




# Ядерная энергетика

Школа № 625  
Н.М.Турлакова

# Атомная энергетика

- §66. Деление ядер урана.
- §67. Цепная реакция.
- §68. Ядерный реактор.
- §69. Атомная энергетика.
- §70. Биологическое действие радиации.
- §71. Получение и применение радиоактивных изотопов.
- §72. Термоядерная реакция.
- §73. Элементарные частицы. Античастицы.

## §66. Деление ядер урана

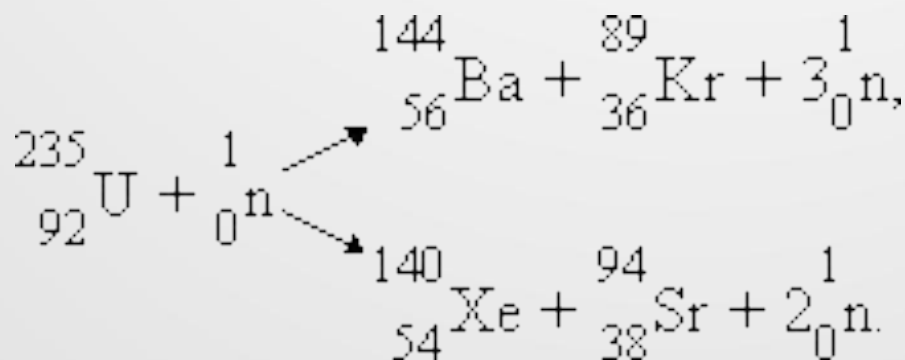
1. Кто и когда открыл деление ядер урана?
2. Каков механизм деления ядра?
3. Какие силы действуют в ядре? Что происходит при делении ядра?
4. Что происходит с энергией при делении ядра урана? 
5. Как изменяется температура окружающей среды при делении ядер урана?
6. Как велика выделенная энергия?

# Деление тяжелых ядер.

- В отличие от радиоактивного распада ядер, сопровождающегося испусканием  $\alpha$ - или  $\beta$ -частиц, реакции деления – это процесс, при котором нестабильное ядро делится на два крупных фрагмента сравнимых масс.
- В 1939 году немецкими учеными О. Ганом и Ф. Штрассманом было открыто деление ядер урана. Продолжая исследования, начатые Ферми, они установили, что при бомбардировке урана нейтронами возникают элементы средней части периодической системы – радиоактивные изотопы бария ( $Z = 56$ ), криптона ( $Z = 36$ ) и др.
- Уран встречается в природе в виде двух изотопов: урана-238 и урана-235 (99,3 %) и (0,7 %). При бомбардировке нейтронами ядра обоих изотопов могут расщепляться на два осколка. При этом реакция деления урана-235 наиболее интенсивно идет на медленных (тепловых) нейтронах, в то время как ядра урана-238 вступают в реакцию деления только с быстрыми нейтронами с энергией порядка 1 МэВ.

# Цепная реакция

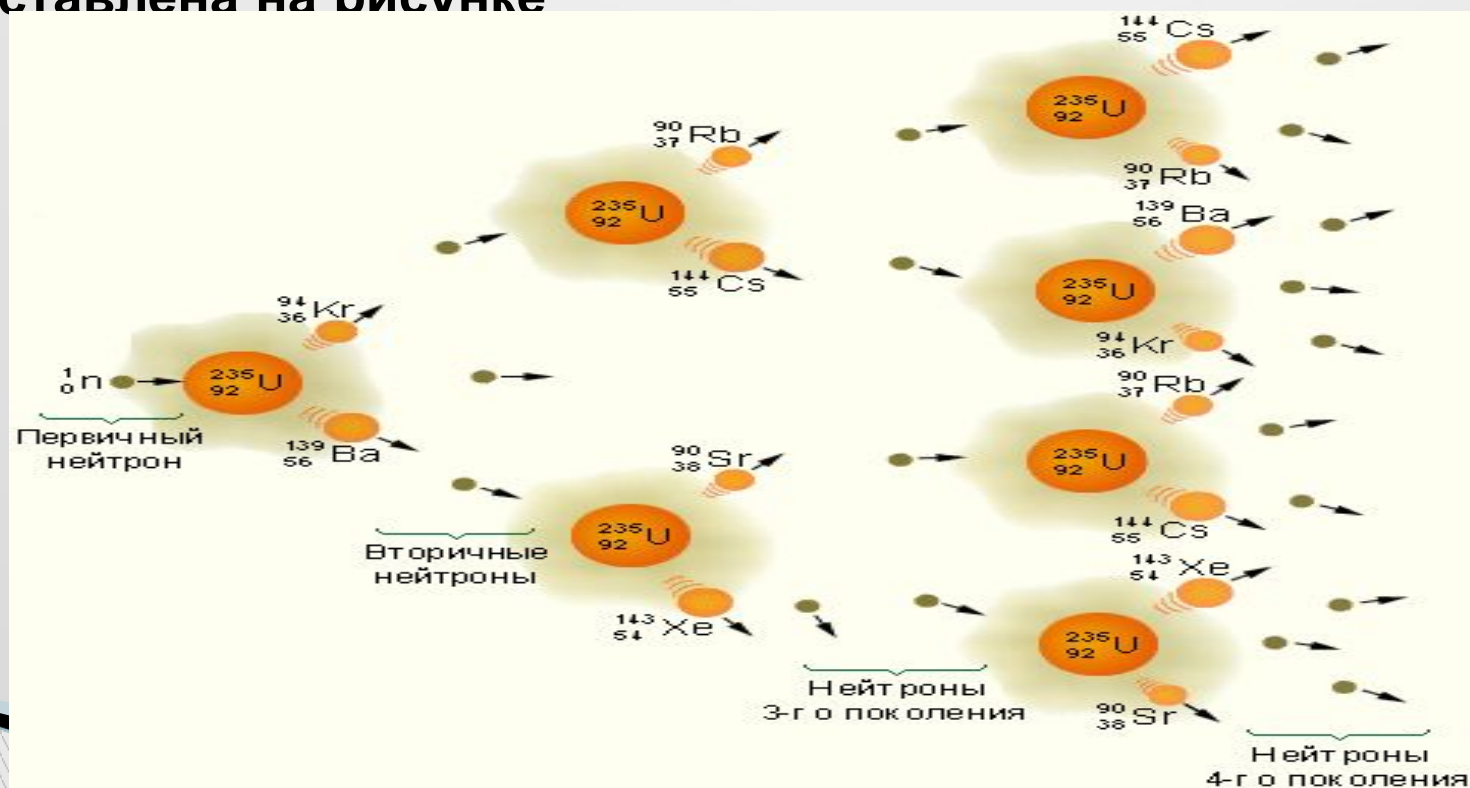
- Основной интерес для ядерной энергетики представляет реакция деления ядра урана-235.
- В настоящее время известны около 100 различных изотопов с массовыми числами примерно от 90 до 145, возникающих при делении этого ядра. Две типичные реакции деления этого ядра имеют вид:



- Обратите внимание, что в результате деления ядра, инициированного нейтроном, возникают новые нейтроны, способные вызвать реакции деления других ядер. Продуктами деления ядер урана-235 могут быть и другие изотопы бария, ксенона, стронция, рубидия и т. д.

При делении ядра урана-235, которое вызвано столкновением с нейтроном, освобождается 2 или 3 нейтрона. При благоприятных условиях эти нейтроны могут попасть в другие ядра урана и вызвать их деление. На этом этапе появятся уже от 4 до 9 нейтронов, способных вызвать новые распады ядер урана и т. д. Такой лавинообразный процесс называется *цепной реакцией*

- Схема развития цепной реакции деления ядер урана представлена на рисунке



# Коэффициент размножения

- Для осуществления цепной реакции необходимо, чтобы так называемый **коэффициент размножения нейтронов** был больше единицы. Другими словами, в каждом последующем поколении нейтронов должно быть больше, чем в предыдущем.
- Коэффициент размножения определяется не только числом нейтронов, образующихся в каждом элементарном акте, но и условиями, в которых протекает реакция – часть нейтронов может поглощаться другими ядрами или выходить из зоны реакции. Нейтроны, освободившиеся при делении ядер урана-235, способны вызвать деление лишь ядер этого же урана, на долю которого в природном уране приходится всего лишь 0,7 %.

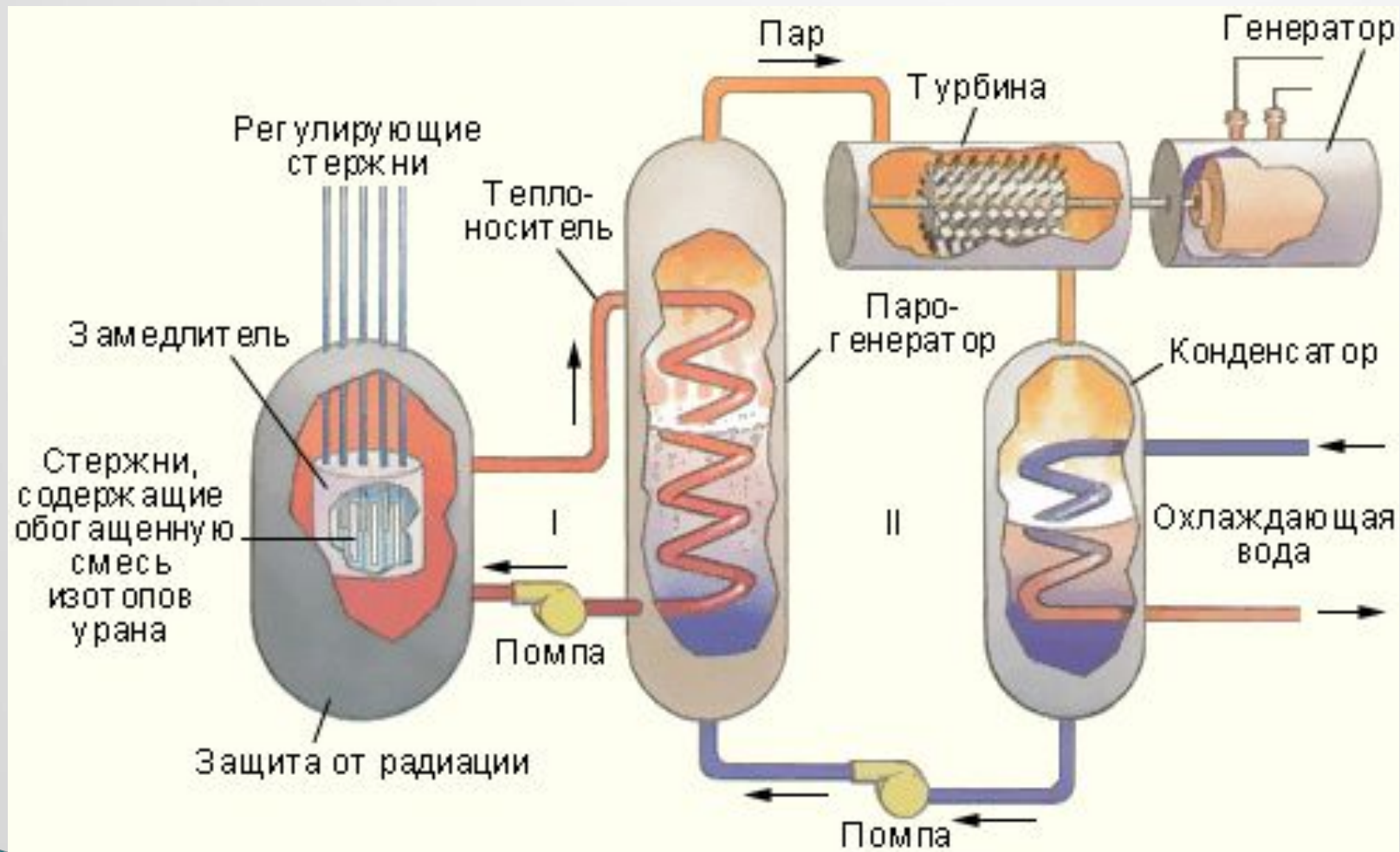
# Критическая масса

- Наименьшая масса урана, при которой возможно протекание цепной реакции, называется **критической массой**.
- Способы уменьшения потери нейтронов:
- Использование отражающей оболочки (из бериллия),
- Уменьшение количества примесей,
- Применение замедлителя нейтронов (графит, тяжелая вода),

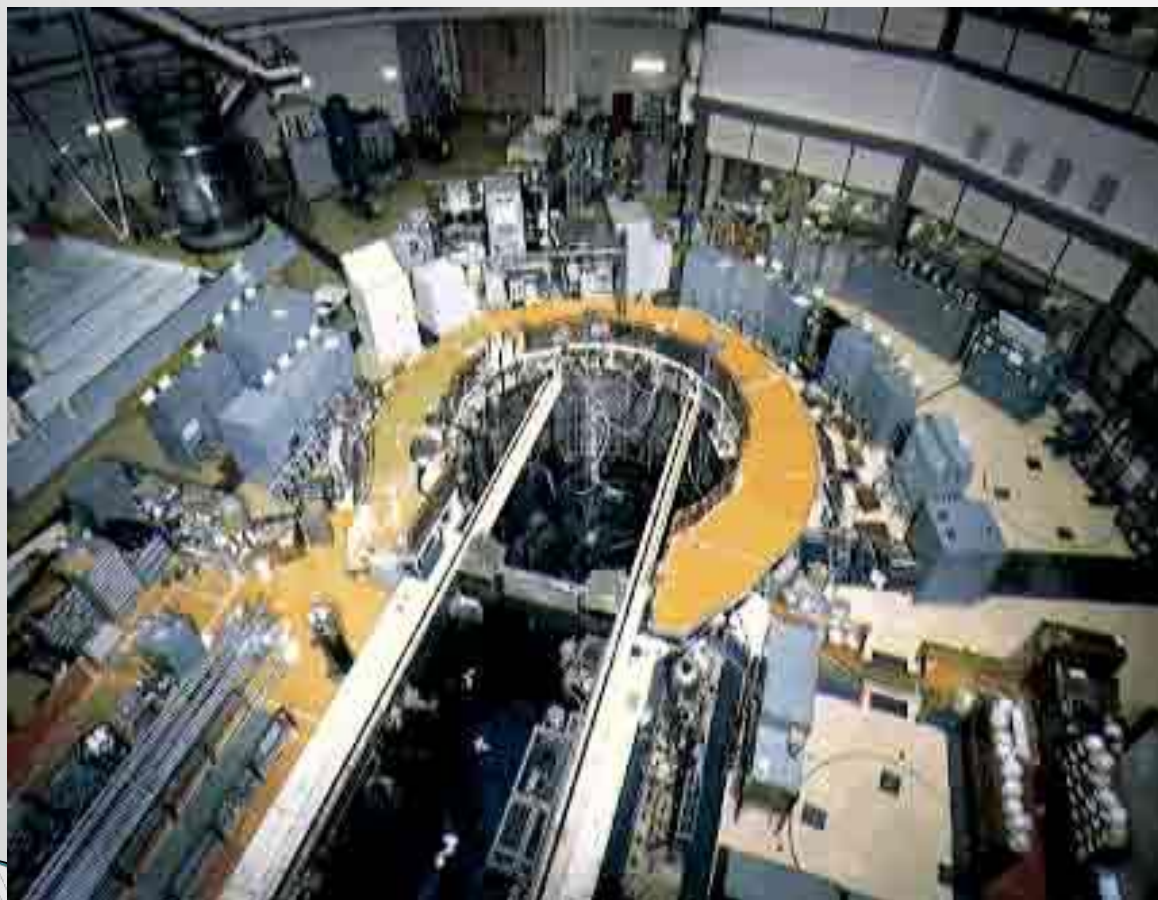
Для урана-235 -  $M_{кр} = 50 \text{ кг}$  ( $r=9 \text{ см}$ ).



# Схема ядерного реактора



В активной зоне ядерного реактора идет управляемая ядерная реакция с выделением большого количества энергии.



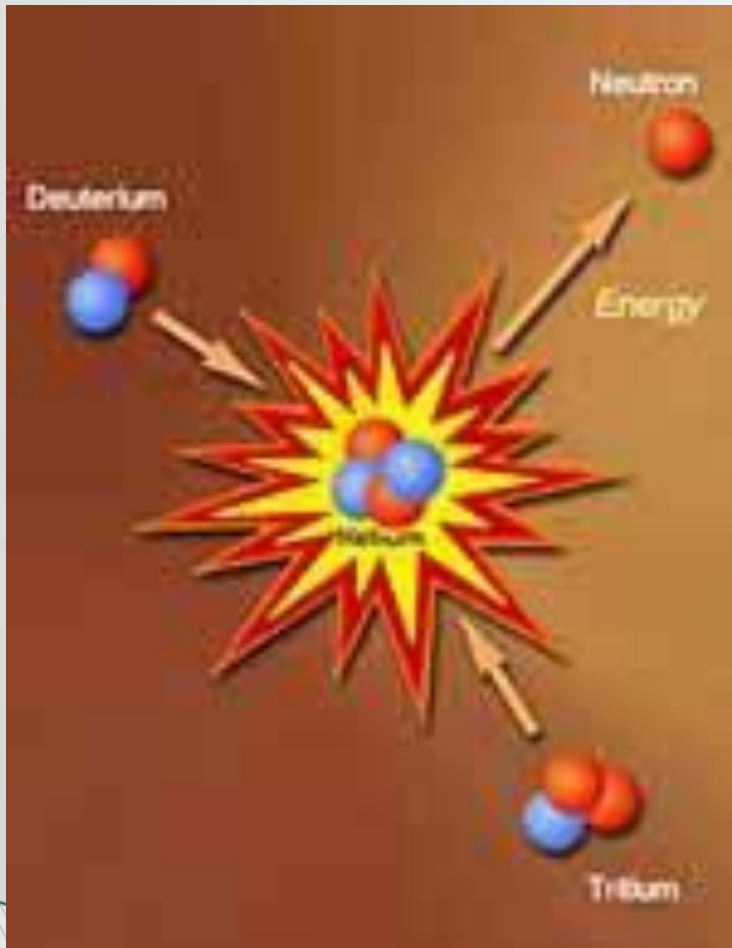
Первый ядерный реактор был построен в 1942 году в США под руководством **Э. Ферми.**

В нашей стране первый реактор был построен в 1946 году под руководством **И. В. Курчатова**

# Домашнее задание

- §66. Деление ядер урана.
- §67. Цепная реакция.
- §68. Ядерный реактор.
- Ответить на вопросы.
- Нарисовать схему реактора.
- Какие вещества и как применяются в ядерном реакторе? (письменно)

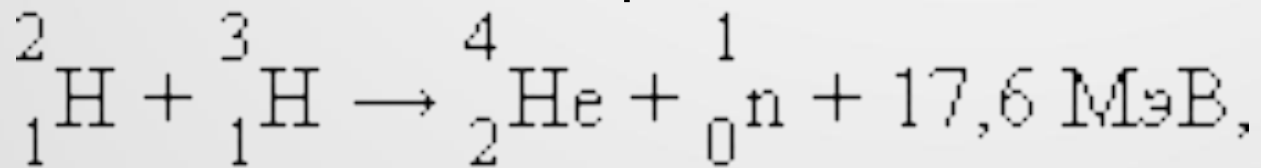
# Термоядерные реакции.



- Реакции слияния легких ядер носят название **термоядерных реакций**, так как они могут протекать только при очень высоких температурах.

# Термоядерные реакции.

- . Второй путь освобождения ядерной энергии связан с реакциями синтеза. При слиянии легких ядер и образовании нового ядра должно выделяться большое количество энергии.



Особенно большое практическое значение имеет то, что при термоядерной реакции на каждый нуклон выделяется **намного больше энергии**, чем при ядерной реакции,

например, при синтезе **ядра гелия** из ядер **водорода** выделяется энергия, равная 6 МэВ,

**а при делении ядра урана на один нуклон приходится » 0,9 МэВ.**

# Условия протекания термоядерной реакции

- Чтобы два ядра вступили в реакцию синтеза, они должны сблизиться на расстояние действия ядерных сил порядка  $2 \cdot 10^{-15}$  м, преодолев электрическое отталкивание их положительных зарядов. Для этого **средняя кинетическая энергия теплового движения** молекул должна превосходить **потенциальную энергию кулоновского взаимодействия**. Расчет необходимой для этого температуры  $T$  приводит к величине порядка  **$10^8$ – $10^9$  К**. Это чрезвычайно высокая температура. При такой температуре вещество находится в полностью ионизированном состоянии, которое называется **плазмой**.

# Управляемая термоядерная реакция

- - энергетически выгодная реакция. Однако она может идти лишь при очень высоких температурах (порядка несколько сотен млн. градусов). При большой плотности вещества такая температура может быть достигнута путем создания в плазме мощных электронных разрядов. При этом возникает проблема - трудно удержать плазму.

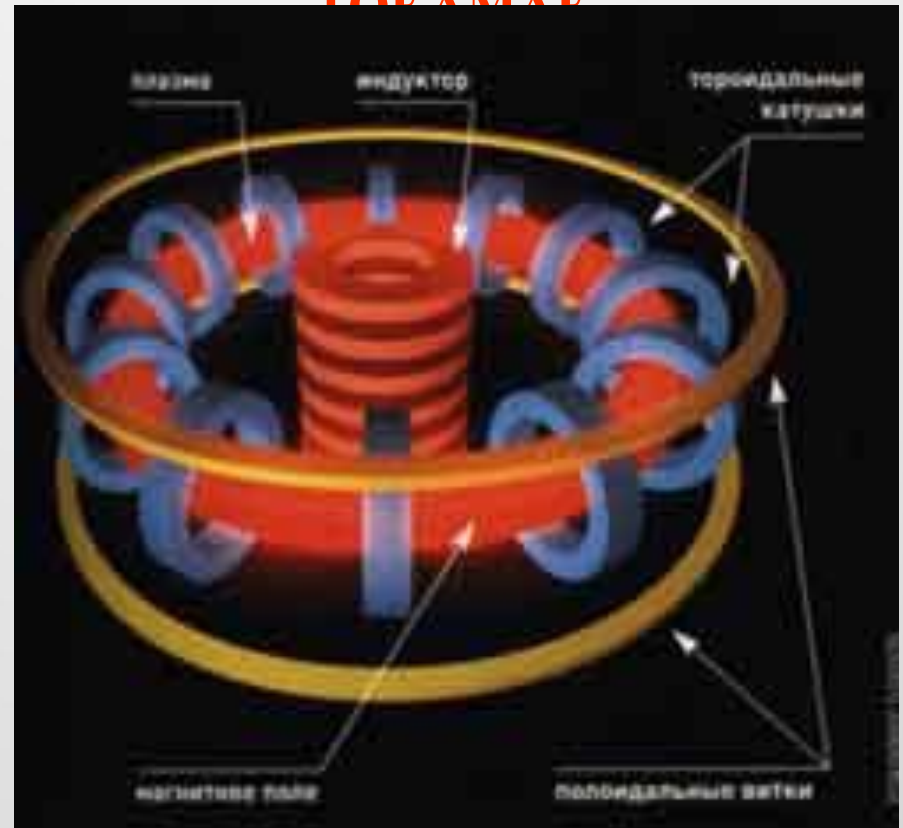
Самоподдерживающиеся термоядерные реакции происходят в звездах



# Энергетический кризис

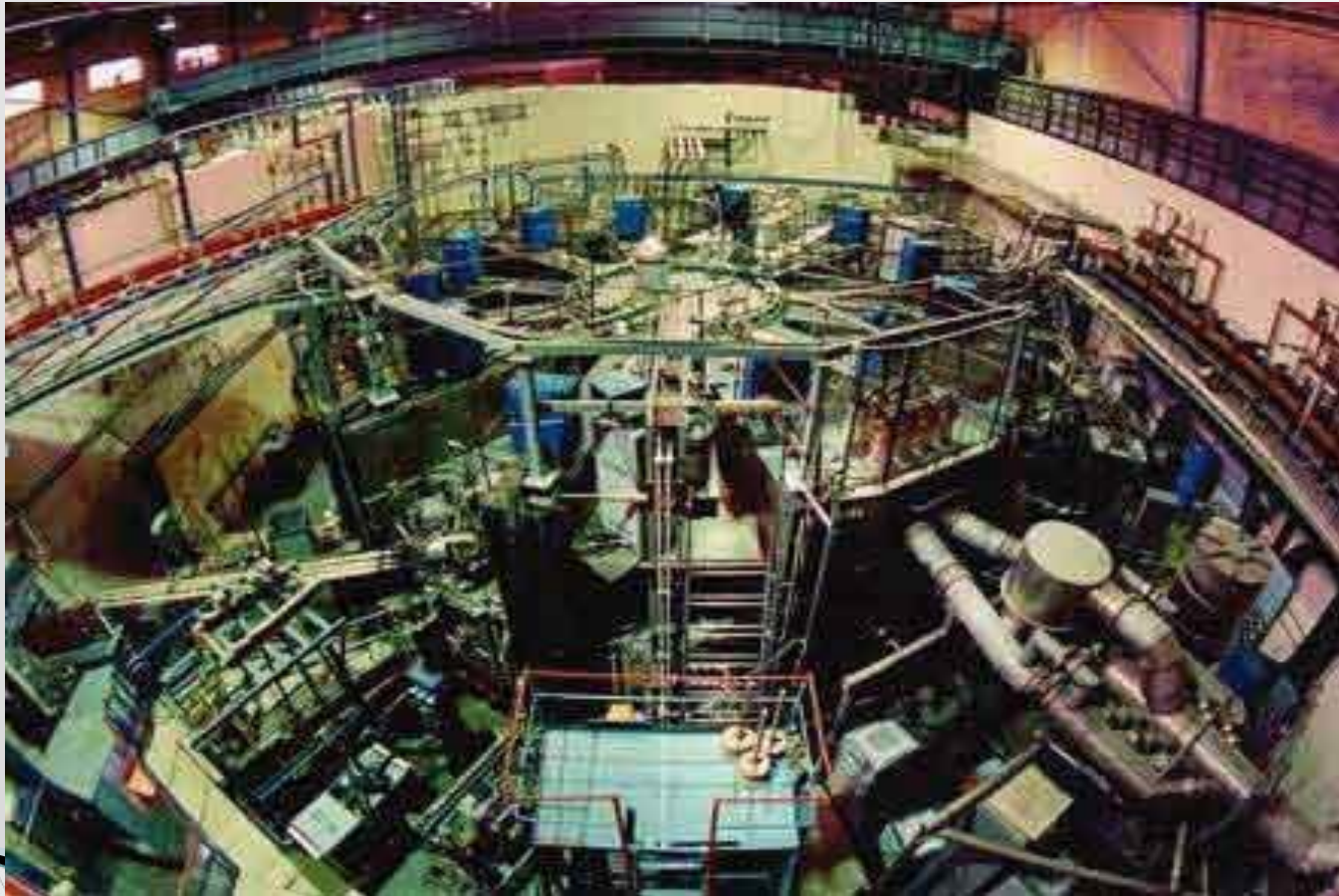
- стал реальной угрозой для человечества. В связи с этим ученые предложили добывать изотоп **тяжелого водорода - дейтерий** - из морской воды и подвергать реакции **ядерного расплава** при температурах около 100 миллионов градусов Цельсия. При ядерном расплаве дейтерий, полученный из одного килограмма морской воды будет способен произвести столько же энергии, сколько выделяется при сжигании **300 литров бензина**

ТОКАМАК



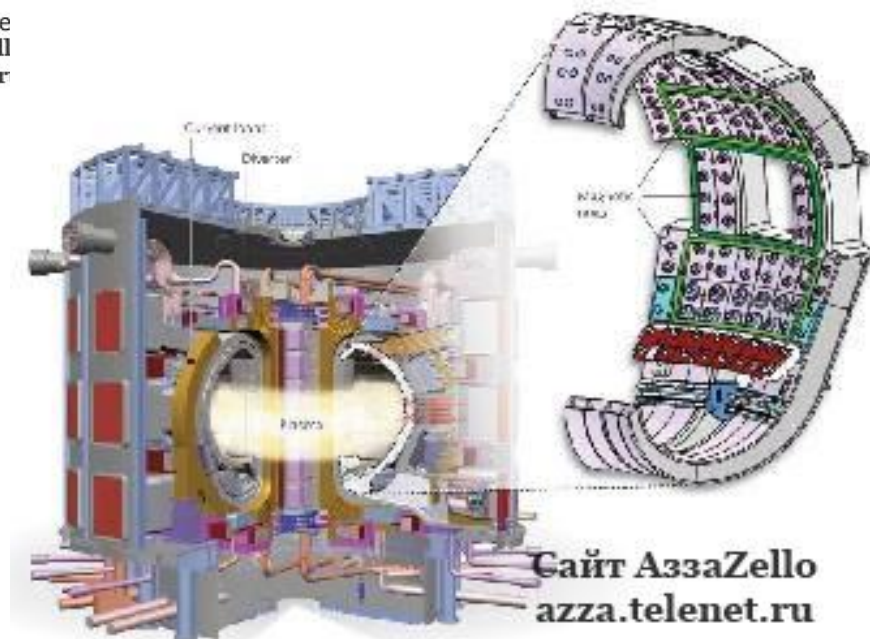
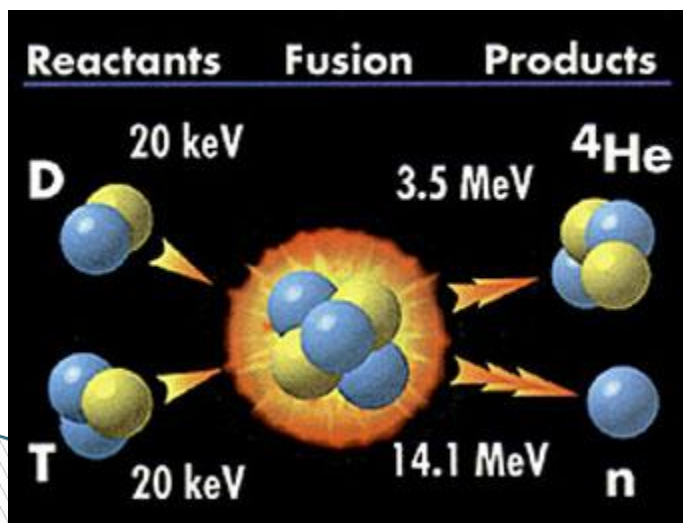
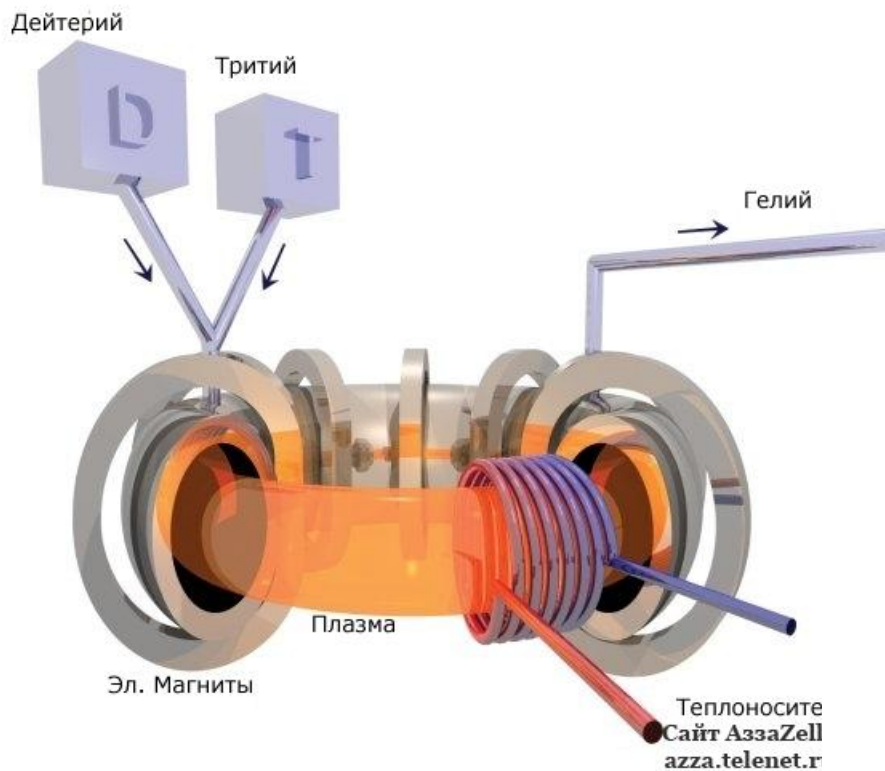


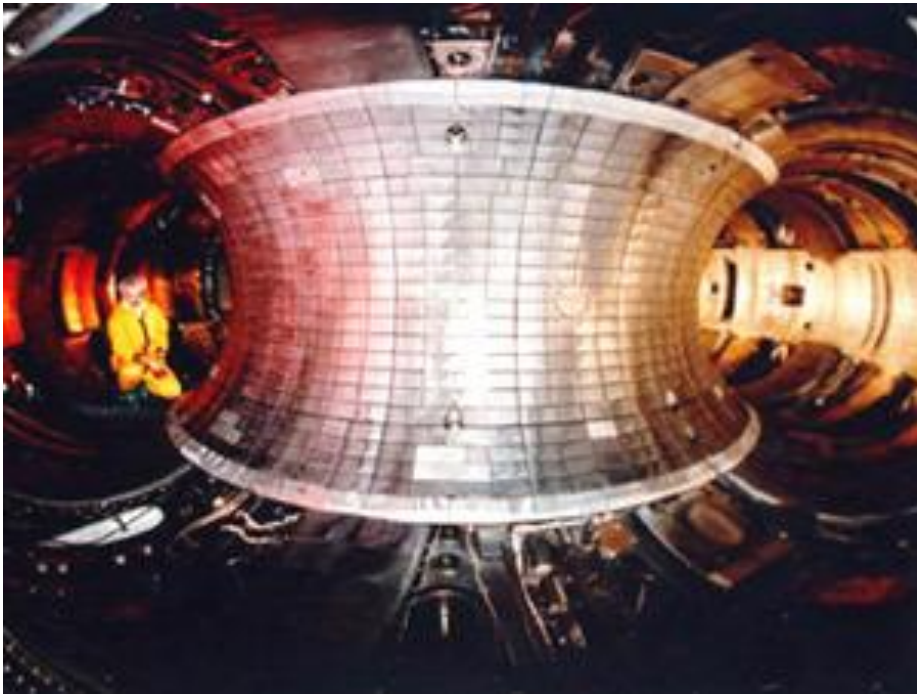
**Наиболее мощный современный ТОКАМАК, служащий только лишь для исследовательских целей , находится в городе Абингдон недалеко от Оксфорда. Высотой в 10 метров, он вырабатывает плазму и сохраняет ей жизнь пока всего лишь около 1 секунды.**



# ТОКАМАК (ТОроидальная КАмера с МАгнитными Катушками)

- это электрофизическое устройство, основное назначение которого – **формирование плазмы**.
- Плазма удерживается не стенками камеры, которые не способны выдержать её температуру, а **специально создаваемым магнитным полем**, что возможно при температурах около 100 млн. градусов, и сохранение её достаточно долгое время в заданном объеме. Возможность получения плазмы при сверхвысоких температурах позволяет осуществить **термоядерную реакцию синтеза ядер гелия** из исходного сырья, изотопов **водорода** (**дейтерия и трития**)





□ М.А. Леонтович возле "Токамака"

# Управляемые термоядерные реакции

- Основы теории управляемого термоядерного синтеза заложили в 1950 году **И. Е. Тамм** и **А. Д. Сахаров**, предложив удерживать **магнитным полем горячую плазму**, образовавшуюся в результате реакций.

Эта идея и привела к созданию термоядерных реакторов - **токамаков**.

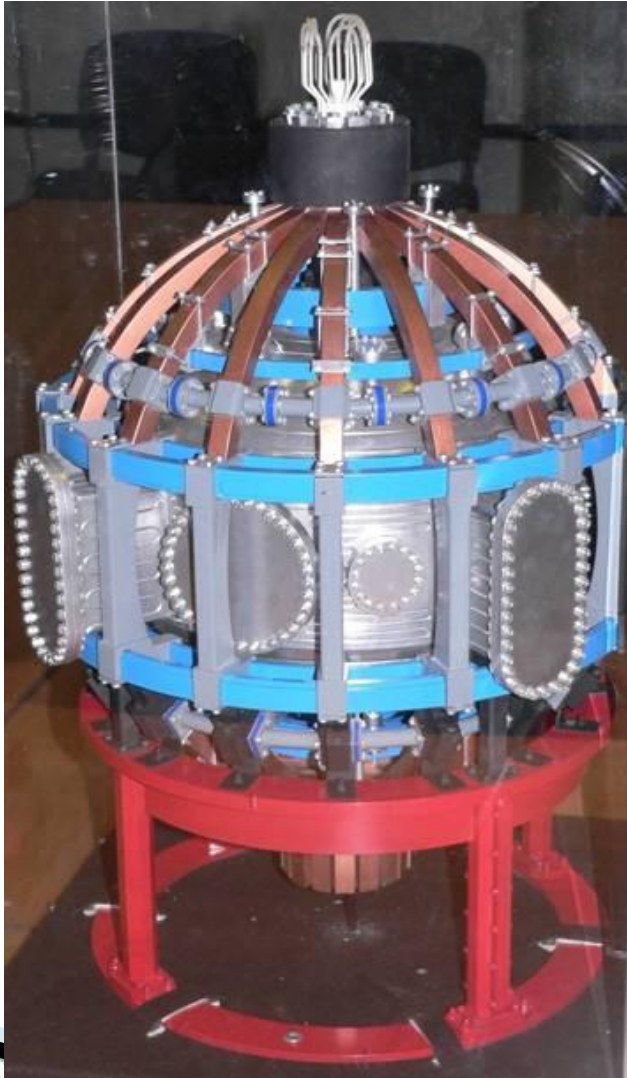
При большой плотности вещества требуемая высокая температура в сотни млн. градусов может быть достигнута путем создания в плазме мощных электронных разрядов. Проблема: **трудно удержать плазму**.

Современные установки токамак - не термоядерные реакторы, а **исследовательские установки**, в которых возможно лишь на некоторое время существование и сохранение плазмы.



- Отцами-основателями советского мирного **термояда** стали академики **Андрей Сахаров** (слева), создатель водородной бомбы, и **Евгений Велихов** (справа), один из разработчиков токамака - прообраза термоядерного реактора

# «Глобус»



- Сферический токамак Глобус-М – новая крупная физическая установка, сооруженная в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской Академии наук в 1999 г.

# Домашнее задание

- ▣ §72. Термоядерная реакция.
- ▣ *Ответить на вопросы.*
- ▣ §70. Биологическое действие радиации.
- ▣ §71. Получение и применение радиоактивных изотопов.
- ▣ *Доклады.*