

# История создания ядерного реактора



- Активная зона [исследовательского реактора АТР](#) Активная зона исследовательского реактора АТР ([англ.](#) Активная зона исследовательского реактора АТР (англ.) [Национальной лаборатории Айдахо](#) Активная зона исследовательского реактора АТР (англ.) Национальной лаборатории Айдахо ([англ.](#) Активная зона исследовательского реактора АТР (англ.) Национальной лаборатории Айдахо (англ.). Хорошо видно голубое свечение — [эффект Вавилова — Черенкова](#).

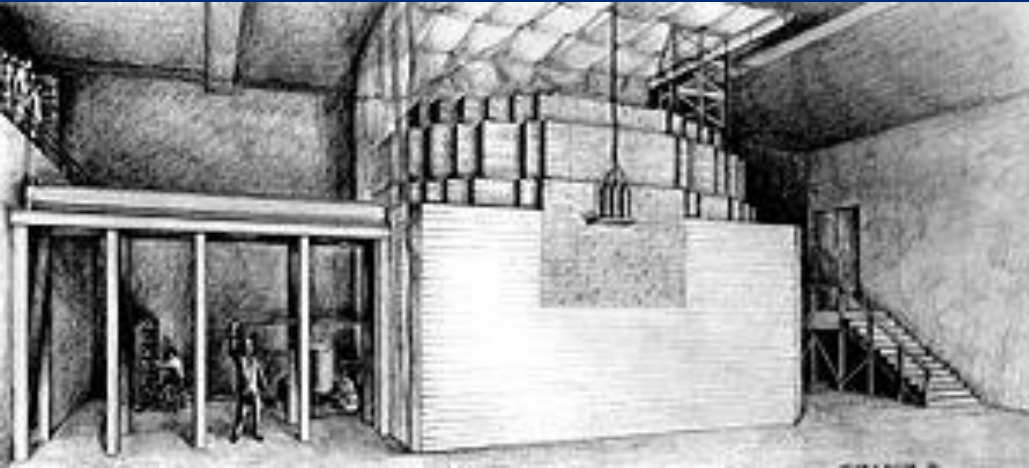
**Ядерный реактор** — устройство, предназначенное для организации управляемой самоподдерживающейся [цепной реакции деления](#), которая всегда сопровождается выделением энергии.

Первый ядерный реактор построен и запущен в декабре 1942 года в [США](#) Первый ядерный реактор построен и запущен в декабре 1942 года в США под руководством Э

# История

- Теоретическую группу «Урановый проект» Теоретическую группу «Урановый проект» нацистской Германии Теоретическую группу «Урановый проект» нацистской Германии, работающую в Обществе кайзера Вильгельма Теоретическую группу «Урановый проект» нацистской Германии, работающую в Обществе кайзера Вильгельма, возглавлял Вайцзеккер Теоретическую группу «Урановый проект» нацистской Германии, работающую в Обществе кайзера Вильгельма, возглавлял Вайцзеккер, но лишь формально. Фактическим лидером стал Гейзенберг Теоретическую группу «Урановый проект» нацистской Германии, работающую в Обществе кайзера Вильгельма, возглавлял Вайцзеккер, но лишь формально. Фактическим лидером стал Гейзенберг, разрабатывающий теоретические основы цепной реакции, Вайцзеккер же с группой участников сосредоточился на создании «урановой машины» — первого реактора. Поздней весной 1940 года один из учёных

- «Чикагская поленница-1».
- Цепная реакция деления ядер Цепная реакция деления ядер (кратко — цепная реакция) была впервые осуществлена в декабре 1942 года Цепная реакция деления ядер (кратко — цепная реакция) была впервые осуществлена в декабре 1942 года. Группа физиков Чикагского университета, возглавляемая Э. Ферми Цепная реакция деления ядер (кратко — цепная реакция) была впервые осуществлена в декабре 1942 года. Группа физиков Чикагского университета, возглавляемая Э. Ферми, создала первый в мире ядерный реактор, названный «Чикагской поленницей» (*Chicago Pile-1, CP-1*). Он состоял из графитовых Он состоял из графитовых блоков, между которыми были расположены шары из природного урана Он состоял из графитовых блоков, между которыми были расположены шары из природного урана и



## История создания ядерного реактора



Энрико Ферми (1901-1954)



Курчатов И.В. (1903-1960)

1942г. в США под руководством Э.Ферми был построен первый ядерный реактор

1946г. был запущен первый советский реактор под руководством академика И.В.Курчатова

- В СССР теоретические и экспериментальные исследования особенностей пуска, работы и контроля реакторов были проведены группой физиков и инженеров под руководством академика [И. В. Курчатова](#) В СССР теоретические и экспериментальные исследования особенностей пуска, работы и контроля реакторов были проведены группой физиков и инженеров под руководством академика И. В. Курчатова. Первый советский реактор [Ф-1](#) В СССР теоретические и экспериментальные исследования особенностей пуска, работы и контроля реакторов были проведены группой физиков и инженеров под руководством академика И. В. Курчатова. Первый советский реактор Ф-1 был построен в [Лаборатории № 2 АН СССР](#) В СССР теоретические и экспериментальные исследования особенностей пуска, работы и контроля реакторов были проведены группой физиков и инженеров под руководством академика И. В. Курчатова. Первый



# Первые ядерные реакторы



1902 - 1960

В нашей стране **первый ядерный реактор** был запущен 25 декабря 1946 г. коллективом физиков, который возглавлял ученый **Игорь Васильевич Курчатов**

# Появление первого ядерного реактора в СССР.

- В Европе первым ядерным реактором стала установка Ф-1, заработавшая 25 декабря 1946 года в Москве под руководством И. В. Курчатова. К 1978 году в мире работало уже около сотни ядерных реакторов различных типов.

Что такое Ф-1?

Ф-1 - Первый физический(реактор)  
Тип: экспериментальный

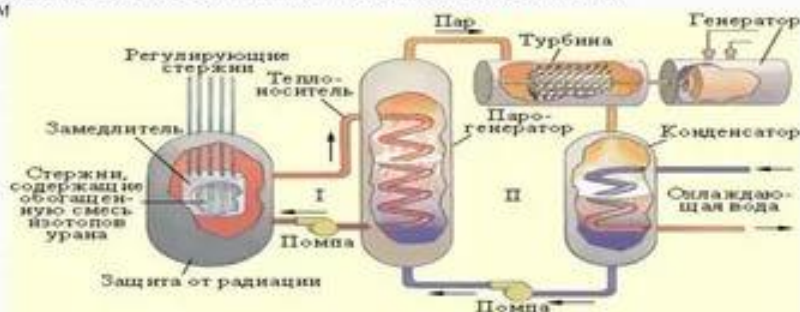


[К содержанию.](#)

# Устройство и принцип работы Механизм энерговыделения

## Ядерные реакторы.

• ПЕРВЫЙ (и наиболее распространенный) тип – это реактор на обогащенном уране, в котором и теплоносителем, и замедлителем является обычная, или «легкая», вода (легководный реактор). Существуют две основные разновидности легководного реактора: реактор, в котором пар, вращающий турбины, образуется непосредственно в активной зоне (кипящий реактор), и реактор, в котором пар образуется во внешнем, или втором, контуре, связанном с первым контуром теплообменниками и парогенераторами (водо-водяной энергетический реактор – ВВЭР). Разработка легководного реактора началась еще по программам вооруженных сил США. Так, в 1950-х годах компании «Дженерал электрик» и «Вестингауз» разрабатывали легководные реакторы для подводных лодок и авианосцев ВМФ США. Эти фирмы были также привлечены к реализации военных программ разработки технологий регенерации и обогащения ядерного топлива. В том же десятилетии в Советском Союзе был разработан кипящий реактор с графитовым замедлителем



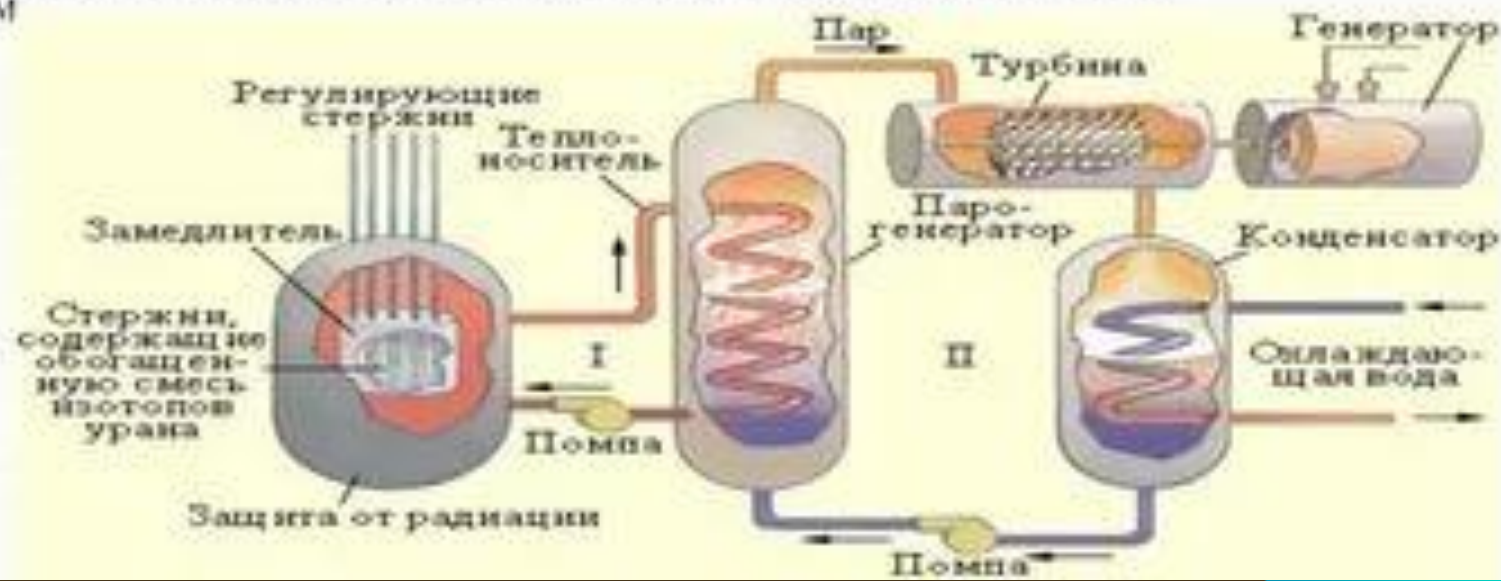
- Превращение вещества сопровождается выделением свободной энергии лишь в том случае, если вещество обладает запасом энергий. Последнее означает, что микрочастицы вещества находятся в состоянии с энергией покоя большей, чем в другом возможном, переход в которое существует.

Самопроизвольному переходу всегда препятствует **энергетический барьер**. Превращение вещества сопровождается выделением свободной энергии лишь в том случае, если вещество обладает запасом энергий. Последнее означает, что микрочастицы вещества находятся в состоянии с энергией покоя большей, чем в другом возможном, переход в которое существует. Самопроизвольному переходу всегда препятствует энергетический барьер, для преодоления которого микрочастица должна получить извне какое-то количество энергии — энергии возбуждения. **Экзоэнергетическая реакция**. Превращение вещества сопровождается выделением свободной



# Ядерные реакторы.

• ПЕРВЫЙ (и наиболее распространенный) тип – это реактор на обогащенном уране, в котором и теплоносителем, и замедлителем является обычная, или «легкая», вода (легководный реактор). Существуют две основные разновидности легководного реактора: реактор, в котором пар, вращающий турбины, образуется непосредственно в активной зоне (кипящий реактор), и реактор, в котором пар образуется во внешнем, или втором, контуре, связанном с первым контуром теплообменниками и парогенераторами (водоводяной энергетический реактор – ВВЭР). Разработка легководного реактора началась еще по программам вооруженных сил США. Так, в 1950-х годах компании «Дженерал электрик» и «Вестингауз» разрабатывали легководные реакторы для подводных лодок и авианосцев ВМФ США. Эти фирмы были также привлечены к реализации военных программ разработки технологий регенерации и обогащения ядерного топлива. В том же десятилетии в Советском Союзе был разработан кипящий реактор с графитовым замедлителем

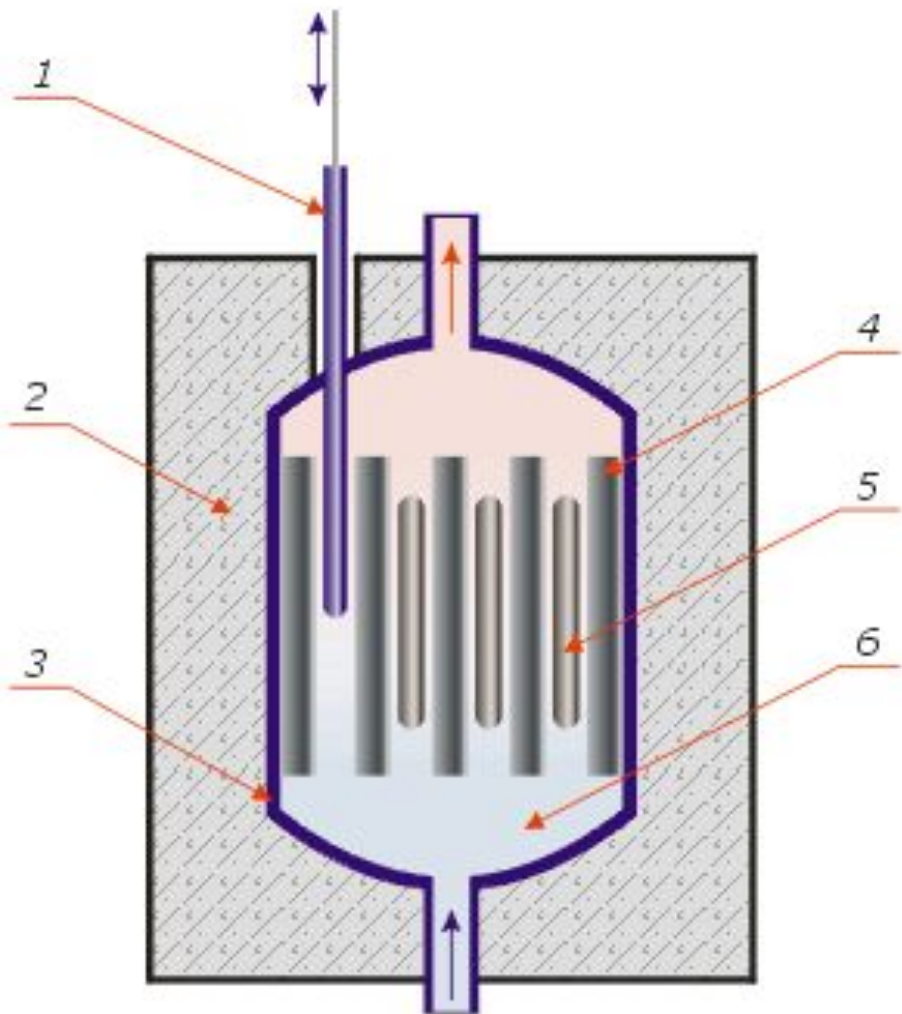


Первый ядерный реактор,  
названный CP-1, построен в  
декабре 1942 года в США под  
руководством Э. Ферми.





- Если иметь в виду макроскопические масштабы энерговыделения, то необходимую для возбуждения реакций кинетическую энергию должны иметь все или сначала хотя бы некоторая доля частиц вещества. Это достижимо только при повышении температуры среды до величины, при которой энергия теплового движения приближается к величине энергетического порога, ограничивающего течение процесса. В случае молекулярных превращений, то есть химических реакций, такое повышение обычно составляет сотни **Кельвинов**. Если иметь в виду макроскопические масштабы энерговыделения, то необходимую для возбуждения реакций кинетическую энергию должны иметь все или сначала хотя бы некоторая доля частиц вещества. Это достижимо только при повышении температуры среды до величины, при которой энергия теплового движения приближается к величине энергетического порога, ограничивающего течение процесса. В случае молекулярных превращений, то есть химических реакций, такое повышение обычно составляет сотни кельвинов, в случае же ядерных реакций — это минимум 107 **К**. Если иметь в виду макроскопические масштабы энерговыделения, то необходимую для возбуждения реакций кинетическую энергию должны иметь все или сначала хотя бы некоторая доля частиц вещества. Это достижимо только при повышении температуры среды до величины, при которой энергия теплового движения приближается к величине энергетического порога, ограничивающего течение процесса. В случае молекулярных превращений, то есть химических реакций, такое повышение обычно составляет сотни кельвинов, в случае же ядерных реакций — это минимум 107 К из-за очень большой высоты **Кулоновских барьеров**. Если иметь в виду макроскопические



1 — Управляющий стержень;

2 — Радиационная защита;

3 — Теплоизоляция;

4 — Замедлитель;

5 — Ядерное топливо;

6 — Теплоноситель.



# Конструкция

Любой ядерный реактор состоит из следующих частей:

Активная зона с ядерным топливом Активная зона с ядерным топливом и замедлителем;

Отражатель нейтронов, окружающий активную зону;

- Теплоноситель;
- Система регулирования цепной реакции Система регулирования цепной реакции, в том

ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР Ф-1



# Физические принципы работы

- Осуществление УПРАВЛЯЕМОЙ цепной реакции деления ядра возможно при определенных условиях. В процессе деления ядер топлива возникают мгновенные нейтроны, образующиеся непосредственно в момент деления ядра, и запаздывающие нейтроны, испускаемые осколками деления в процессе их радиоактивного распада. Время жизни мгновенных нейтронов очень мало, поэтому даже современные системы и средства управления реактором не могут поддерживать необходимый коэффициент размножения нейтронов только за счёт мгновенных нейтронов. Время жизни запаздывающих нейтронов составляет от 0,1 до 10 секунд. За счёт значительного времени жизни запаздывающих нейтронов система управления успевает переместить стержни-поглотители, поддерживая тем самым необходимый коэффициент размножения нейтронов (реактивность). Отношение числа запаздывающих нейтронов, вызвавших реакцию деления в данном поколении, ко всему числу нейтронов, вызвавших реакцию деления в данном поколении, называется эффективной долей запаздывающих нейтронов —  $\beta_{эф}$ .



- Объёмы современных энергетических реакторов могут достигать сотен м<sup>3</sup> и определяются главным образом не условиями критичности, а возможностями теплосъёма.
- *Критический объём* ядерного реактора — объём активной зоны реактора в критическом состоянии. Критическая масса — масса делящегося вещества реактора, находящегося в критическом состоянии.
- Наименьшей критической массой обладают реакторы, в которых топливом служат водные растворы солей чистых делящихся изотопов с водяным отражателем нейтронов. Для <sup>235</sup>U эта масса равна 0,8 кг, для <sup>239</sup>Pu — 0,5 кг. Широко известно, однако, что критическая масса для реактора ЛОРО (первый в мире реактор на обогащённом уране), имевшего отражатель из окиси бериллия, составляла 0,565 кг, несмотря на то, что степень обогащения по изотопу <sup>235</sup> была лишь немногим более 14 %. Теоретически, наименьшей критической массой обладает <sup>251</sup>Cf, для которого эта величина составляет всего 10 г.



- С целью уменьшения утечки нейтронов, активной зоне придают сферическую или близкую к сферической форму, например короткого цилиндра или куба, так как эти фигуры обладают наименьшим отношением площади поверхности к объёму.
- Несмотря на то, что величина  $(\epsilon - 1)$  обычно невелика, роль размножения на быстрых нейтронах достаточно велика, поскольку для больших ядерных реакторов  $(K_\infty - 1) \ll 1$ . Без этого процесса было бы невозможным создание первых графитовых реакторов на естественном уране.
- Для начала цепной реакции обычно достаточно нейтронов, рождаемых при спонтанном делении ядер урана. Возможно также использование внешнего источника нейтронов для запуска реактора, например, смеси  $\text{Ra}$  Для начала цепной реакции обычно достаточно нейтронов, рождаемых при спонтанном делении ядер урана. Возможно также использование внешнего источника нейтронов для запуска реактора, например, смеси  $\text{Ra}$  и  $\text{Be}$  Для начала цепной реакции обычно



# Йодная яма

- Йодная яма или ксеноновое отравление — состояние ядерного реактора после его остановки, характеризующееся накоплением короткоживущего изотопа ксенонаЙодная яма или ксеноновое отравление — состояние ядерного реактора после его остановки, характеризующееся накоплением короткоживущего изотопа ксенона 135XeЙодная яма или ксеноновое отравление — состояние ядерного реактора после его остановки, характеризующееся накоплением короткоживущего изотопа ксенона  $^{135}\text{Xe}$ , который является продуктом распада изотопа йода-135 (из-за чего этот процесс и получил своё название). Высокое сечение захвата тепловых

# Классификация

- По характеру использования ядерные реакторы делятся на [5][6] По характеру использования ядерные реакторы делятся на [5][6][7]:
- Энергетические реакторы, предназначенные для получения электрической и тепловой энергии, используемой в энергетике, предназначенные для получения электрической и тепловой энергии, используемой в энергетике, а также для опреснения морской воды, предназначенные для получения электрической и тепловой энергии, используемой в энергетике, а также для опреснения морской воды (реакторы для опреснения также относят к промышленным). Основное применение, предназначенные для получения электрической и тепловой энергии, используемой в энергетике, а также для опреснения морской воды (реакторы для опреснения также относят к промышленным). Основное применение такие реакторы получили на атомных электростанциях, предназначенные для получения электрической и тепловой энергии, используемой в энергетике, а также для опреснения морской воды (реакторы для опреснения также относят к промышленным). Основное применение такие реакторы получили на атомных электростанциях. Тепловая мощность современных энергетических реакторов достигает 5 ГВт. В отдельную группу выделяют:

- **Исследовательские реакторы**, в которых потоки нейтронов и **гамма-квантов**, в которых потоки нейтронов и гамма-квантов, создаваемые в активной зоне, используются для исследований в области **ядерной физики**, в которых потоки нейтронов и гамма-квантов, создаваемые в активной зоне, используются для исследований в области ядерной физики, **физики твёрдого тела**, в которых потоки нейтронов и гамма-квантов, создаваемые в активной зоне, используются для исследований в области ядерной физики, физики твёрдого тела, **радиационной химии**, в которых потоки нейтронов и гамма-квантов, создаваемые в активной зоне, используются для исследований в области ядерной физики, физики твёрдого тела, радиационной химии, **биологии**, для испытания материалов, предназначенных для работы в интенсивных нейтронных потоках (в том числе деталей ядерных реакторов), для производства изотопов. Мощность исследовательских реакторов не превосходит 100 МВт. Выделяющаяся энергия, как правило, не используется.
- **Промышленные (оружейные, изотопные) реакторы**, используемые для наработки **изотопов**, используемые для наработки изотопов, применяющихся в различных областях. Наиболее широко используются для производства **ядерных оружейных**, используемые для наработки изотопов, применяющихся в различных областях. Наиболее широко используются для производства ядерных оружейных материалов, например  **$^{239}\text{Pu}$** , используемые для наработки изотопов, применяющихся в различных областях. Наиболее широко используются для производства ядерных оружейных материалов, например  $^{239}\text{Pu}$ . Также к промышленным относят реакторы, использующиеся для **опреснения морской воды**.

# По спектру нейтронов

## Ядерный реактор



Реактор на тепловых  
(медленных)  
нейтронах («тепловой  
реактор»)

Реактор на быстрых  
нейтронах («быстрый  
реактор»)

Реактор на  
промежуточных  
нейтронах

- Реактор со смешанным  
спектром



## Первый ядерный реактор Ф-1 в Европе 1946 г. И.В.Курчатов, СССР



# По размещению топлива

- Гетерогенные реакторы, где топливо размещается в активной зоне дискретно в виде блоков, между которыми находится замедлитель;
- Гомогенные реакторы Гомогенные реакторы, где топливо и замедлитель представляют однородную смесь (ГОМОГЕННУЮ СИСТЕМУ).
- В гетерогенном реакторе топливо и замедлитель могут быть пространственно разнесены, в частности, в полостном реакторе замедлитель-отражатель окружает полость с топливом, не содержащим замедлителя. С ядерно-физической точки зрения критерием гомогенности/гетерогенности является не конструктивное исполнение, а размещение блоков топлива на расстоянии, превышающем длину замедления нейтронов в данном замедлителе. Так, реакторы с так называемой «тесной решёткой» рассчитываются как гомогенные, хотя в них топливо обычно отделено от замедлителя.
- Блоки ядерного топлива в гетерогенном реакторе называются тепловыделяющими сборками (ТВС), которые размещаются в активной зоне в узлах правильной решётки, образуя ячейки.



# По виду топлива

## Ядерный реактор.



изотопы

урана  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  изотопы  
урана  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{233}\text{U}$

изотоп плутония  $^{239}\text{Pu}$  изотоп  
плутония  $^{239}\text{Pu}$ , также  
изотопы  $^{239}\text{-}^{242}\text{Pu}$  в виде смеси  
с  $^{238}\text{U}$  (МОХ-топливо)

изотоп тория  $^{232}\text{Th}$   
(посредством преобразования  
в  $^{233}\text{U}$ )

По степени обогащения:  
природный уран

слабо обогащённый уран

- высоко обогащённый уран
- По химическому составу:
  - металлический U
  - $\text{UO}_2$  (диоксид урана)

# По виду теплоносителя

## Ядерные реакторы.

- Промышленные ядерные реакторы первоначально разрабатывались лишь в странах, обладающих ядерным оружием. США, СССР, Великобритания и Франция активно исследовали разные варианты ядерных реакторов. Однако впоследствии в атомной энергетике стали доминировать три основных типа реакторов, различающиеся, главным образом, топливом, теплоносителем, применяемым для поддержания нужной температуры активной зоны, и замедлителем, используемым для снижения скорости нейтронов, выделяющихся в процессе распада и необходимых для поддержания цепной реакции.



- $H_2O$  ([вода](#) $H_2O$  (вода, см. [Водо-водяной реактор](#))  
Газ (см. [Графито-газовый реактор](#))  
 $D_2O$  ([тяжёлая вода](#) $D_2O$  (тяжёлая вода, см. [Тяжеловодный ядерный реактор](#) $D_2O$  (тяжёлая вода, см. Тяжеловодный ядерный реактор, [CANDU](#))  
[Реактор с органическим теплоносителем](#)  
[Реактор с жидкометаллическим теплоносителем](#)  
[Реактор на расплавах солей](#)  
[Реактор с твёрдым теплоносителем](#)



# По роду замедлителя

- С (графитС (графит, см. Графито-газовый реакторС (графит, см. Графито-газовый реактор, Графито-водный реактор)
- Н<sub>2</sub>О (вода, см. Легководный реакторН<sub>2</sub>О (вода, см. Легководный реактор, Водо-водяной реакторН<sub>2</sub>О (вода, см. Легководный реактор, Водо-водяной реактор, ВВЭР)
- D<sub>2</sub>O (тяжёлая вода, см. Тяжеловодный ядерный реакторD<sub>2</sub>O (тяжёлая вода, см. Тяжеловодный ядерный реактор, CANDU)
- Be, BeO
- Гидриды металлов
- Без замедлителя (см. Реактор на быстрых

# По конструкции

## Ядерные реакторы.

- Промышленные ядерные реакторы первоначально разрабатывались лишь в странах, обладающих ядерным оружием: США, СССР, Великобритания и Франция активно исследовали разные варианты ядерных реакторов. Однако впоследствии в атомной энергетике стали доминировать три основных типа реакторов, различающиеся, главным образом, топливом, теплоносителем, применяемым для поддержания нужной температуры активной зоны, и замедлителем, используемым для снижения скорости нейтронов, выделяющихся в процессе распада и необходимых для поддержания цепной реакции.



Оба варианта являются подвидами гетерогенных реакторов:  
Корпусные реакторы

- Канальные реакторы

# По способу генерации пара

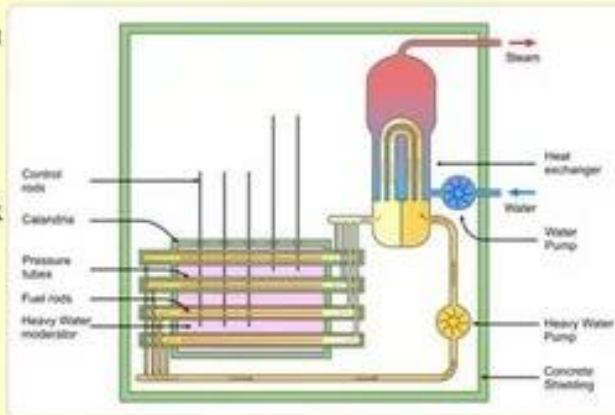
## Тяжеловодный ядерный реактор

### Достоинства

- Меньшее сечение поглощения нейтронов => Улучшенный нейтронный баланс => Использование в качестве топлива природного урана
- Возможность создания промышленных тяжеловодных реакторов для производства трития и плутония, а также широкого спектра изотопной продукции, в том числе и медицинского назначения.

### Недостатки

- Высокая стоимость дейтерия



Реактор CANDU  
(КАНАДА).

Экспортировались в Китай, Южную Корею, Индию, Румынию, Аргентину и Пакистан. Всего в мире на данный момент действует 40 энергетических реакторов на тяжелой воде, 9 строятся.

MyShared

42

Реактор с  
внешним парогенератором  
Реактор с  
внешним парогенератором (См. Водо-водяной реактор  
Реактор

с  
внешним парогенератором

# Классификация МАГАТЭ

- [Международное агентство по атомной энергии](#) Международное агентство по атомной энергии использует следующую классификацию основных типов энергетических ядерных реакторов в соответствии с применяемыми в них материалами [теплоносителя](#) Международное агентство по атомной энергии использует следующую классификацию основных типов энергетических ядерных реакторов в соответствии с применяемыми в них материалами теплоносителя и [замедлителя](#) Международное агентство по атомной энергии использует следующую классификацию основных типов энергетических ядерных реакторов в соответствии с применяемыми в них материалами теплоносителя и замедлителя [8]:
- PWR (pressurized water reactor) — [реактор с водой под давлением](#) PWR (pressurized water reactor) — реактор с водой под давлением, в котором [легкая вода](#) PWR (pressurized water reactor) — реактор с водой под давлением, в котором легкая вода является и теплоносителем и замедлителем (например [ВВЭР](#));
- BWR (boiling water reactor) — [кипящий реактор](#), в котором, в отличие от PWR, образование пара, подаваемого на турбины, происходит непосредственно в реакторе;
- FBR (fast breeder reactor) — [реактор-размножитель](#) FBR (fast breeder reactor) — реактор-размножитель [на быстрых нейтронах](#), не требующий наличия замедлителя;
- GCR (gas-cooled reactor) — [газоохлаждаемый реактор](#) GCR (gas-cooled reactor) — газоохлаждаемый реактор. В качестве замедлителя используется как правило [графит](#);
- LWGR (light water graphite reactor) — [графито-водный реактор](#) LWGR (light water graphite reactor) — графито-водный реактор, например [РБМК](#);
- PHWR (pressurised heavy water reactor) — [тяжеловодный реактор](#);
- HTGR (high-temperature gas-cooled) — высокотемпературный [газоохлаждаемый реактор](#);
- HWGCR (heavy-water-moderated, gas-cooled reactor) — [газоохлаждаемый реактор](#) HWGCR (heavy water moderated, gas-cooled reactor)



# Материалы реакторов

- Материалы, из которых строят реакторы, работают при высокой температуре в поле нейтронов. Материалы, из которых строят реакторы, работают при высокой температуре в поле нейтронов,  $\gamma$ -квантов и осколков деления. Поэтому для реакторостроения пригодны не все материалы, применяемые в других отраслях техники. При выборе реакторных материалов учитывают их радиационную стойкость, химическую инертность, сечение поглощения и другие

- Оболочки ТВЭЛов Оболочки ТВЭЛов, каналы, замедлители Оболочки ТВЭЛов, каналы, замедлители (отражатели Оболочки ТВЭЛов, каналы, замедлители (отражатели) изготавливают из материалов с небольшими сечениями поглощения. Применение материалов, слабо поглощающих нейтроны, снижает непроизводительный расход нейтронов, уменьшает загрузку ядерного топлива и увеличивает коэффициент воспроизводства Оболочки ТВЭЛов, каналы, замедлители (отражатели) изготавливают из материалов с небольшими сечениями поглощения. Применение материалов, слабо поглощающих нейтроны, снижает непроизводительный расход нейтронов, уменьшает загрузку ядерного топлива и увеличивает коэффициент воспроизводства КВ. Для поглощающих стержней, наоборот, пригодны материалы с большим сечением поглощения. Это значительно сокращает количество стержней, необходимых для управления реактором.
- Быстрые нейтроны Быстрые нейтроны,  $\gamma$ -кванты и осколки деления повреждают структуру вещества. Так, в

- Радиационная нестойкость материалов меньше сказывается при высоких температурах. Подвижность атомов становится настолько большой, что вероятность возвращения выбитых из кристаллической решётки атомов на своё место или рекомбинация Радиационная нестойкость материалов меньше сказывается при высоких температурах. Подвижность атомов становится настолько большой, что вероятность возвращения выбитых из кристаллической решётки атомов на своё место или рекомбинация водорода и кислорода в молекулу воды заметно увеличивается. Так, радиолиз воды незначителен в энергетических некипящих реакторах (например, ВВЭР), в то время как в мощных исследовательских реакторах выделяется значительное количество гремучей смеси. На атомных станциях есть специальные системы для её сжигания.
- Реакторные материалы контактируют между собой (оболочка ТВЭЛа Реакторные материалы контактируют между собой (оболочка ТВЭЛа с теплоносителем Реакторные материалы контактируют между собой (оболочка ТВЭЛа с теплоносителем и ядерным топливом Реакторные материалы контактируют между собой (оболочка ТВЭЛа с теплоносителем и ядерным топливом, тепловыделяющие кассеты — с теплоносителем и замедлителем и т. д.). Естественно, что контактирующие материалы должны быть химически инертными (совместимыми). Примером несовместимости служат уран и горячая вода, вступающие в химическую реакцию.
- У большинства материалов прочностные свойства резко ухудшаются с

# Управление ядерным реактором

- Управление ядерным реактором возможно только благодаря тому, что часть нейтронов при делении вылетает из осколков с запаздыванием, которое может составить от нескольких миллисекунд до нескольких минут.
- Для управления реактором используют поглощающие стержни, вводимые в активную зону, изготовленные из материалов, сильно поглощающих нейтроны (в основном В, Cd и некоторые др.) и/или раствор борной кислоты в определенно́й концентрации добавляемый в теплоноситель. Для управления реактором используют борное регулирование. Движение стержней управляется специальными



# Остаточное тепловыделение

- Важной проблемой, непосредственно связанной с ядерной безопасностью, является остаточное тепловыделение. Это специфическая особенность ядерного топлива, заключающаяся в том, что, после прекращения цепной реакции деления и обычной для любого энергоисточника тепловой инерции, выделение тепла в реакторе продолжается ещё долгое время, что создаёт ряд технически сложных проблем.
- Остаточное тепловыделение является следствием  $\beta$ -Остаточное тепловыделение является следствием  $\beta$ - и  $\gamma$ -Остаточное тепловыделение является следствием  $\beta$ - и  $\gamma$ - распадаОстаточное тепловыделение является следствием  $\beta$ - и  $\gamma$ - распада продуктов деленияОстаточное тепловыделение является следствием  $\beta$ - и  $\gamma$ - распада продуктов деления, которые накопились в топливе за время работы реактора. Ядра продуктов деления вследствие распада переходят в более стабильное или полностью стабильное состояние с выделением значительной энергии.
- Хотя мощность остаточного тепловыделения быстро спадает до величин, малых по сравнению со стационарными значениями, в мощных энергетических реакторах она значительна в абсолютных величинах. По этой причине остаточное тепловыделение влечёт необходимость длительное время обеспечивать теплоотвод от активной зоны реактора после его остановки. Эта задача требует наличия в конструкции реакторной установкиХотя мощность остаточного тепловыделения быстро спадает до величин, малых по сравнению со стационарными значениями, в мощных энергетических реакторах она значительна в абсолютных величинах. По этой причине остаточное тепловыделение влечёт необходимость длительное время обеспечивать теплоотвод от активной зоны реактора после его остановки. Эта задача требует наличия в конструкции реакторной установки систем расхолаживания с надёжным электроснабжением, а также обуславливает необходимость длительного (в течение 3-4 лет) хранения отработавшего ядерного топливаХотя мощность остаточного тепловыделения быстро спадает до величин, малых по сравнению со стационарными

# Литература

- БСЭ
- Левин В. Е. **Ядерная физика и ядерные реакторы**. 4-е изд. — М.: Атомиздат, 1979.
- Шуколюков А. Ю. «Уран. Природный ядерный реактор». «Шуколюков А. Ю. «Уран. Природный ядерный реактор»». «Химия и жизнь» № 6, 1980 г., с. 20-24
- Проскураков К. Н. Теплогидравлическое возбуждение колебаний теплоносителя во внутрикорпусных устройствах ядерных энергетических установок. — М.: МЭИ, 1984. —

# Примечания

- [«ZEEP — Canada's First Nuclear Reactor»](#), Canada Science and Technology Museum.
- ↑ [Грешилов А. А., Егунов Н. Д., Матущенко А. М. Ядерный щит. — М.: Логос, 2008. — 438 с. — ISBN 978-5-98704-272-0.](#)
- ↑ [Horst Kant. Werner Heisenberg and the German Uranium Project](#) (англ.). *Preprint 203. Max Planck Institute for the History of Science*. Max Planck Institute for the History of Science[en]. Max Planck Institute for the History of Science[en] (2002). Проверено 10 февраля 2012. [Архивировано](#) 30 мая 2012 года.
- ↑ [Круглов А. К. Как создавалась атомная промышленность в СССР. — М.: ЦНИИАтоминформ, 1995. — 380 с. — ISBN 5-85165-011-7.](#)
- ↑ [Дементьев Б. А. Ядерные энергетические реакторы. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — С. 21—22. — 351 с. — ISBN 5-283-03836-X.](#)
- ↑ [Бартоломей Г. Г., Бать Г. А., Байбаков В. Д., Алхутов М. С. Основы теории и методы расчёта ядерных энергетических реакторов / Под ред. Г. А. Батя. — М.: Энергоиздат, 1982. — С. 31. — 511 с.](#)
- ↑ [Angelo, Joseph A. Nuclear technology](#) Nuclear technology. — USA: [Greenwood Press](#) Nuclear technology. — USA: Greenwood Press, 2004. — P. 275—276. — 647 p. — (Sourcebooks in modern technology). — [ISBN 1-57356-336-6.](#)
- ↑↑ [Глоссарий терминов, используемых в базе данных PRIS](#)
- ↑ [Андрушечко С. А., Афоров А. М., Васильев Б. Ю., Генералов В. Н., Косоуров К. Б., Семченков Ю. М., Украинцев В. Ф. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта. — М.: Логос, 2010. — 604 с. — 1000 экз. — ISBN 978-5-98704-496-4.](#)
- ↑ [Кириллов П. Л., Богословская Г. П. Тепло-массообмен](#) Тепло-массообмен в ядерных энергетических установках. — М.: Энергоатомиздат, 2000. — 456 с. — 1000 экз. — [ISBN 5-283-03636-7.](#)
- ↑ [Овчинников Ф. Я., Семёнов В. В. Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических реакторов. — 3 изд., пер. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 359 с. — 3400 экз. — ISBN 5-283-03818-1.](#)
- ↑ [Сидоренко В. А. Вопросы безопасной работы реакторов ВВЭР. — М.: Атомиздат, 1977. — 216 с. — \(Проблемы ядерной энергетики\). — 3000 экз.](#)

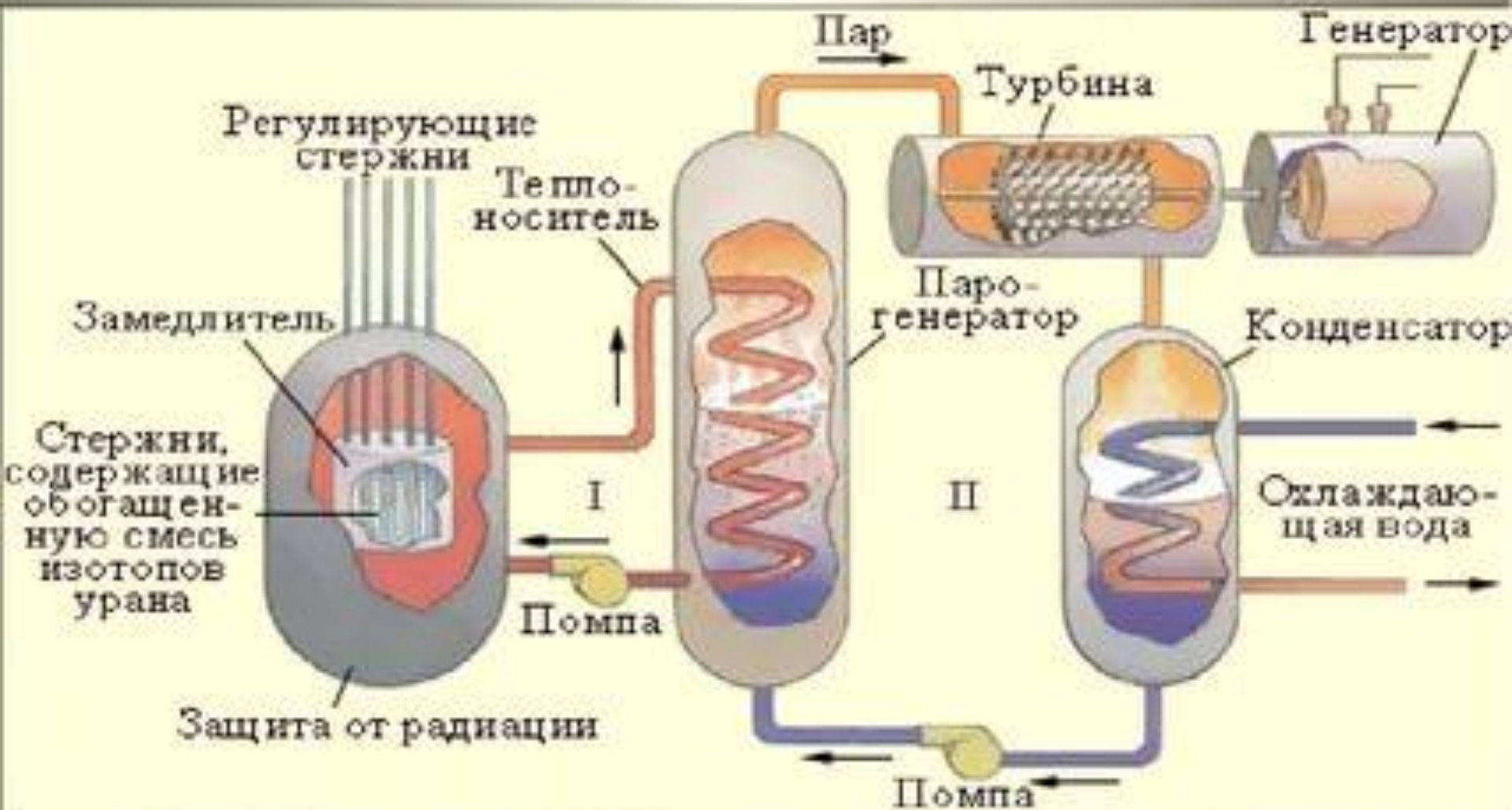
# Источник:

- [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ядерный\\_реактор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ядерный_реактор)



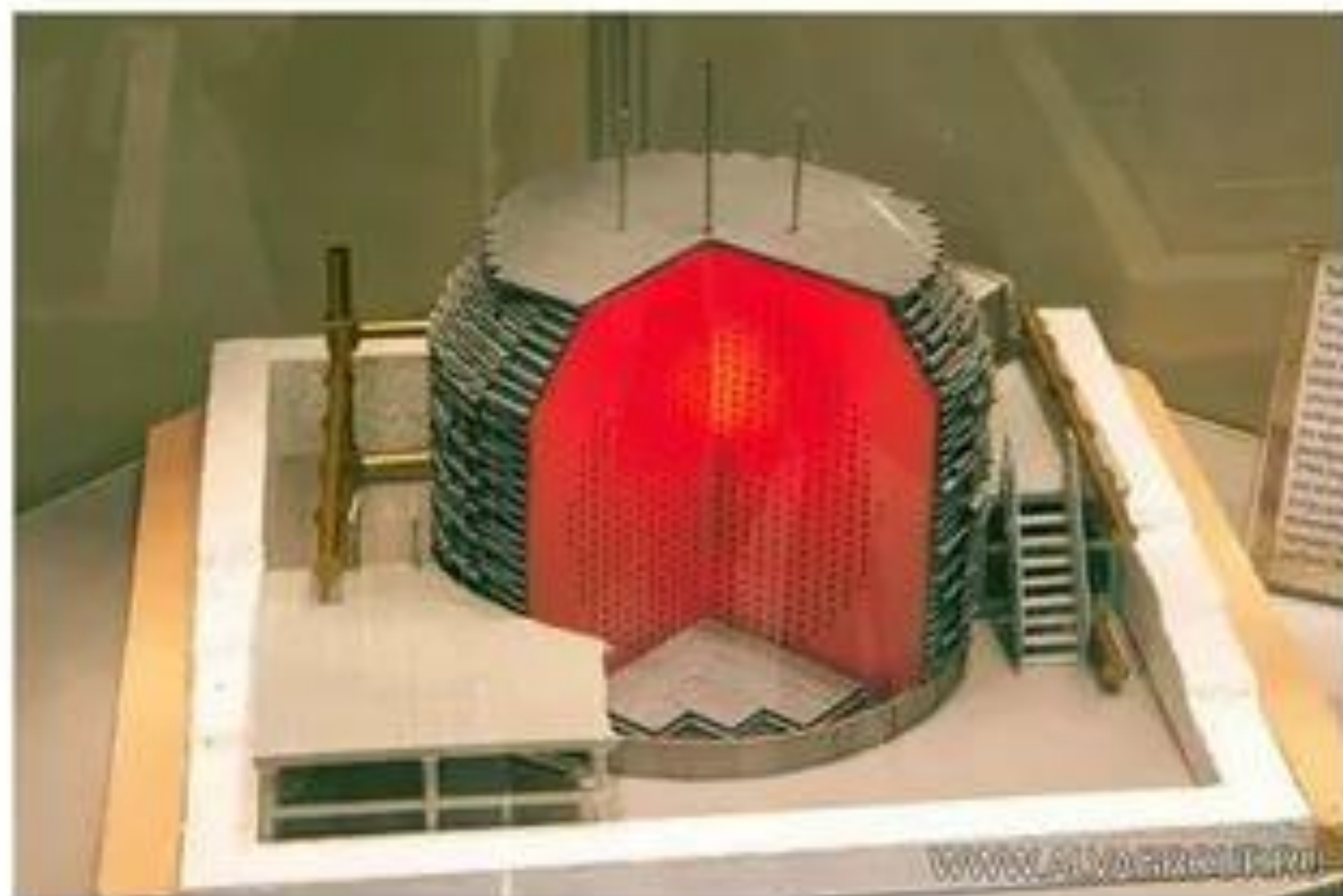


# Ядерный реактор

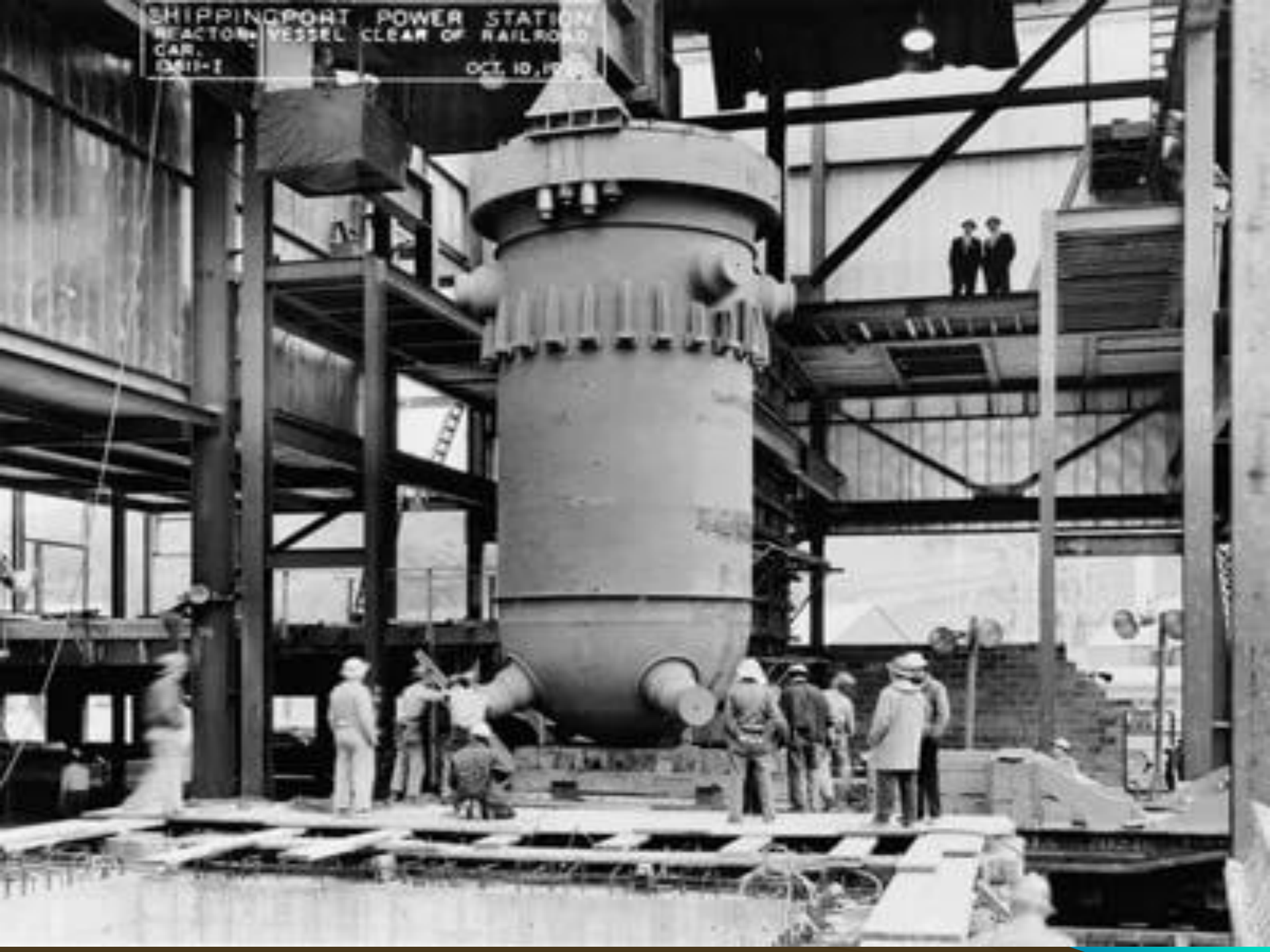


25 декабря 1946 г. – запущен первый ядерный реактор в нашей стране под руководством И. В.

## Макет реактора $\Phi$ -1

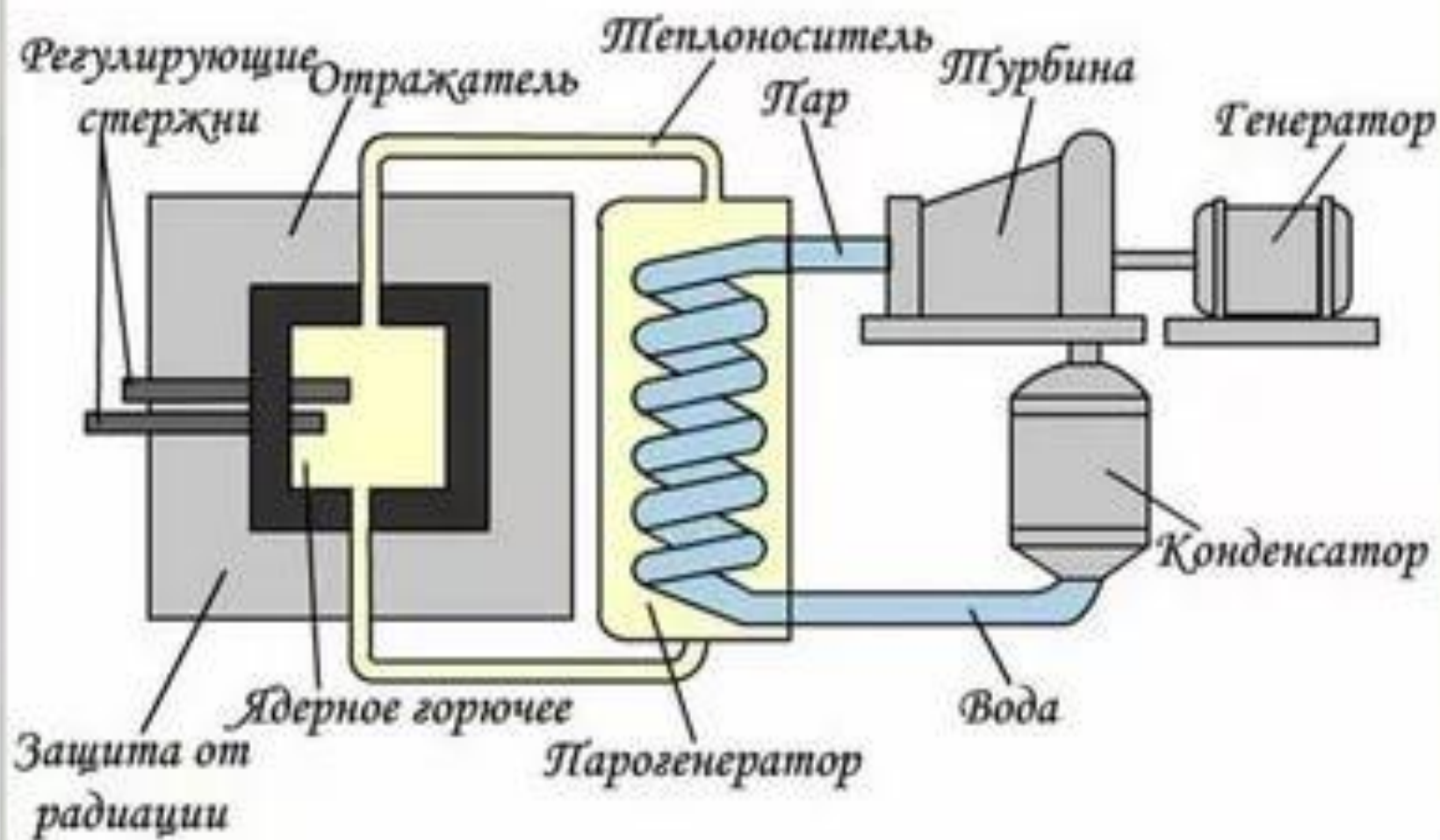


SHIPPINGPORT POWER STATION  
REACTOR VESSEL CLEAR OF RAILROAD  
CAR,  
D817-1  
OCT. 10, 1955





# Ядерный реактор

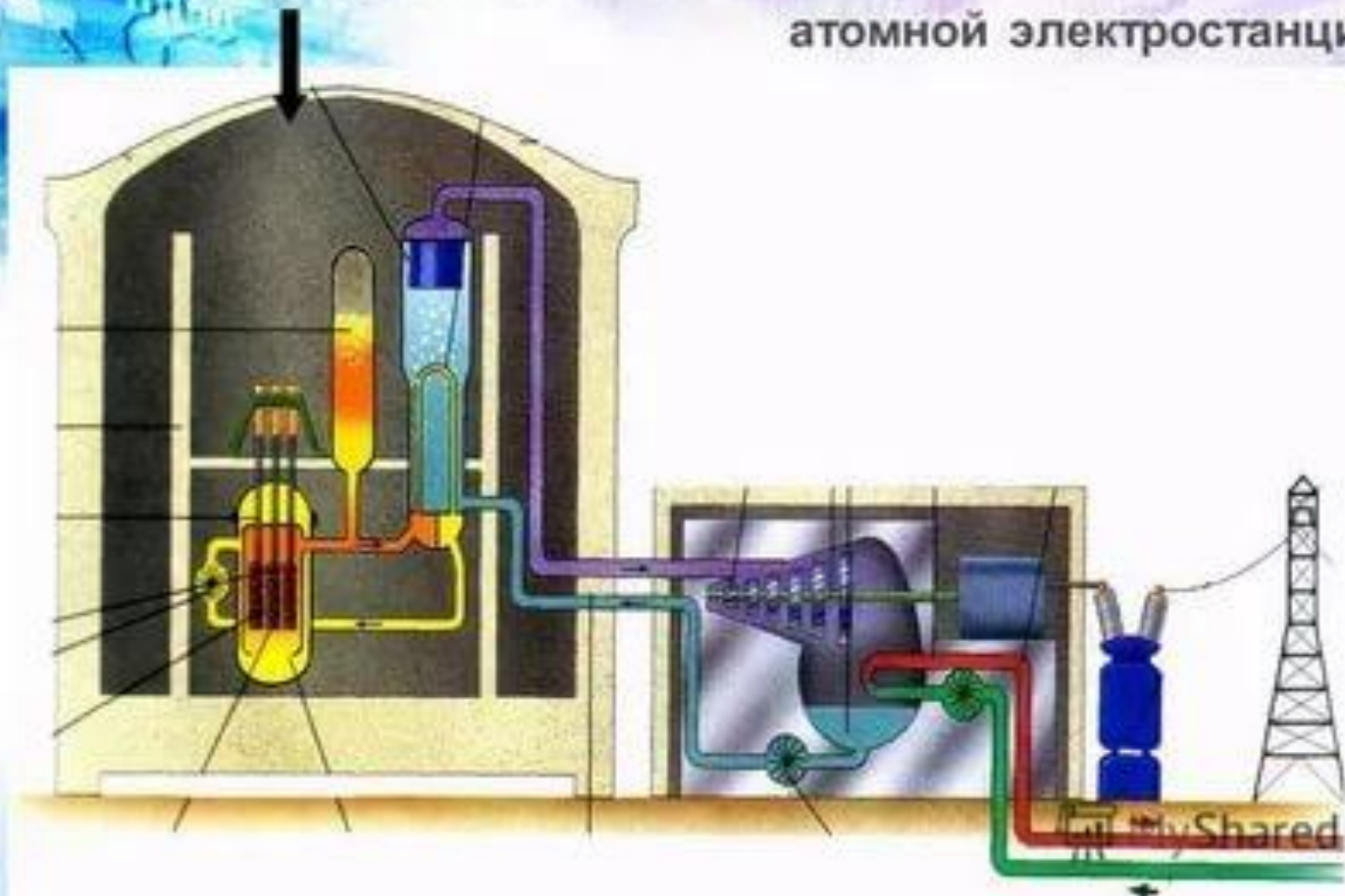




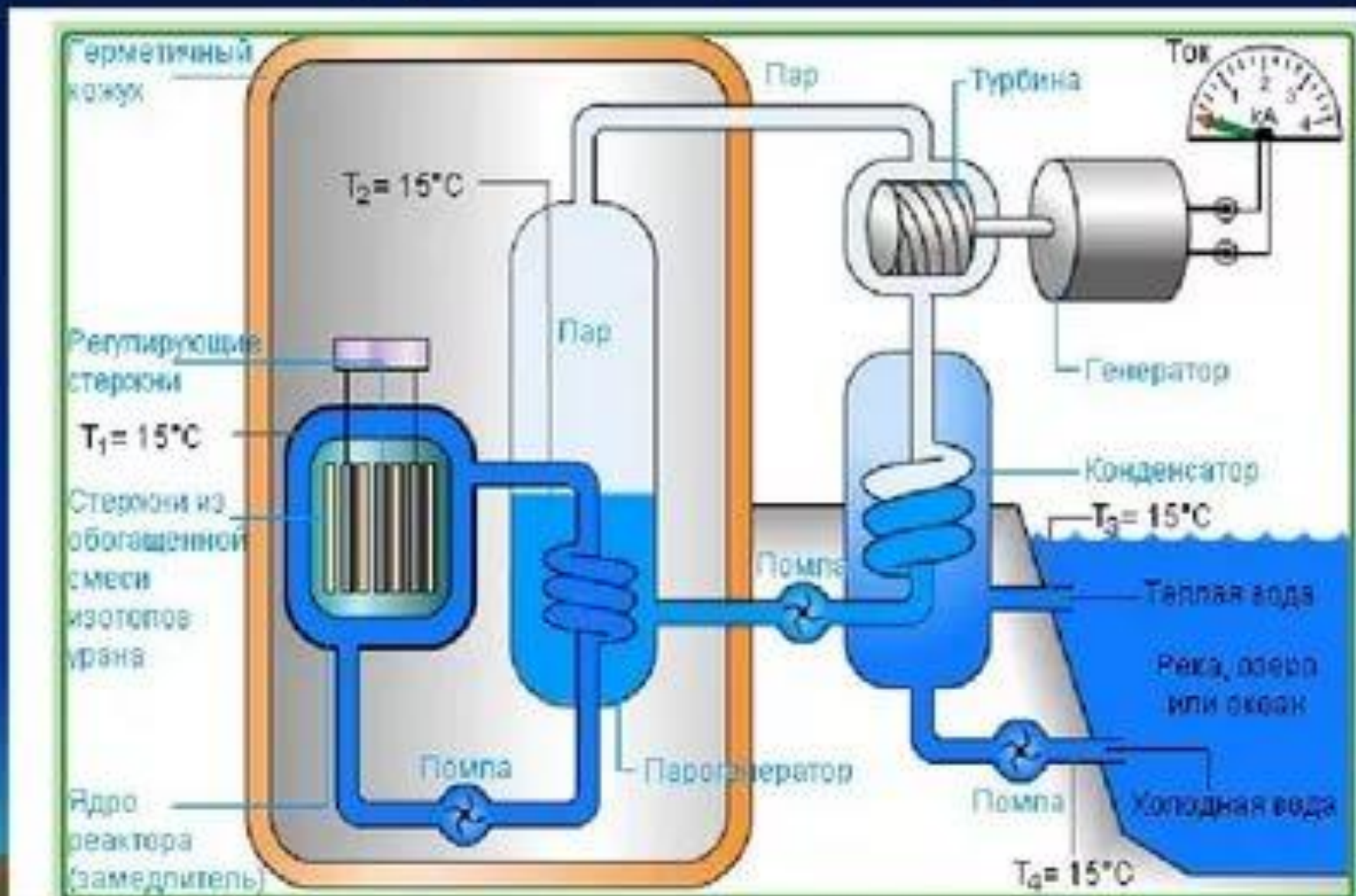
# ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР

Ядерный реактор является частью

атомной электростанции

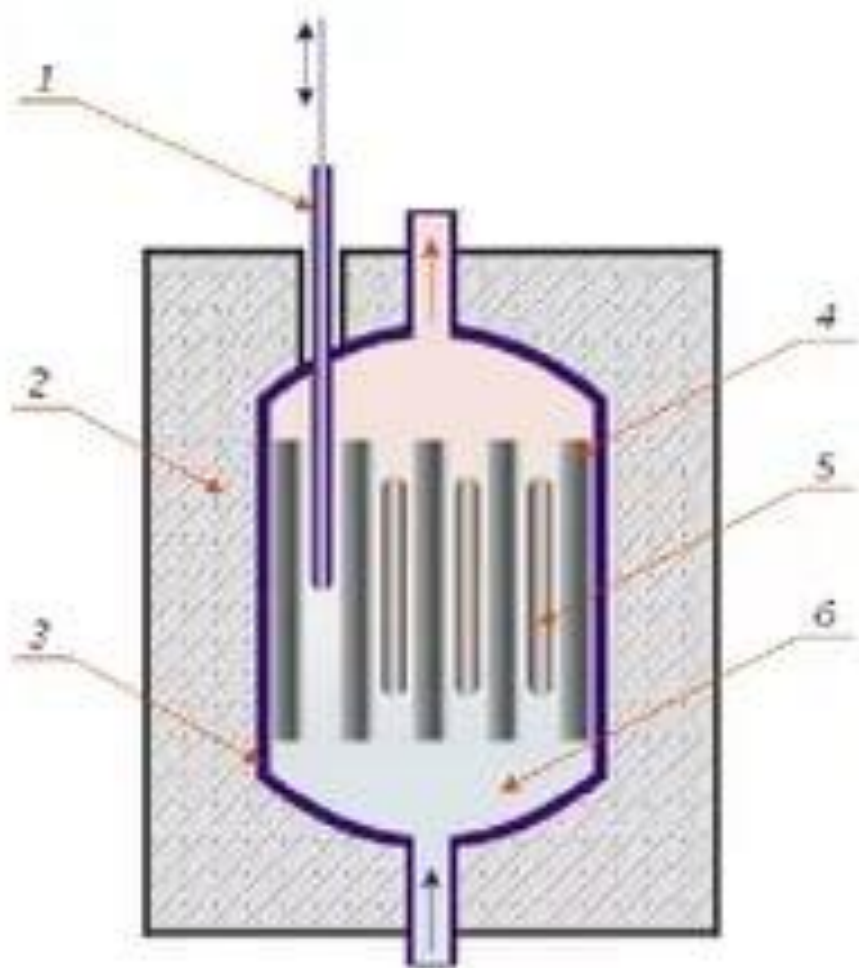


# Ядерный реактор





**Ядерный реактор** — это устройство, в котором осуществляется управляемая цепная ядерная реакция, сопровождающаяся выделением энергии.



- 1 — управляющий стержень;
- 2 — биологическая защита;
- 3 — теплоизоляция;
- 4 — замедлитель;
- 5 — ядерное топливо;
- 6 — теплоноситель

