

# ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР УРАНА

# Историческая справка

Деление ядра было открыто в 1938 г. О.Ганом и Ф. Штрассманом. Однако правильное истолкование факта было дано в 1939г. О.Фришем и Л.Мейтнером.

Спонтанное деление ядер урана было открыто Г.Н. Флеровым и К.А.Петржаком в 1940г. Период полураспада спонтанного деления равен  $10^{16}$  лет.

# Процесс деления

Ядро тяжелого элемента:

- 1) Захватывает нейтрон
- 2) Возбуждается
- 3) Делится на осколки (элементы средней тяжести),  
одновременно испуская:
  - 2-3 нейтрона,
  - $\gamma$ -лучи,
  - $\approx 200$  МэВ энергии

# Объяснение

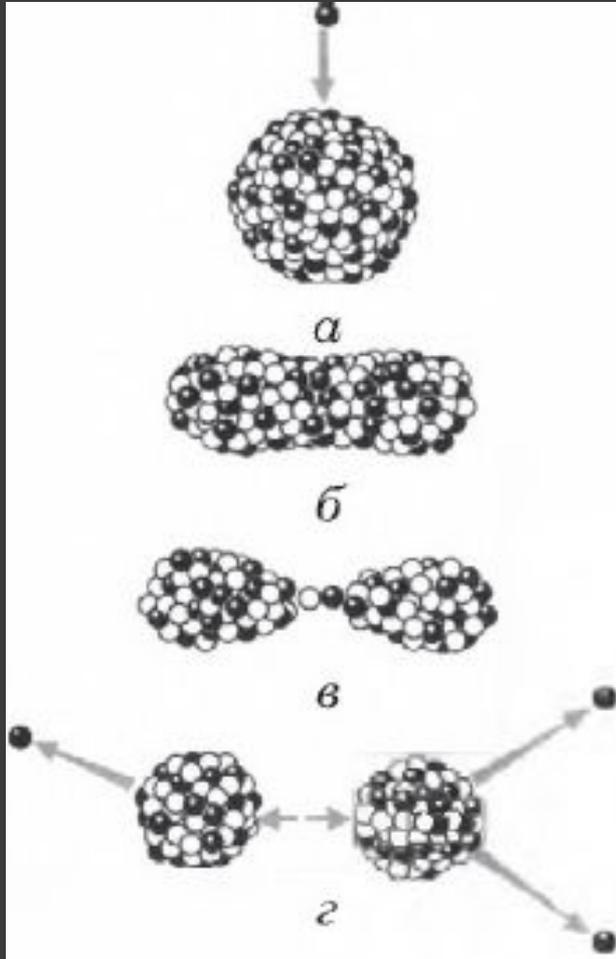
- Масса покоя тяжелого ядра больше суммарной массы покоя осколков, поэтому происходит выделение энергии, эквивалентной уменьшению массы покоя.
- Деление на элементы средней тяжести энергетически выгодно, так как элементы с  $A \approx 100$  обладают большей удельной энергией связи. Чем больше энергия связи ядра, тем большая энергия должна выделяться при возникновении ядра и тем меньше внутренняя энергия образовавшейся системы.

## Вывод

Выделяющаяся энергия имеет электростатическое происхождение. Вследствие кулоновского отталкивания осколков возникает кинетическая энергия, которая занимает большую часть полной энергии выделения (168МэВ из 200МэВ).

# Капельная модель ядра

- ◎ Согласно модели, сгусток нуклонов напоминает капельку заряженной жидкости.
- ◎ Ядерные силы между нуклонами короткодействующие, как и между молекулами жидкости.
- ◎ Наряду с силами электростатического отталкивания, действуют ядерные силы притяжения, удерживающие ядро от распада.



а) ядро урана-235 поглощает лишний нейтрон

б) ядро деформируется, приобретает вытянутую форму

в) ядро вытягивается до тех пор, пока силы отталкивания между половинками не станут больше сил притяжения в перешейке

г) разрыв на 2 осколка, разлетающихся со скоростью  $c/30$  под действием кулоновских сил отталкивания

# Испускание нейтронов в процессе деления

- Нейтроны освобождаются в процессе деления путем последовательных  $\beta$ -распадов, поскольку у возникающих осколков относительное число нейтронов оказывается больше, чем это допустимо для ядер элементов в середине периодической системы.
- Энергия электронов имеет различные значения (от нескольких миллионов эВ до  $\approx 0$ ).

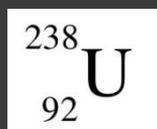
# Вывод

Делиться на части могут только ядра некоторых тяжелых элементов. При делении испускаются 2-3 нейтрона,  $\gamma$  –лучи. Одновременно выделяется большая энергия.

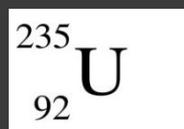
# ЦЕПНЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

- ⦿ При делении ядра урана освобождаются 2-3 нейтрона. Это позволяет осуществлять цепную ядерную реакцию.
- ⦿ Ядерная цепная реакция – реакция, в которой частицы, вызывающие её (нейтроны), образуются как продукты этой реакции.
- ⦿ Цепная реакция сопровождается выделением  $\approx 200$  МэВ энергии

Для осуществления цепной реакции пригодны только 2 изотопа урана:



+



=

Естественный уран



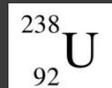
Делится только под влиянием нейтронов с энергией более 1МэВ.

1 из 5 нейтронов производит деление этого изотопа.

Цепная реакция с использованием этого изотопа невозможна, т. к.  $k < 1$ .



Составляет 1/140 от изотопа



Делится под влиянием как быстрых, так и медленных нейтронов.

Цепная реакция с использованием этого изотопа возможна.

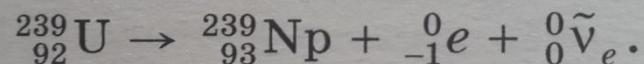
- ◎ Коэффициент размножения нейтронов – отношение числа нейтронов в каком-либо «поколении» к числу нейтронов «предшествующего «поколения».
- ◎ Если  $k \geq 1$ , то число нейтронов увеличивается с течением времени или остается постоянным, и цепная реакция идет.  
Если  $k < 1$ , число нейтронов убывает и цепная реакция невозможна.  
Для стационарного течения цепной реакции  $k$  должен быть равен единице.

# Факторы коэффициента размножения:

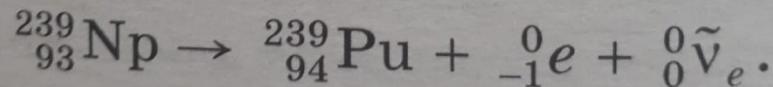
1. Захват медленных нейтронов ядрами урана-235 с последующим делением и захватом быстрых нейтронов ядрами урана-238 и урана-235 также с последующим делением.
2. Захватом нейтронов ядрами урана без деления.
3. Захватом нейтронов продуктами деления, замедлителем и конструктивными элементами установки.
4. Вылетом нейтронов из делящегося вещества наружу.

# Образование плутония

- После захвата нейтрона ядрами изотопа урана-238 образуется радиоактивный уран-239 с периодом полураспада 23 мин. Его распад происходит с испусканием электрона, антинейтрино и возникновением нептуния ( $\beta$ -радиоактивен, с периодом полураспада около 2 дней):



- В процессе распада нептуния образуется плутоний (период полураспада – 24000 лет, делится под влиянием медленных нейтронов):



С помощью плутония также может быть совершена цепная реакция с выделением громадной энергии.

# Вывод

Цепная реакция деления возможна благодаря тому, что при делении ядер испускается 2-3 нейтрона. Большая часть выделяемой энергии приходится на кинетическую энергию осколков делящихся ядер.

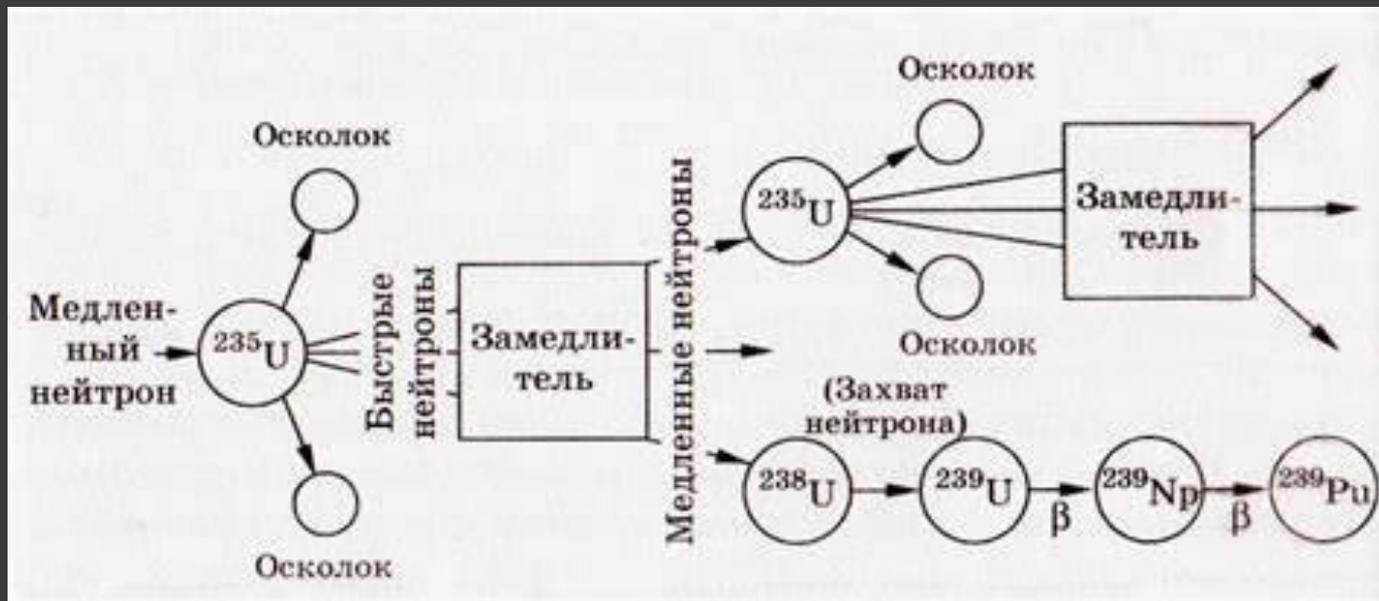
# ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР

# Историческая справка

- ⦿ Впервые цепная реакция деления урана была осуществлена в США коллективом ученых под руководством Энрико Ферми в 1942г.
- ⦿ В СССР первый ядерный реактор был запущен в 1946г. Коллективом физиков под руководством Игоря Васильевича Курчатова.

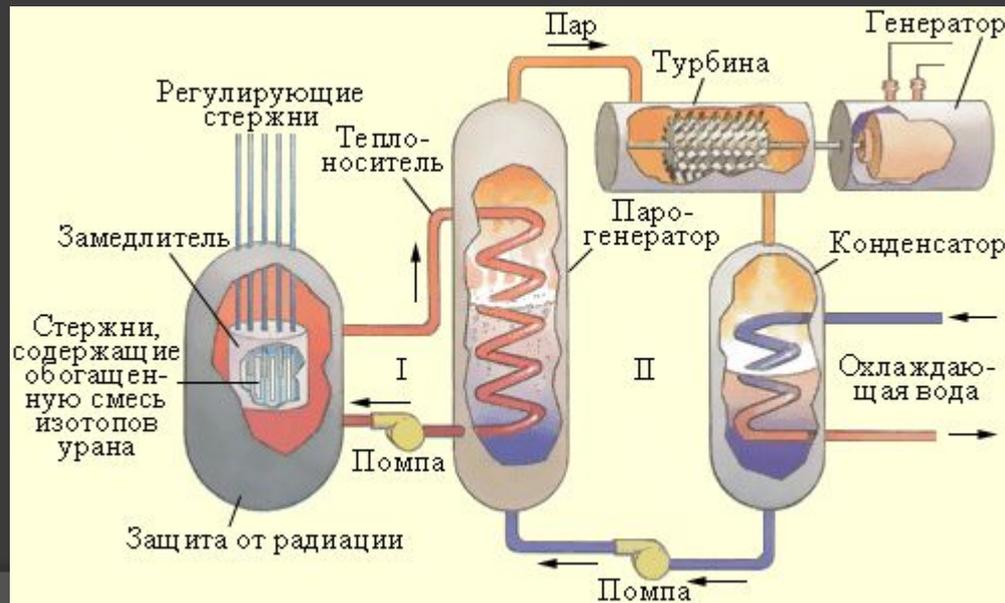
# Определение, работающее вещество

- Ядерный реактор – устройство, в котором осуществляется управляемая реакция деления ядер.
- Работающее вещество – уран-235, плутоний-239.



# Устройство

- Основные элементы ядерного реактора: ядерное горючее, замедлитель нейтронов (тяжелая или обычная вода, графит и др.), теплоноситель для вывода энергии, образующейся при работе реактора (вода, жидкий натрий, и др.), устройство для регулирования скорости реакции (вводимые в рабочее пространство реактора стержни, содержащие кадмий или бор – вещества, хорошо поглощающие нейтроны).



# Принцип действия

1. В результате цепной реакции выделяется тепловая энергия.
2. Происходит нагрев воды в системе генератора через теплоноситель.
3. Происходит парообразование в парогенераторе, пар запускает турбину.
4. Турбина вращает электрогенератор, вырабатывается электрическая энергия.
5. Пар, прошедший через турбину, переходит в жидкое состояние в конденсаторе, получившаяся вода проходит цикл повторно.

## Преимущества

1. Высокая эффективность и выделение энергии
2. Небольшой объем используемого топлива (энергия, получаемая с 1 г урана эквивалентна энергии, получаемой при сгорании 3 т угля или 2,5 т нефти).
3. Отсутствие вредных выбросов
4. Низкая вероятность аварии

## Недостатки

1. Сложность переработки и хранения топлива
2. Невозможность утилизации отходов
3. Крайне тяжелые последствия в случае аварии