



Деление ядер

Барьер деления – аналог поверхностного натяжения капли.

Порядок величин барьера деления E_δ :

- область Au - ~ 20 МэВ
- область Pb - ~ 12 МэВ
- область Th-Pu - ~ 6 МэВ.

Чтобы тяжелое ядро поделилось, надо сообщить ему такую же или большую внутреннюю энергию, **возбудить его.**



Деление ядер

Пусть ТЯ (U, Pu) захватывает **нейтрон**. Именно нейтрон, поскольку для него отсутствует кулоновское отталкивание!

Мы уже знаем:

$$M_{\text{я}}(Z, N) + m_n > M_{\text{я}}(Z, N+1) \text{ и } c^2 \cdot M_{\text{я}}(Z, N) + c^2 \cdot m_n = M_{\text{я}}(Z, N+1) + \varepsilon^*, \varepsilon^* = \varepsilon_n, \text{ где}$$

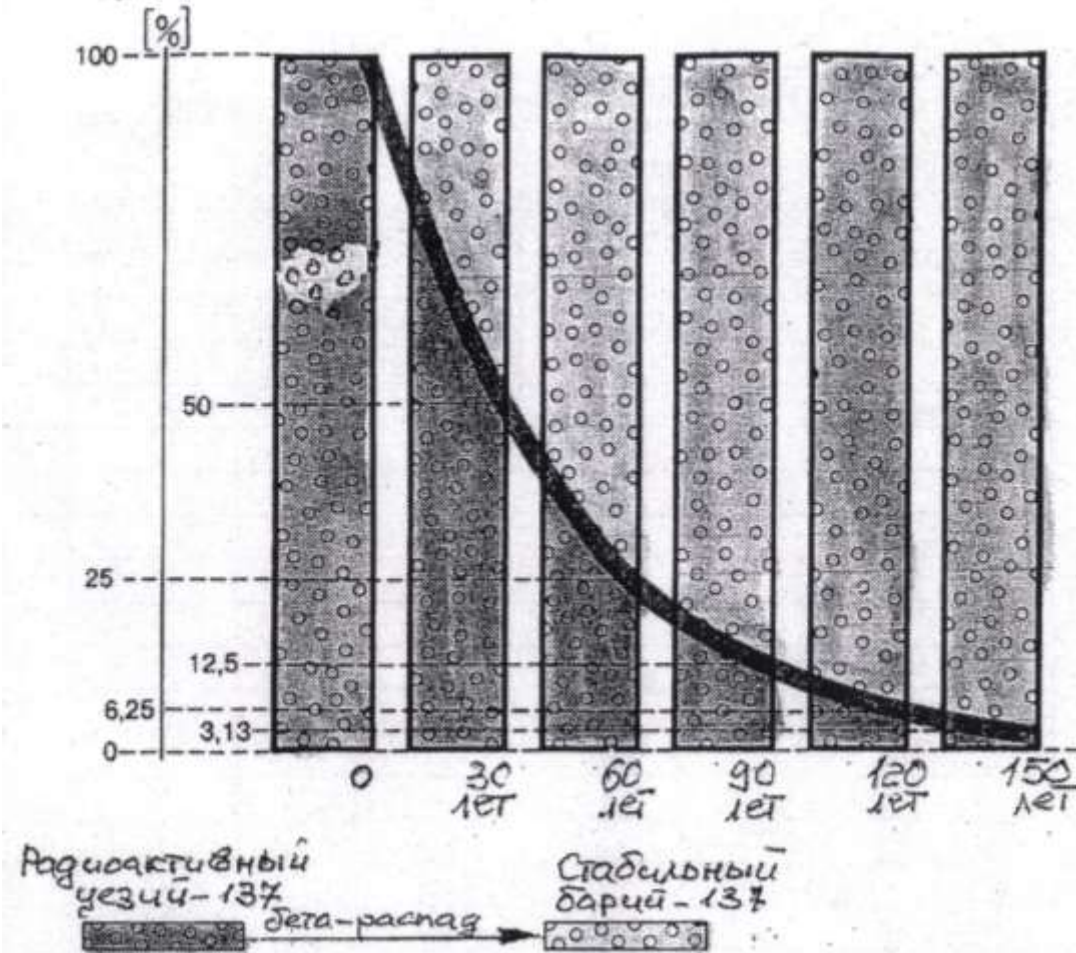
ε_n – энергия связи нейтрона в ядре $M_{\text{я}}(Z, N+1)$
(~5,5 – 7 МэВ).

Тот же порядок величин, что и E_{δ} !

Значит, искать кандидата на ядерное топливо надо в области ядер тяжелее Th.

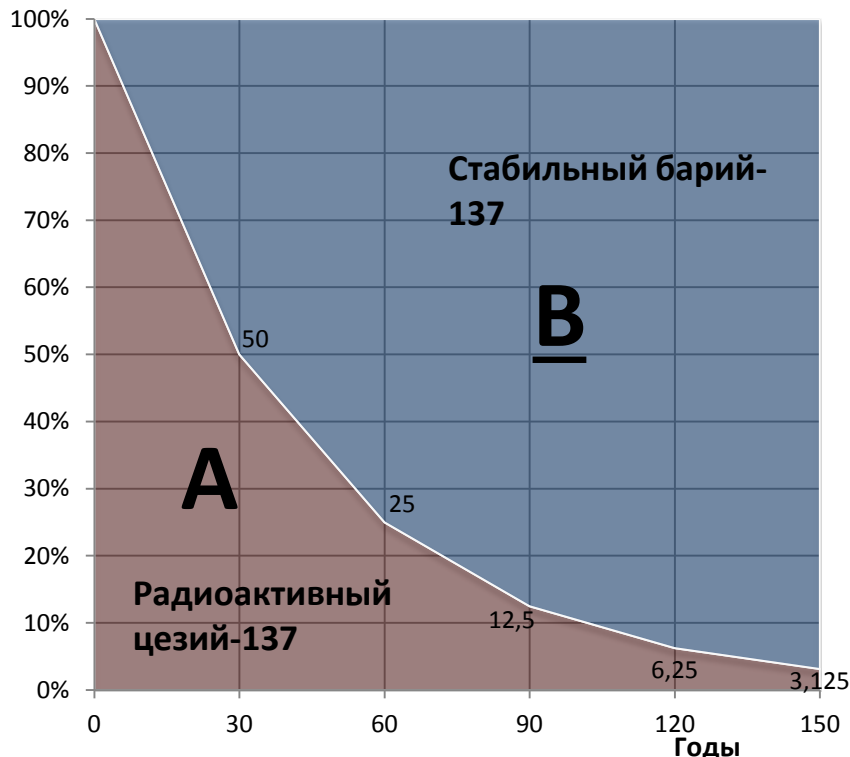
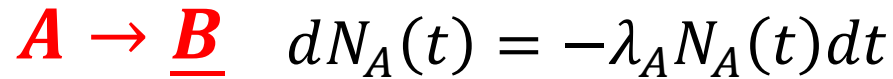


Радиоактивный распад цезия-137 (период полураспада 30 лет)





Закон радиоактивного распада (1)



С учётом начальных условий:

$$N_A(t = 0) = N_0; N_B(t = 0) = 0$$

$$N_A(t) = N_0 e^{-\lambda_A t}$$

(основной закон радиоактивного распада)

λ_A - индивидуальна для каждого радионуклида и имеет размерность обратного времени.

ОЧЕНЬ НЕУДОБНО!



Закон радиоактивного распада (2)

За какое время $T_{1/2}$ начальное количество нуклида уменьшится наполовину?

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad 2 = e^{\lambda T_{1/2}} \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \ln 2 = \lambda T_{1/2}$$

Окончательно:

$$N_A(t) = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}$$

$T_{1/2}$ - период полураспада, имеющий размерность времени. Так он и табулируется.



Закон радиоактивного распада (3)

По смыслу $T_{1/2}$:

$$N(t = nT_{1/2}) = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} n T_{1/2}}$$

$$\frac{N(t = nT_{1/2})}{N_0} = e^{-\ln 2^n} \quad \frac{N_0}{N(t = nT_{1/2})} = 2^n$$

$$N(t = nT_{1/2}) = \frac{N_0}{2^n}$$

Через: $1T_{1/2}$ - остаётся половина начального количества радиоактивного вещества

$$2T_{1/2} - 1/4$$

$$3T_{1/2} - 1/8$$

.....

$$nT_{1/2} - 1/2^n$$



Активность препарата или вещества есть количество радиоактивных превращений в нем в единицу времени.

Системная единица активности – 1 Беккерель (Бк) – активность препарата или объекта, в котором статистически происходит одно превращение в секунду.

Внесистемная единица активности – Кюри (Ки).

$$1\text{Ки}=3,7*10^9\text{Бк}$$



Естественные долгоживущие радионуклиды – ровесники Земли (периоды полураспада)

1. 3 актинида:

- ^{232}Th – $1,4 \cdot 10^{10}$ лет, ряд - 13 ядер
- ^{235}U – $7,1 \cdot 10^8$ лет, ряд -17 ядер
- ^{238}U – $4,5 \cdot 10^9$ лет, ряд - 20 ядер

Все ряды заканчиваются изотопами свинца.

Активности всех членов рядов **равны!**

2. 2 ядра середины таблицы Менделеева:

- ^{40}K – $1,28 \cdot 10^9$ лет, 0,012% в естественном K;
- ^{87}Rb – $4,8 \cdot 10^{10}$ лет, 27,8% в естественном Rb.



Анализ возможностей использования долгоживущих природных актинидных ядер в качестве делящегося материала (1)

Периоды полураспада $T_{1/2}$ (возможность накопления в промышленном количестве):

^{232}Th – 14 млрд. лет

^{238}U – 4,5 млрд. лет

^{235}U – 0,71 млрд. лет

Подходят все долгоживущие природные актинидные ядра!

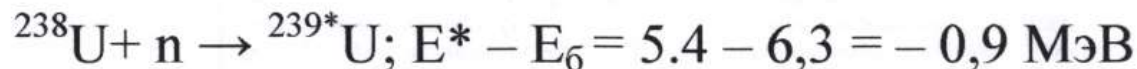


Анализ возможностей использования долгоживущих природных актинидных ядер в качестве делящегося материала (2)

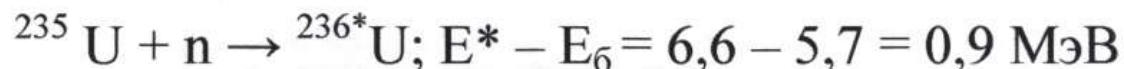
Делимость нейтронами низкой энергии (перспектива достижения автономного (самоподдерживающегося) энерговыделения):



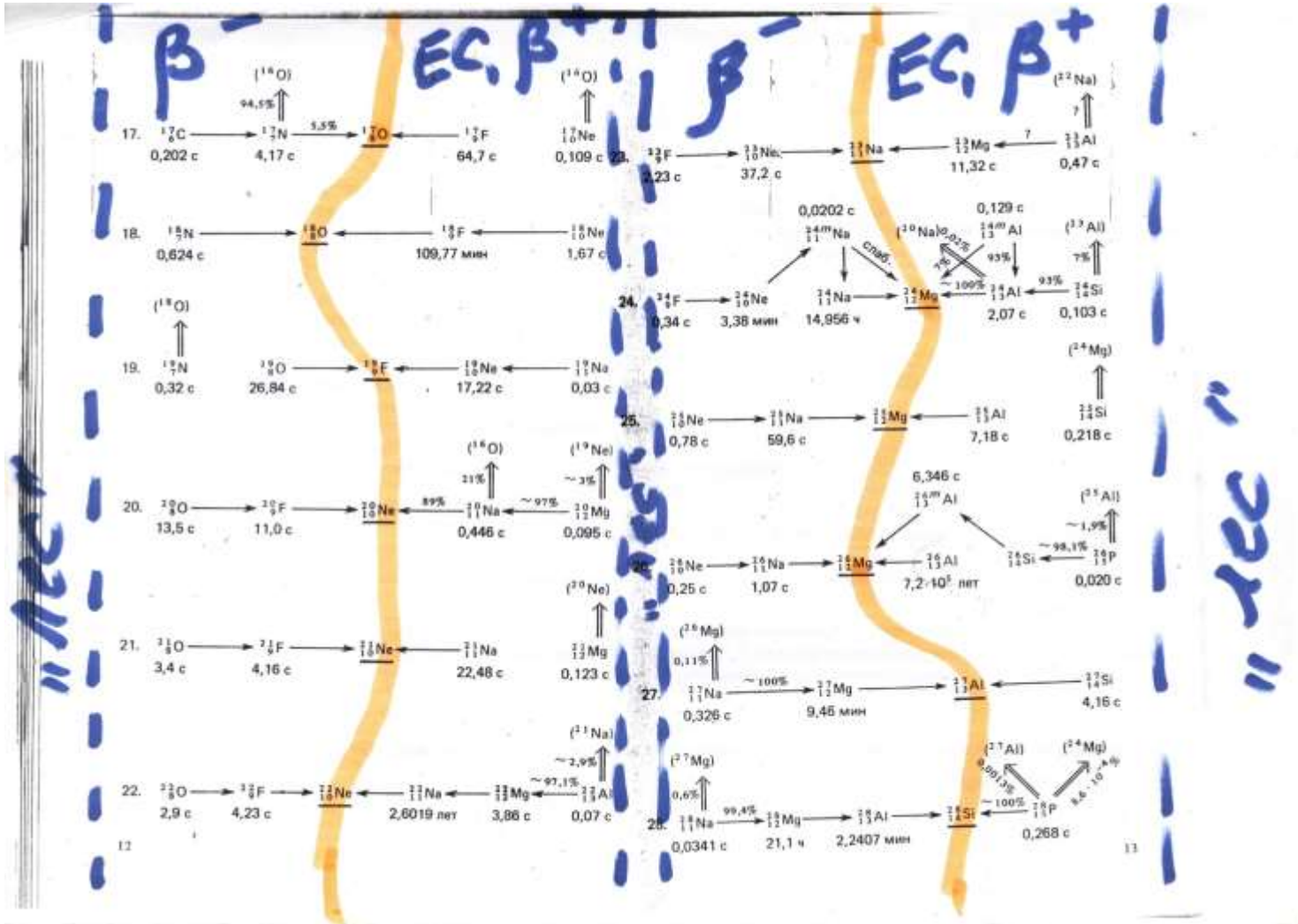
– не делится!

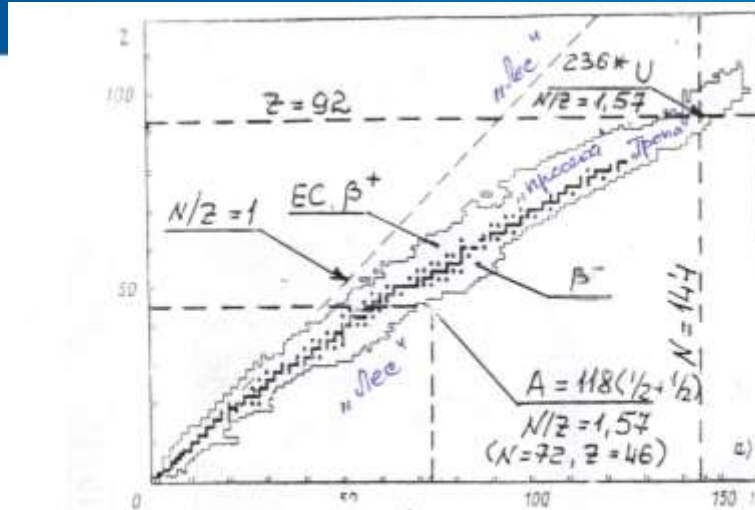


– не делится!



– **делится!**





изобары
 $A = 194$

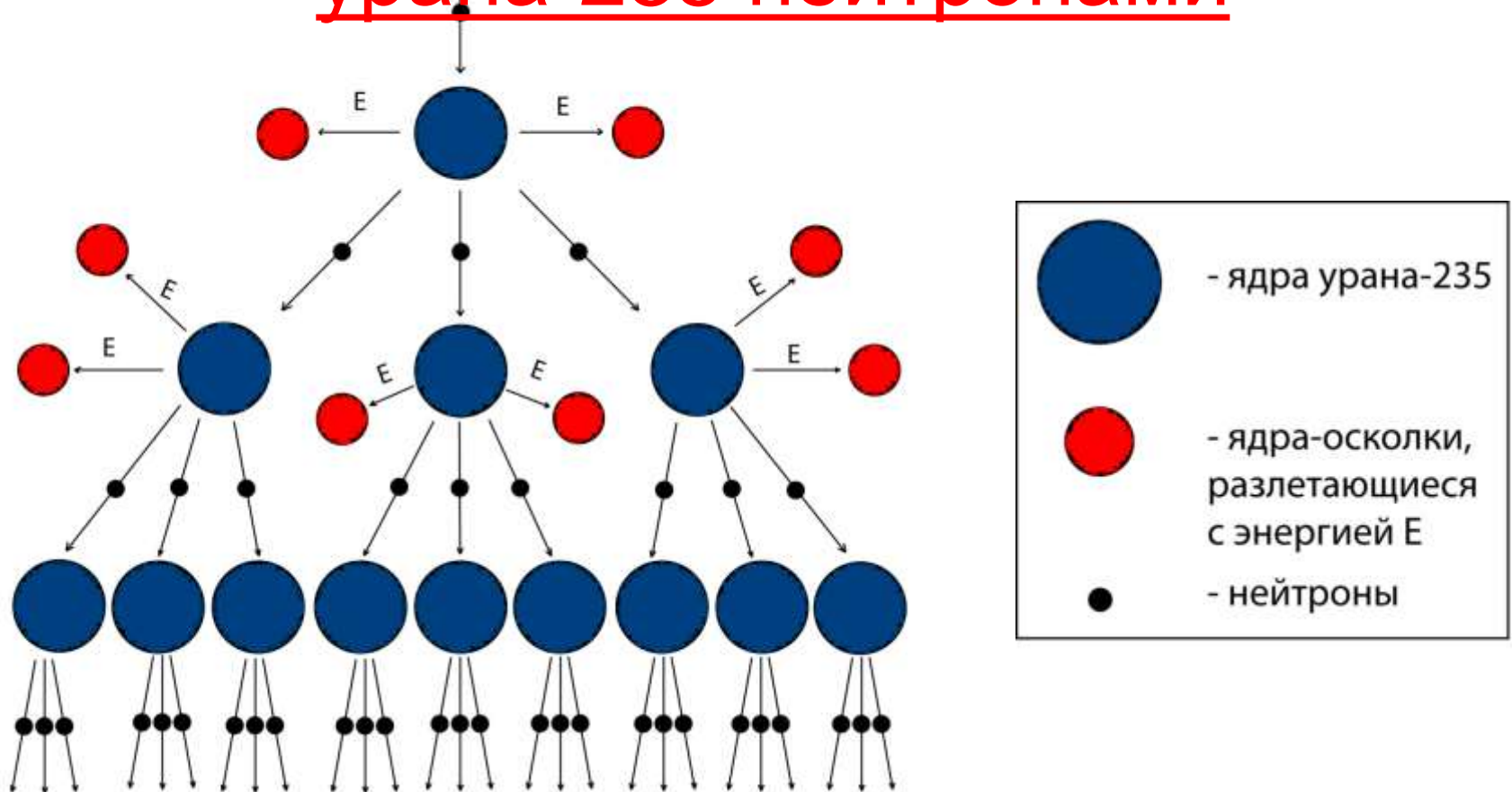
81	^{197}Tl 2,84	^{198}Tl 5,34	^{199}Tl 7,424	^{200}Tl 1,090	^{201}Tl 3,060	^{202}Tl 12,20	29,5%
80	^{196}Hg 0,15%	^{197}Hg 2,670	^{198}Hg 10,1%	^{199}Hg 16,3%	^{200}Hg 23,1%	^{201}Hg 13,2%	24,7%
79	^{193}Au 1030	^{196}Au 6,20	^{197}Au 100%	^{198}Au 2,70	^{199}Au 3,130	^{200}Au 18,7+	26,4+
78	^{194}Pt 32,9%	^{195}Pt 33,0%	^{196}Pt 25,3%	^{197}Pt 20+	^{198}Pt 7,2%	^{199}Pt 30,8+	11,5+
77	^{192}Ir 61,6%	^{194}Ir 1710	^{195}Ir 3,0+	^{196}Ir 1,44	^{197}Ir 7+	^{198}Ir 8+	3+
	N	116	117	118	119	120	121

изобары
 золота

Значения T-1/2

Рис. 3.7. Таблица нуклидов (а) и увеличенный участок таблицы (б). Черными квадратиками обозначены стабильные нуклиды; сплошная линия — траектория зоны излучения нестабильных нуклидов; штриховая линия — биссектриса координатного угла, на которой лежат ядра с $N=Z$. Стабильные нуклиды на увеличенном участке заключены в черные рамки. Под символами стабильных нуклидов указано содержание изотопа в естественной смеси (%), у нестабильных нуклидов указано значение $T-1/2$.

Схема цепной реакции деления урана-235 нейтронами



На 10 актов деления в среднем образуется 24 нейтрона



Сечения поглощения тепловых нейтронов некоторыми простыми веществами и нуклидами

Вещество, нуклид	σ , барн	Вещество, нуклид	σ , барн
H	0,322	Mo	2,7
² D	0,00046	Ag	64,8
Li	71	Cd	2537
Be	0,01	¹¹³ Cd	20 000
B	758	Sn	0,625
C	0,0038	I	6,22
N	1,88	Xe	35
O	0,0002	¹³⁵ Xe	$2,72 \cdot 10^6$
Na	0,525	Sm	$5,83 \cdot 10^3$
Al	0,241	Eu	$4,40 \cdot 10^3$
Mn	13,2	Gd	$4,65 \cdot 10^4$
Fe	2,62	Au	98,8
Cu	3,85	Pb	0,17
Zr	0,185	Bi	0,034