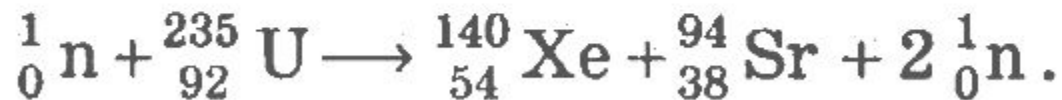


# Цепная ядерная реакция

*Цепная ядерная реакция* - самоподдерживающаяся реакция деления тяжелых ядер, в которой непрерывно воспроизводятся нейтроны, делящие все новые и новые ядра.

Цепная реакция практически осуществляется лишь на трех изотопах. Один из них —  ${}_{92}^{235}\text{U}$ , который присутствует в природном уране (0,7%), а два других —  ${}_{92}^{233}\text{U}$  и  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$  получают искусственно.

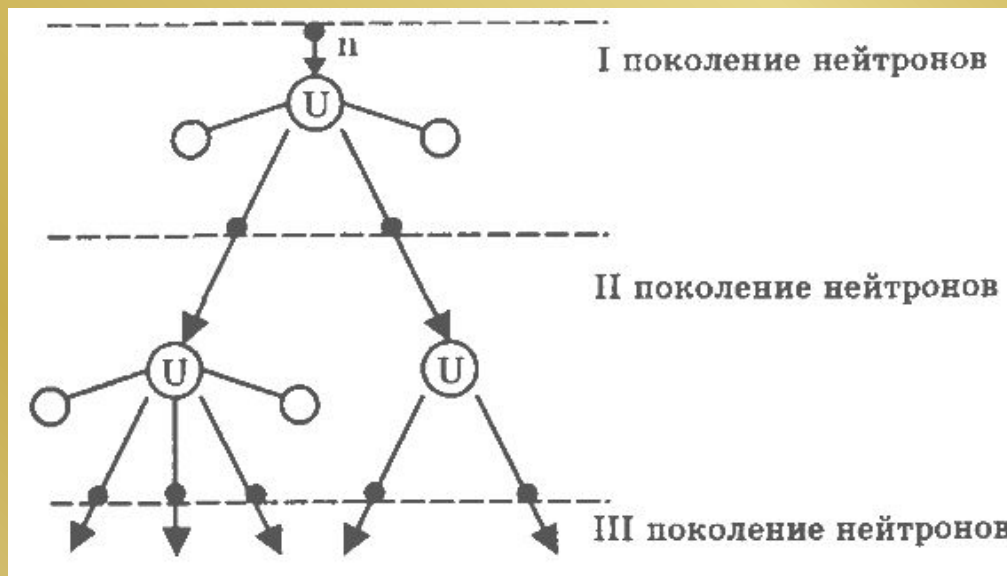


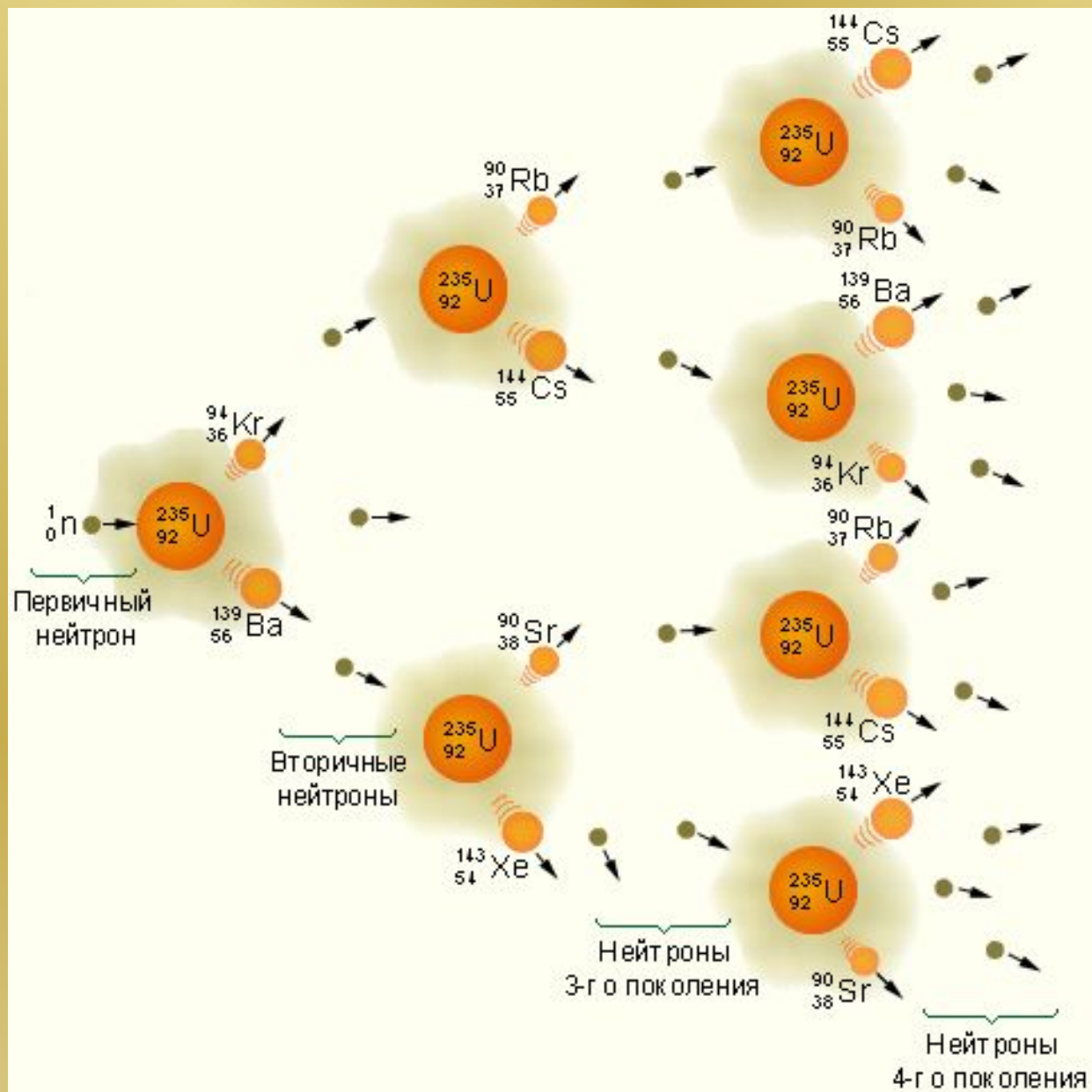
- Скорость нарастания цепной ядерной реакции характеризуют величиной, называемой *коэффициентом размножения нейтронов*.

*Коэффициент* к размножения нейтронов характеризует быстроту роста числа нейтронов и равен отношению числа нейтронов в одном каком-либо поколении цепной реакции к породившему их числу нейтронов предшествующего поколения.

$$K = \frac{N_i}{N_{i-1}},$$

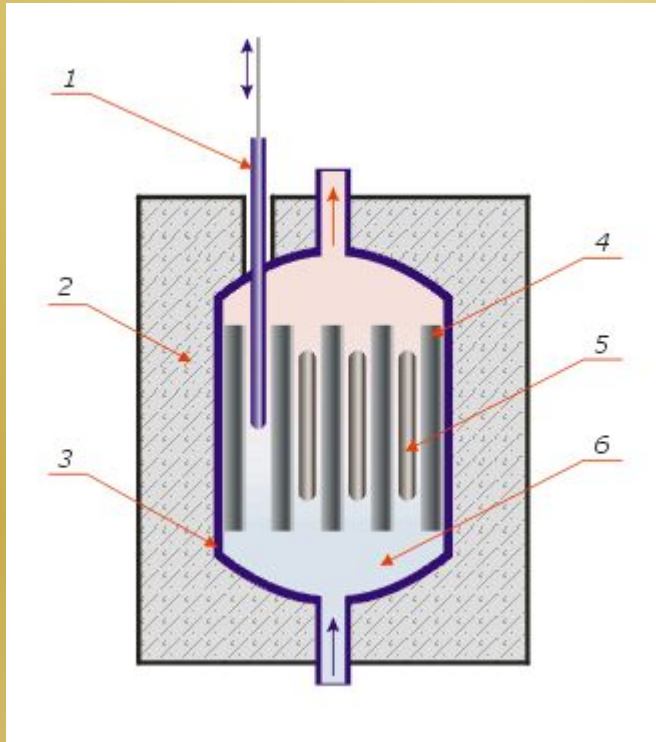
- где  $N_i$  - число нейтронов в  $i$ -поколении,  $N_{i-1}$  - число нейтронов в предыдущем поколении. Необходимое условие протекания цепной ядерной реакции может быть выражено следующим образом:  $k \geq 1$ .





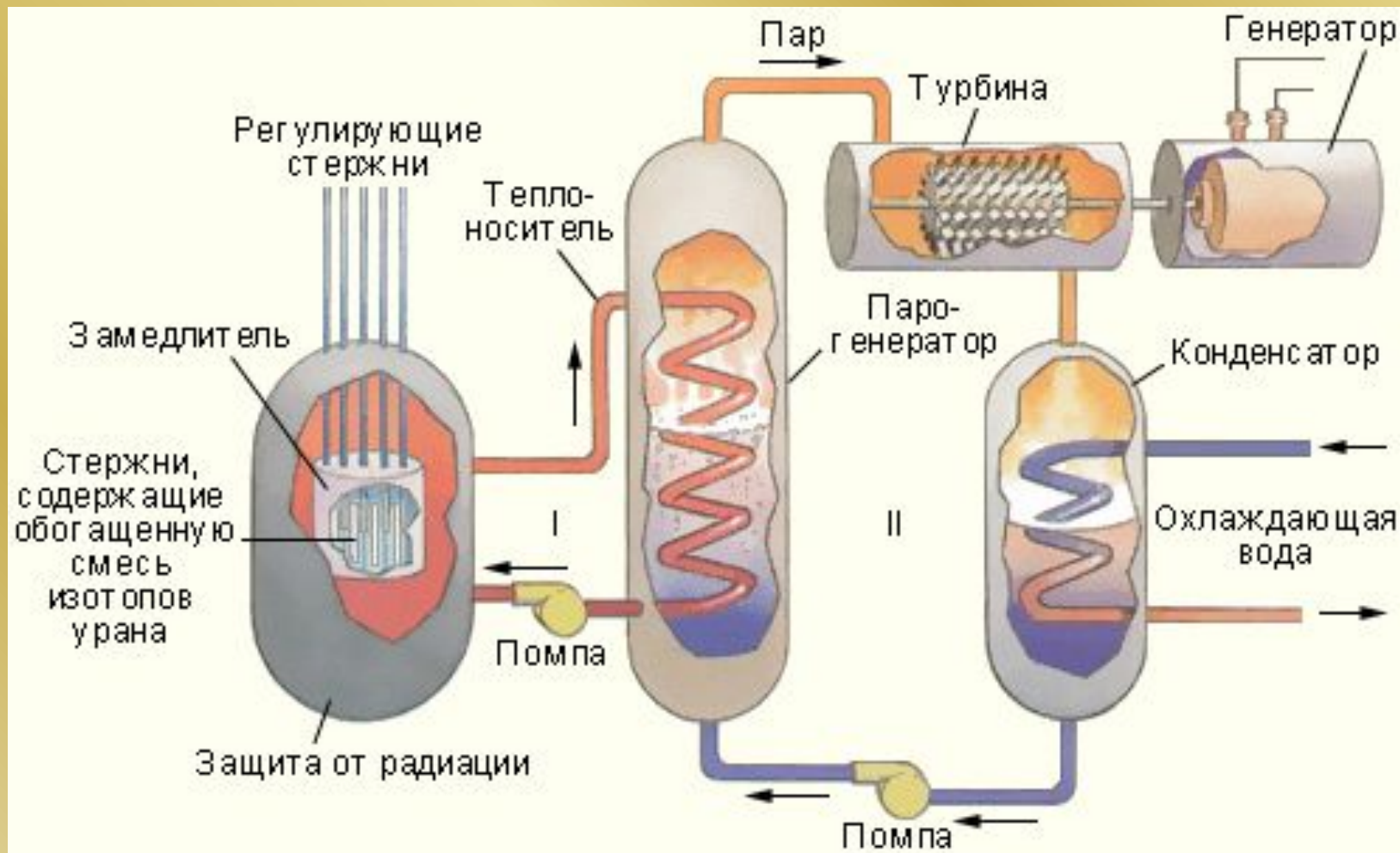
- При  $k = 1$  число нейтронов, участвующих в делении ядер, остается неизменным, реакция протекает стационарно, имеет управляемый характер. При  $k > 1$  число нейтронов увеличивается, интенсивность реакции возрастает и при  $k > 1,006$  может принять неуправляемый характер; при  $k = 1,01$  происходит взрыв.
- *Ядерный реактор* - устройство, в котором осуществляется управляемая цепная ядерная реакция (рис. 119). Главной частью ядерного реактора является активная зона 2 с блоками ядерного топлива 1.
- Управление протеканием ядерной реакции осуществляется с помощью регулирующих стержней 5 (кадмий, карбид бора и др.).
- Для увеличения коэффициента размножения нейтронов активную зону окружают отражатели нейтронов 3.
- Так как ядерный реактор является мощным источником нейтронов и  $\gamma$ -излучения, в нем предусмотрена радиационная защита 4. Для отвода тепла применяется вода, жидкий натрий и др.; трубки с теплоносителем 7. Для замедления нейтронов в ядерных реакторах используется специальный замедлитель 6 (тяжелая вода или графит).
- Наименьшая масса делящегося вещества, при котором может протекать цепная реакция, называется *критической массой*. При этом  $k = 1$ : число нейтронов, потерянных вследствие захвата ядрами без деления и утечки, равно числу нейтронов, полученных в процессе деления.
- Для чистого (без замедлителя)  $^{235}\text{U}$ , имеющего форму шара, критическая масса равна 50 кг, а радиус шара - примерно 9 см. Применяя замедлитель нейтронов и отражающую нейтроны оболочку из бериллия, удалось снизить критическую массу до 250 г.

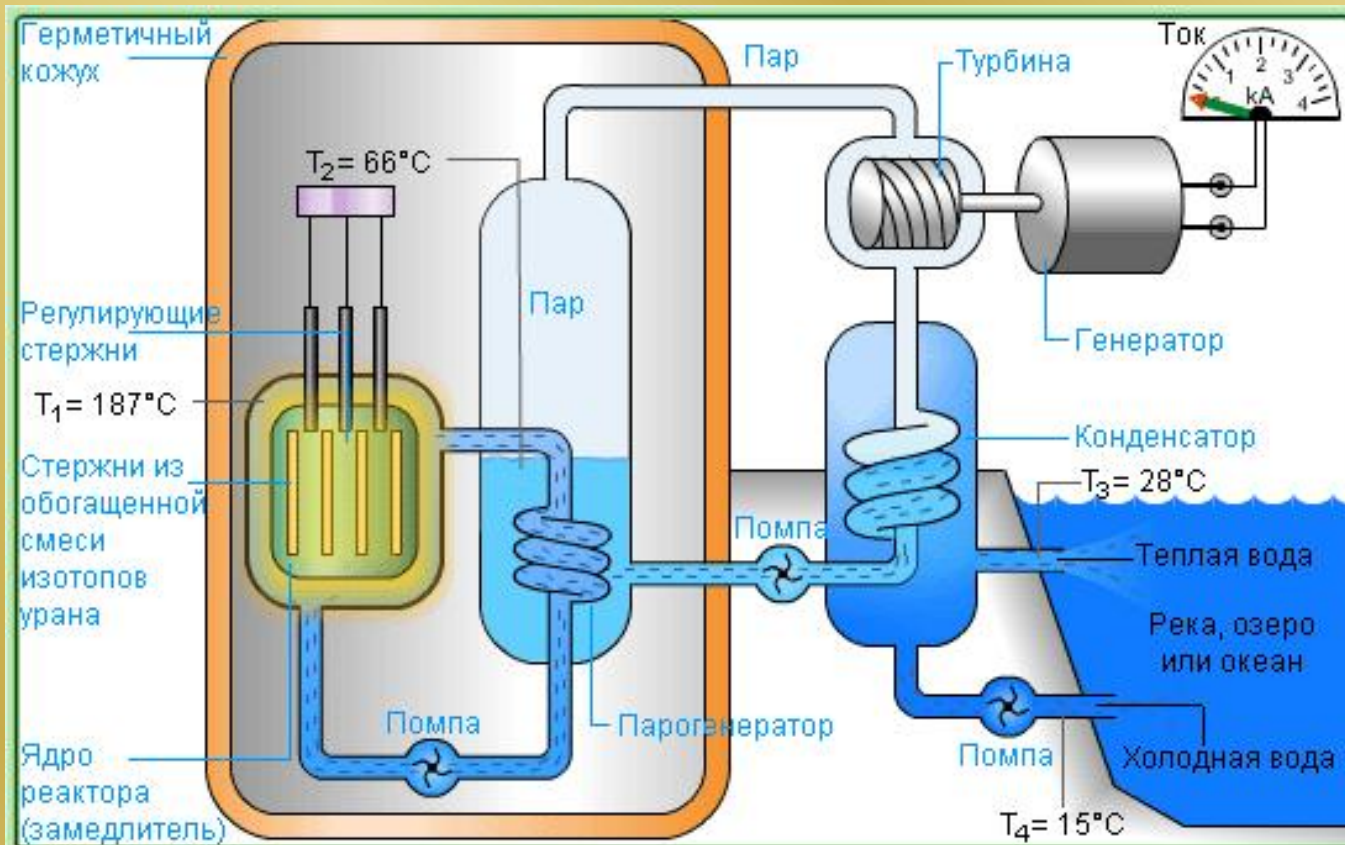
## Схематическое устройство гетерогенного реактора на тепловых нейтронах



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

- **Конструкция**
- Любой ядерный реактор состоит из следующих частей:
- Активная зона с ядерным топливом и замедлителем;
- Отражатель нейтронов, окружающий активную зону;
- Теплоноситель;
- Система регулирования цепной реакции, в том числе аварийная защита
- Радиационная защита
- Система дистанционного управления
- Основная характеристика реактора — его выходная мощность. Мощность в 1 МВт соответствует цепной реакции, при которой происходит  $3 \cdot 10^{16}$  делений в 1 сек.



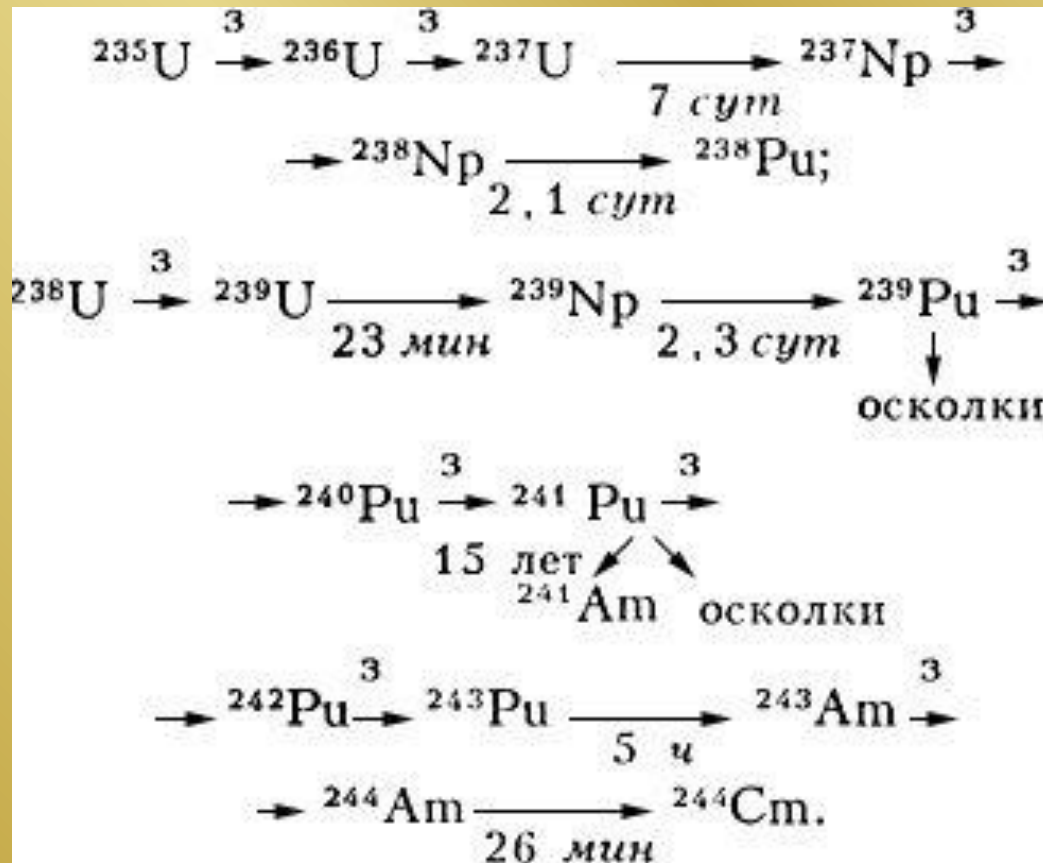


- Показать надписи
- Условия процесса
- Насосы

Управляющие стержни

Опустить





**Схема образования трансураниевых элементов в ядерном реакторе**

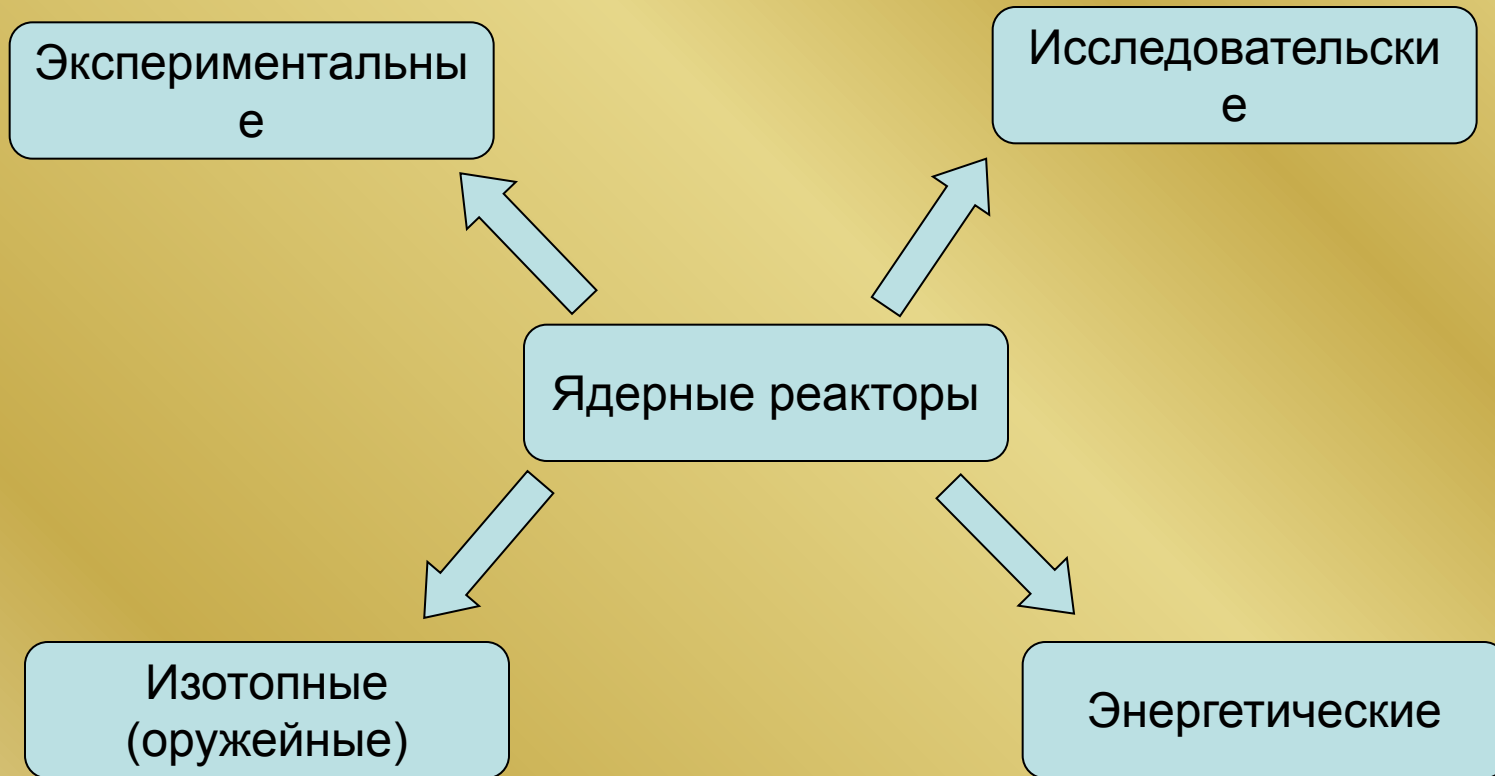
# Ядерный реактор





Пульт управления ядерным реактором

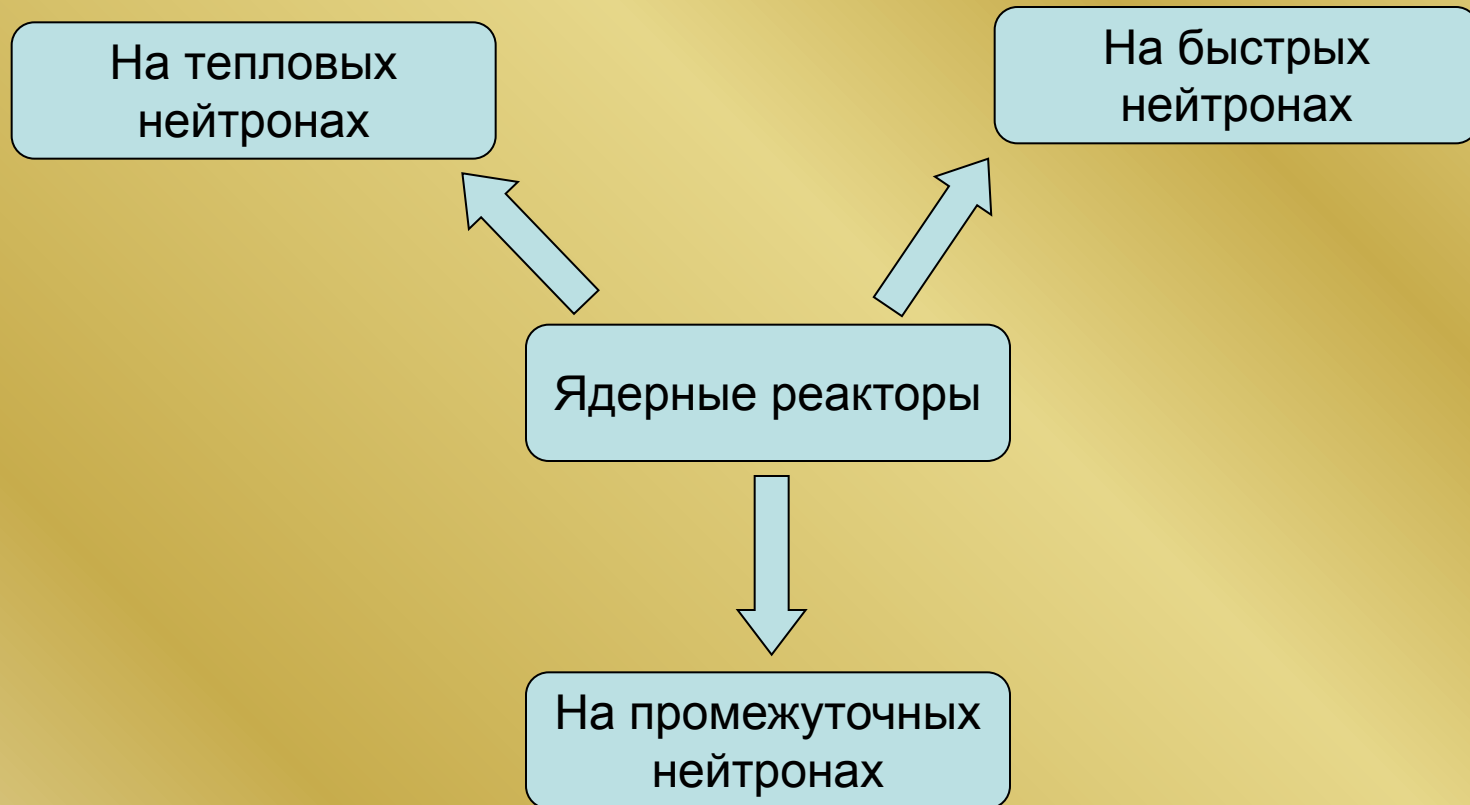
# Классификация реакторов (по характеру использования)



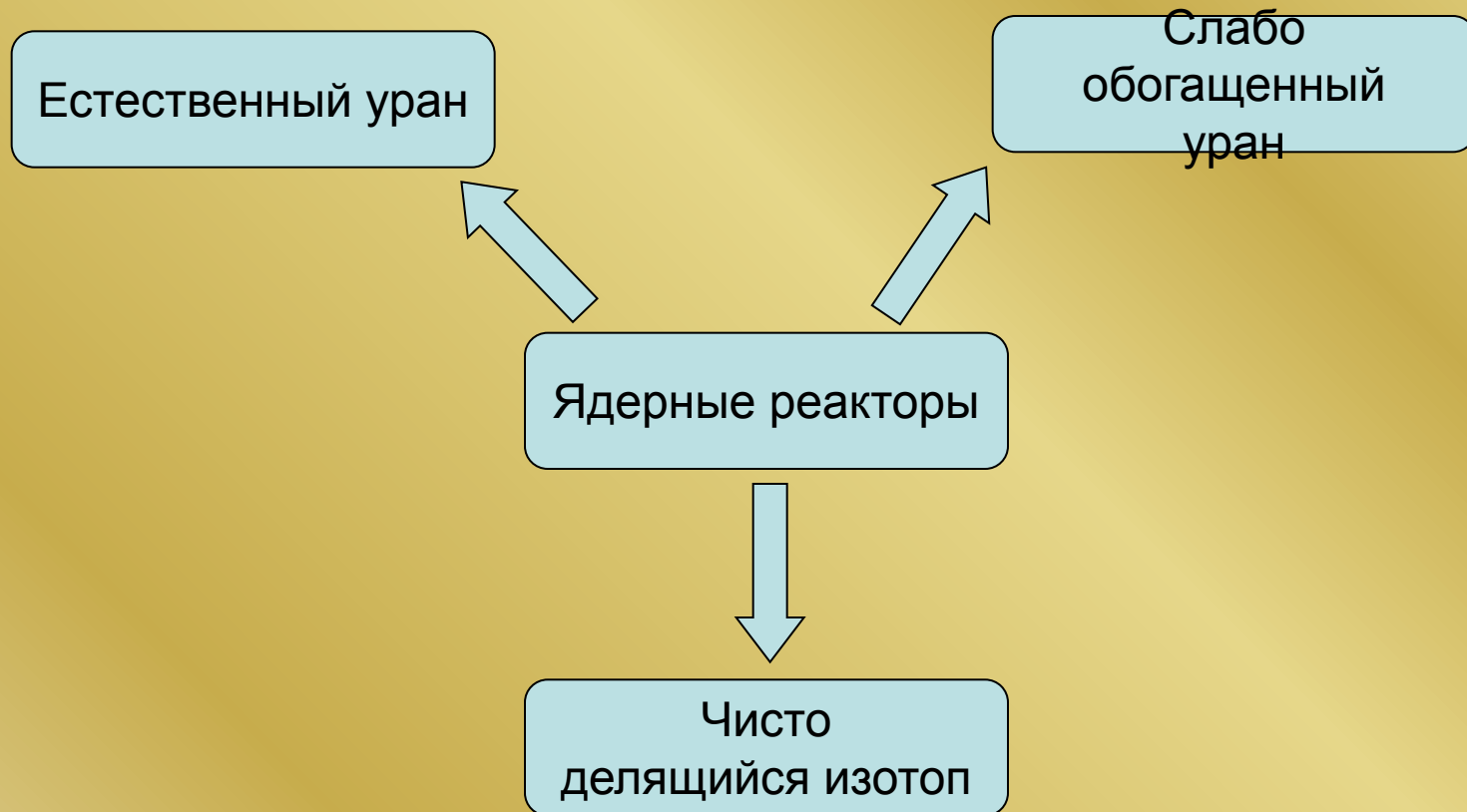
# Классификация реакторов

- **По характеру использования**
- **Экспериментальные реакторы**, предназначенные для изучения различных физических величин, значение которых необходимо для проектирования и эксплуатации ядерных реакторов; мощность таких реакторов не превышает несколько кВт;
- **Исследовательские реакторы**, в которых потоки нейтронов и  $\gamma$ -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 т. ч. деталей ядерных реакторов), для производства изотопов. Мощность исследовательских реакторов не превосходит 100 Мвт; выделяющаяся энергия, как правило, не используется.
- **Изотопные (оружейные) реакторы**, используемые для наработки изотопов, используемых в ядерных вооружениях, например  $^{239}\text{Pu}$ .
- **Энергетические реакторы**, предназначенные для получения электрической и тепловой энергии, используемой в энергетике, при опреснении воды, для привода силовых установок кораблей и т. д.; Тепловая мощность современного энергетического реактора достигает 3-5 ГВт.

# Классификация реакторов (по спектру нейтронов)



# Классификация реакторов (по виду топлива)



# Классификация реакторов

- **По виду теплоносителя**
- H<sub>2</sub>O (вода, Водо-водяной реактор)
- Газ, (Графито-газовый реактор)
- D<sub>2</sub>O (тяжёлая вода, Тяжеловодный ядерный реактор, CANDU)
- Реактор с органическим теплоносителем
- Реактор с жидкометаллическим теплоносителем
- Реактор на расплавах солей

## По роду замедлителя

- С (графит, Графито-газовый реактор, Графито-водный реактор)
- H<sub>2</sub>O (вода, Легководный реактор, Водо-водяной реактор, ВВЭР)
- D<sub>2</sub>O (тяжёлая вода, Тяжеловодный ядерный реактор, CANDU)
- [Be](#), BeO
- **Гидриды** металлов
- Без замедлителя (Реактор на быстрых нейтронах)

## [По конструкции

- Корпусные реакторы
- Канальные реакторы

## По способу генерации пара

- Реактор с внешним парогенератором (Водо-водяной реактор, ВВЭР)
- Кипящий реактор





Ядерный взрыв вследствие  
быстрой цепной реакции  
деления ядер  $^{235}\text{U}$  или  $^{239}\text{Pu}$