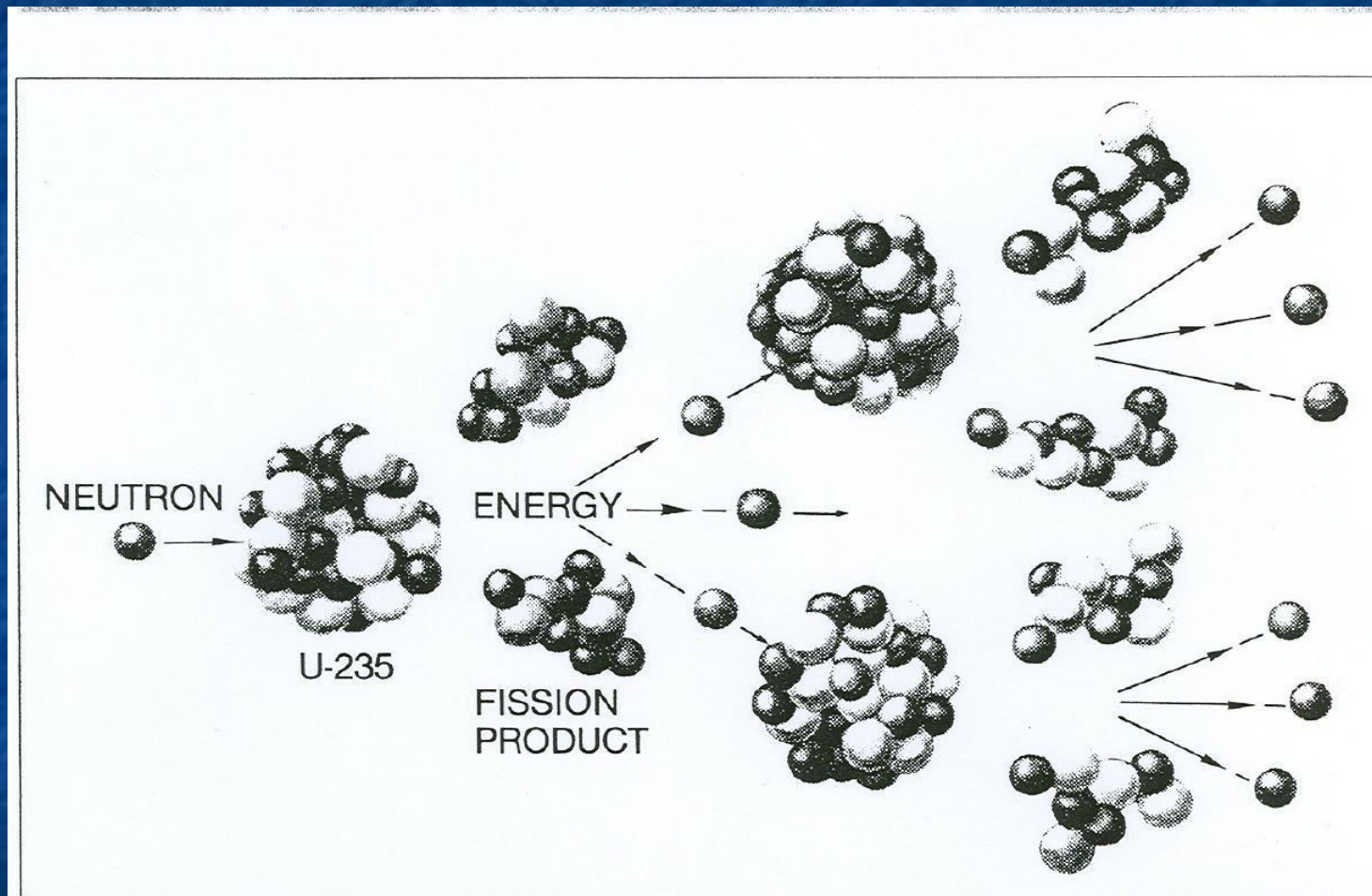


Обогащение урана

Обогащение урана



Обогащение урана

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ:

Степень обогащения – $\alpha = M_{235}/(M_{238} + M_{235})$

(Степень обогащения природного урана $\alpha_f = 0,0071$)

Масса исходного урана – M_f

Масса обогащенного урана – M_p

Масса отходов – M_t

Коэффициент обогащения за один цикл - K

$$K = (\alpha_p/1 - \alpha_p)/(\alpha_t/1 - \alpha_t)$$

Баланс массы:

$$M_f = M_p + M_t \quad (1)$$

$$\alpha_f M_f = \alpha_p M_p + \alpha_t M_t \quad (2)$$

Обогащение урана

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Единица разделительной работы (SWU):

$$V(a) = (1 - 2a) \ln \left(\frac{1-a}{a} \right) \quad (3)$$

$$SWU = M_p V(a_p) + M_t V(a_t) + M_f V(a_f) \quad [\text{кг}] \quad (4)$$

Оценка необходимого количества исходного количества урана и количества единиц разделительной работы.

С помощью уравнений (1) и (2) получаем:

$$M_f = (a_p - a_t) / (a_f - a_t) M_p ; \text{ учтем также, что } M_{p235} = a_p M_p$$

$$\text{Тогда } M_f = (a_p - a_t) / (a_f - a_t) M_{p235} / a_p$$

Для случая высокого обогащения $a_p \gg a_t$, $a_p - a_t \approx a_p$ и, следовательно $M_f = 1 / (a_f - a_t) M_{p235}$. Если $a_f = 0,0071$ и $a_t = 0,002$

$$M_f \sim 200 M_{p235}$$

Обогащение урана

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Оценка количества SWU, необходимого для производства 1 кг урана с 90% обогащением. Полагаем, что $\alpha_t = 0,002$.

$$M_p = 1 \text{ кг}, M_f = 180 \text{ кг}, M_t = 179 \text{ кг} .$$

$$V_t(0,002) = (1 - 0,004) \ln ((1 - 0,002)/0,002) \approx 6,2$$

$$V_f(0,007) = (1 - 0,014) \ln ((1 - 0,007)/0,007) \approx 4,88$$

$$V_p(0,9) = (1 - 1,8) \ln ((1 - 0,9)/0,9) \approx 0,42$$

Получаем, что необходимое количество SWU = 230 кг

Для создания одного заряда необходимо затратить
1000 – 1200 SWU

Обогащение урана

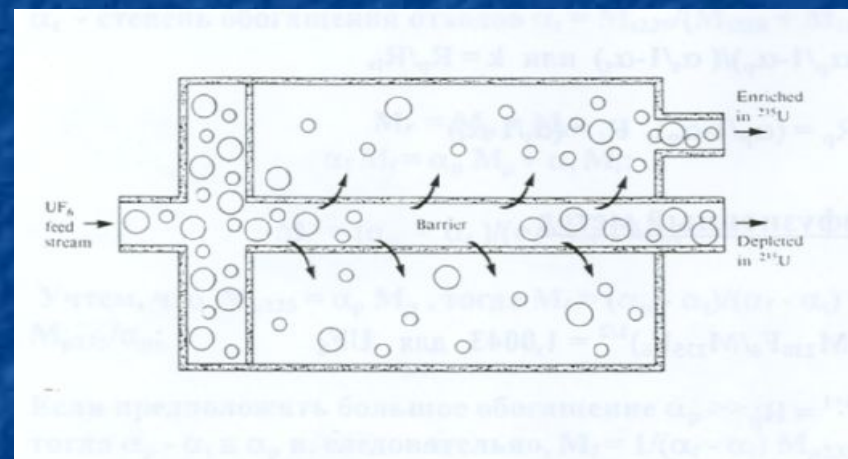
МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ

- Электромагнитный
- Диффузионный
- Центрифужный
- Лазерный
- Газодинамический

Обогащение урана

ДИФФУЗИОННЫЙ МЕТОД ОБОГАЩЕНИЯ

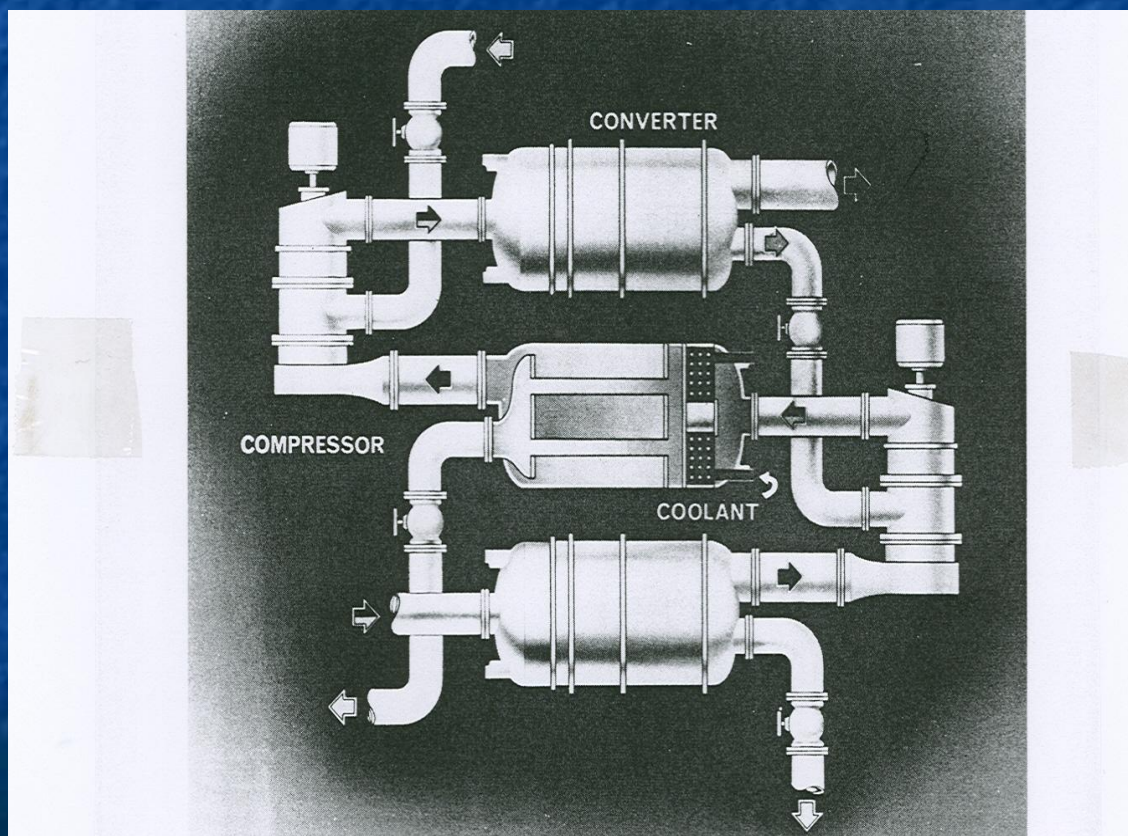
- диаметр пор $\sim 100\text{-}400 \text{ \AA}$
- рабочее вещество – UF_6
- обогащение за проход – 1,0043
- рабочее давление ~ 300 тор
- рабочая температура $\sim 40 \text{ }^\circ\text{C}$
- удельное энергопотребление
 $\sim 2500 \text{ кВт}\cdot\text{час}/\text{SWU}$
- кол-во обогатительных каскадов,
необходимое для получения 90%
обогащения ~ 3000



Принципиальная схема диффузионного метода обогащения

Обогащение урана

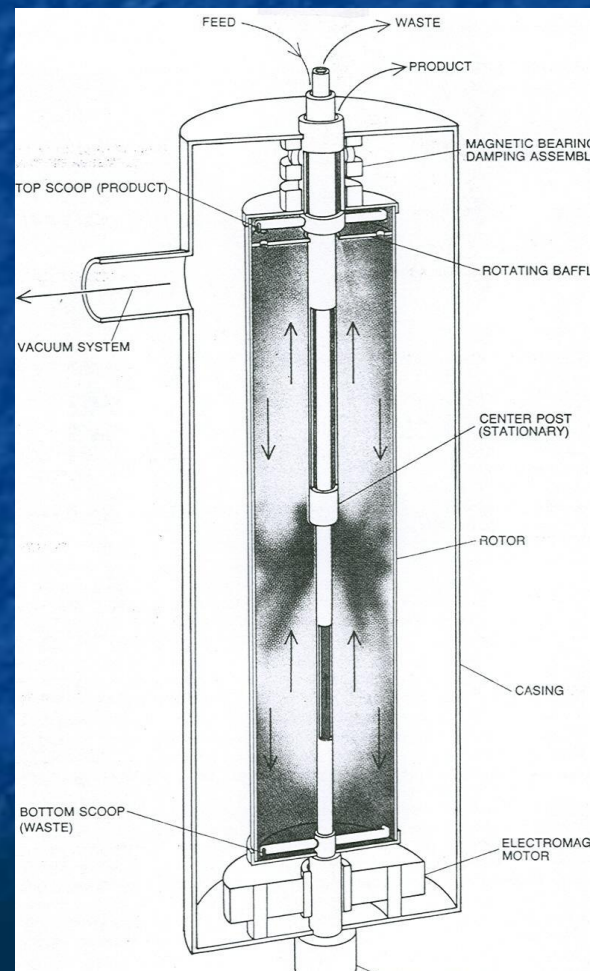
ДИФфуЗИОННЫЙ МЕТОД
ОБОГАЩЕНИЯ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)



Обогащение урана

МЕТОД ГАЗОВЫХ ЦЕНТРИФУГ

- скорость вращения ~ 2000 об/сек
- высота $\sim 150 - 250$ см
- радиус ~ 40 см
- обогащение за проход $\sim 1,3 - 1,6$
- удельное энергопотребление ~ 200 кВтч/свту
- средний проток $\sim 0,02$ г U/сек
- разделительная мощность $5 - 100$ кг свту/год



Обогащение урана

- Лазерный метод разделения изотопов

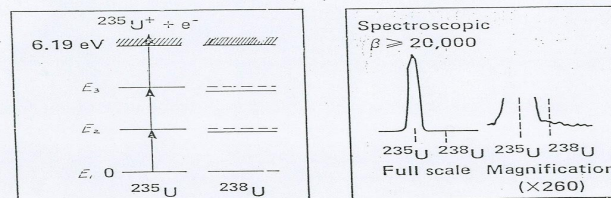
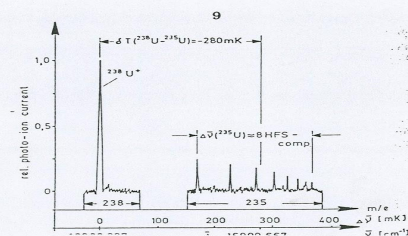
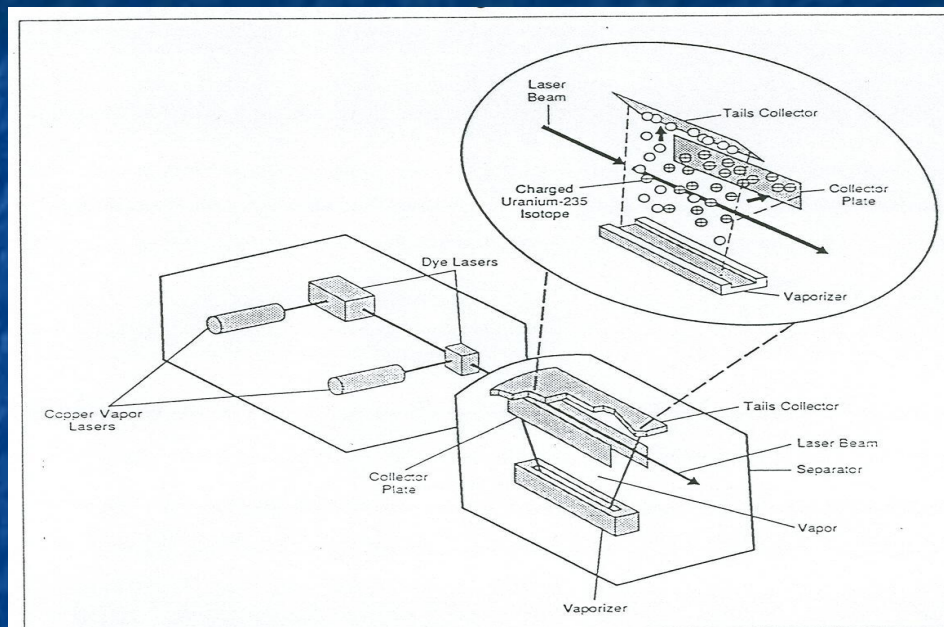


Fig.4

Обогащение урана



**Лазерное Разделение Изотопов
проект AVLIS**

Обогащение урана

ЗАВОДЫ ПО ОБОГАЩЕНИЮ УРАНА

США

Город	Тип, мощность (кг SWU)
Oak Ridge (Tennessee) (остановлен)	диф., $6,4 \cdot 10^6$
Paducah (Kentuki)	диф., $11,3 \cdot 10^6$
Portsmouth (Ohio) (остановлен) (в стадии строительства)	диф., $7,3 \cdot 10^6$ центр., $3 \cdot 10^6$

Обогащение урана

ЗАВОДЫ ПО ОБОГАЩЕНИЮ
УРАНА (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

РФ

Город	Тип, мощность (кг SWU)
УЭМК, Новоуральск	центр., $6 \cdot 10^6$
ЭХЗ, Зеленогорск	центр., $4 \cdot 10^6$
СХК, Северск	центр., $2 \cdot 10^6$
ЭХК, Ангарск	центр., $4 \cdot 10^6$

Обогащение урана

ЗАВОДЫ ПО ОБОГАЩЕНИЮ УРАНА (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Европа, Азия и Латинская Америка

Город, страна	Тип, мощность (SWU)
Tricastin, France	дифф., $11 \cdot 10^6$
France, planned	центр., $7,5 \cdot 10^6$
Capenhurst, UK	центр., $2,3 \cdot 10^6$
Gronau, Germany	центр., $1,8 \cdot 10^6$
Almelo, Netherlands	центр., $2,2 \cdot 10^6$
Lanchow, China	центр., $1 \cdot 10^6$
Ningyo-Toge, Japan	центр., $1 \cdot 10^6$
Pakistan	центр., $15 \cdot 10^3$
India	центр., $3 \cdot 10^3$
Brazil	центр., $5 \cdot 10^3$
Argentina	дифф., $20 \cdot 10^3$