

Химическая технология ядерного топлива

Тема 14. Обогащение урана по изотопу U-235

Амелина Галина Николаевна

доцент ОЯТЦ ИЯТШ

334-10 к.

Методы разделения изотопов:

- 1. Газодиффузионный;**
- 2. Центрифугирование;**
3. Дистилляция (ректификация)
4. Электромагнитный
5. Термодиффузионный
6. Изотопный обмен
7. Лазерное разделение

Степень обогачения урана по U^{235} :

1,8 %;

3 %;

5 %;

20 %;

90 %.

Газодиффузионный метод разделения изотопов

коэффициент разделения – как отношение скоростей диффузии

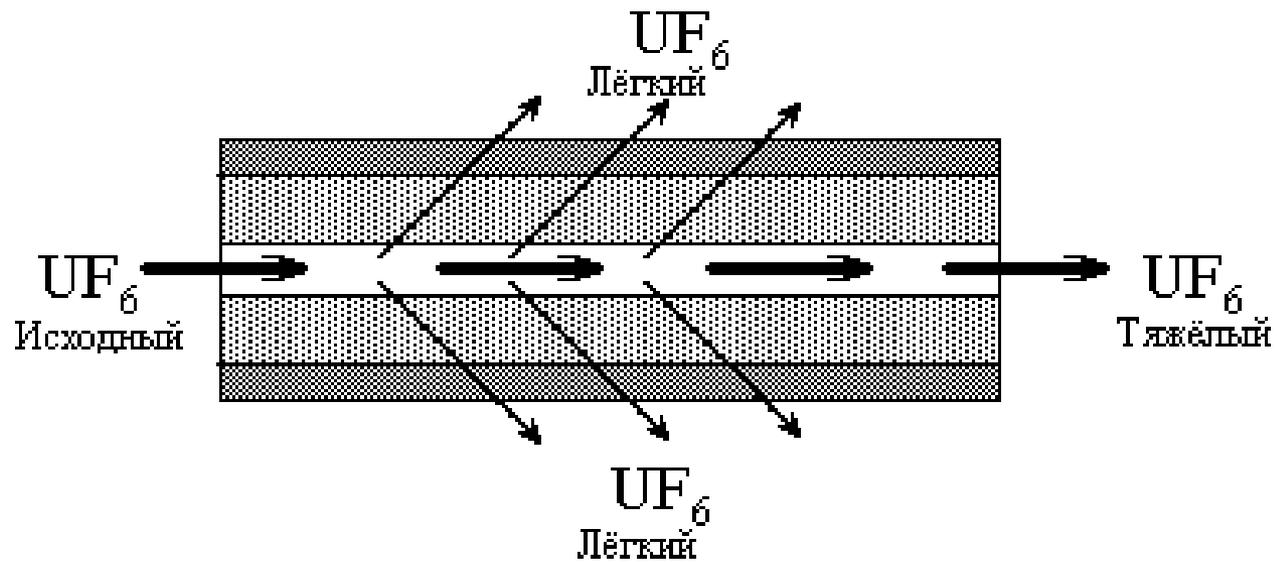
$$\alpha = \frac{\vec{V}_{\text{тяжёлых}}}{\vec{V}_{\text{лёгких}}} = \sqrt{\frac{M_{\text{тяжелых}}}{M_{\text{лёгких}}}}$$

теоретический коэффициент разделения: $\alpha = 1,0043$;

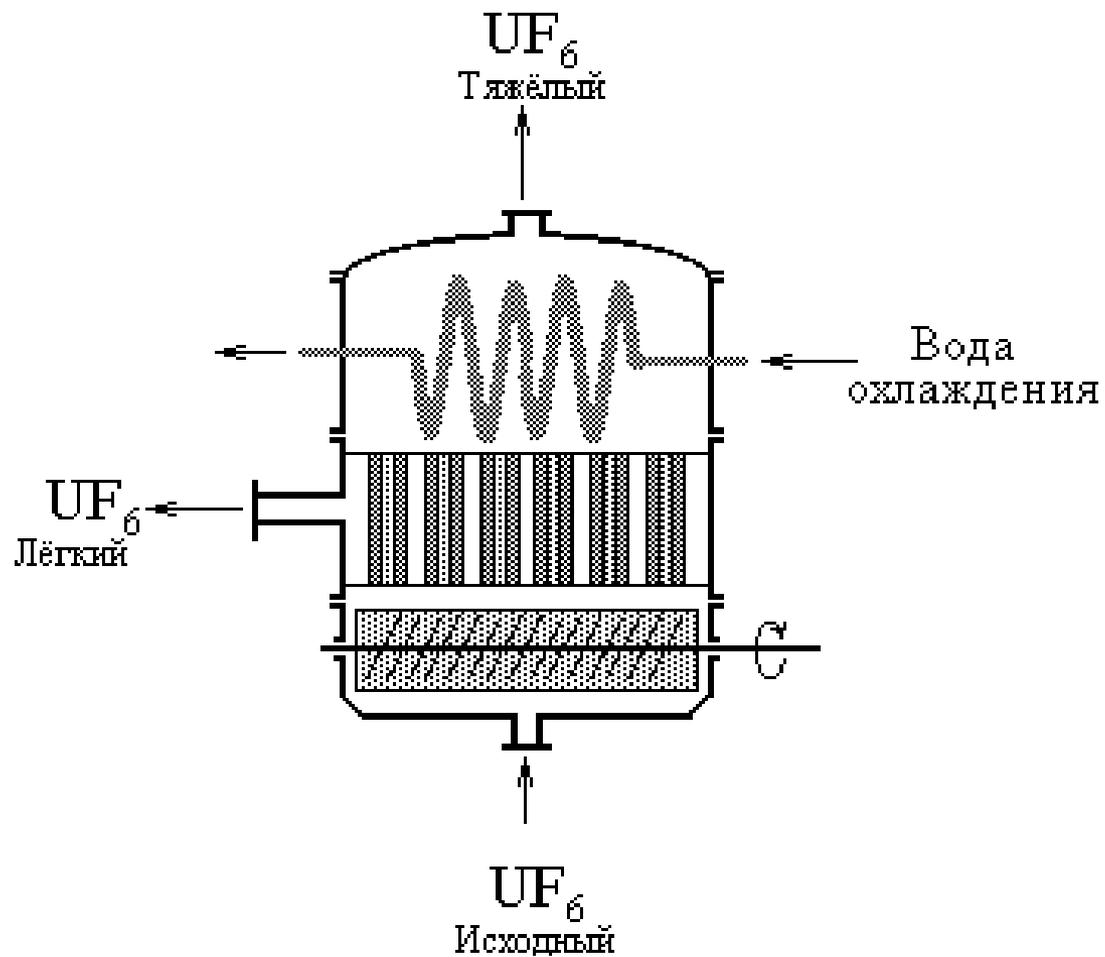
реальный $\alpha = 1,003$,

т.е. для обогащения урана на 4,5% необходимо около 650 ступеней разделения изотопов.

Пористая перегородка газодиффузионной машины



Устройство газодиффузионной машины





Недостатки газодиффузионного метода разделения изотопов

- Недостаточная степень разделения
- Разрушение никелевой перегородки (реагирует с UF_6)
- Накопление в трубке UF_4
- Необходимость регенерации трубок
- Периодичность процесса
- Большие энергозатраты
- Большой расход охлаждающей воды
- Большие производственный площади

Газодиффузионное разделение изотопов



Газодиффузионный завод для производства ^{235}U в Ок-Ридже (США)

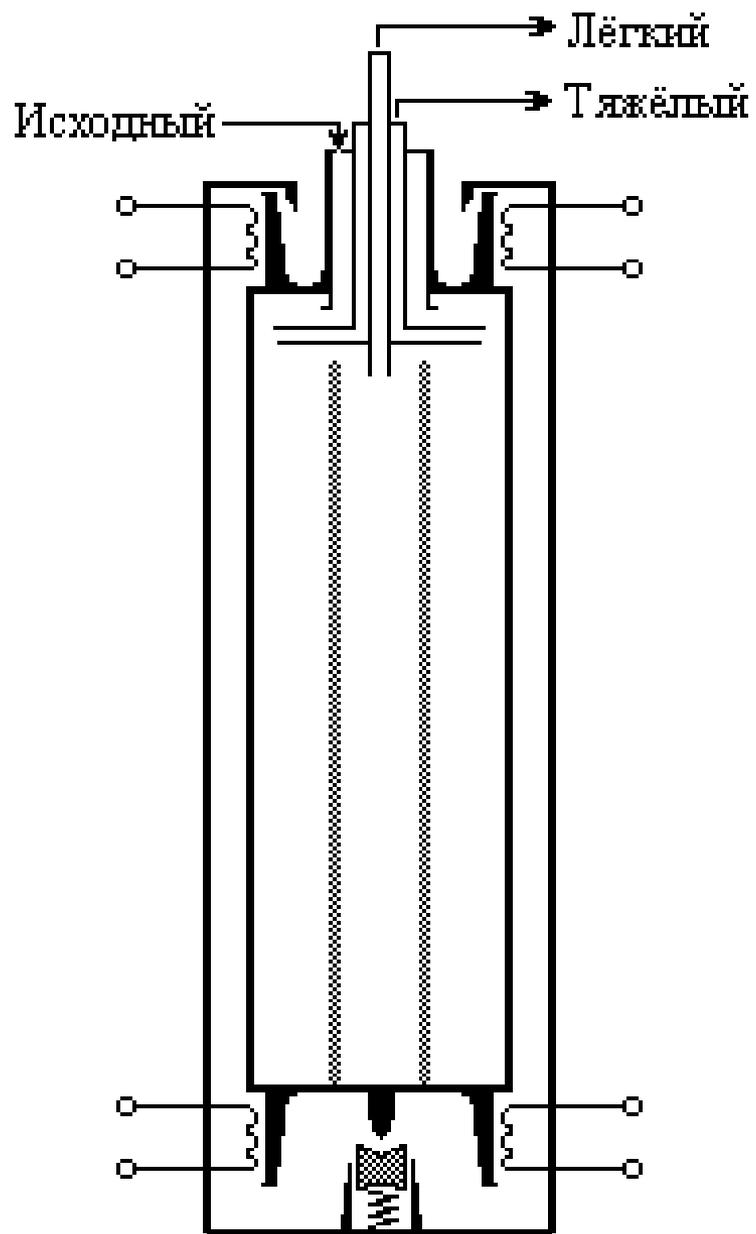
Центрифужный метод разделения изотопов

коэффициент разделения – как отношение концентрации тяжёлого изотопа к лёгкому:

$$\alpha = \frac{C_{ТЯЖ}}{C_{ЛЁГК}} = \frac{C_o e^{-\frac{M_{ТЯЖ}V^2}{RT}}}{C_o e^{-\frac{M_{ЛЁГК}V^2}{RT}}} = e^{\frac{\Delta MV^2}{RT}}$$

В центрифугах коэффициент разделения зависит от разности масс молекул и равен 1,3.

Устройство центрифуги для разделения изотопов



Устройство центрифуги для разделения изотопов



Устройство центрифуги для разделения изотопов



Центрифужный метод разделения изотопов

Гексафторид урана подается в центрифугу (рис.) через трубопровод питания и поступает в роторное пространство возле оси ротора в его центральной части. Вследствие высокой скорости вращения ротора (линейная скорость на его периферии 600 м/с и более, около 1500 об/с) газ концентрируется у его стенки. У оси ротора образуется разреженная зона с более легкой фракцией.

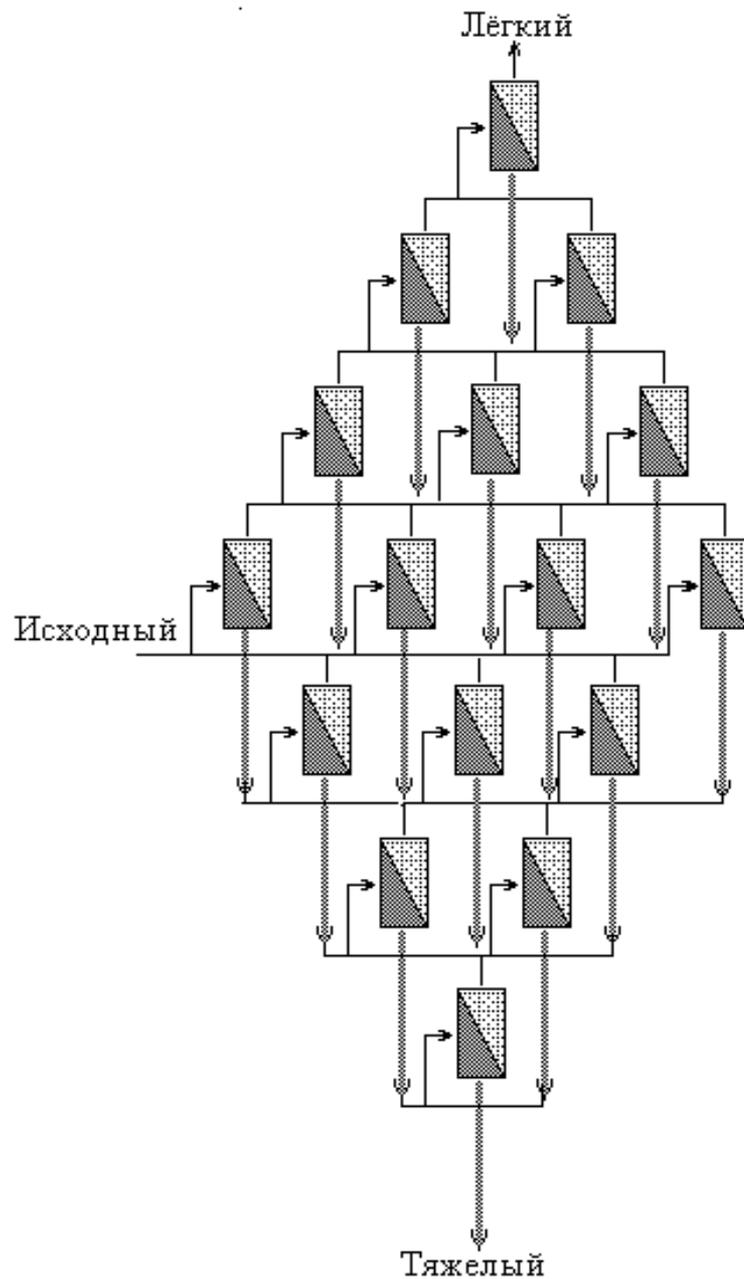
Эффективное разделение компонентов смеси происходит только при наличии осевой циркуляции газа внутри ротора. Такая циркуляция обеспечивается созданием осевого температурного градиента за счет внешнего источника тепла (на крышке ротора). При циркуляции наибольшая разность в концентрации тяжелого и легкого изотопов устанавливается в торцевых частях центрифуги – верхней и нижней соответственно. Тяжелая фракция с большей частью изотопа U-238 – отвал (или хвост) отбирается из верхнего газозаборника центрифуги. **Обогащенная легким изотопом U-235 фракция (продукт) выводится через нижний газоотборник** в выходной трубопровод и попадает в следующую центрифугу, пока концентрация **U-235 не достигнет нужного значения.** Цепочки центрифуг образуют каскад.

Центрифужный метод разделения изотопов

Принцип работы газовой центрифуги

<https://www.youtube.com/watch?v=ACyze6KBdFg>

Каскад центрифуг для разделения изотопов





Достоинства центрифужного метода разделения изотопов:

- Более высокий коэффициент разделения изотопов
- Потребление энергии в 20 и более раз меньше, чем при газодиффузионном разделении
- Для наработки 1 кг урана с одинаковой степенью обогащения требуется меньшее количество единиц разделительной работы (ЕРР) по сравнению с газовой диффузией
- Центрифуга работает 25-30 лет
- Возможность разделения как тяжелых, так и легких изотопов

Недостатки центрифужного метода

- Высокие требования к точности изготовления центрифуг.

Стоимость обогащенного урана, \$/кг:

- U прир. – 27
- U 2% – 130
- U 5% – 440
- U 90% – 10000