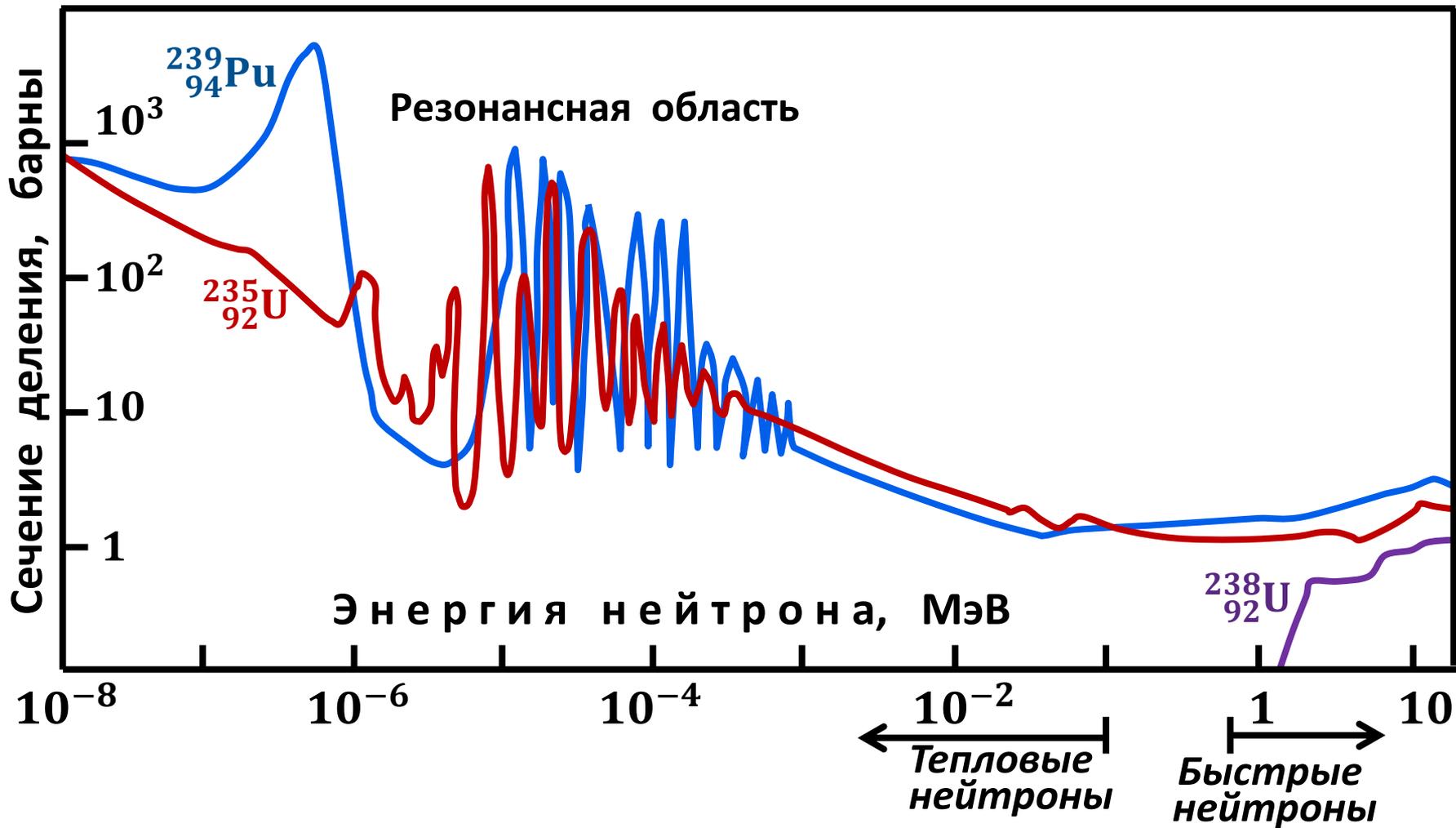
Тепловые нейтроны, поглощённые ядром $^{235}_{92}\text{U}$, приводят к образованию ядра $^{236}_{92}\text{U}$ в состоянии с энергией возбуждения $\approx 6,5$ МэВ, равной энергии отделения B_n нейтрона от ядра $^{236}_{92}\text{U}$. Эта энергия выше барьера деления $^{236}_{92}\text{U}$ (около 6 МэВ) и поэтому происходит мгновенное деление. Эффективное сечение деления $^{235}_{92}\text{U}$

тепловыми нейтронами очень велико

(580 барн против нескольких барн для быстрых нейтронов деления),

что и приводит к эффективному делению.

Сечения деления $^{235}_{92}\text{U}$, $^{238}_{92}\text{U}$ и $^{239}_{94}\text{Pu}$ нейтронами различных энергий



Замедление нейтронов

Замедление нейтронов – необходимый этап работы ядерного реактора на тепловых нейтронах.

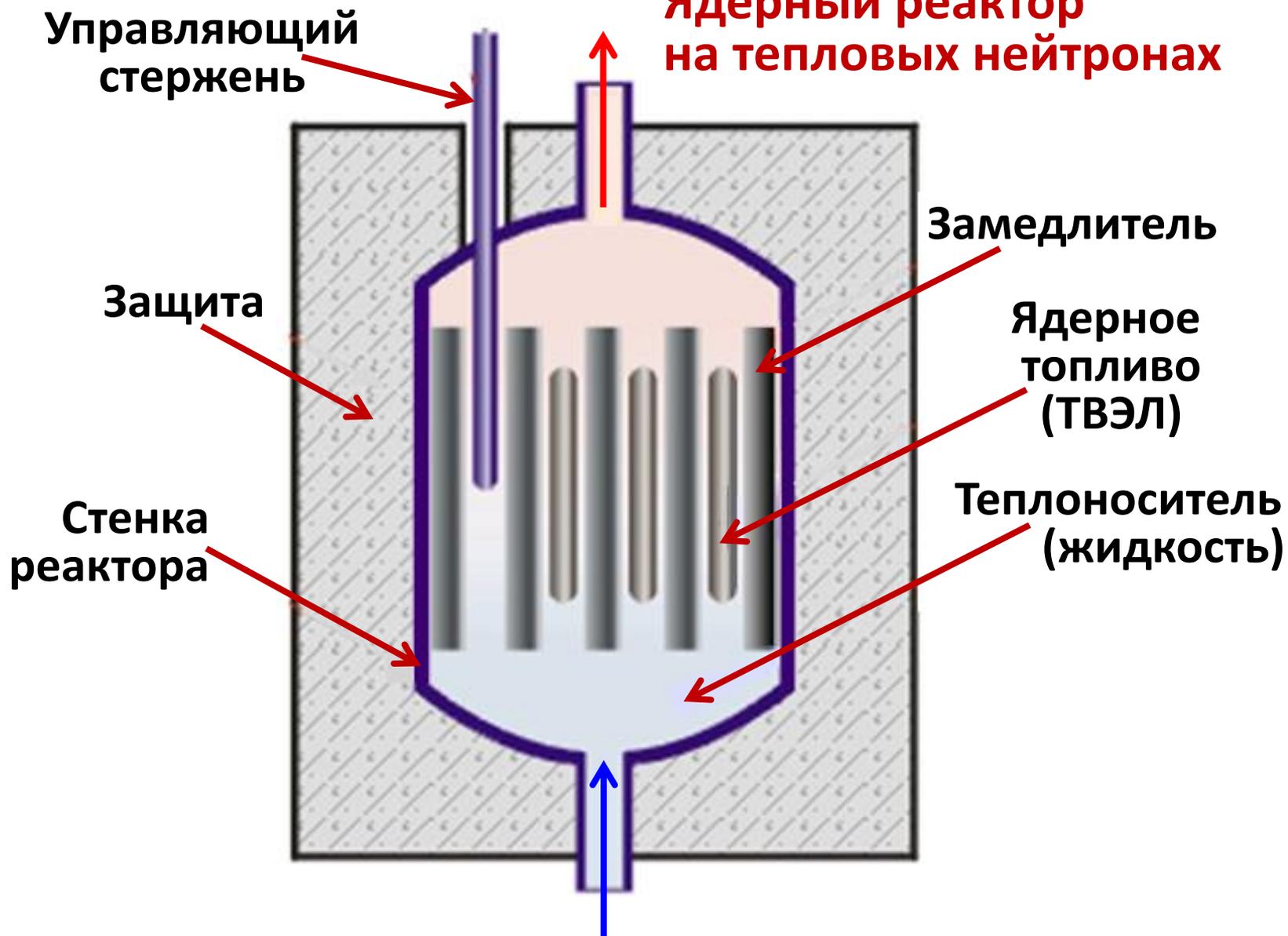
Замедлители – лёгкие вещества (элементы), слабо поглощающие нейтроны.

Лучшие замедлители – тяжёлая вода и углерод (графит).

Как различные вещества замедляют нейтроны с энергией 1 МэВ до 0,1 эВ:

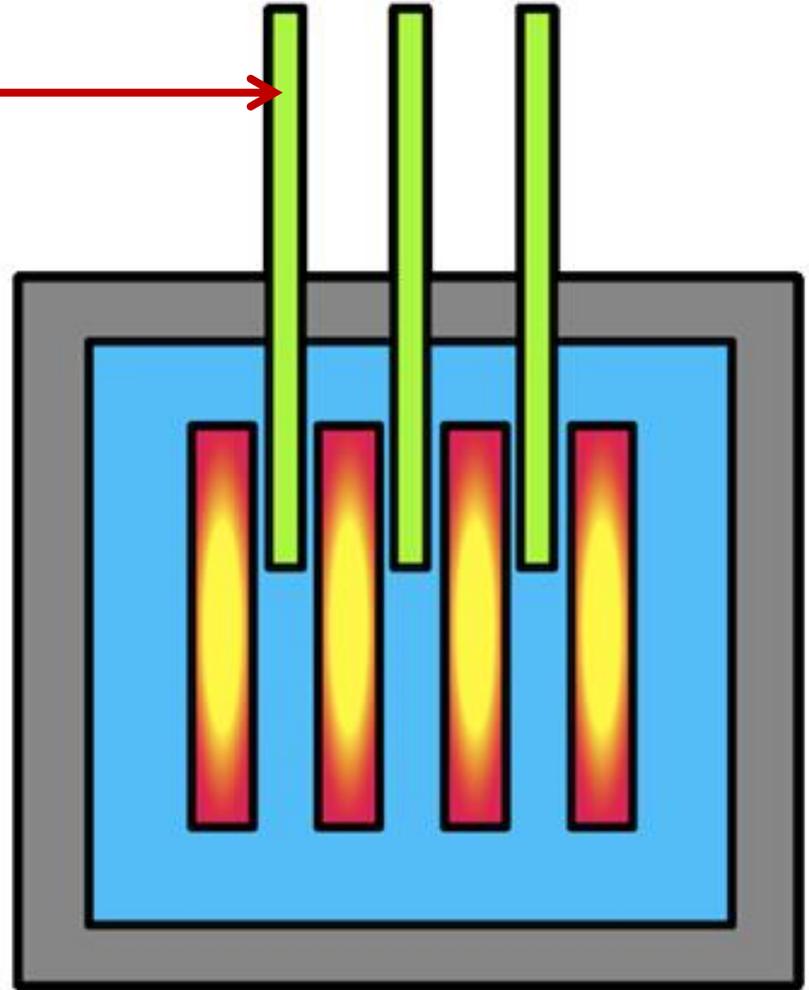
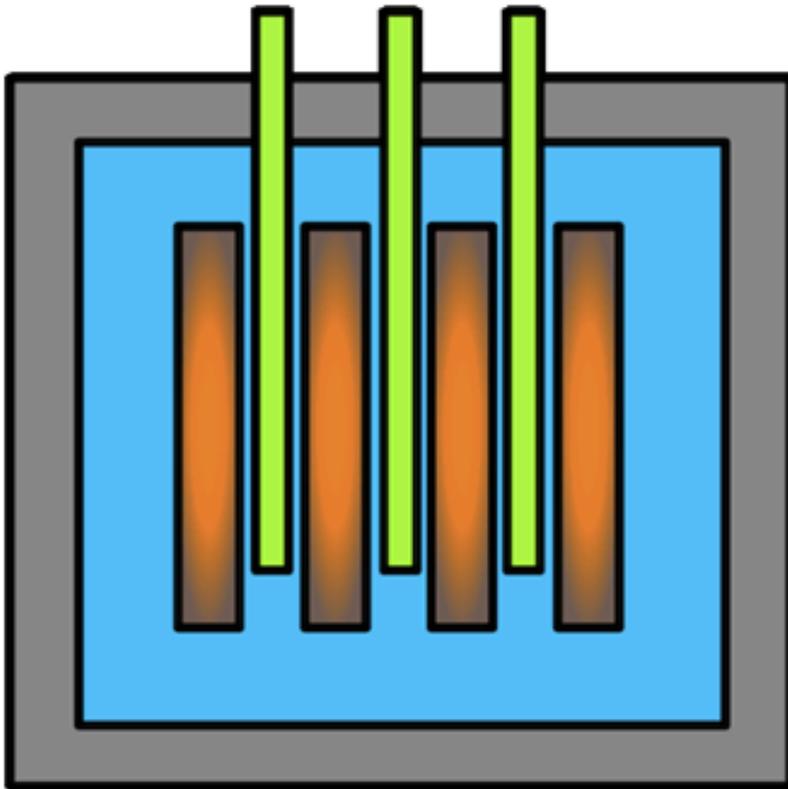
Вещество	Число соударений	Время замедления, мксек	Среднее удаление от источника, см
Свинец	1600	1300	200
Углерод	110	70	43
Вода (H ₂ O)	23	3	13

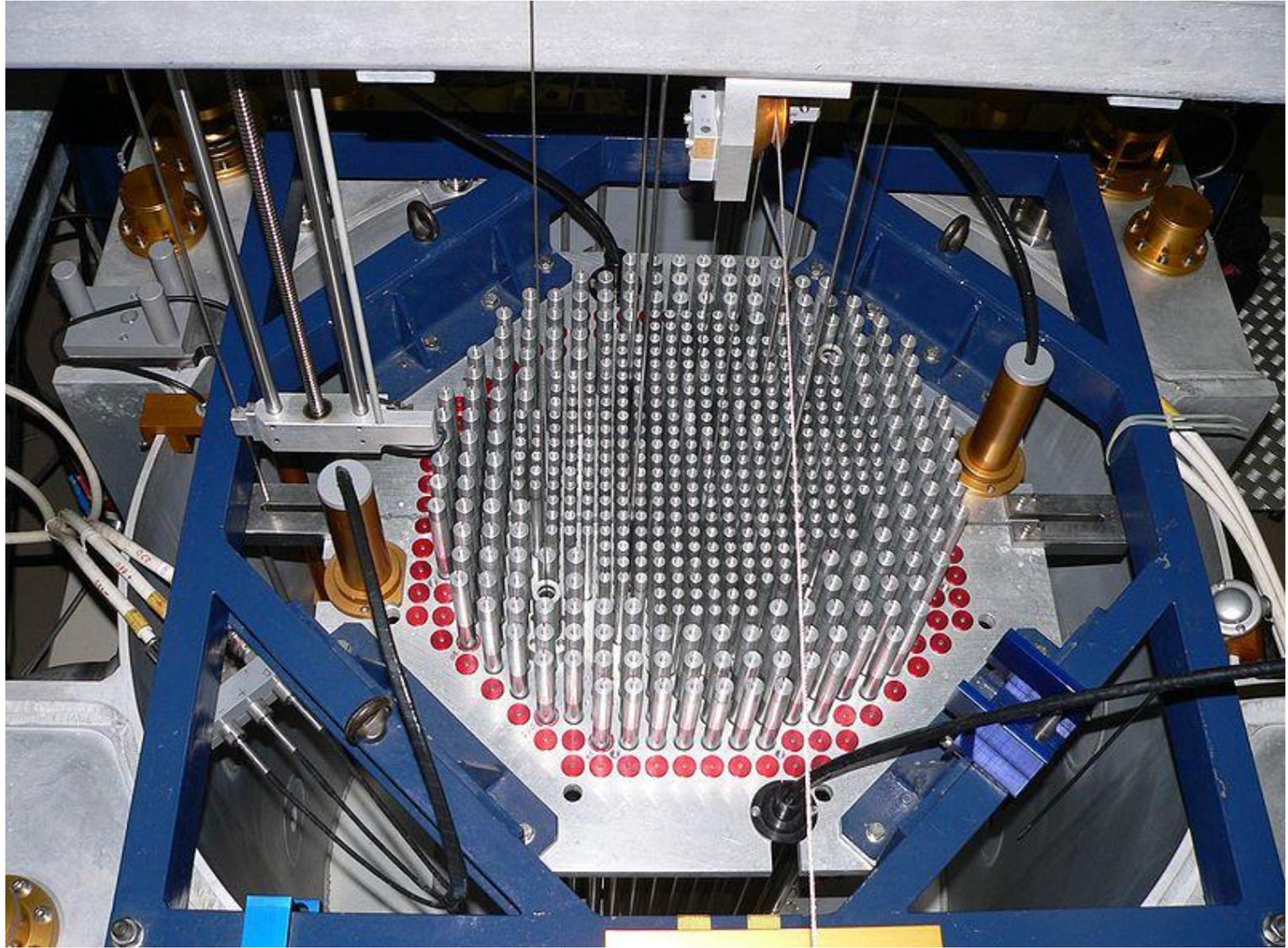
Ядерный реактор на тепловых нейтронах



Управление реактором

Управляющий
стержень

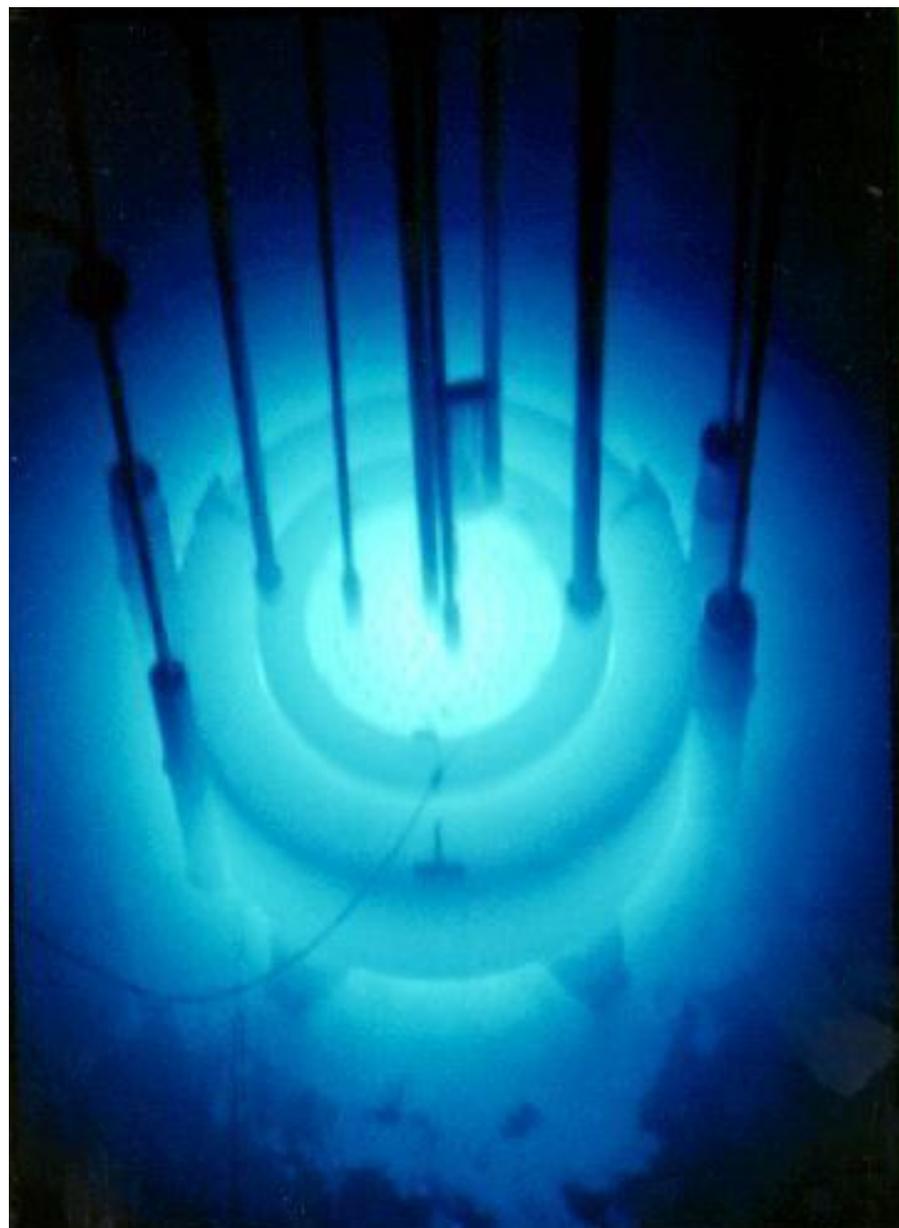






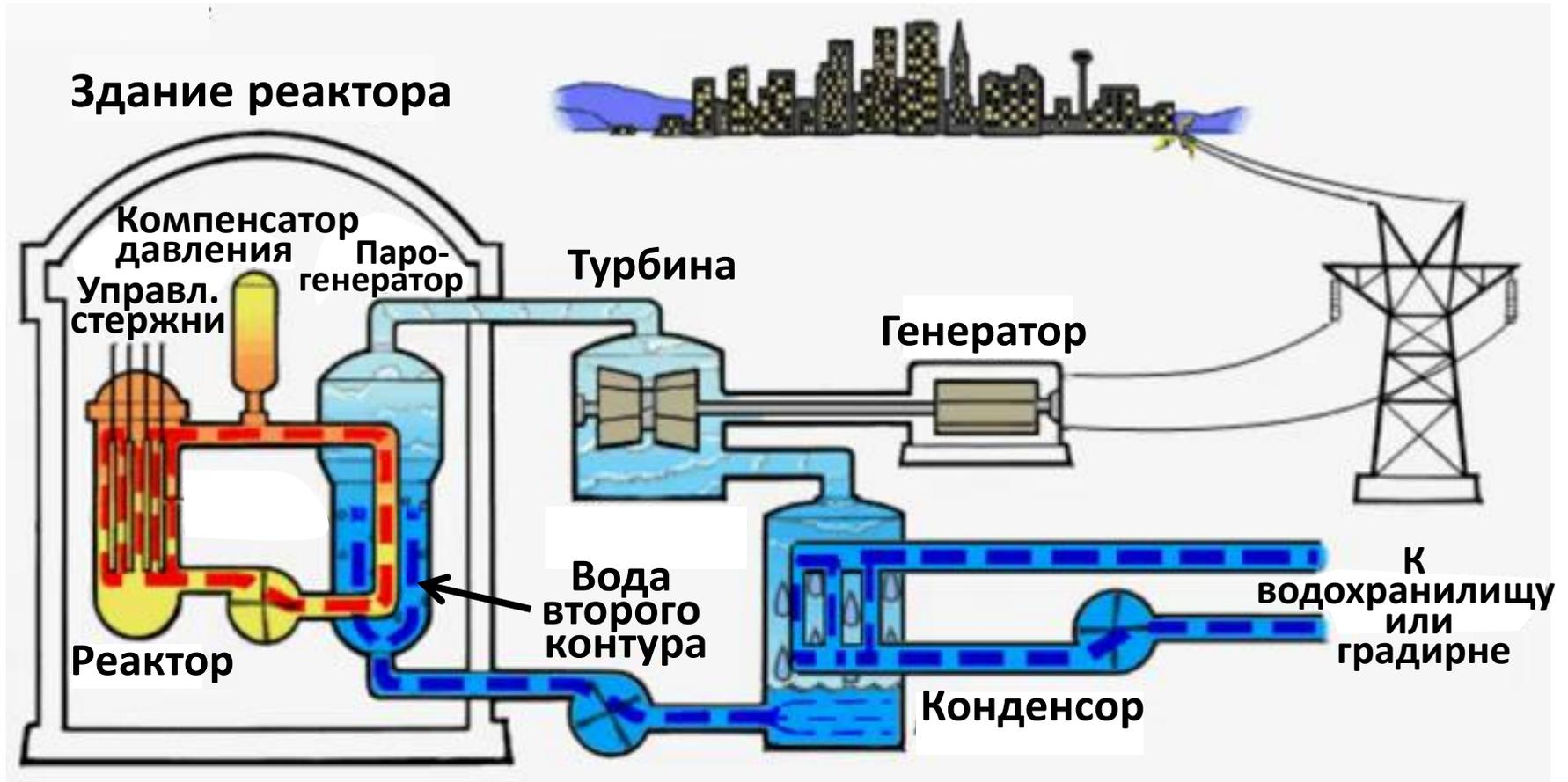


**Черенковское
излучение
реактора**



Атомная Электростанция (АЭС)

Деление 1 г урана-235 в течение суток даёт мощность в 1 МВт

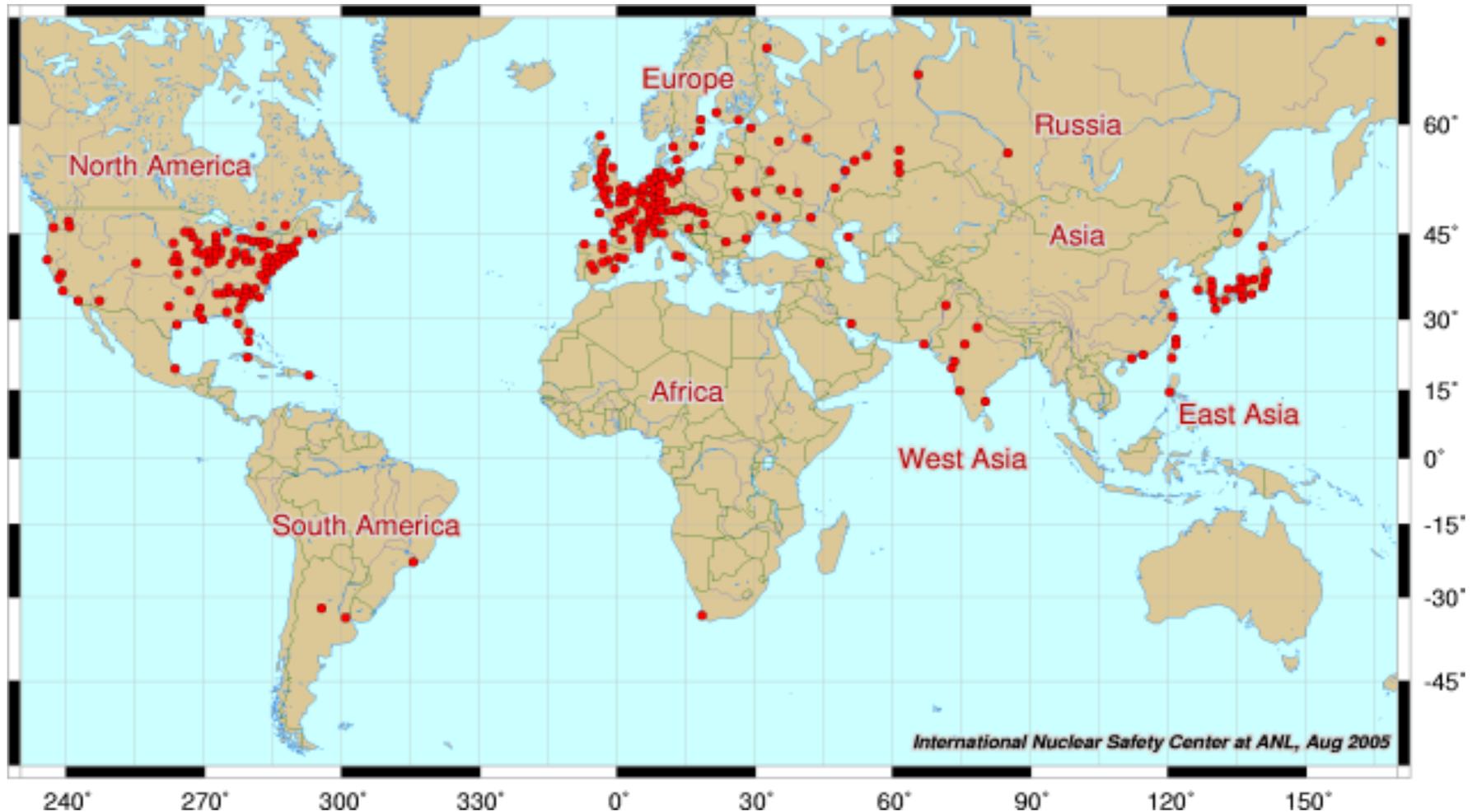


Видео на Лекции

**Видео на Лекции
о работе реактора атомной электростанции**



Ядерные реакторы на мировой карте



Доля атомной энергетики в национальной энергетике

Страна	Число АЭС	Мощность, МВт	Доля, %
США	104	101465	19,0
Франция	58	63130	74,9
Япония	48	42388	27,9
Южн. Корея	23	23671	64,6
Россия	33	23643	17,8
Канада	19	13500	15,0
Украина	15	13107	46,2
Германия	9	12068	16,3
Швеция	10	9474	38,1
Англия	16	9231	18,1
Индия	21	5308	6,3

Атомная (ядерная) бомба

В атомной бомбе используется цепная реакция деления ядер урана-235 или плутония-239, так как они делятся нейтронами любых энергий и вероятность деления этих ядер наибольшая. Замедления нейтронов не требуется.

Плутония-239 в природе нет. Его получают, облучая уран-238 нейтронами:

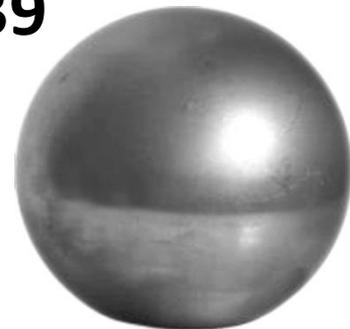


Критическая масса

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

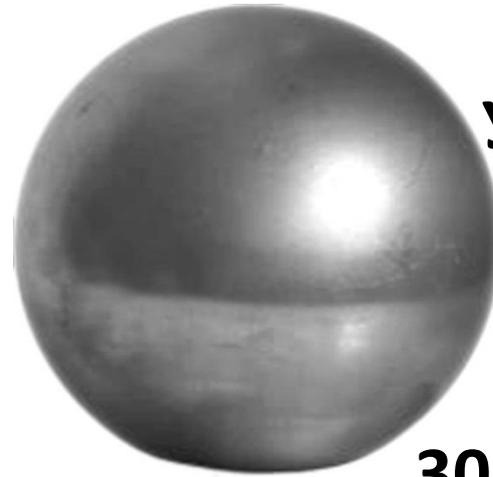


0

10

30 см

Уран
235



Ядерный взрыв

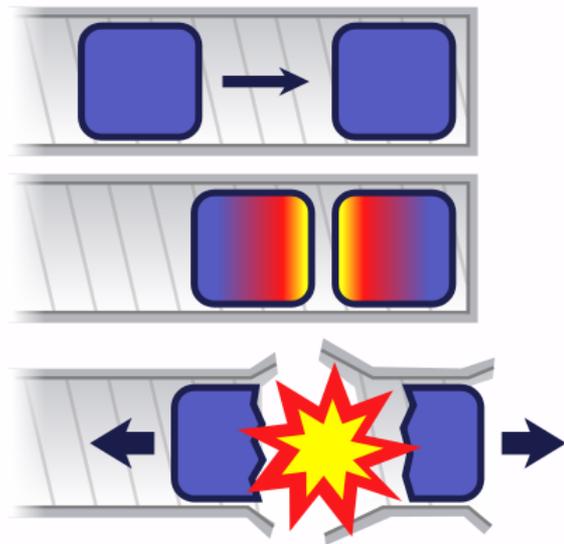
Для ядерного взрыва нужно мгновенно соединить несколько кусков делящегося материала с докритическими массами в один кусок с массой больше критической

Уменьшить критическую массу в **2-3 раза** и более можно, сжимая делящееся вещество и используя внешнюю оболочку, отражающую нейтроны.

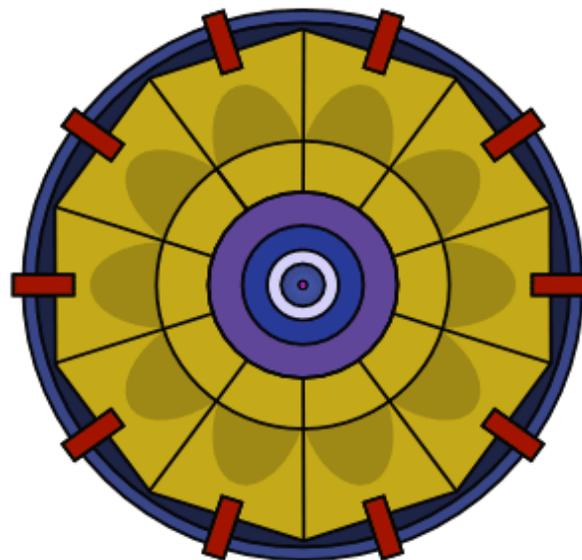
Для ядерного взрыва достаточно иметь **5-6 кг плутония-239** или **20 кг урана, обогащенного до 90-95% ураном-235.**

Два способа подрыва:

Оружейный
(пушечный)



Имплозия
(взрыв внутрь)



Время ядерного взрыва $\approx 10^{-6}$ сек.

В центре давление до 10^{12} атмосфер, температура до 10^8 К (число поколений деления ≈ 80)

Анимация на Лекции о работе атомной бомбы

 Детонаторы

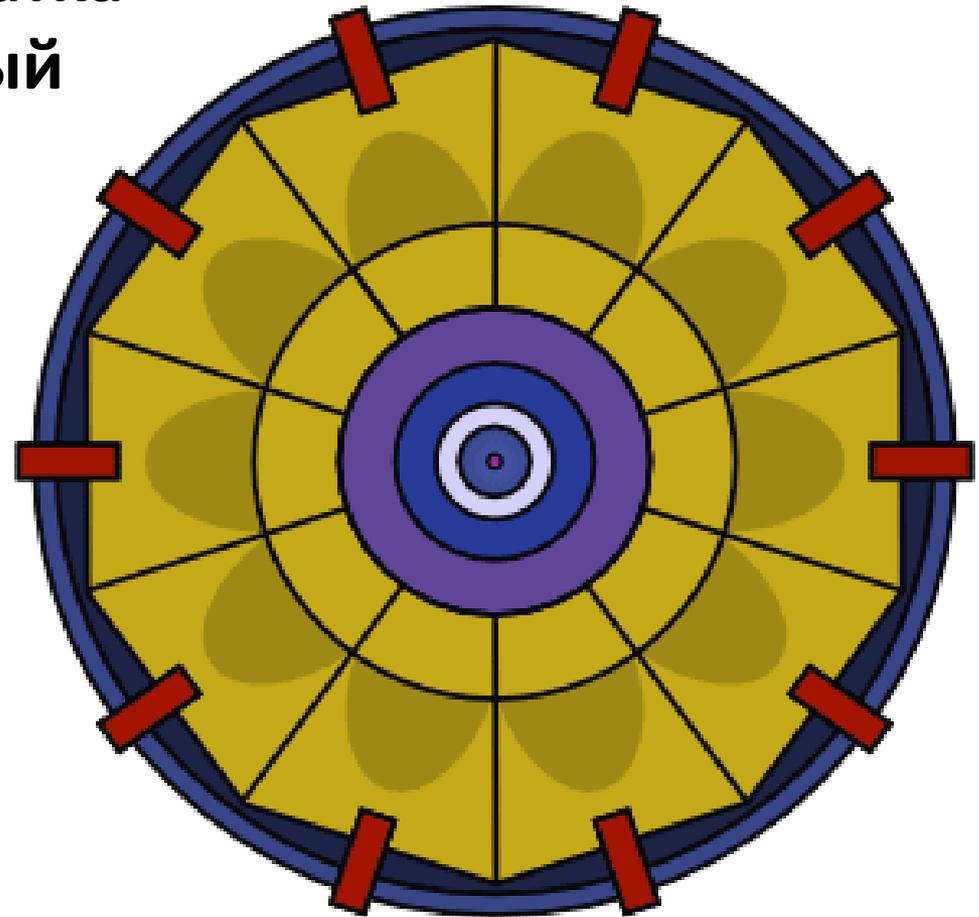
 Взрывчатка

 Алюминиевый толкатель

 Плутоний-239

 Нейтронный источник

**Атомная
бомба
со
сферической
имплозией**



Активизация атомной гонки вооружений

Ядерные арсеналы США и СССР

	1949	1950	1951
США	169 бомб	298 бомб	
СССР	2 бомбы	11 бомб	34 бомбы

В 1946 г. в США начинает разрабатываться супербомба (водородная).
Работы форсируются с наступлением 1950 г.

Герои советского атомного проекта



И.В. Курчатов
Научный
руководитель
проекта



Ю.Б. Харитон
Главный
конструктор,
Научный
руководитель
Арзамаса-16



Я.Б. Зельдович



К.И. Щёлкин



Г.Н. Флёров



Зам. Харитона,
зав. теор.отделом
Арзамаса-16

Зам. Харитона.
Главный конструктор,
научный руководитель
Челябинска-70

Нач.
лаборатории
Арзамаса-16

Во главе атомного проекта стоял
Лаврентий Павлович Берия



И.В. Курчатов:
«Если бы не он, Берия, бомбы бы не было».

Реакции синтеза с изотопами водорода

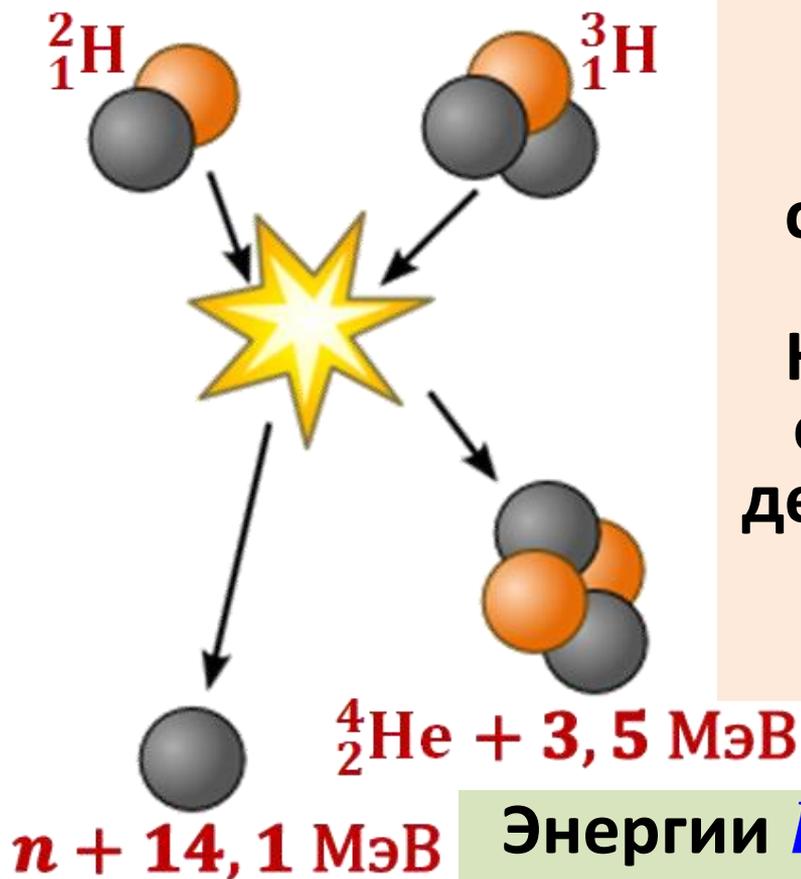
Реакция	Энерго-выделение, МэВ	Сечение (барны), энергия 1 МэВ
$p + p \rightarrow {}^2_1\text{H} + e^+ + \nu_e$	2,2	10^{-23}
$p + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + \gamma$	5,5	10^{-6}
 ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + n$	3,3	0,09
 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + n$	17,6	5,0

Из этой таблицы видно, что наиболее подходящими реакциями являются две последние.

Ещё одна важная для термоядерного проекта реакция:



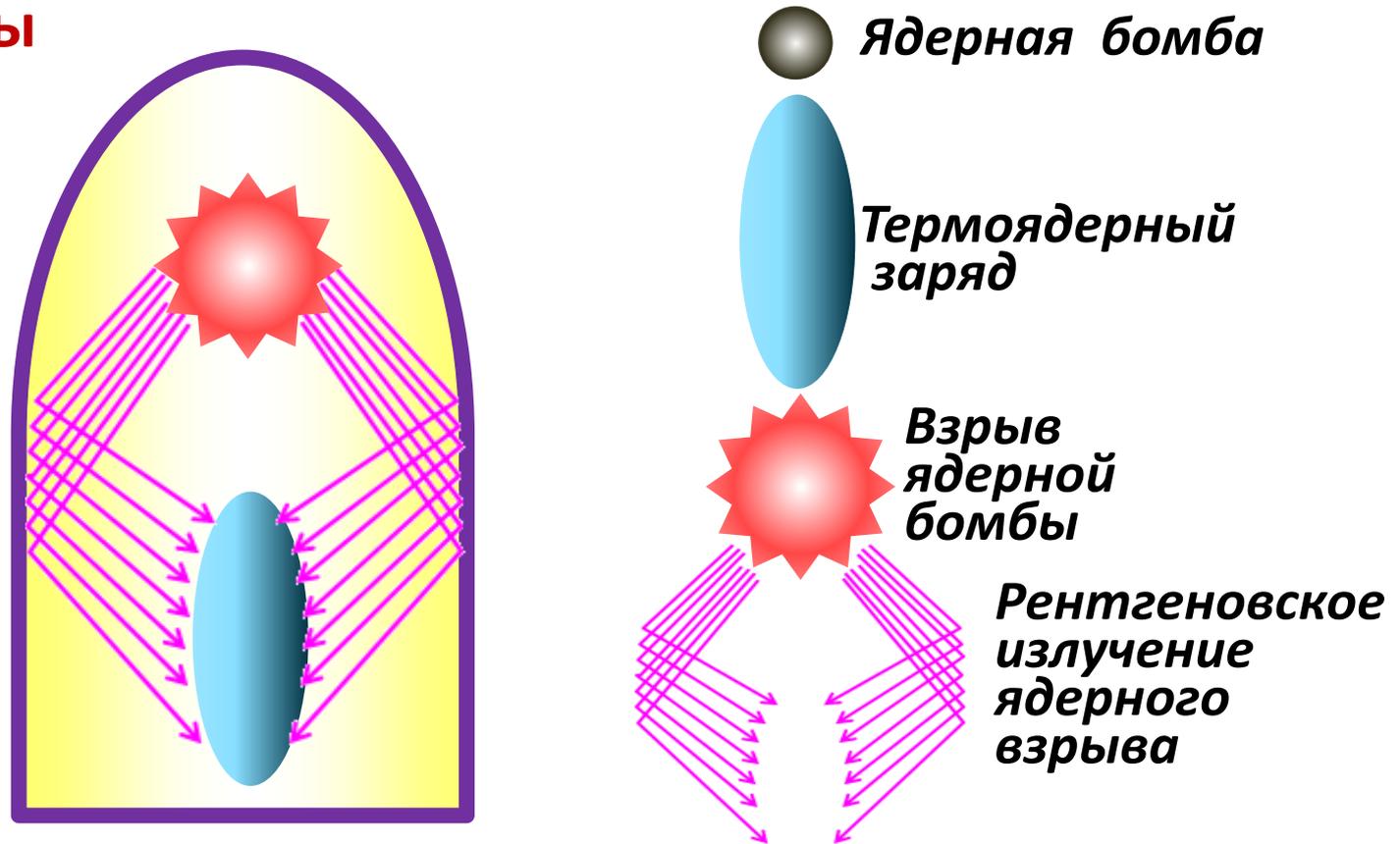
Основная реакция синтеза:



Температура при взрыве атомной бомбы недостаточна для инициации самоподдерживающейся реакции синтеза. Ключевой явилась идея о сжатия дейтерия или дейтерий-тритиевой смеси. Необходимы давления в десятки млн. атм.

Энергии $kT = 50 \text{ кэВ}$ соответствует температура $T \approx 6 \cdot 10^8 \text{ К}$

Принцип действия современной термоядерной (водородной) бомбы



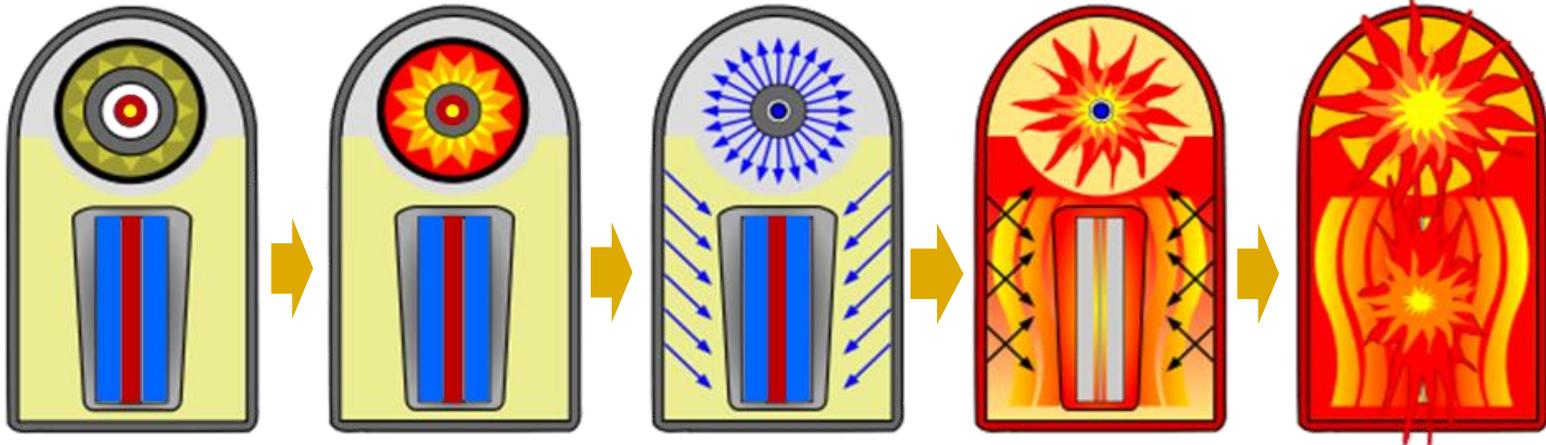
Ядерный взрыв генерирует интенсивное рентгеновское излучение, которое, фокусируясь на термоядерном заряде (дейтериде лития ${}^6\text{LiD}$ с примесью трития), сжимает и нагревает его, инициируя термоядерный синтез (термоядерный взрыв). Рентгеновское излучение испускается в 1-ю микросекунду ядерного взрыва.

1-я
ступень

2-я
ступень

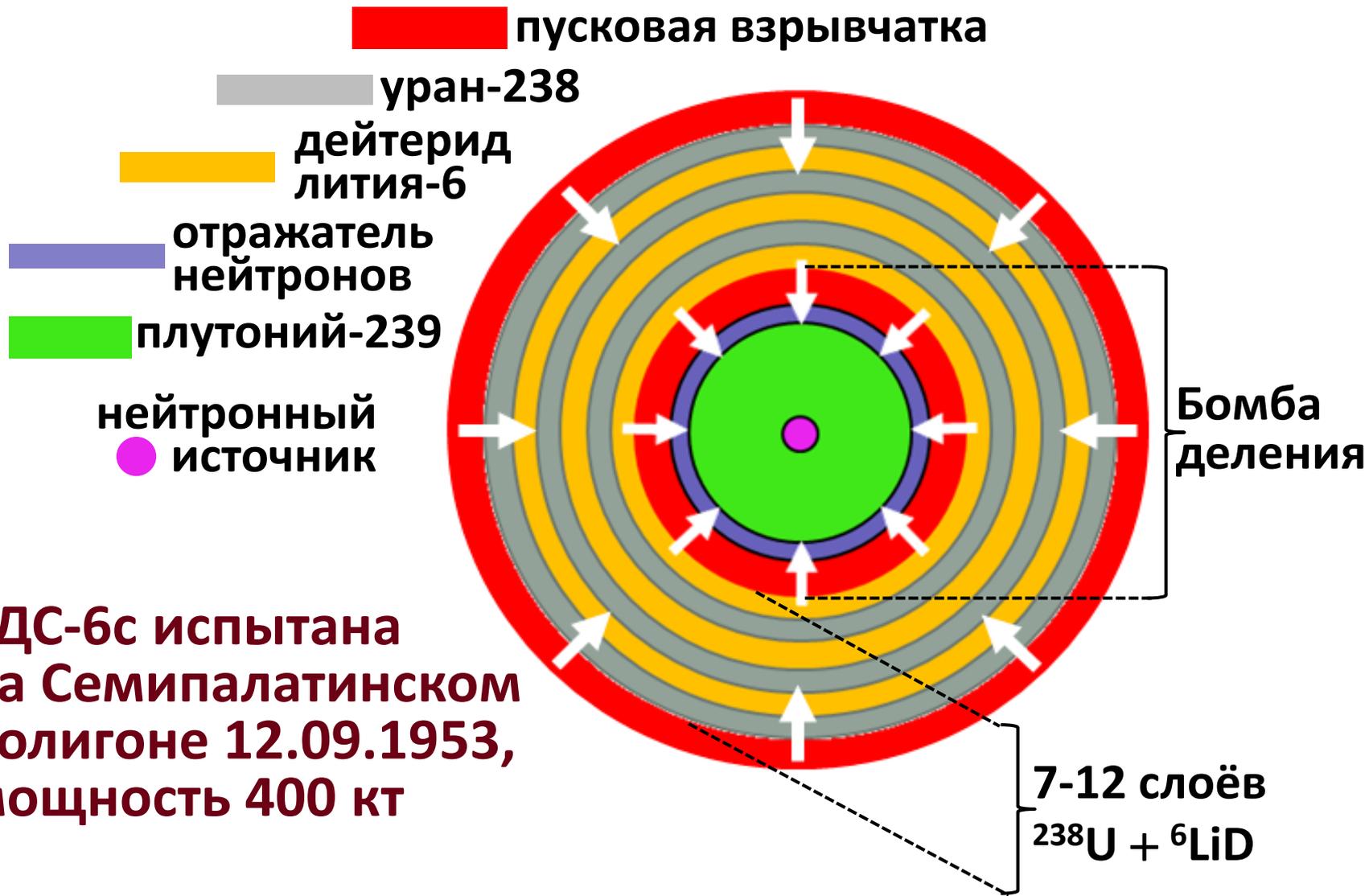


Как работает двух- ступенчатая бомба Теллера- Улама



Основная идея: рентгеновское излучение атомного взрыва опережает ударную волну деления и успевает вызвать синтез до того, как вся система разлетится

«Слойка-LiДочка» Сахарова-Гинзбурга



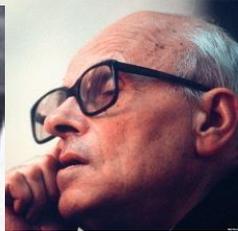
РДС-6с испытана на Семипалатинском полигоне 12.09.1953, мощность 400 кт

Ключевые разработчики советской водородной бомбы

1948



А.Д. Сахаров



**Я.Б.
Зельдович**



В.Л. Гинзбург



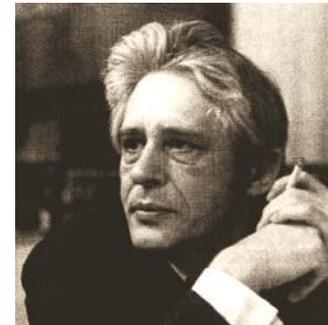
Ю.А. Трутнев

**Научный
руководитель
Арзамаса-16
после Харитона**



Е.И. Забабахин

**Научный руководитель
Челябинска-70,
нач. теор.отдела**



Л.П. Феокистов

**Зам. Научного
руководителя
Челябинска-70**

Царь-бомба (100 Мт)

Характеристики: трёхфазная водородная бомба мощностью **101,5 Мт**. Термоядерный двухстадийный заряд **1-й** ступени должен был дать взрыв мощностью **1,5 Мт**. Термоядерный взрыв **2-й** ступени - **50 Мт**. Оболочка **урана-238** должна была дать ещё **50 Мт**. Проектная мощность уменьшена вдвое за счёт замены **урана-238** инертным к делению свинцом.

Взорвана **30.11.1961** над Новой Землёй.
Сброшена на парашюте с самолёта на высоте **10,5 км**.
Взрыв на высоте **4 км**. Мощность взрыва **58 Мт**.

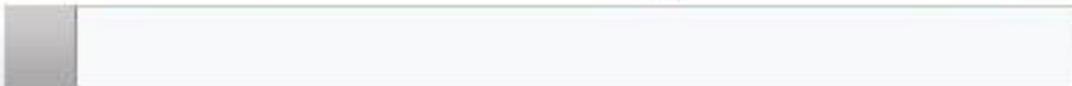


Царь-бомба, 3 мин

Фильм на Лекции
об испытании Царь-бомбы



Здесь, на арктических просторах Новой Земли,
русские показали свой ядерный потенциал...



00:12,07



Фрагмент фильма на Лекции о взрыве Царь-бомбы - самой мощной в истории водородной бомбы



Ярче тысячи Солнц

**Мощью безмерной и грозной
Небо над миром блистало б,
Если бы тысяча Солнц
Разом на нём засияло.**

Отрывок из Бхагавад Гиты (древний индийский эпос)