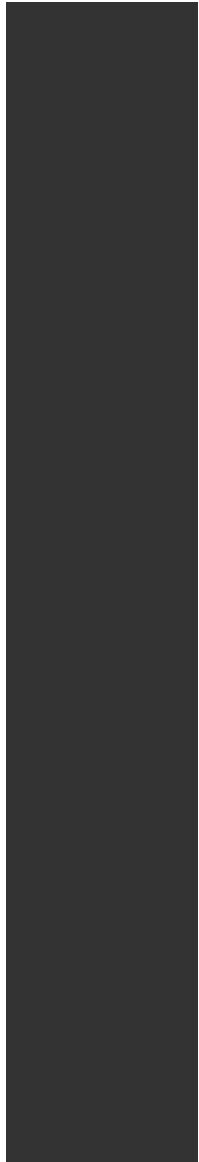


# Ядерный реактор

Глухова Анна 11а

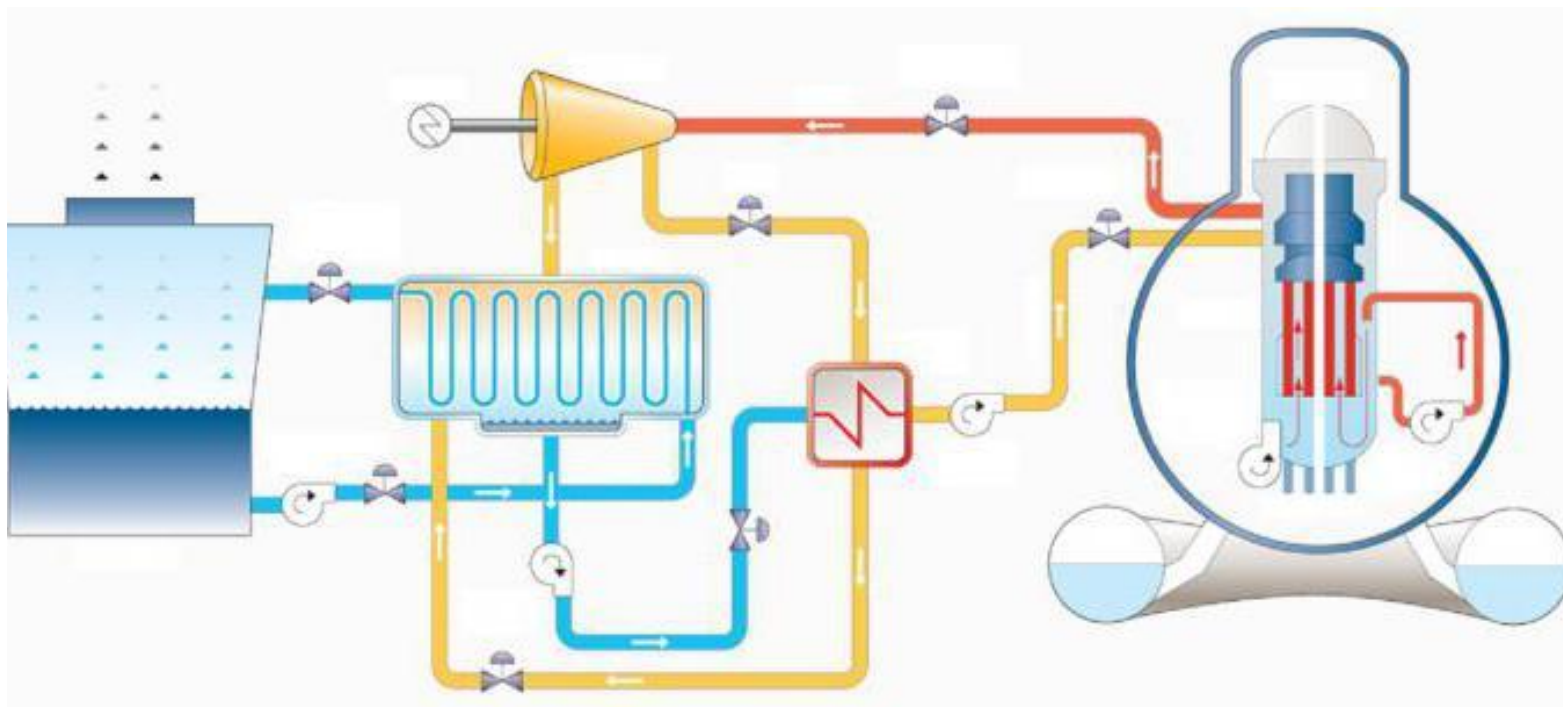
# Принцип работы

- Принцип работы ядерного реактора и атомной электростанции таков, что около 85% энергии расщепления высвобождается в течение очень короткого промежутка времени после начала реакции. Остальная часть вырабатывается в результате радиоактивного распада продуктов деления, после того как они излучили нейтроны. Радиоактивный распад является процессом, при котором атом достигает более стабильного состояния. Он продолжается и после завершения деления. В атомной бомбе цепная реакция увеличивает свою интенсивность, пока не будет расщеплена большая часть материала. Это происходит очень быстро, производя чрезвычайно мощные взрывы, характерные для таких бомб. Устройство и принцип действия ядерного реактора основаны на поддержании цепной реакции на регулируемом, почти постоянном уровне. Он сконструирован таким образом, что взорваться, как атомная бомба, не может.



# Цепная реакция и критичность

- Физика ядерного реактора деления состоит в том, что цепная реакция определяется вероятностью расщепления ядра после испускания нейтронов. Если популяция последних уменьшается, то скорость деления в конце концов упадет до нуля. В этом случае реактор будет находиться в докритическом состоянии. Если же популяция нейтронов поддерживается на постоянном уровне, то скорость деления будет оставаться стабильной. Реактор будет находиться в критическом состоянии. И, наконец, если популяция нейтронов со временем растет, скорость деления и мощность будет увеличиваться. Состояние активной зоны станет сверхкритическим.
- Принцип действия ядерного реактора следующий. Перед его запуском популяция нейтронов близка к нулю. Затем операторы удаляют управляющие стержни из активной зоны, увеличивая деление ядер, что временно переводит реактор в сверхкритическое состояние. После выхода на номинальную мощность операторы частично возвращают управляющие стержни, регулируя количество нейтронов. В дальнейшем реактор поддерживается в критическом состоянии. Когда его необходимо остановить, операторы вставляют стержни полностью. Это подавляет деление и переводит активную зону в докритическое состояние.



## Типы реакторов

Большинство существующих в мире ядерных установок являются энергетическими, генерирующими тепло, необходимое для вращения турбин, которые приводят в движение генераторы электрической энергии. Также есть много исследовательских реакторов, а некоторые страны имеют подводные лодки или надводные корабли, движимые энергией атома.

# Энергетические установки

- Существует несколько видов реакторов этого типа, но широкое применение нашла конструкция на легкой воде. В свою очередь, в ней может использоваться вода под давлением или кипящая вода. В первом случае жидкость под высоким давлением нагревается теплом активной зоны и поступает в парогенератор. Там тепло от первичного контура передается на вторичный, также содержащий воду. Генерируемый в конечном счете пар служит рабочей жидкостью в цикле паровой турбины. Реактор кипящего типа работает по принципу прямого энергетического цикла. Вода, проходя через активную зону, доводится до кипения на среднем уровне давления. Насыщенный пар проходит через серию сепараторов и сушилок, расположенных в корпусе реактора, что приводит его в сверхперегретое состояние. Перегретый водяной пар затем используется в качестве рабочей жидкости, вращающей турбину.



# Энергетические установки



# Высокотемпературные с газовым охлаждением

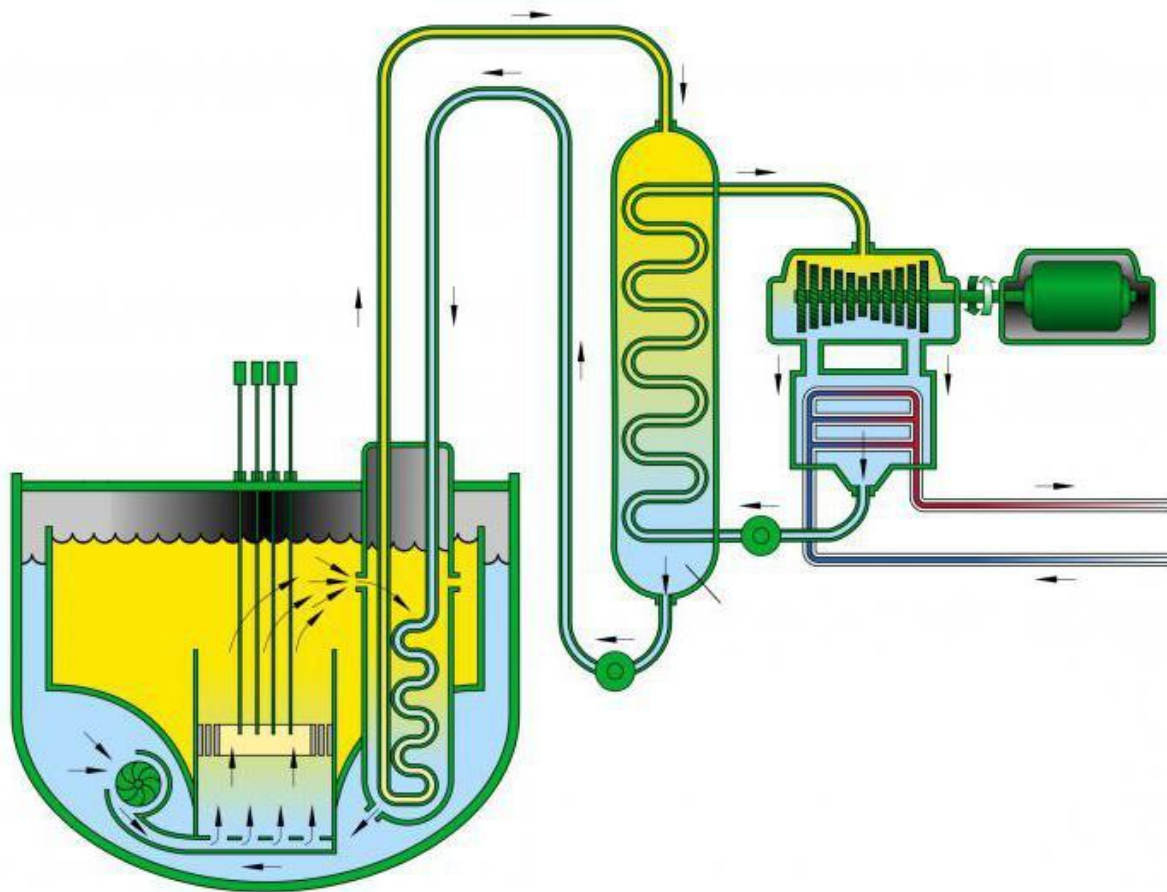
- Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор (ВТГР) – это ядерный реактор, принцип работы которого основан на применении в качестве топлива смеси графита и топливных микросфер. Существуют две конкурирующие конструкции:
  1. немецкая «засыпная» система, которая использует сферические топливные элементы диаметром 60 мм, представляющие собой смесь графита и топлива в графитовой оболочке;
  2. американский вариант в виде графитовых гексагональных призм, которые сцепляются, создавая активную зону.
- В обоих случаях охлаждающая жидкость состоит из гелия под давлением около 100 атмосфер. В немецкой системе гелий проходит через промежутки в слое сферических топливных элементов, а в американской – через отверстия в графитовых призмах, расположенных вдоль оси центральной зоны реактора. Оба варианта могут работать при очень высоких температурах, так как графит имеет чрезвычайно высокую температуру сублимации, а гелий полностью инертен химически. Горячий гелий может быть применен непосредственно в качестве рабочей жидкости в газовой турбине при высокой температуре или его тепло можно использовать для генерации пара водяного цикла.



# Жидкометаллический ядерный реактор: схема и принцип работы

- Реакторам на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем уделялось большое внимание в 1960-1970-х годах. Тогда казалось, что их возможности по воспроизводству ядерного топлива в ближайшее время необходимы для производства топлива для быстро развивающейся атомной промышленности. Когда в 1980-е годы стало ясно, что это ожидание нереалистично, энтузиазм угас. Однако в США, России, Франции, Великобритании, Японии и Германии построен ряд реакторов этого типа. Большинство из них работает на диоксиде урана или его смеси с диоксидом плутония. В Соединенных Штатах, однако, наибольший успех был достигнут с металлическим топливом.

# Жидкометаллический ядерный реактор: схема и принцип работы

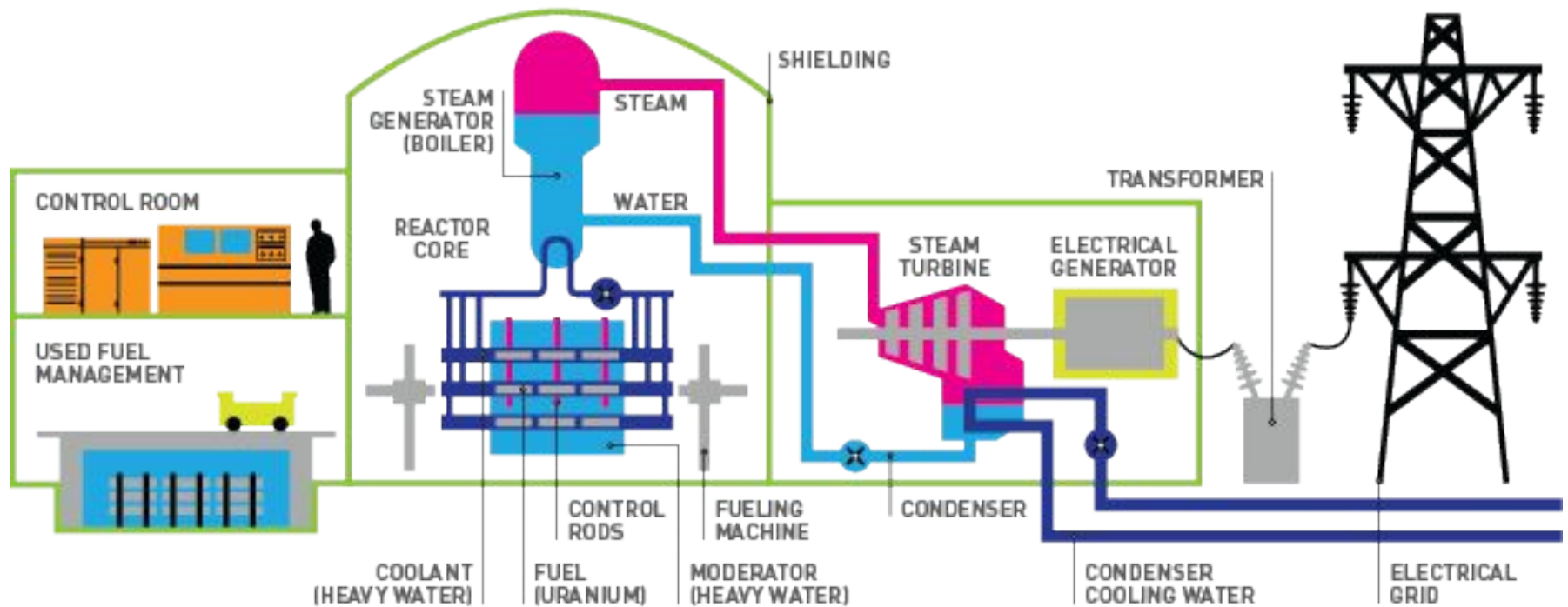


# CANDU

- Канада сосредоточила свои усилия на реакторах, в которых используется природный уран. Это избавляет от необходимости для его обогащения прибегать к услугам других стран. Результатом такой политики стал дейтерий-урановый реактор (CANDU). Контроль и охлаждение в нем производится тяжелой водой. Устройство и принцип работы ядерного реактора состоит в использовании резервуара с холодной D<sub>2</sub>O при атмосферном давлении. Активная зона пронизана трубами из циркониевого сплава с топливом из природного урана, через которые циркулирует охлаждающая его тяжелая вода. Электроэнергия производится за счет передачи теплоты деления в тяжелой воде охлаждающей жидкости, которая циркулирует через парогенератор. Пар во вторичном контуре затем проходит через обычный турбинный цикл.

# CANDU

## CANDU REACTOR SCHEMATIC



# ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ УСТАНОВКИ

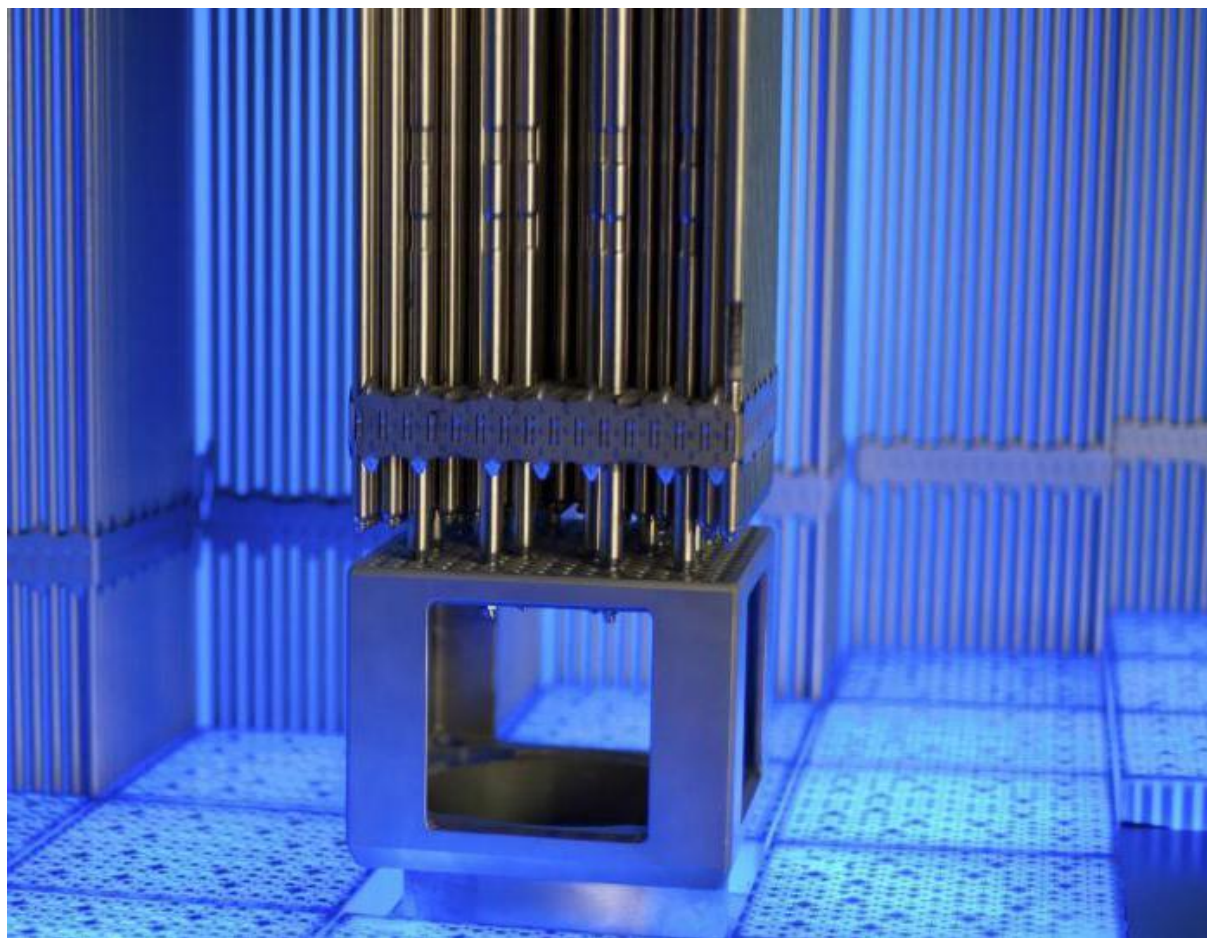
- Для проведения научных исследований чаще всего используется ядерный реактор, принцип работы которого состоит в применении водяного охлаждения и пластинчатых урановых топливных элементов в виде сборок. Способен функционировать в широком диапазоне уровней мощности, от нескольких киловатт до сотен мегаватт. Поскольку производство электроэнергии не является основной задачей исследовательских реакторов, они характеризуются вырабатываемой тепловой энергией, плотностью и номинальной энергией нейтронов активной зоны. Именно эти параметры помогают количественно оценить способность исследовательского реактора проводить конкретные изыскания. Маломощные системы, как правило, функционируют в университетах и используются для обучения, а высокая мощность необходима в научно-исследовательских лабораториях для тестирования материалов и характеристик, а также для общих исследований.

# ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ УСТАНОВКИ

- Наиболее распространен исследовательский ядерный реактор, строение и принцип работы которого следующие. Его активная зона расположена в нижней части большого глубокого бассейна с водой. Это упрощает наблюдение и размещение каналов, по которым могут быть направлены пучки нейтронов. При низких уровнях мощности нет необходимости прокачивать охлаждающую жидкость, так как для поддержания безопасного рабочего состояния естественная конвекция теплоносителя обеспечивает достаточный отвод тепла. Теплообменник, как правило, находится на поверхности или в верхней части бассейна, где скапливается горячая вода.



# Исследовательские установки



# Корабельные установки

- Первоначальным и основным применением ядерных реакторов является их использование в подводных лодках. Главным их преимуществом является то, что, в отличие от систем сжигания ископаемого топлива, для выработки электроэнергии им не требуется воздух. Следовательно, атомная субмарина может оставаться в погруженном состоянии в течение длительного времени, а обычная дизель-электрическая подлодка должна периодически подниматься на поверхность, чтобы запускать свои двигатели в воздухе. Ядерная энергетика дает стратегическое преимущество кораблям ВМС. Благодаря ей отпадает необходимость заправляться в иностранных портах или от легко уязвимых танкеров.

# Корабельные установки

- Принцип работы ядерного реактора на подводной лодке засекречен. Однако известно, что в США в нем используется высокообогащенный уран, а замедление и охлаждение производится легкой водой. Конструкция первого реактора атомной субмарины USS Nautilus находилась под сильным влиянием мощных исследовательских установок. Его уникальными особенностями является очень большой запас реактивности, обеспечивающей длительный период работы без дозаправки и возможность перезапуска после остановки. Электростанция в подлодках должна быть очень тихой, чтобы избежать обнаружения. Для удовлетворения конкретных потребностей различных классов субмарин были созданы разные модели силовых установок.

# Корабельные установки

- На авианосцах ВМС США используется ядерный реактор, принцип работы которого, как полагают, заимствован у крупнейших подлодок. Подробные сведения их конструкции также не были опубликованы. Кроме США, атомные подводные лодки имеются у Великобритании, Франции, России, Китая и Индии. В каждом случае конструкция не разглашалась, но считается, что все они весьма схожи – это является следствием одинаковых требований к их техническим характеристикам. Россия также обладает небольшим флотом атомных ледоколов, на которых устанавливались такие же реакторы, как и на советских субмаринах.

# Корабельные установки



# Промышленные установки

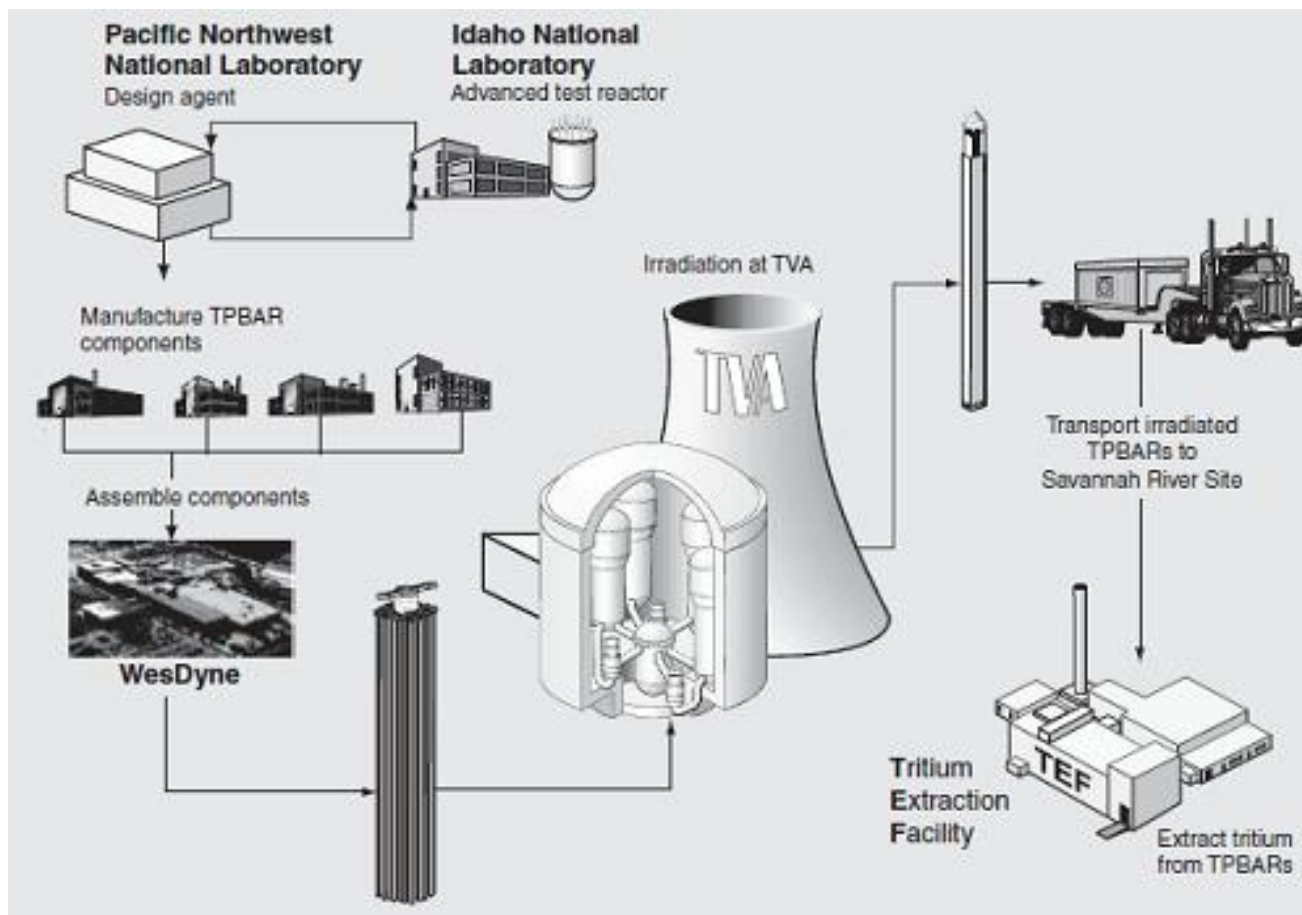
- Для целей производства оружейного плутония-239 используется ядерный реактор, принцип работы которого состоит в высокой производительности при низком уровне производства энергии. Это обусловлено тем, что длительное пребывание плутония в активной зоне приводит к накоплению нежелательного  $^{240}\text{Pu}$ .



# Производство трития

- В настоящее время основным материалом, получаемым с помощью таких систем, является тритий ( $^3\text{H}$  или  $\text{T}$ ) – заряд для водородных бомб. Плутоний-239 имеет длительный период полураспада, равный 24100 годам, поэтому страны с арсеналами ядерного оружия, использующими этот элемент, как правило, имеют его больше, чем необходимо. В отличие от  $^{239}\text{Pu}$ , период полураспада трития составляет примерно 12 лет. Таким образом, чтобы поддерживать необходимые запасы, этот радиоактивный изотоп водорода должен производиться непрерывно. В США в Саванна-Ривер (штат Южная Каролина), например, работает несколько реакторов на тяжелой воде, которые производят тритий.

# Производство трития



# Плавающие энергоблоки

- Созданы ядерные реакторы, способные обеспечить электроэнергией и паровым отоплением удаленные изолированные районы. В России, например, нашли применение небольшие энергетические установки, специально предназначенные для обслуживания арктических населенных пунктов. В Китае 10-МВт установка HTR-10 снабжает теплом и электроэнергией исследовательский институт, в котором она находится. Разработки небольших автоматически управляемых реакторов с аналогичными возможностями ведутся в Швеции и Канаде. В период с 1960 по 1972 год армия США использовала компактные водяные реакторы для обеспечения удаленных баз в Гренландии и Антарктике. Они были заменены мазутными электростанциями.

**АТЭС ММ**

**ПЛАВУЧИЙ ЭНЕРГОБЛОК  
С РЕАКТОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ  
КЛТ-40С**



# Покорение космоса

- Кроме того, были разработаны реакторы для энергоснабжения и передвижения в космическом пространстве. В период с 1967 по 1988 год Советский Союз устанавливал небольшие ядерные установки на спутники серии «Космос» для питания оборудования и телеметрии, но эта политика стала мишенью для критики. По крайней мере один из таких спутников вошел в атмосферу Земли, в результате чего радиоактивному загрязнению подверглись отдаленные районы Канады. Соединенные Штаты запустили только один спутник с ядерным реактором в 1965 году. Однако проекты по их применению в дальних космических полетах, пилотируемых исследованиях других планет или на постоянной лунной базе продолжают разрабатываться. Это обязательно будет газоохлаждаемый или жидкометаллический ядерный реактор, физические принципы работы которого обеспечат максимально высокую температуру, необходимую для минимизации размера радиатора. Кроме того, реактор для космической техники должен быть максимально компактным, чтобы свести к минимуму количество материала, используемого для экранирования, и для уменьшения веса во время старта и космического полета. Запас топлива обеспечит работу реактора на весь период космического полета.