

# Ядерные реакции



# Содержание:

1. Энергия связи атомного ядра

2. Ядерные реакции

3. Цепная ядерная реакция

4. Термоядерный синтез

5. Ядерный реактор

6. Применение ядерной энергии

7. Блок контроля

8. Глоссарий

9. Литература



**Часть I**  
**Энергия**  
**связи**  
**атомного**  
**ядра**

# ***Вспомните, каков состав ядра атома***

Массовое  
число или  
число нуклонов



Порядковое  
число или  
величина  
заряда ядра



Краткое  
обозначение  
элемента

**Энергия связи атомного  
ядра - энергия, которая  
необходима  
для полного расщепления  
ядра  
на отдельные нуклоны**

$$E = m \cdot c^2$$

$$E_{св} = \Delta M \cdot c^2$$

# **Дефект масс- $\Delta M$ -**

**разность масс покоя**

**нуклонов,**

**составляющих ядро**

**атома,**

**и массы целого ядра**

$$M_{\text{я}} < Z \cdot m_p + N \cdot m_n$$

$$\Delta M = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_{\text{я}}$$

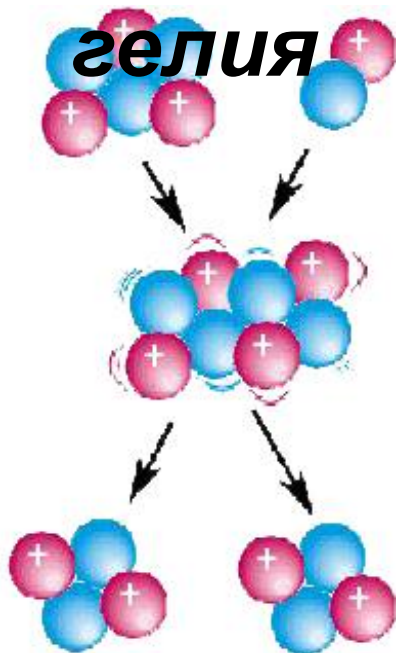
**На 1 а.е.м. приходится  
энергия связи = 931 МэВ**



# Сравнение ядерной энергии и тепловой

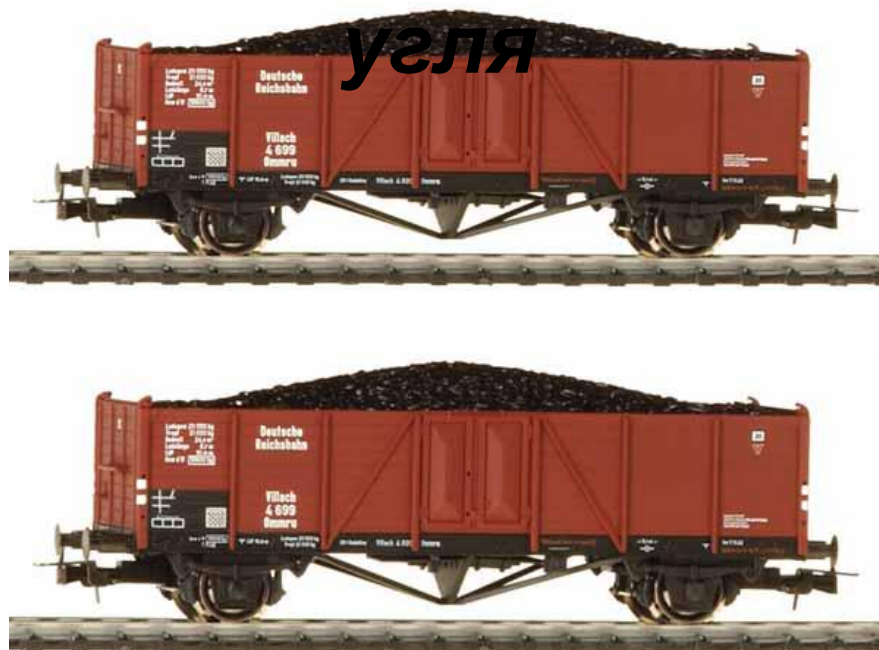
**Синтез**

**4 г**



**Сгорание**

**2 вагонов каменного  
угля**



**Удельная энергия связи-  
энергия связи,  
приходящаяся**

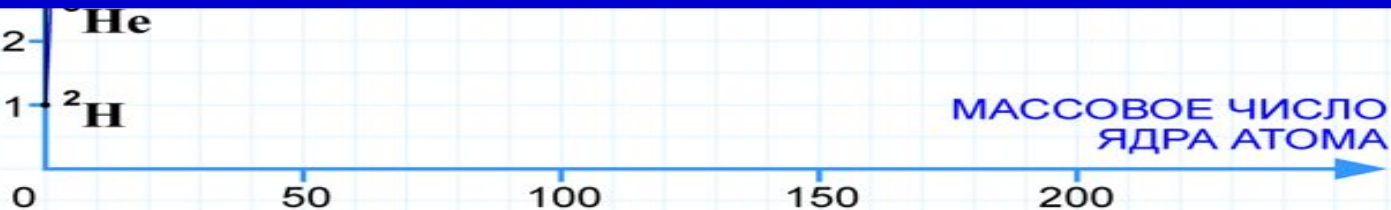
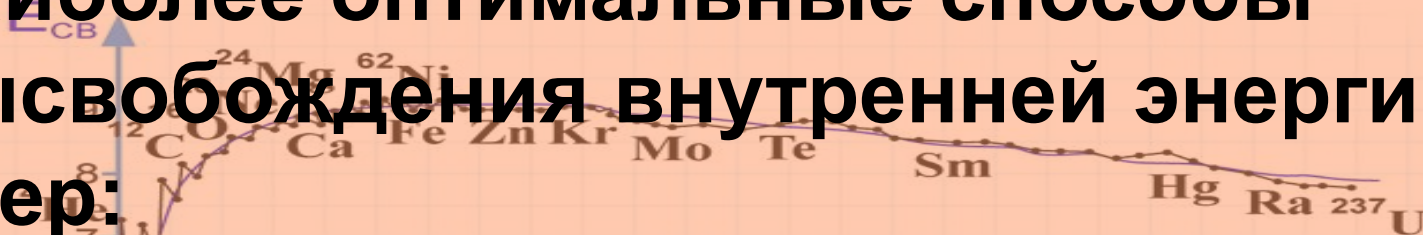
$$E_{уд} = \frac{E_{св}}{A}$$

**на один нуклон ядра**

Наиболее оптимальные способы  
высвобождения внутренней энергии  
ядер:

- деление тяжелых ядер;

- синтез легких ядер.





***Часть 2***  
***Ядерные***  
***реакции***

# Ядерные реакции -

искусственные преобразования

## Условия:

- 1) Частицы вплотную приближаются к ядру и попадают в сферу действия ядерных сил;
- 2) Частицы должны обладать большой

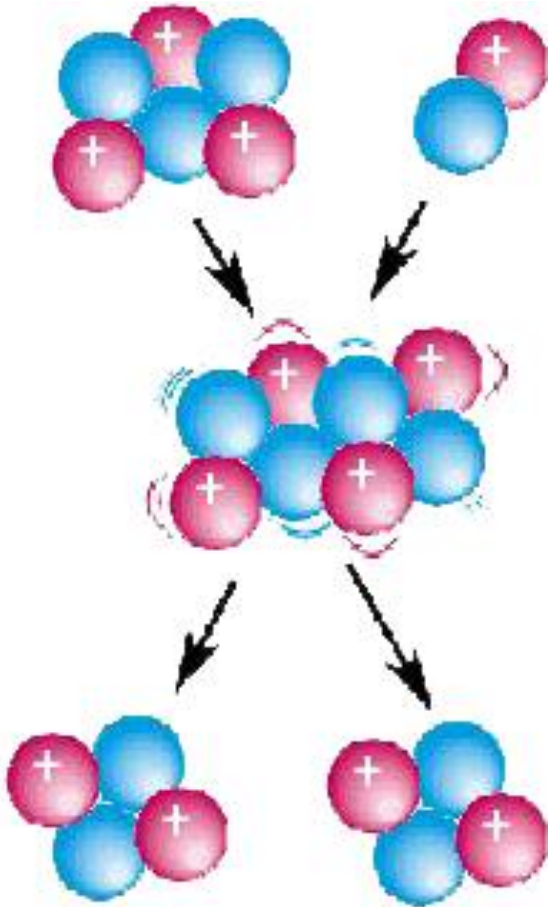
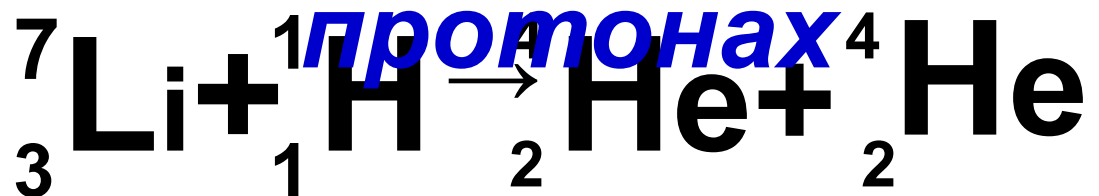


# Первые ядерные

## реакции

Э. Резерфорд, 1932

2.  
Ядерная реакция  
на быстрых



# Классификация ядерных реакций:

**1. По энергии частиц, которые их вызывают:**

малые энергии  $\approx 100$  эВ; средние  $\approx 1$  МэВ;  
высокие  $\approx 50$  МэВ.

**2. По виду ядер, которые участвуют в реакции:**

реакции на легких ядрах ( $A < 50$ ), средних  
( $50 < A < 100$ )

и тяжелых ядрах ( $A > 100$ );

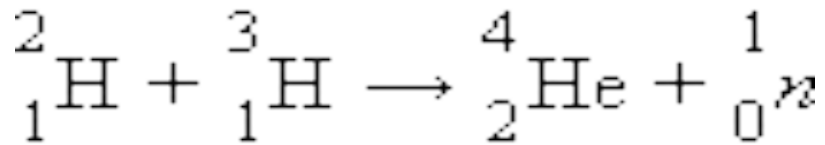
**3. По природе бомбардирующих частиц:**

реакции на нейтронах, квантах, заряженных  
частицах;

**Энергетический выход  
ядерных реакций  $E = \Delta m \cdot c^2$  -  
разность энергий покоя ядер и  
частиц**

**до реакции и после реакции**

**Приме**



$$\Delta m = (m_{{}^2_1\text{H}} + m_{{}^3_1\text{H}}) - (m_{{}^4_2\text{He}} + m_{{}^1_0\text{n}})$$

**Если  $E < 0$ , то энергия выделяется  
(экзотермическая);**

**Если  $E > 0$ , то энергия поглощается  
(эндотермическая).**

# Ядерные реакции на нейтронах

1934 г., Э.Ферми - облучали нейтронами почти все элементы периодической системы.

Нейтроны, не имея заряда, беспрепятственно проникают в атомные



Реакции на быстрых нейтронах.  
Реакции на медленных нейтронах  
(более эффективны, чем быстрые;  
n замедляют в обычной воде)



# Деление ядер

Открытие в 1938 г. О.Ган, Ф. Штрассман

Объяснение в 1939 г. О.Фриш, Л. Мейтнер

При бомбардировке нейтронами  $^{235}\text{U}$  и образуется 80 различных ядер. Наиболее вероятное деление на  $^{91}\text{Kr}$  и  $^{142}\text{Ba}$

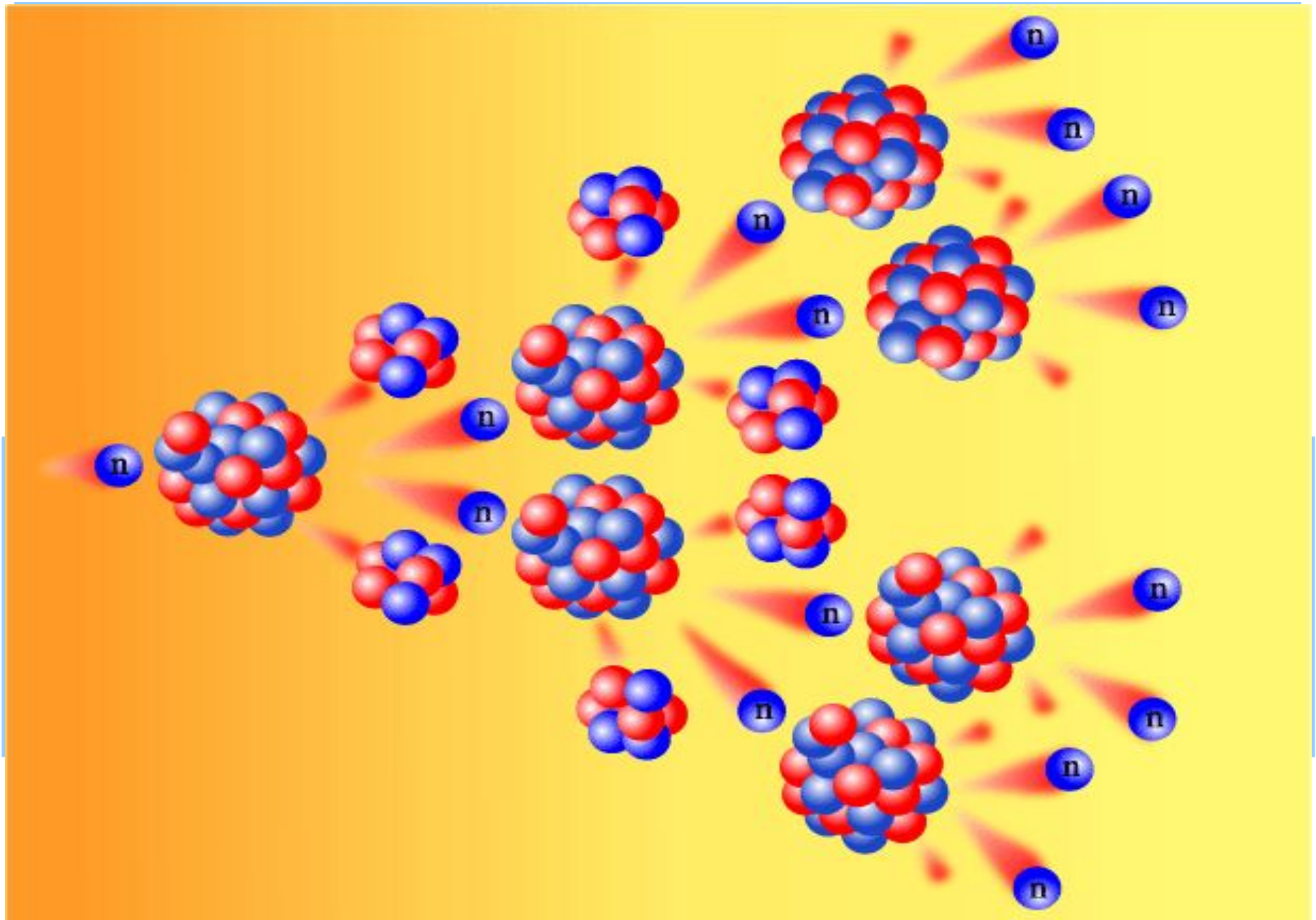
в соотношении 2/3



осколок

вторичные нейтроны

**Часть**  
**Цепная**  
**3**  
**ядерная**  
**реакция**



Для осуществления цепной реакции  
необходимо,  
чтобы среднее количество освобожденных

нейтронов  
с течением времени не уменьшалось.  
**Отношение количества  
нейтронов**

в каком-либо «поколении» к количеству  
нейтронов

в предыдущем «поколении» называют  
**коэффициентом размножения  
нейтронов  $k$**   
Если  $k < 1$ , реакция быстро затухает,  
Если  $k = 1$ , то реакция протекает с постоянной  
интенсивностью (управляемая),  
Если  $k > 1$ , то реакция развивается лавинно  
(неуправляемая) и приводит к ядерному взрыву

4-го поколения

# **Коэффициент размножения определяют следующие факторы:**

- 1) Захват медленных нейтронов ядрами  $^{235}\text{U}$  и  
или захват быстрых нейтронов ядрами  $^{235}\text{U}$   $^{236}\text{U}$   
и и и  
с последующим делением.**
- 2) Захват нейтронов ядрами урана без  
деления.**
- 3) Захват нейтронов продуктами деления,  
замедлителем и конструктивными  
элементами установки.**
- 4) Вылет нейтронов наружу из вещества,  
которое делится.**

**Чтобы уменьшить вылет нейтронов из куска урана увеличивают массу урана (масса растёт быстрее, чем площадь поверхности, если форма - шар).**

**Минимальное значение массы урана, при которой возможна цепная реакция, называется критической массой.**

**В зависимости от устройства установки и типа горючего критическая масса изменяется от 250 г до сотен килограммов**



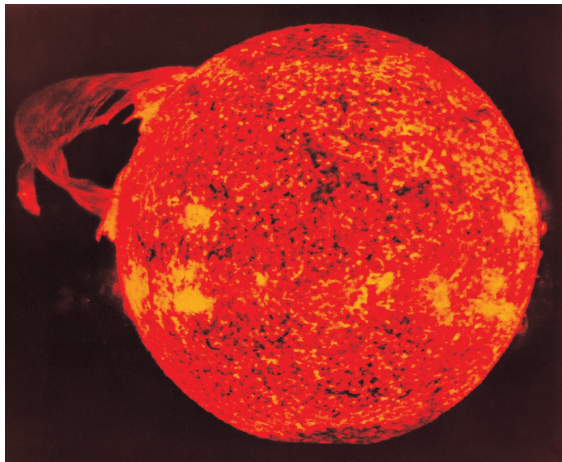
**Часть**

**Термоядерн  
ый синтез**

# Термоядерная реакция

реакция слияния легких ядер при  
очень

высокой температуре,  
сопровождаясь выделением  
Энергетически очень  
энергии



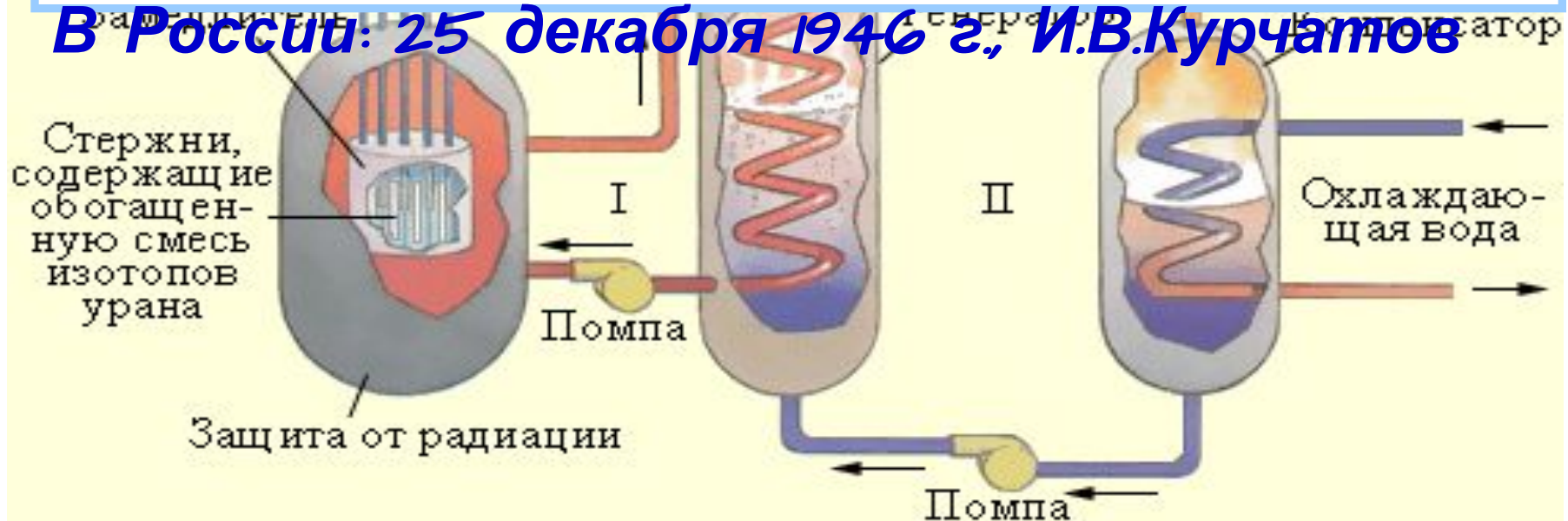
1. Самоподдерживающееся - в недрах Земли, Солнца и других звезд.
2. Неуправляемая - водородная бомба!!!
3. Ведутся работы по осуществлению

**Часть**  
**Я**~~5~~**дерный**  
**реактор**

**Ядерный реактор - установка, в которой осуществляется управляемая цепная реакция**

**Первый ядерный реактор: США, 1942 г., Э. Ферми, деление ядер урана.**

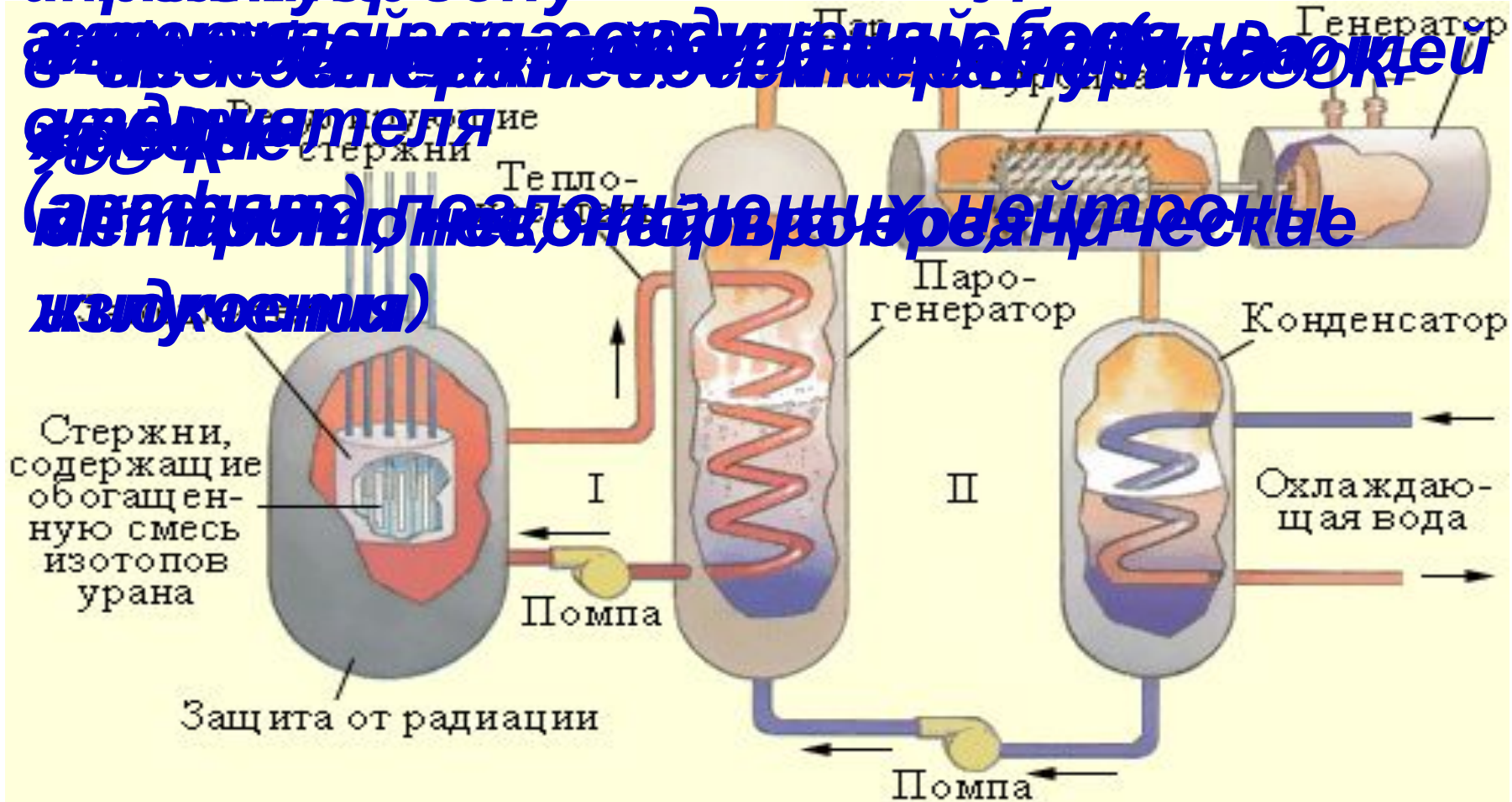
**В России: 25 декабря 1946 г., И.В.Курчатов**



# Условия работы:

до 5% ураном-235,

автоматическое регулирование в аварийных ситуациях (автоматическое регулирование)



**Часть**  
**Применение**  
**6**  
**ядерной**  
**энергии**



# Атомная

**Первая АЭС,  
1954 г.,  
г. Обнинск,  
мощность 5000  
кВт**

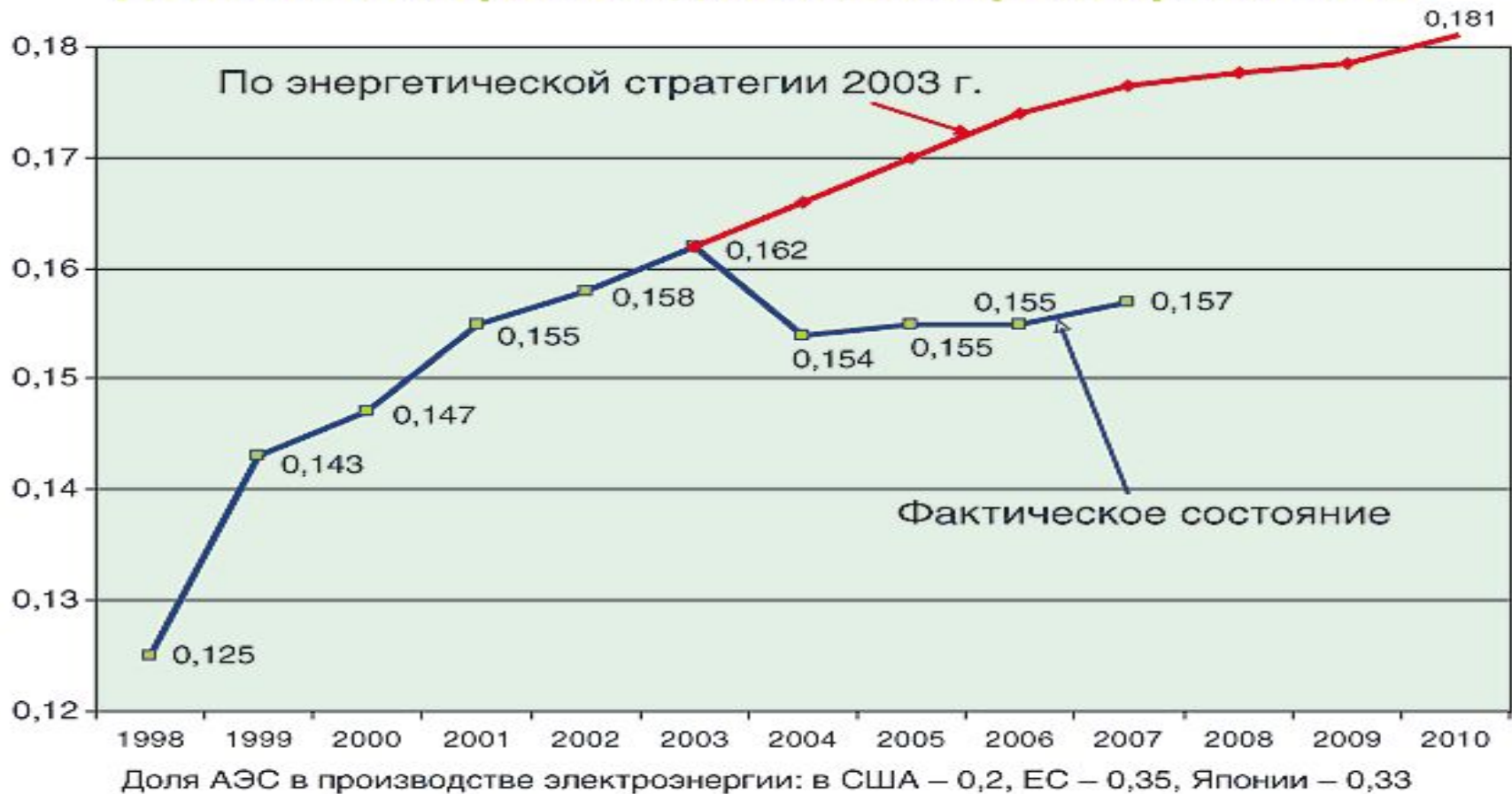


# Атомная энергетика



# Атомная

## Доля АЭС в производстве электроэнергии в РФ



# Схема устройства

аварийный запас воды  
для охлаждения



ах -

1) Нельзя размещать  
в густонаселенных

**потенциальная угроза  
радиоактивного  
заражения!!!!**

2) Сложности с захоронением  
радиоактивных отходов и

демонтажем отслуживших свой  
золотой



# Ядерная энергия в мирных целях





# **В 1955 г. основано**

## **МАГАТЭ**

### **МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ (МАГАТЭ)**

*является межправительственной организацией, которая на основе соглашения с ООН с 1956 г. входит в общую систему Объединенных Наций.*

*МАГАТЭ уполномочено:*

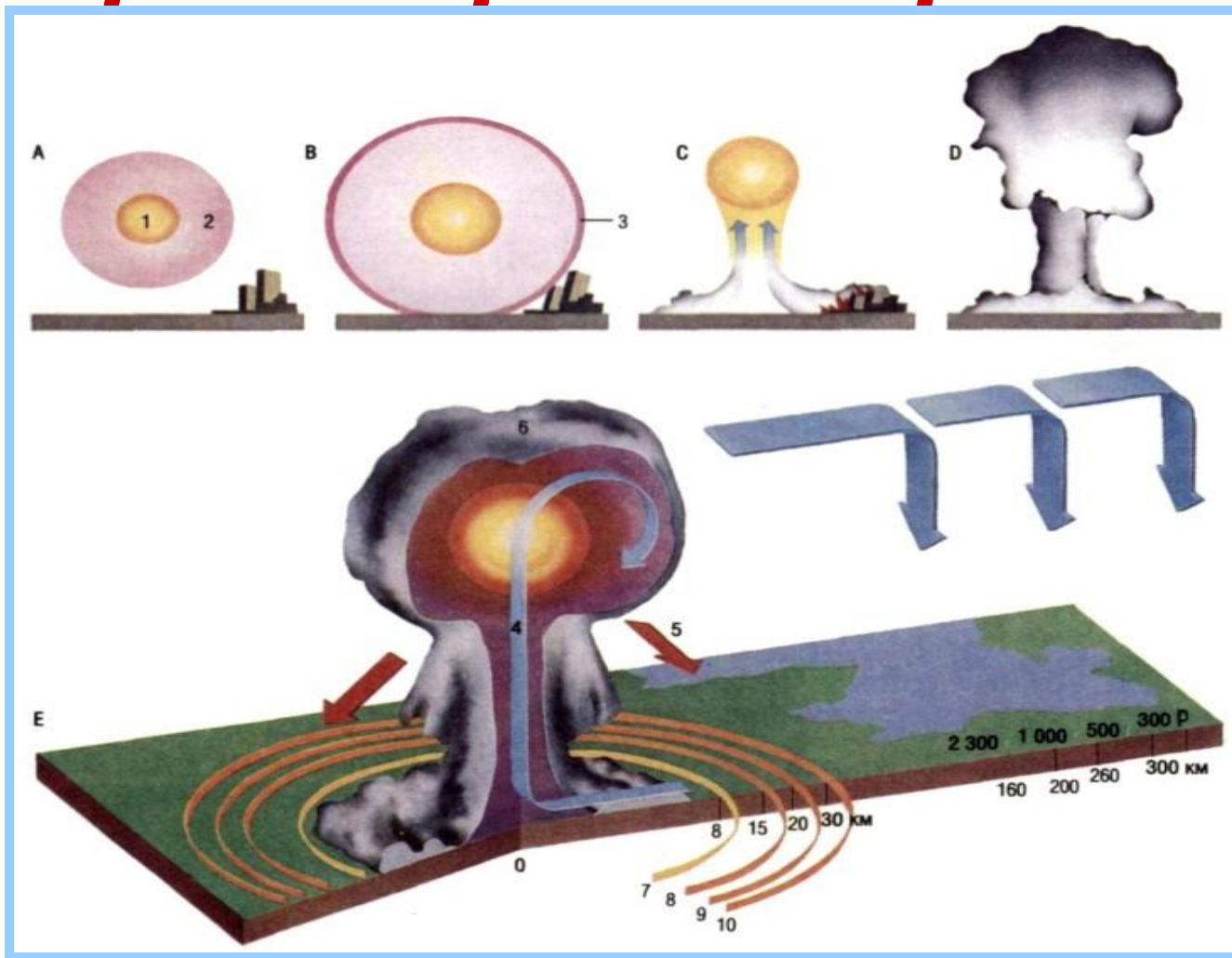
- поощрять и поддерживать изучение, развитие и практическое использование атомной энергии во всем мире в гражданских целях;*
- посредничать в обмене услугами и материалами между своими членами по их желанию;*
- обеспечивать использование материалов, услуг и оборудования для развития атомной энергетики в мирных целях;*
- поощрять обмен научной и технической информацией в сфере мирного использования атомной энергии;*
- предпринимать меры безопасности для предотвращения использования ядерных материалов в военных целях;*
- вместе с отвечающими за эти вопросы органами и институтами системы ООН определять и устанавливать нормы в области безопасности и охраны здоровья.*

# Ядерное оружие

**... в отличие от обычного оружия, оказывает разрушающее действие за счет ядерной, а не механической или химической энергии. По разрушительной мощи только взрывной волны одна единица ядерного оружия может превосходить тысячи обычных бомб и артиллерийских снарядов. Кроме того, ядерный взрыв оказывает на все живое губительное**



# Радиус поражения при ядерном взрыве



**Испытания ядерного оружия впервые были проведены на Аламогордской базе ВВС, расположенной в пустынной части шт. Нью-Мексико. Плутониевое ядерное устройство, установленное на стальной башне, было успешно взорвано 16 июля 1945. Энергия взрыва приблизительно соответствовала 20 кт тротила. При взрыве образовалось грибовидное облако, башня обратилась в пар, а характерный для пустыни грунт под ней расплавился, превратившись в сильно радиоактивное стеклообразное вещество. (Через 16 лет после взрыва уровень радиоактивности в этом месте все еще был выше нормы.) Информация об удачном опытном взрыве сохранялась в тайне от общественности, но была передана президенту Г.Трумену, который в то время находился в Потсдаме на переговорах о послевоенном устройстве Германии.**

**Проинформированы были также У.Черчилль и И.<sup>35</sup> Сталин**

# **Первая атомная бомба**

**СССР - «РДС-1»**

**Ядерный заряд впервые испытан 29 августа 1949 года на Семипалатинском полигоне. Мощность заряда до 20 килотонн тротилового эквивалента.**

**Музей РФЯЦ-ВНИИТФ г.Снежинск**





**Бомба предназначалась для проведения натурных испытаний ядерных**

**зарядов большой мощности (20-50 мегатонн).**

**Она представляет собой**

**баллистическое тело обтекаемой формы с хвостовым оперением.**

**Диаметр 2 м, длина 8 м, масса 30 т. Для обеспечения возможности**

**транспортировки авиабомбы такого большого калибра была проведена**

**специальная доработка самолёта Ту-95, позволившая разместить на нём**

**авиабомбу, частично заглубив её внутри фюзеляжа.**

**Бомбометание**

**производилось на дозвуковой скорости. Для обеспечения безопасности**

**экипажа самолёта-носителя от поражающих факторов сброшенной им**

**бомбы была разработана парашютная система: 2 вытяжных парашюта**

**площадью 0,52 и 5 м<sup>2</sup>, четыре тормозных - по 42 м<sup>2</sup> и основной**

**парашют - площадью 1600 м<sup>2</sup>. Перегрузки не превышали 5 единиц**

**Ядерная бомба  
для применения со сверхзвуковых  
самолётов**



# **Отделяемая моноблочная головная часть баллистической ракеты**

**Пуск осуществляется с подводной лодки на дальность до 1500 км.**

**В этом ракетном комплексе впервые реализован подводный пуск**

**ракеты с глубины 40-50 м. Изделие имеет в своём составе термоядерный заряд мегатонного класса.**

**Габаритные размеры: длина 2300 мм, диаметр 1304 мм.**

**Масса 144 кг.**

**Изделие разрабатывалось и испытывалось в начале 1960-х гг.,**

**принято на вооружение в 1963 г.**

**ВНИИТФ г. Снежинск.**



**Музей РФЯЦ**







## ***Головная часть межконтинентальной баллистической ракеты***

***Длина 1893 мм, диаметр мидела 1300 мм, масса 736 кг.***

***Заряд термоядерный мегатонного класса. Корпус имеет***

***многослойную конструкцию, предусматривающую***

***силовую оболочку и теплозащиту. Наконечник корпуса***

***выполнен из радиопрозрачного материала.***



A large, blue, cylindrical hydrogen bomb is displayed in a museum. The bomb is mounted on a metal stand and is the central focus of the image. In the background, there are various museum exhibits, including framed photographs and a blue flag with a white emblem. The text is overlaid on the image in a bold, red font.

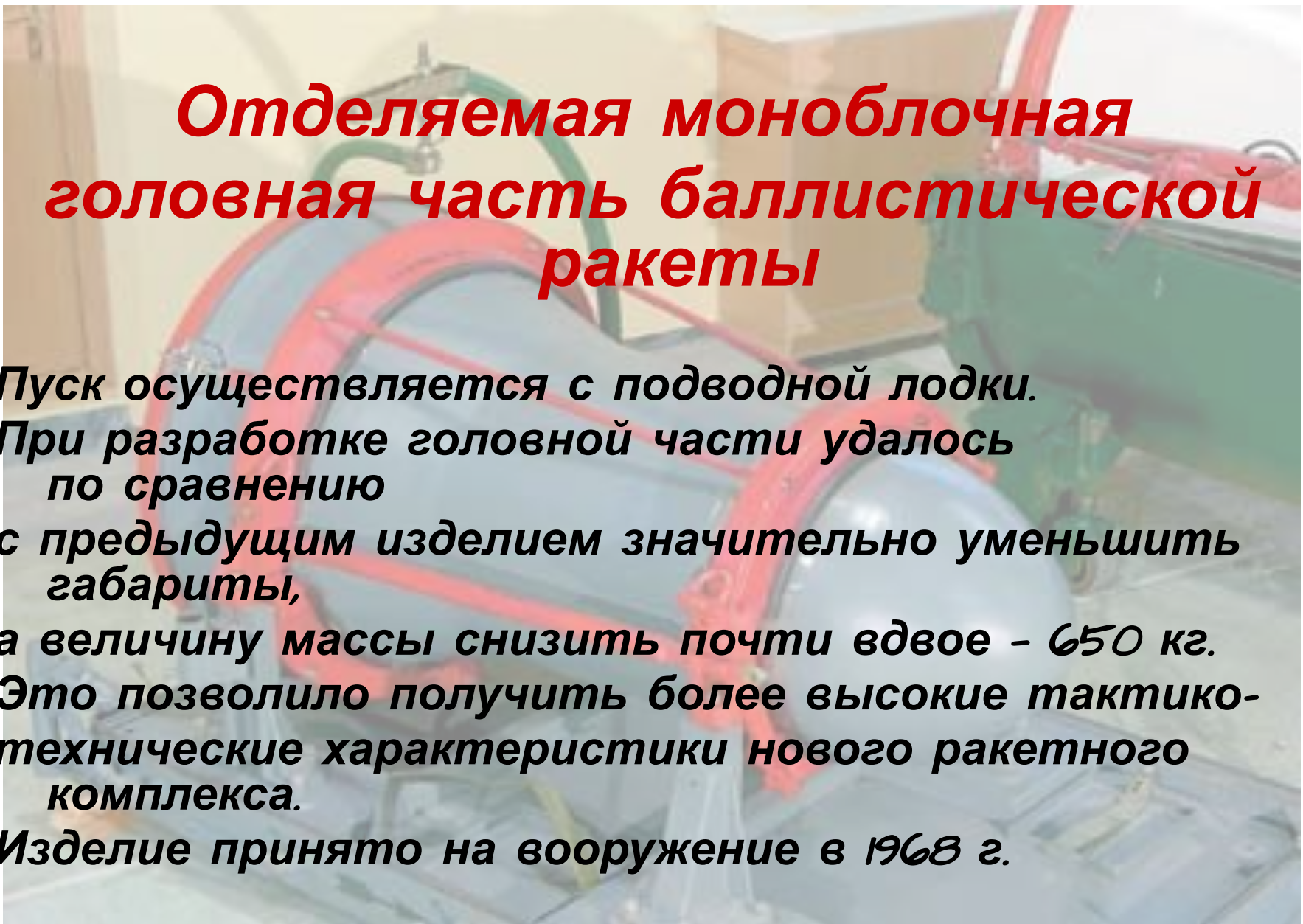
# **Водородная бомба для стратегической авиации**

**Самая первая водородная бомба,  
освоенная серийным производством  
и принятая на вооружение  
стратегической  
авиации. Окончание разработки -  
1962 г.**

**Музей РФЯЦ-ВНИИТФ г.Снежинск.**

# **Ракета оперативно-тактического назначения**

**Ракета оперативно-тактического  
назначения,  
известная в мире как твёрдотопливная  
ракета  
«Skad» наземного базирования, имеет две  
боевые  
части: неядерную и ядерную. Длина 11 м,  
диаметр  
880 мм, дальность стрельбы до 370 км.  
По договору  
о сокращении ракет средней и малой  
дальности все**



## **Отделяемая моноблочная головная часть баллистической ракеты**

**Пуск осуществляется с подводной лодки.  
При разработке головной части удалось  
по сравнению  
с предыдущим изделием значительно уменьшить  
габариты,  
а величину массы снизить почти вдвое - 650 кг.  
Это позволило получить более высокие тактико-  
технические характеристики нового ракетного  
комплекса.  
Изделие принято на вооружение в 1968 г.**



# **Боевой блок для первой разделяющейся головной части баллистической ракеты морского базирования**

**Предназначалась для оснащения  
усовершенствованной ракеты нового  
поколения.**

**В составе изделия применены  
малогабаритный  
термоядерный заряд и приборы системы  
автоматики, имеющие минимальные  
размеры.**

**Плотная компоновка составных частей  
боевого**

**блока позволила создать лёгкое  
и малогабаритное**

**изделие, удовлетворяющее требованиям**

## ***Капсулы с ключами***

***Капсулы с подлинными ключами от башен, на которых испытывались первый атомный и первый термоядерный заряды. Эти ключи переданы в музей участником испытаний Георгием Павловичем Ломинским, который последним покидал башни.***

***Музей РФЯЦ-ВНИИТФ г. Снежинск.***

# **Головная часть ракеты оперативно-тактического назначения**

**Изделие является неотделяемой частью ракеты.**

**Длина 2870 мм, диаметр мидела 880 мм, масса 950 кг. Заряд ядерный, мощностью несколько**

**десятков килотонн. Силовая оболочка корпуса**

**выполнена из стали. Корпус имеет теплозащиту**

**и теплоизоляцию, наконечник выполнен**

**из радиопрозрачного материала.**

**Модификация с**

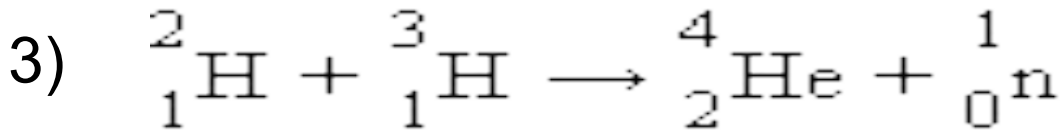
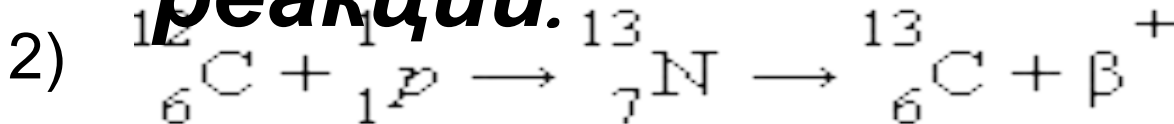
**поддерживаемой боевой частью**

# Блок контроля



**Найдите энергетический выход ядерной реакции.**

1) **Определите тип реакции.**





# Глоссарий

Дефект масс **Дефект масс  $\Delta M$**  - разность масс покоя нуклонов, составляющих ядро атома, и массы целого ядра

Коэффициент размножения нейтронов **Коэффициент размножения нейтронов  $k$**  - отношение количества нейтронов в каком-либо «поколении» к количеству нейтронов

Критическая масса - минимальное значение массы урана, при которой возможна цепная реакция

МАГАТЭ (Международное Агентство По Атомной Энергии), основано в 1955 г.

Термоядерная реакция - реакция слияния легких ядер при очень высокой температуре, сопровождающаяся выделением энергии

**Удельная энергия связи** - энергия связи, приходящаяся на один нуклон ядра атома

**Цепной ядерной реакцией** называется реакция, в которой частицы, вызывающие её (нейтроны), образуются как продукты этой реакции

**Энергетический выход ядерных реакций** **Энергетический выход ядерных реакций**  $E = E = \Delta E = \Delta m \cdot c^2$  - разность энергий покоя ядер и частиц до реакции и после реакции

**Энергия связи атомного ядра** – энергия, которая необходима для полного расщепления ядра на отдельные нуклоны

**Ядерные реакции** – искусственные преобразования атомных ядер при взаимодействии их с элементарными частицами или друг с другом

**Ядерный реактор** – установка, в которой осуществляется управляемая цепная реакция деления тяжелых ядер

# **Литература**

- 1. Превращение элементов, Казаков Б.И., М., Знание, 1977;**
- 2. Ядерный шторм, Боруля В., М., Моск.рабочий, 1980,**
- 3. И.В.Курчатов и ядерная энергетика, Сивинцев Ю., М.,Атомиздат, 1980,**
- 4. Ядерная энергетика (вчера, сегодня, завтра), Сивинцев Ю., М.,Атомиздат, 1980,**
- 5. Мирные профессии нейтронов, Журбин Е.А., М.,Знание, 1980**