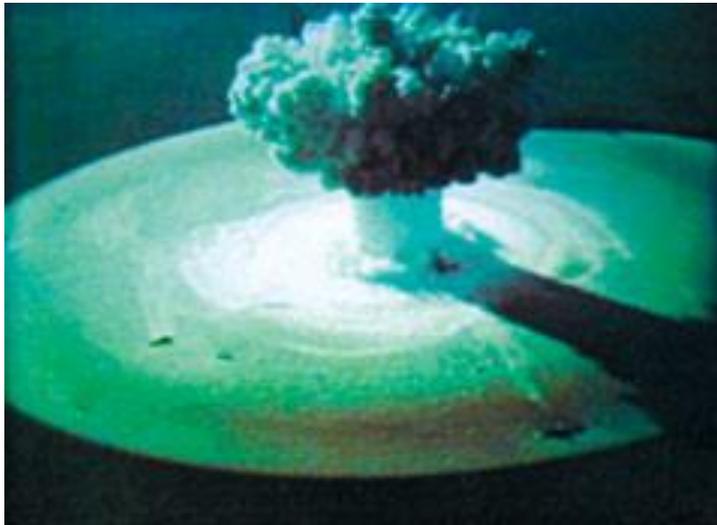


# Ядерное оружие

## История создания и принципы действия



***Главный секрет атомной бомбы  
состоит в том,  
что её можно сделать***

**А.Д. Сахаров**

# 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**).

# Ядерная энергия. Как её извлечь?

## Энергия связи на один нуклон

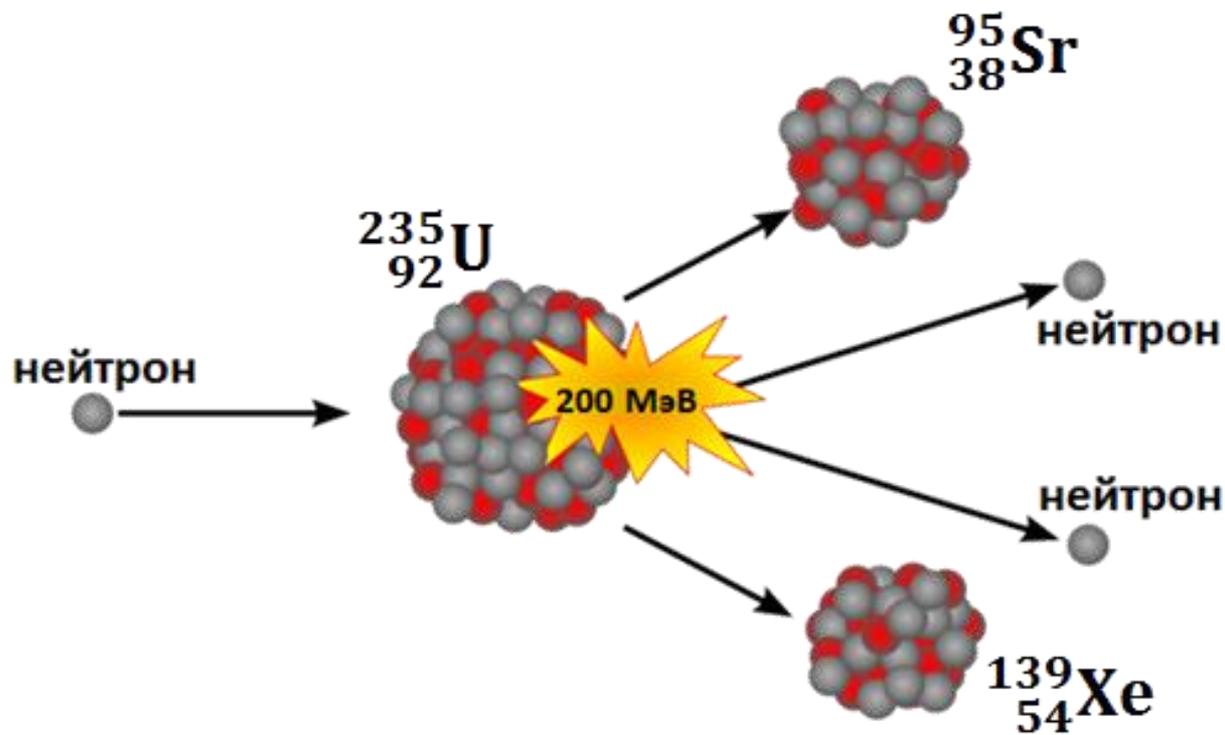


При делении **1-го** тяжёлого ядра выделяется энергия  $\approx 200 \cdot 1 \text{ МэВ} = 200 \text{ МэВ}$

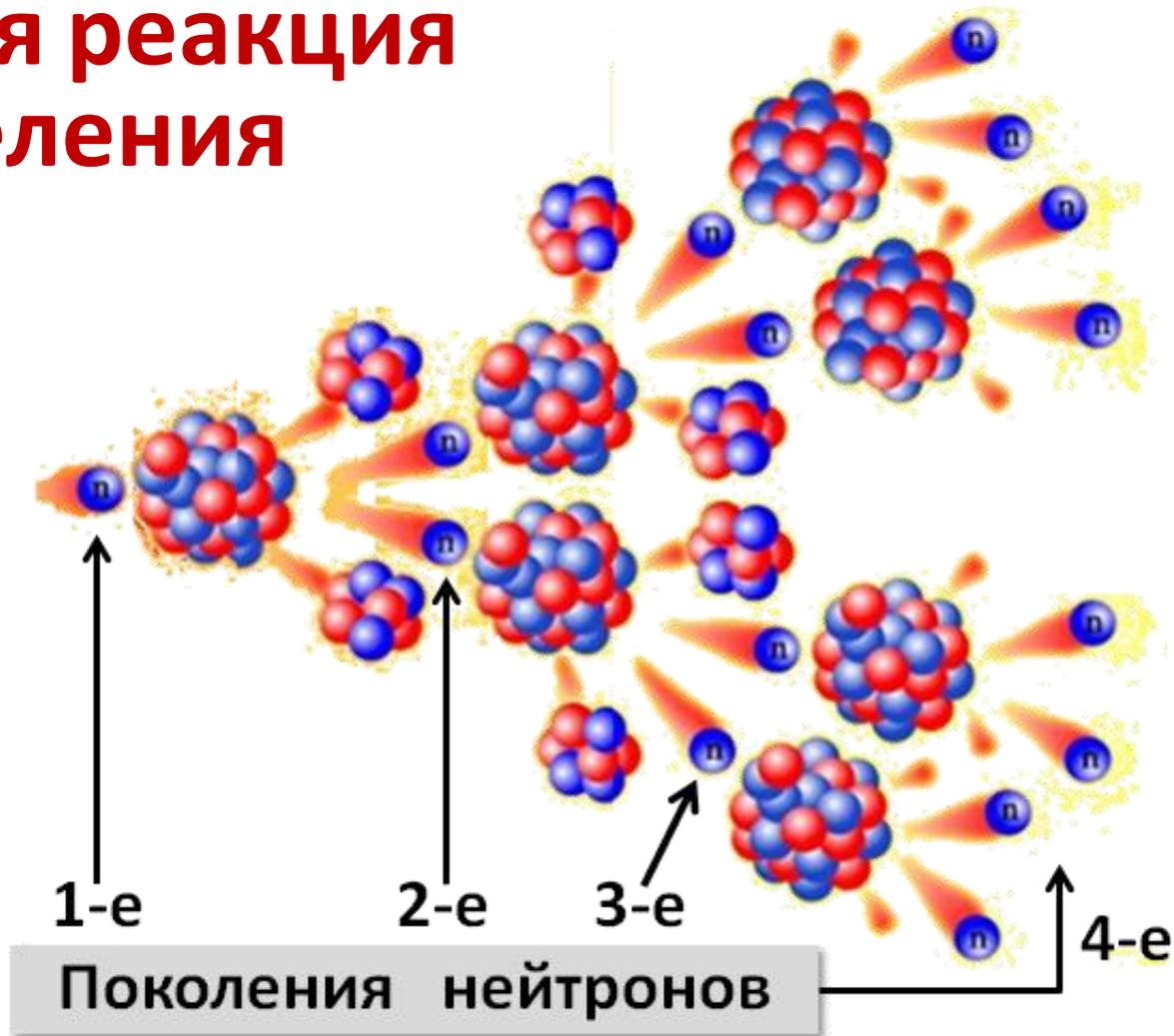
**1 г** ядерного топлива  $\approx 20$  тонн тринитротолуола

# Деление атомного ядра

## Наиболее вероятное деление ядра урана-235



# Цепная реакция деления

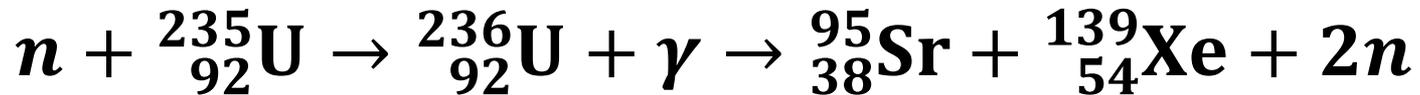


В одном акте деления используемых в атомной бомбе ядер  $^{235}_{92}\text{U}$  и  $^{239}_{94}\text{Pu}$  испускается в среднем 2-3 нейтрона.

## Продукты деления:

- 2 осколка,
- 2-3 мгновенных нейтрона,
- мгновенные  $\gamma$ -кванты,
- продукты  $\beta^-$  и  $\gamma$ -распада осколков.

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 $\gamma$ -излучение	6,5 МэВ
Продукты распада осколков	24,2 МэВ
Полная энергия деления	207,8 МэВ

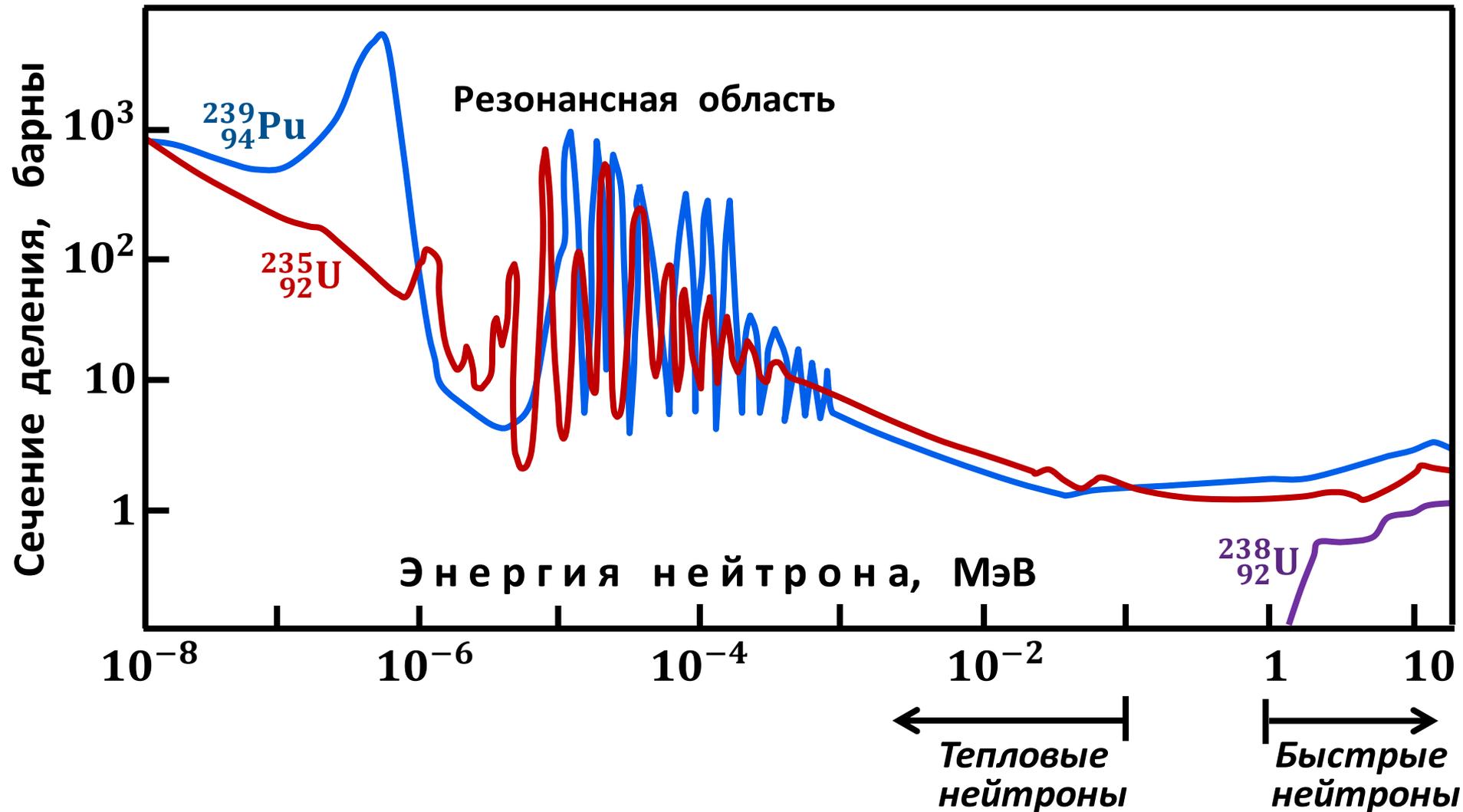
# Условие осуществления цепной реакции деления:

*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, пригодным для ядерной взрывчатки деления, 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 счёт его присутствия – в обогащённой  ${}^{235}_{92}\text{U}$  смеси изотопов урана. **Уран-235 делится нейтронами любых энергий – как быстрых** с энергиями 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  $V_n$  нейтрона от ядра  ${}^{236}_{92}\text{U}$ . Эта энергия выше барьера деления  ${}^{236}_{92}\text{U}$  (около 6 МэВ) и поэтому происходит 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 $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ и $^{239}\text{Pu}$ нейтронами различных энергий



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.

В естественной смеси изотопов урана доминирует уран-238 (99,3%), а урана-235 всего 0,7%

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



${}_{94}^{239}\text{Pu}$  –  $\alpha$ -излучатель.

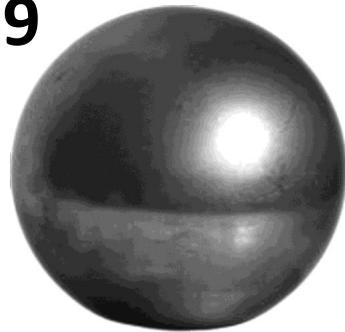
Его период полураспада  $2,4 \cdot 10^4$  лет.

# Критическая масса

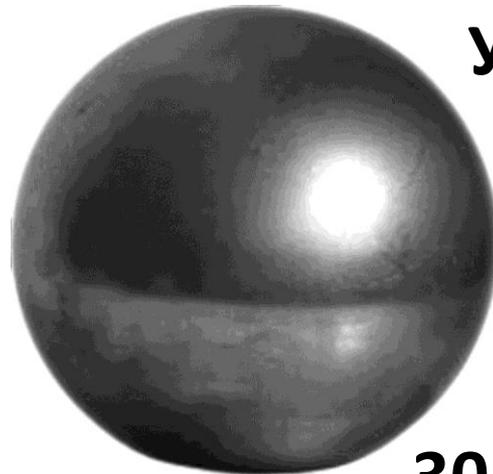
**Критическая масса** – минимальная масса делящегося вещества, в которой протекает незатухающая цепная реакция деления

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



Уран  
235



# Простейший способ оценки критической массы сферы

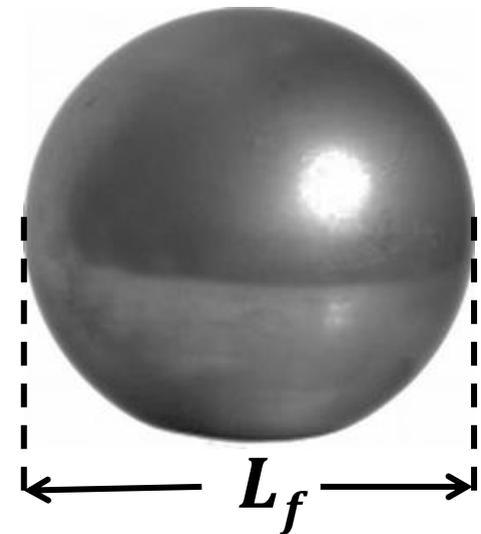
Диаметр  $D_{кр} = 2R_{кр}$  сферы критической массы приблизительно равен средней длине  $L_f$  свободного пробега нейтрона до первого деления:

$$2R_{кр} \approx L_f = \frac{1}{n\sigma_f}$$

Здесь  $n$  – число делящихся ядер в единице объёма, а  $\sigma_f$  – сечение деления.

Именно при возрастании радиуса сферы до значения  $\frac{1}{2}L_f$  она достигает состояния критичности ( $k = 1$ )

$L_f = 16-17$  см для урана-235 и  $\approx 11$  см для плутония-239 (металл)



# Ядерный взрыв

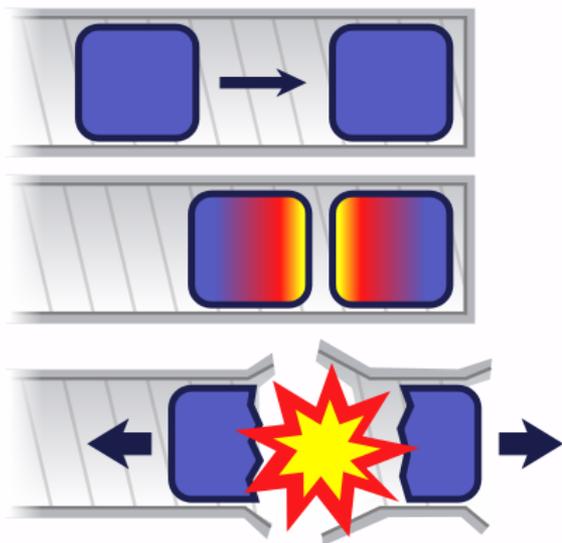
Для ядерного взрыва нужно мгновенно соединить несколько кусков делящегося материала с докритическими массами в один кусок с массой больше критической

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

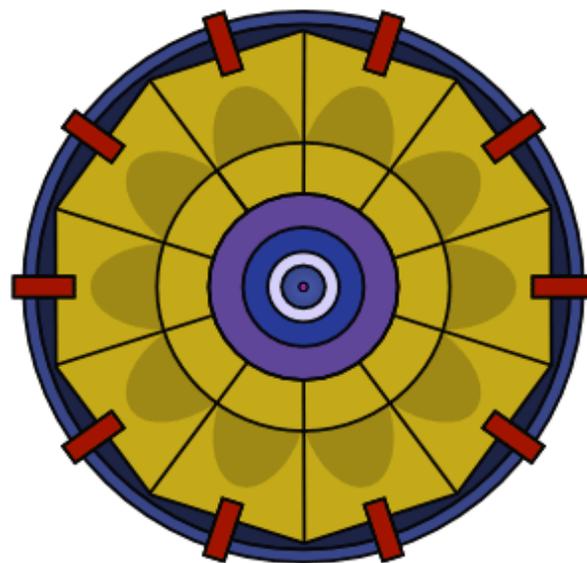
Для ядерного взрыва достаточно иметь **5-6 кг плутония-239** или **20 кг высокообогащённого (90-95%) урана-235.**

# Два способа подрыва:

**Оружейный**  
(пушечный)



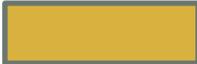
**Имплозия**  
(взрыв внутрь)



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

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

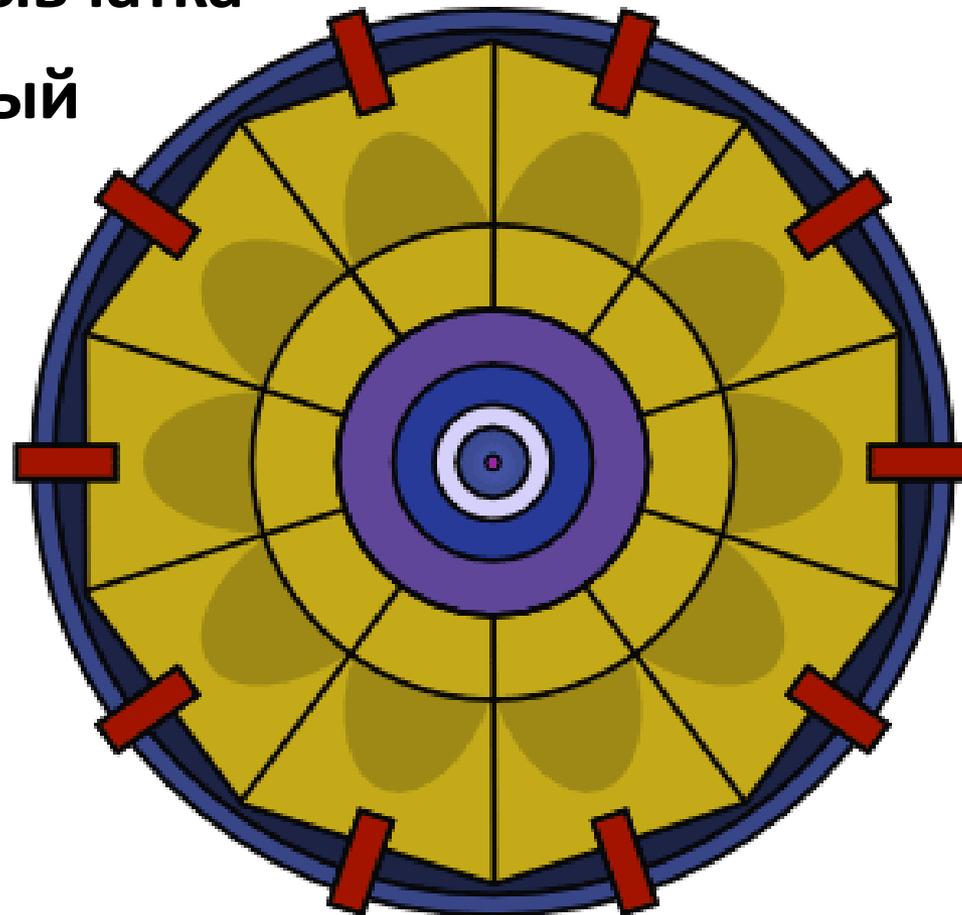
 Детонаторы

 Взрывчатка

 Алюминиевый толкатель

 Плутоний-239

 Нейтронный источник



**Атомная  
бомба со  
сферической  
имплозией**

**Для начала цепной реакции внутри ядерного заряда, сжимаемого сферической ударной волной, должны возникнуть свободные нейтроны. Для максимальной эффективности взрыва их появление необходимо синхронизировать с моментом наибольшего сжатия заряда. Для этой цели используются источники нейтронов (нейтронные инициаторы), расположенные в самом центре бомбы и автоматически включающиеся в нужный момент. Простейший вариант такого инициатора – полоний-бериллиевый (Po-Be) нейтронный источник.**

**Полоний – естественный  $\alpha$ -излучатель. При вступлении его  $\alpha$ -частиц в реакцию с ядрами бериллия ( $\alpha + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + n$ ) образуются нейтроны с энергиями до 13 МэВ. Гетерогенная Po-Be сборка в центре бомбы в момент химического взрыва перемешивается сходящейся ударной волной, включая нейтронный источник и запуская цепную реакцию деления. В настоящее время используются термоядерные нейтронные инициаторы. В центре бомбы размещается, например, небольшое количество смеси дейтерия и трития, в которой сходящейся ударной волной запускается реакция синтеза  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + n$ , дающая нейтроны с энергией 14,1 МэВ.**

**Мощность (энерговыделение) ядерного взрыва  
измеряют в килотоннах химической взрывчатки  
– тринитротолуола ( $C_7H_5N_3O_6$ )**

**Взрыв 1-й килотонны (кт) тринитротолуола (тнт)  
соответствует энерговыделению  
примерно  $4,2 \cdot 10^{12}$  Дж**

# Американская атомная бомба (Манхэттенский проект)

- **1939 г.** Письмо Сцилларда и Эйнштейна президенту Рузвельту
- **8.12.1941.** Решение о финансировании ядерной программы
- **17.09.1942.** Начало Манхэттенского проекта (США + Англия)
- **16.06.1945.** Первая (плутониевая) бомба испытана в Неваде (США)
- **6.08.1945.** Вторая (урановая) взорвана над Хиросимой (Япония)
- **9.08.1945.** Третья (плутониевая) взорвана над Нагасаки (Япония)

# Центр разработки атомного оружия располагался в Лос-Аламосе (штат Нью-Мехико, США)



Научный  
руководитель  
Роберт  
Оппенгеймер



Административный  
руководитель проекта  
генерал Гровс

# Боевое применение атомной бомбы

Характеристики	Хиросима	Нагасаки
Название бомбы	«Малыш»	«Толстяк»
Размер (длина×диаметр), м	3×0,7	3,5×1,5
Общий вес, тонны	4	4,5
Делящийся материал	Уран-235	Плутоний-239
Дата и время взрыва	6 августа 1945 г 8 ч 15 мин	9 августа 1945 г 11 ч 02 мин
Мощность кт TNT	15±3	21±2
Высота взрыва, м	580±15	503±10
Полностью выгорело	13 км <sup>2</sup>	6,7 км <sup>2</sup>
Число погибших, тыс. чел.	140±10	70±10

# Советский атомный проект

**Май-июнь 1942.** Письмо Флёрова Сталину.

Доклады Кафтanova и НКВД Сталину.

**28.09.1942.** Распоряжение Сталина «Об организации работ по урану».

**10.03.1943.** Назначение **Курчатова** научным руководителем работ по урану.

**12.04.1943.** Курчатов стал директором Лаборатории №2 (Курчатовский институт)

**20.08.1945.** Постановление о создании спецкомитета по атомной бомбе под председательством **Берия**

**1946.** Заложен атомоград Арзамас-16 (Саров)

**25.12.1946.** Создан первый реактор в Европе (Лаб. №2)

**29.08.1949.** Испытана первая советская атомная бомба (копия бомбы, сброшенной на Нагасаки)

**24.09.1951.** Испытана оригинальная урановая бомба

**1955.** Заложен атомоград «Челябинск-70» (Снежинск)



# 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**



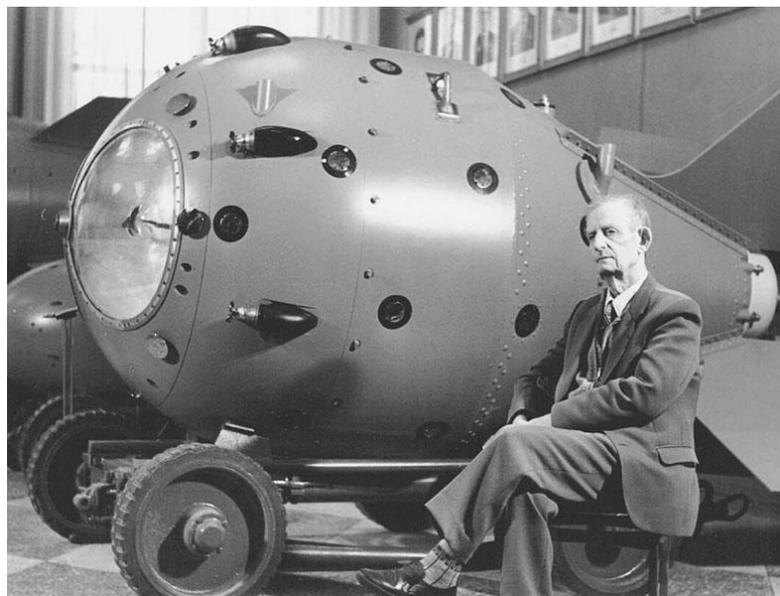
**Г.Н. Флёров**



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

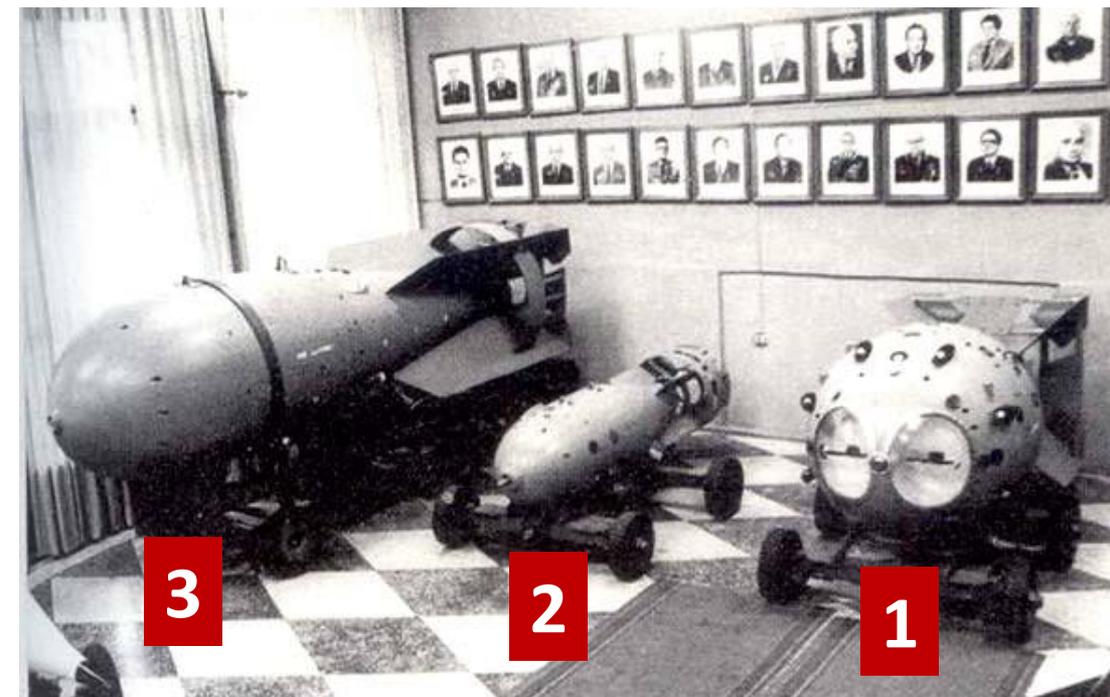
**Зам. Харитона.  
Главный конструктор,  
научный руководитель  
Челябинска-70**

**Нач. лаборатории  
Арзамаса-16**



# Реактивный Двигатель Сталина или Россия Делает Сама

Ю.Б. Харитон у копии первой советской атомной бомбы РДС-1, испытанной в 1949 г.



- 1** Первая советская атомная бомба (РДС-1), **1949**
- 2** Вторая советская атомная бомба (РДС-2), **1951**
- 3** Первая в мире (**1953**) водородная бомба (слойка–LiДочка) РДС-6с

# 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 после испытания советской атомной бомбы.

## **Из воспоминаний Льва Альтшуллера:**

**«Создавая оружие, способное уничтожить население земного шара, наши учёные надеялись, что оно никогда не будет использовано по своему прямому назначению. Для всех, кто понимал реалии наступившей атомной эры, было очевидно, что само обладание ядерным оружием необходимо для восстановления мирового равновесия, для того, чтобы Москву не постигла участь Хиросимы и Нагасаки.»**

**«Однажды летом 1946 г. я шёл по Москве со знакомым, командовавшим в годы войны артиллеристским корпусом. Был ясный солнечный день. Посмотрев на пешеходов, мой спутник провёл ладонью по лицу и неожиданно произнёс «Смотрю на идущих москвичей, и на моих глазах они превращаются в тени людей, испарившихся в огне атомного взрыва». Наступила атомная эра, и необходимость «догнать и перегнать» Америку стала очевидной».**

Мощность ядерного заряда, работающего только на принципе деления ядер, ограничивается десятками килотонн тнт. Увеличение массы делящегося вещества не решает проблему. Дело в том, что энергия, выделяющаяся в результате цепной реакции, раздувает сборку со скоростью  $\approx 10$  км/с и поэтому она быстро становится докритической. Большая часть делящегося вещества не успевает прореагировать. В сброшенной на Нагасаки бомбе «Толстяк» успело прореагировать не более 20 % из 6,2 кг плутония, а в уничтожившей Хиросиму бомбе «Малыш» с пушечной сборкой распалось только 1,4 % из 64 кг обогащенного примерно до 80 % урана. Гонка вооружений поставила задачу создания более мощного ядерного оружия, использующего энергию ядерного синтеза – термоядерной (водородной) бомбы. В ней в качестве взрывчатки фигурируют тяжёлые изотопы водорода – дейтерий ( ${}^2_1\text{H}$  или D) и тритий ( ${}^3_1\text{H}$  или T). Такая «сверхбомба» может быть в десятки и сотни раз более мощной ядерной бомбы деления.

# 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

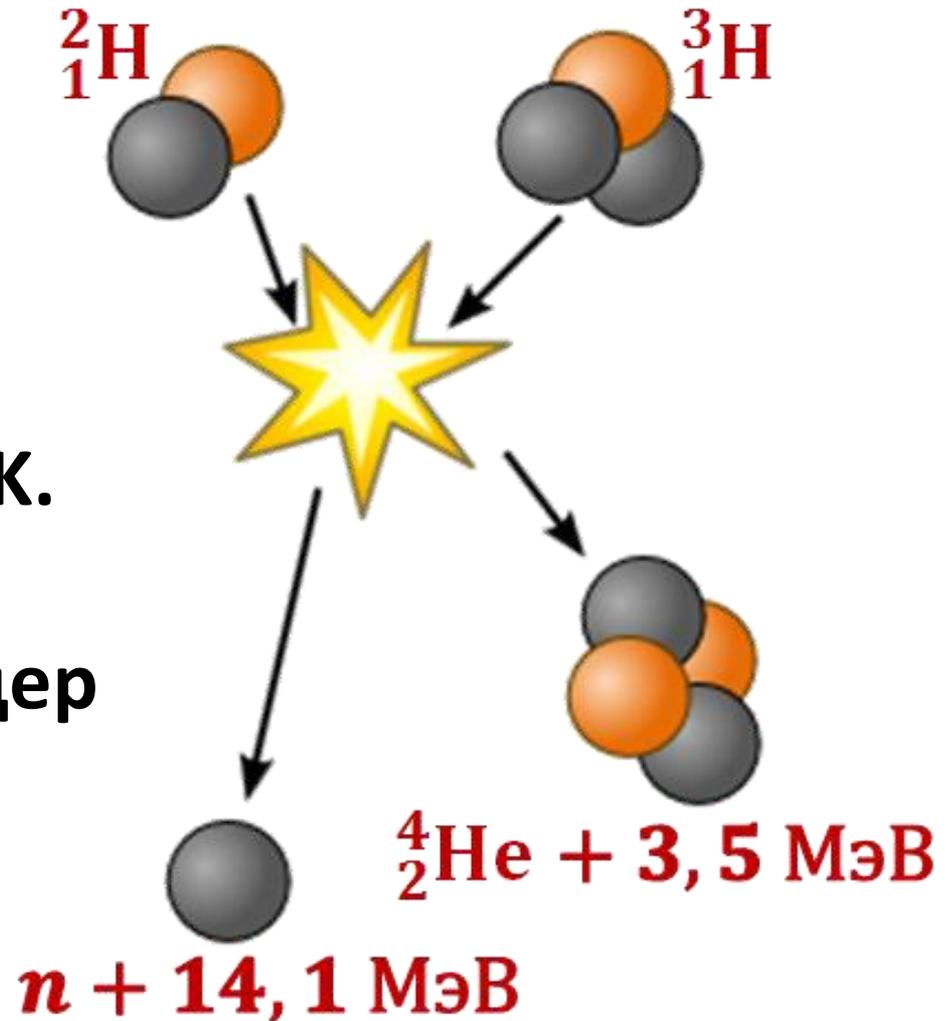
Из этой таблицы видно, что наиболее подходящими реакциями являются две последние.

Ещё одна важная для термоядерного проекта реакция:



# Основная реакция синтеза:

Для её реализации  
необходима  
температура  $\approx 0,5 \cdot 10^9$  К.  
Это соответствует  
энергии сближения ядер  
 $\approx 50$  кэВ.



**В США и СССР вначале (до 1951 г.) разрабатывался вариант «классической супербомбы», представлявшей собой цилиндрический контейнер с жидким дейтерием (или со смесью дейтерия и трития). Это водородное горючее должно было нагреваться от взрыва соприкасающейся бомбы деления до температур достаточных для начала реакций синтеза и распространения вспыхнувшего термоядерного горения по всему резервуару с тяжёлым водородом.**

**Однако, на самом деле, в «Супере» после взрыва деления происходит быстрое охлаждение всей системы и термоядерная реакция не распространяясь затухает. Температура при взрыве атомной бомбы оказывается недостаточной для инициации самоподдерживающейся реакции синтеза. Ключевой явилась идея о сжатии дейтерия или дейтерий-тритиевой смеси. Причём необходимы давления в десятки млн. атм.**

**Водородная бомба была создана в двух вариантах:**

- **однофазная (однокамерная, одноступенчатая), в которой делящаяся и термоядерная взрывчатки размещены в одном блоке, и**
- **двухфазная (двухкамерная или многоступенчатая), в которой делящаяся и термоядерная взрывчатки размещены в различных блоках (отсеках).**

**В обоих типах бомб взрыв начинается с деления плутония или урана (ядерного взрыва), создающего необходимую температуру и давление для термоядерного синтеза.**

**Однофазная бомба, прозванная «Будильником» (Alarm clock), была реализована первой в 1953 г. в СССР в виде так называемой «слойки» Сахарова.**

**Двухфазное (многоступенчатое) устройство впервые было реализована в США по схеме Теллера-Улама и в боевом варианте взорвано в 1954 г.**

**В настоящее время принят многоступенчатый вариант, позволяющий практически неограниченно увеличивать мощность взрыва за счёт увеличения числа ступеней (камер).**

**Энергетический выход однофазной бомбы не превышает 1 мегатонны, так как не позволяет в одной камере удержать до полного энерговыделения большое количество взрывчатки**

**Ниже вначале будет рассмотрен американский термоядерный проект, а затем – советский.**

**В них будет более детально описаны устройства одноступенчатой и многоступенчатой водородных бомб.**

# История американской супербомбы

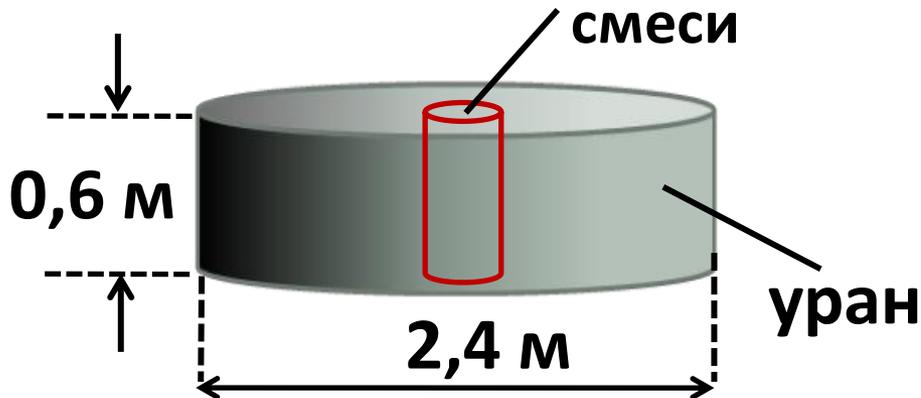
- **1942.** Идея Теллера о термоядерной (супер) бомбе.
- **1946.** Совещание в Лос-Аламосе по супербомбе под председательством Теллера (**апрель**). Патент Джона фон Неймана и Клауса Фукса.
- **1946-1950.** Разработка теллеровской супербомбы (цилиндрический контейнер с жидким дейтерием)
- **31.01.1950.** Директива президента Трумена по супербомбе
- **Конец 1950.** Крах классической супербомбы Теллера
- **Март 1951.** Появление схемы Теллера-Улама подрыва супербомбы рентгеновским излучением деления
- **9.05.1951.** Пробный взрыв атомного заряда с малым дейтерий-тритиевым устройством («Джордж»)
- **31.10.1952.** Первый взрыв многоступенчатого термоядерного устройства (82 тонны) по схеме Теллера-Улама («Майк») мощностью 10,4 Мт.
- **28.02.1954.** Испытание бомбы «Браво» мощностью 15 Мт на дейтериде лития

# Первые американские термоядерные испытания

**George, 9.05.1951,**  
225 кт (из них 25 кт  
от термояда) →



Капсула с несколькими  
граммами жидкой  
дейтерий-тритиевой (DT)



**Item, 25.05.1951,**  
45,5 кт →

Быстрые нейтроны от  
синтеза в жидкой  
DT-смеси делили  
уран-238 и удваивали  
мощность взрыва

# Ivy Mike, 31.10.1952

Атолл  
Эниветок

Вес  
установки  
82 тонны



**10,4 Мт:**

**2,4 Мт** – синтез  
в жидкой DT-смеси,  
**8 Мт** – деление урана-238  
быстрыми нейтронами  
от синтеза.

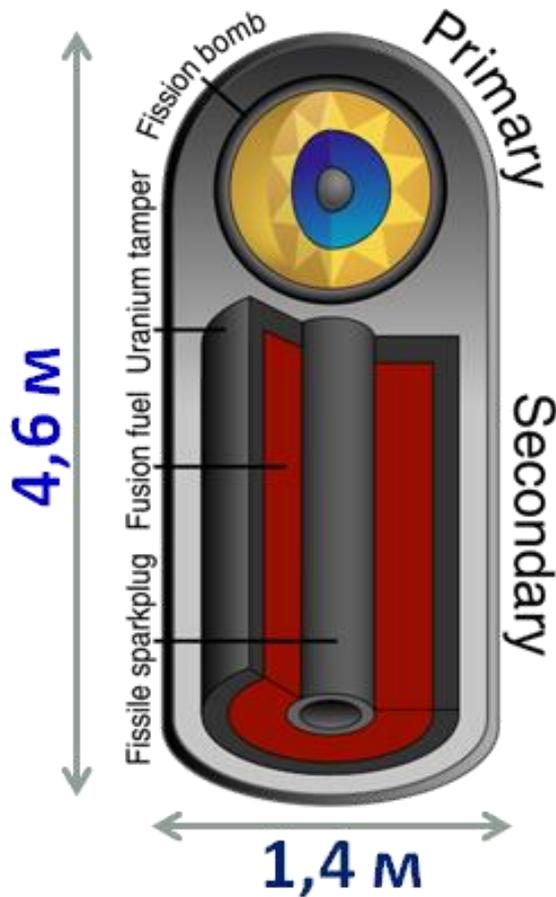


# **Испытание Ivy Mike (Майк) и использование урана-238 для усиления мощности взрыва**

**Испытание «Майк» явилось ключевым в создании первой многоступенчатой водородной бомбы. Проверялась работоспособность схемы Теллера-Улама. Термоядерная взрывчатка (жидкая DT-смесь при температуре, близкой к абсолютному нулю) находилась в дюаре, по центру которого проходил плутониевый стержень. Сосуд окружал корпус из природного урана массой около 5 т. Устройство находилось внутри стального цилиндрического кожуха диаметром 2 м, длиной 6,2 м и толщиной стенок 25-30 см. Вся установка весила около 80 т и размещалась в двухэтажном ангаре.**

**В этом, как и в самых первых термоядерных испытаниях (George, Item), проверялся также эффект усиления взрыва за счёт деления урана-238 быстрыми нейтронами (с энергией 14,1 МэВ), рождаемыми DT-синтезом (см. слайды 28 и 29). Уран-238 не является взрывчаткой обычной ядерной бомбы, так как не делится медленными нейтронами и не участвует в цепной реакции. Но его деление интенсивным потоком быстрых нейтронов способно дать основную часть энерговыделения водородной бомбы. С этой целью уран-238 (называемый обычно тампером) присутствует во всех конструкциях водородных бомб.**

# Испытание боевого термоядерного устройства Castle Bravo (28.02.1954, атолл Бикини)



Теллер



Улам

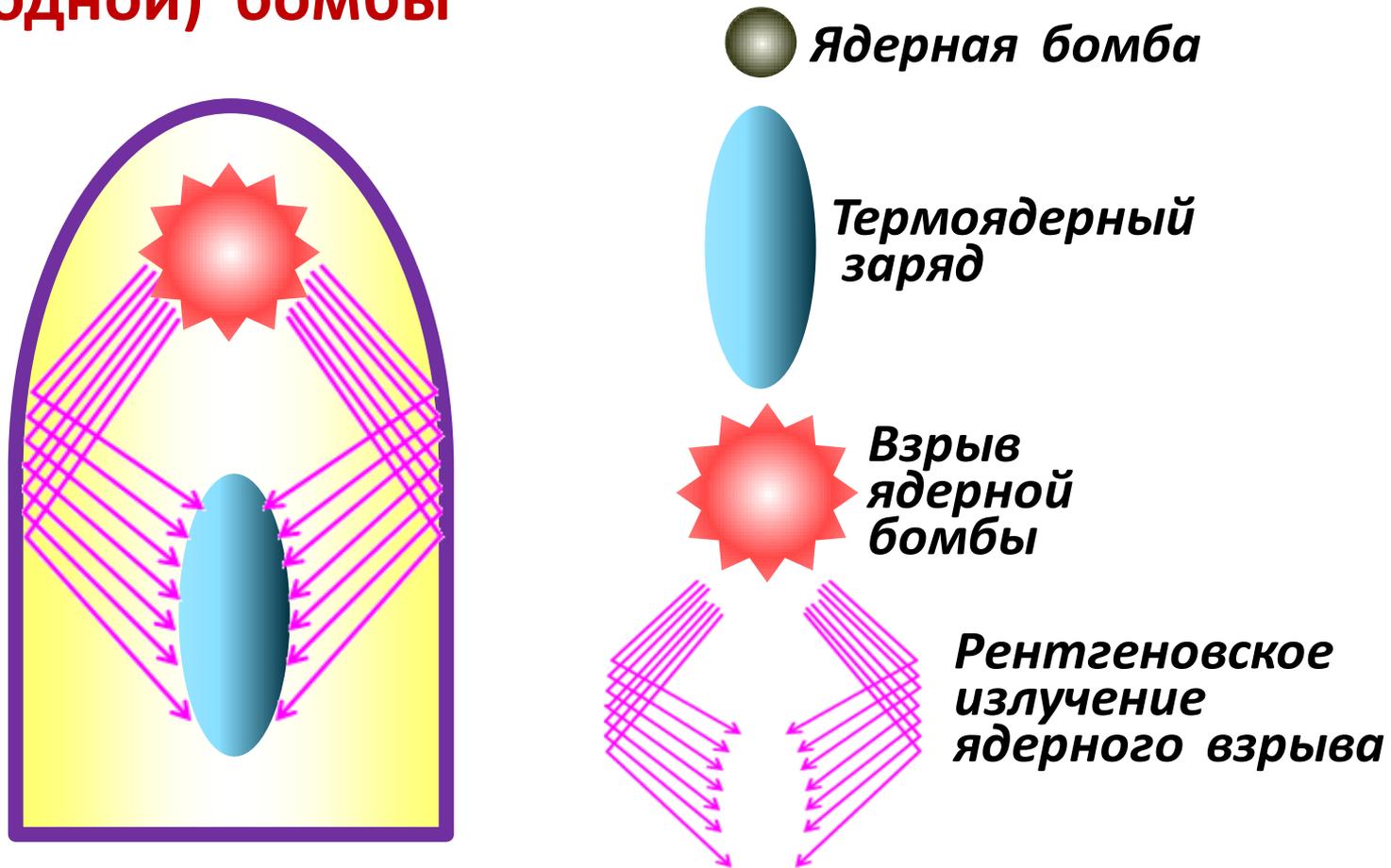


5 Мт – синтез,  
10 Мт – деление  
урана-238

Кратер: диаметр 2 км,  
глубина 75 м

Использована двухфазная схема Теллера-Улама и впервые в США – дейтерид лития-6 ( ${}^6\text{LiD}$ ). Вес бомбы 10,7 тонн. Мощность 15 Мт при проектной около 5 Мт.

# Принцип действия современной термоядерной (водородной) бомбы

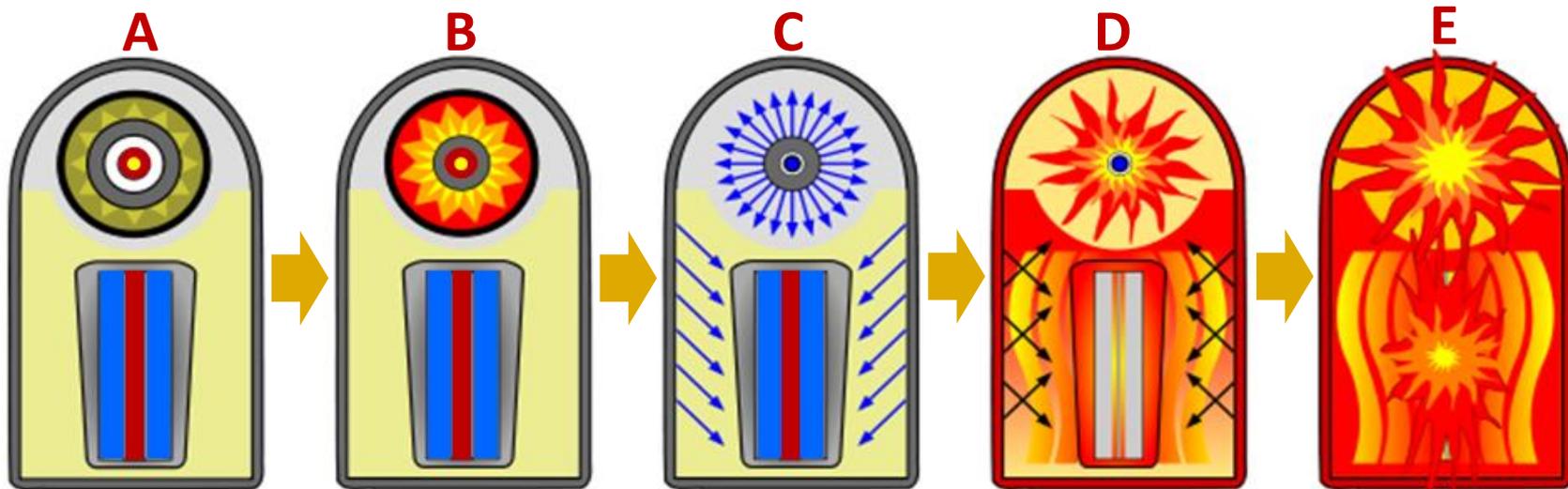


Ядерный взрыв генерирует интенсивное рентгеновское излучение, которое, фокусируясь на термоядерном заряде (дейтериде лития  ${}^6\text{LiD}$  с примесью трития), сжимает и нагревает его, инициируя термоядерный синтез (термоядерный взрыв). Рентгеновское излучение испускается в 1-ю микросекунду ядерного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

# Как работает двух- ступенчатая бомба Теллера- Улама

1-я  
ступень

2-я  
ступень



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

- A.** Перед взрывом. Первая (делительная) ступень вверх, вторая ступень (синтез) вниз.
- B.** Взрывчатка подрывает первую ступень, сжимая ядро плутония до сверхкритического состояния и инициируя цепную реакцию деления.
- C.** При делении в первой ступени возникает мощный импульс рентгеновского излучения (**до 80% энергии ядерного взрыва**), который, отражаясь от стенок кожуха, и опережая ударную волну, распространяется вдоль внутренней части оболочки, проникая сквозь наполнитель (пена полистирола) и облучая его.
- D.** Вторая ступень сжимается вследствие огромного давления от абляции (испарения) полистирола, превратившегося в плазму под воздействием рентгеновского излучения, и плутониевый стержень внутри второй ступени переходит в сверхкритическое состояние, инициируя цепную реакцию деления, выделяющую огромное количество тепла.
- E.** В многократно сжатом и разогретом дейтериде лития-6 происходят реакция слияния. Возникающий поток быстрых нейтронов инициирует деление тампера (урана-238), усиливая выделение энергии.

# Советская водородная бомба

- **1946.** Предложение Гуревича, Зельдовича, Померанчука и Харитона «Использование ядерной энергии легких элементов», поданное Курчатову.
- **1948.** Появление двух основополагающих идей советского проекта: «Слойки» А.Д. Сахарова и «LiДочки» В.Л. Гинзбурга.
- **12.09.1953.** Взорвана первая в мире водородная бомба РДС-6с («Слойка») мощностью 400 кт.
- **Весна 1954 г.** Рождение А.Д. Сахаровым, Я.Б. Зельдовичем и Ю.А. Трутневым идеи радиационного обжатия термоядерного заряда (независимое открытие двухфазной схемы Теллера-Улама).
- **22.11.1955.** Первое испытание двухфазной водородной бомбы РДС-37 мощностью 1,7 Мт. Это первая водородная бомба, сброшенная с самолета.
- **30.11.1961.** Взрыв самой мощной в мире водородной бомбы («Царь-бомбы») мощностью 58 Мт.

# «Слойка-LiDочка» Сахарова-Гинзбурга

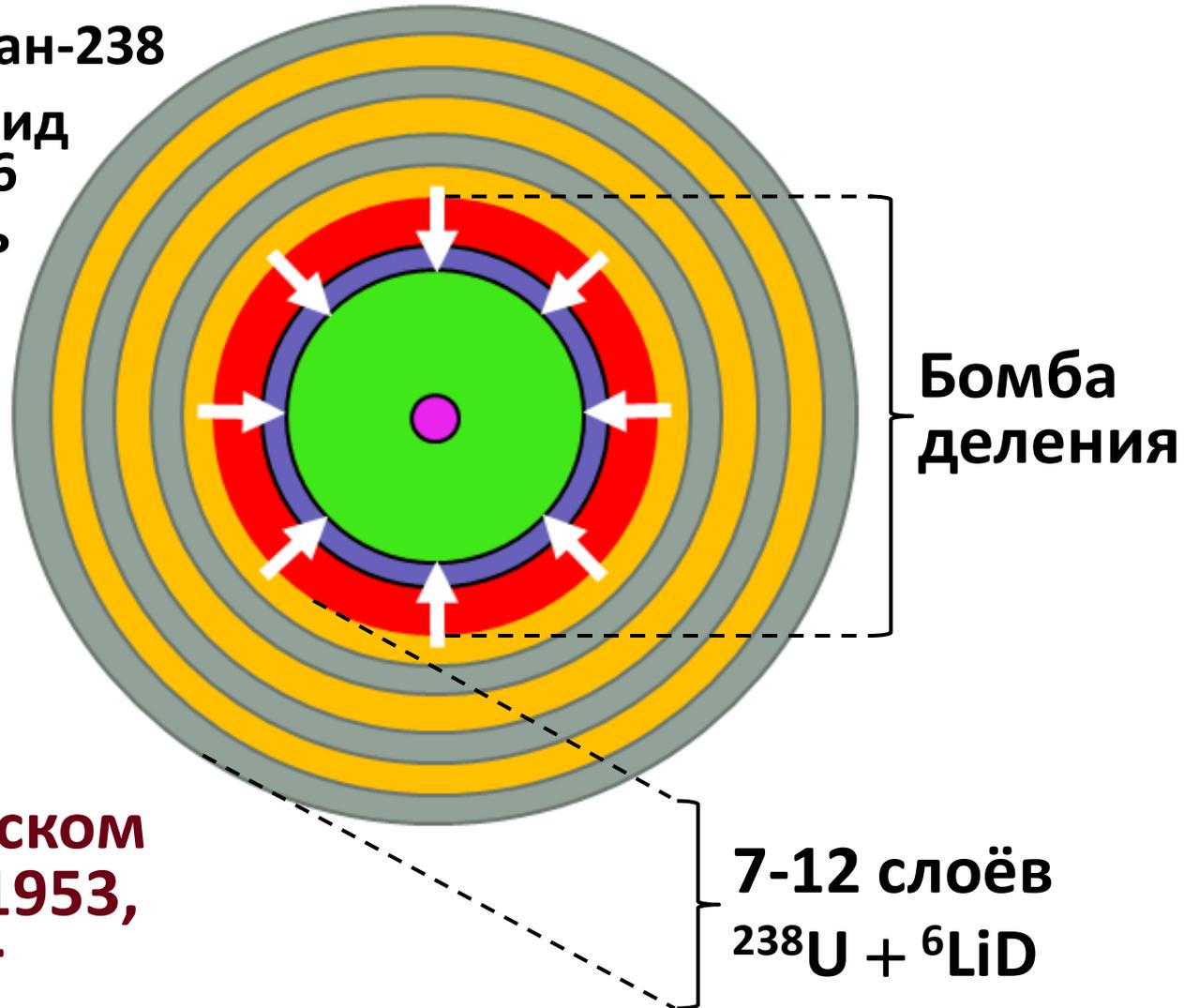
 пусковая взрывчатка

 уран-238

 дейтерид лития-6

 отражатель нейтронов

 плутоний-239  
нейтронный источник 



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

# Как работает «Слойка»

Последовательность процессов, происходящих при взрыве «Слойки», следующая:

1. Химический взрыв, сжимающий плутоний до критического состояния.
2. Взрыв деления плутония, создающий необходимую температуру для начала термоядерного синтеза во внешнем слое.
3. Термоядерный взрыв внешнего слоя за счёт DD- и DT-синтеза.
4. Взрыв деления урана-238 быстрыми нейтронами синтеза.
5. Интенсификация синтеза за счёт энергии деления урана-238.

Успеху проекту «Слойка» обеспечили следующие факторы:

- 1) Использование твёрдого химического соединения LiD, что сделало ненужным применение громоздких криостатов для жидкого дейтерия (третия) и создало высокую стартовую плотность синтезируемых ядер.
- 2) Генерация трития в реакции  $n+{}^6\text{Li}\rightarrow\text{T}+\alpha+4,6\text{ МэВ}$  в процессе взрыва и протекание наиболее эффективной реакции синтеза  $\text{D}+\text{T}\rightarrow{}^3\text{He}+n+17,6\text{ МэВ}$ .
- 3) Мощный выход энергии от деления  ${}^{238}\text{U}$  быстрыми нейтронами синтеза.
- 4) Отсутствие ограничения на количество термоядерной взрывчатки вследствие его размещения вне ядерной бомбы деления.

*Отметим, что реализация ключевого для водородной бомбы принципа сжатия термоядерной взрывчатки в «Слойке» был иным, чем в бомбе Теллера-Улама. Если в последней сжатие осуществлялось рентгеновским излучением бомбы деления 1-й ступени, то в «Слойке» срабатывало так называемое атомное (газодинамическое) сжатие. Перемежающие слои  ${}^{238}\text{U}$  и LiD при взрыве переходят в состояние плазмы. При этом начальное давление в этих слоях пропорционально плотности в них частиц (электронов и ядер). В урановом слое эта плотность в 13-14 раз выше, чем в слое LiD. Поэтому этот последний слой сильно обжимается урановым, что и ускоряет синтез.*

# Является ли «Слойка» водородной бомбой?

*Распределение энергии «Слойки»:*

Источник энергии	Доля
Энергия деления Pu-239	0,1
Синтез лёгких ядер	0,2
Деление урана-238 термоядерными нейтронами	0,7



12.09.1953,  
400 кт

0,9

Энергия однофазной термоядерной бомбы типа «Слойки» (Alarm-Clock) ограничена. Самый мощный в истории однофазный (британский) термоядерный боеприпас, взорванный в ходе испытаний

**Orange Herald в 1957 г., достиг мощности 720 кт.**

# Первая советская двухфазная водородная бомба РДС-37

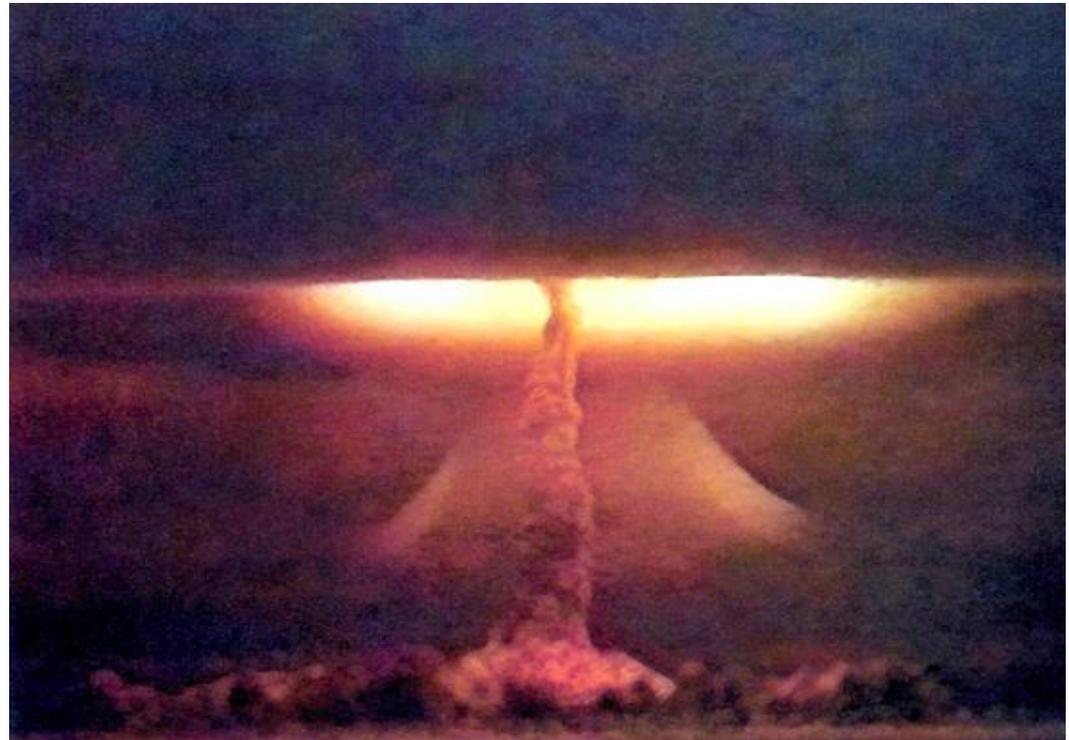
испытана **22.11.1955** на Семипалатинском полигоне.

Проектная мощность **3 Мт**. Ограничена до **1,7 Мт**.

Это первая водородная бомба в истории, сброшенная с самолета. Сброшена на парашюте на высоте **12 км**. Взорвана на высоте  $\approx$  **1,5 км**.



**РДС-37**



# Ключевые разработчики советской водородной бомбы



**А.Д. Сахаров**



**Я.Б. Зельдович**



**В.Л. Гинзбург**



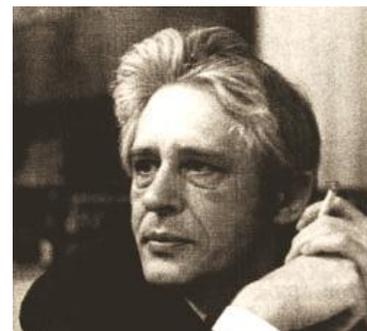
**Ю.А. Трутнев**

**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:** двухфазная 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**.



8x2 м, вес 27 тонн



# Советская ядерная бомба и разведка

**Бруно  
Понтекорво**



**Кlaus Фукс**

**Джон  
Кернкросс**



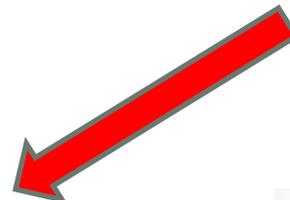
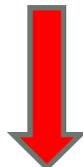
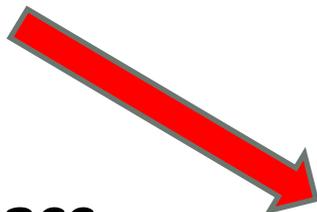
**Дэвид Грингласс**



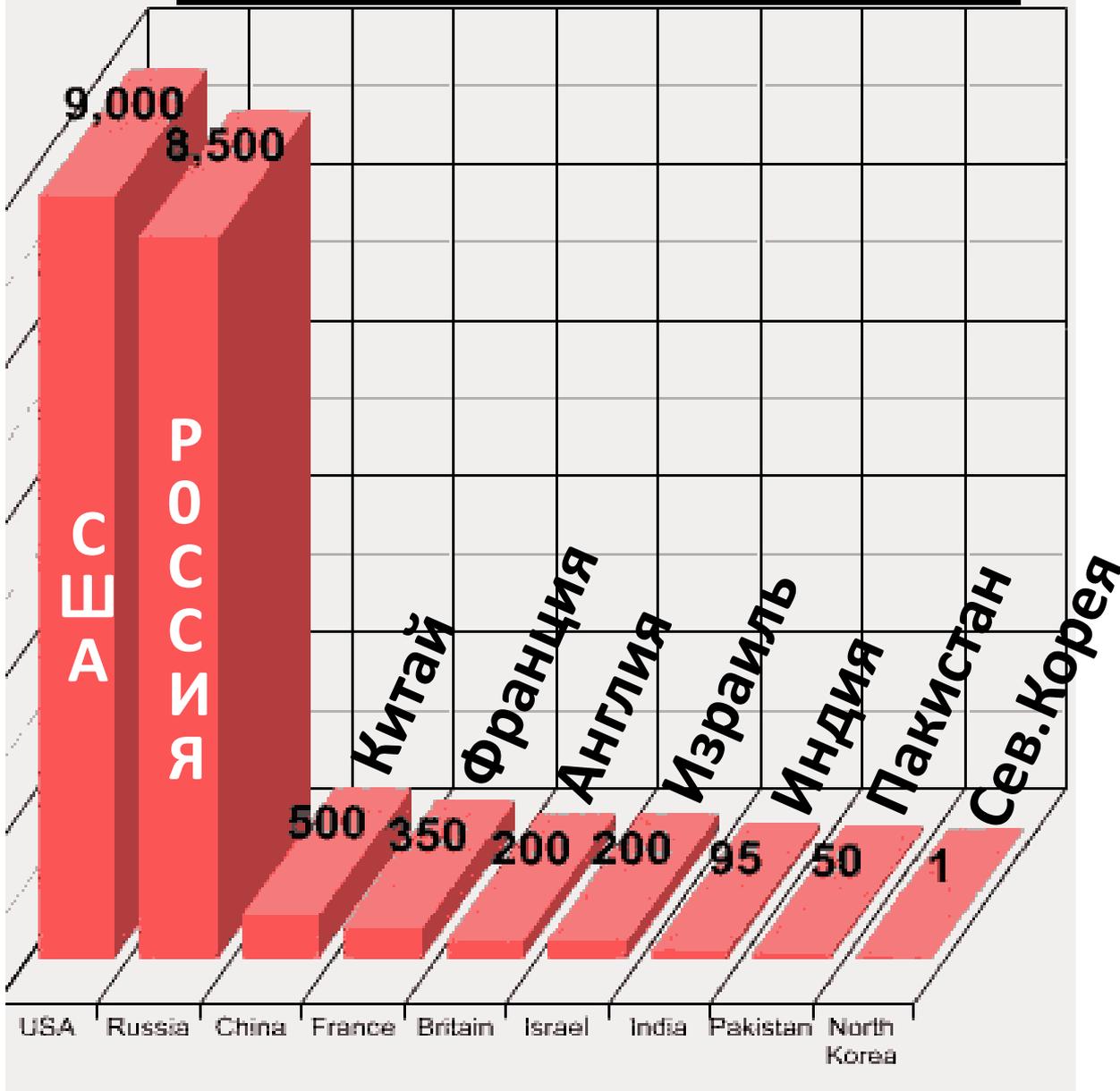
**Теодор Холл**



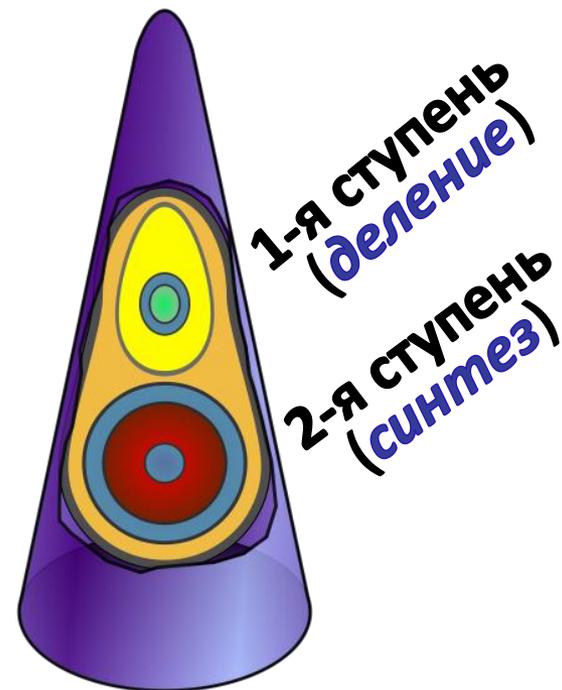
**Лаврентий Берия**



# Число ядерных боеголовок



# Ядерные арсеналы



Боеголовка

# Приложение 1:

## Нейтронные источники для ядерных бомб

- **1945 – 1953.**  $^{210}\text{Po}$ - $\text{Be}$  источник ( $\alpha + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^{12}\text{C} + \text{n}$ ). Гетерогенная  $\text{Po}$  и  $\text{Be}$  сборка в центре бомбы. Источник «включался» сходящейся ударной волной, перемешивающей  $\text{Po}$  и  $\text{Be}$ .
- **1953.** Постоянно действующий  $\text{Po}$ - $\text{Be}$  источник в центре бомбы.
- **1953.** Внешний нейтронный генератор – компактный ускоритель ядер трития и мишень с дейтерием:  
 ${}^3\text{H} + {}^2\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + \text{n}$ .
- **1954.** Термоядерный инициатор. В центре бомбы – небольшая смесь дейтерия и трития, в которой сходящейся ударной волной запускается реакция синтеза.

# Приложение 2:

## Скорости ударных волн в металлах при высоких давлениях

Из книги Зельдовича Я.Б. и Ю.П. Райзера

«Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений»

Страница примерно 580.

Таблица 11.4

**Измеренные на опыте скорости звука при высоких давлениях**

Металлы	$p, 10^{10}$ бар	$V_0/V$	$c_0, \text{км/сек}$	$c_0, \text{км/сек}$ (при нормальных условиях)
Al	195,5	1,76	11,74	5,2
	160,0	1,701	11,23	
Cu	379,6	1,694	9,48	3,9
	311,7	1,638	8,93	
Fe	347,8	1,650	9,48	5,7
	284,9	1,600	9,53	