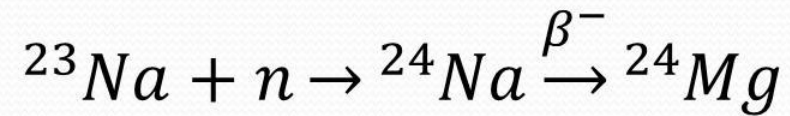
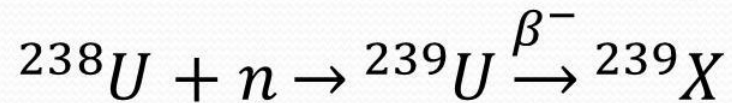
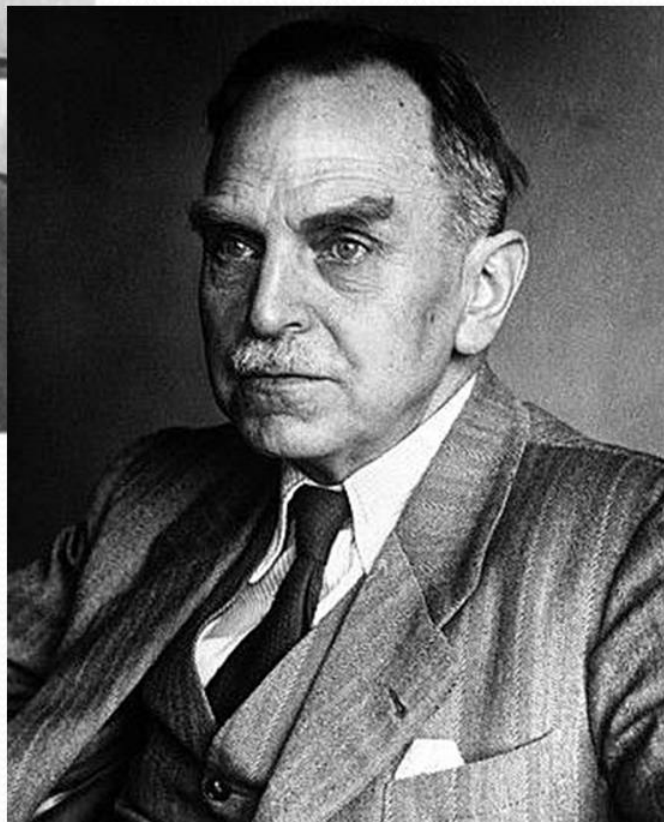
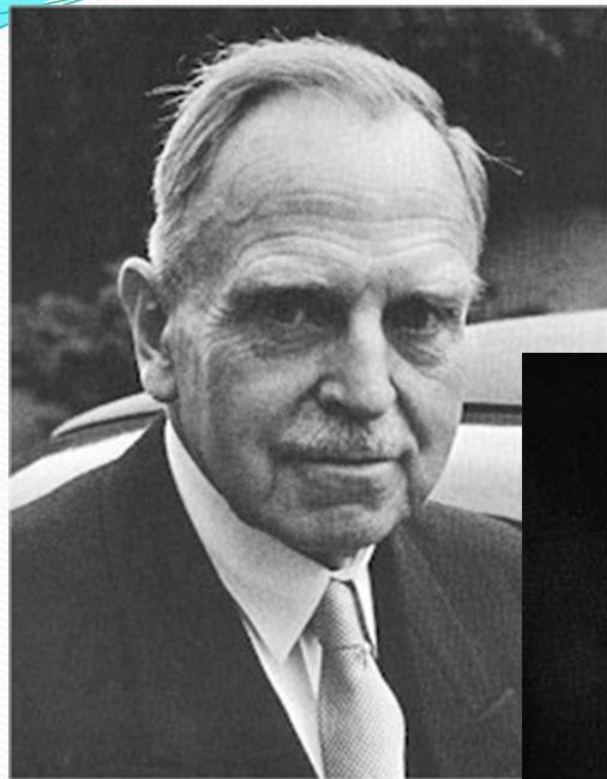


Деление атомных ядер

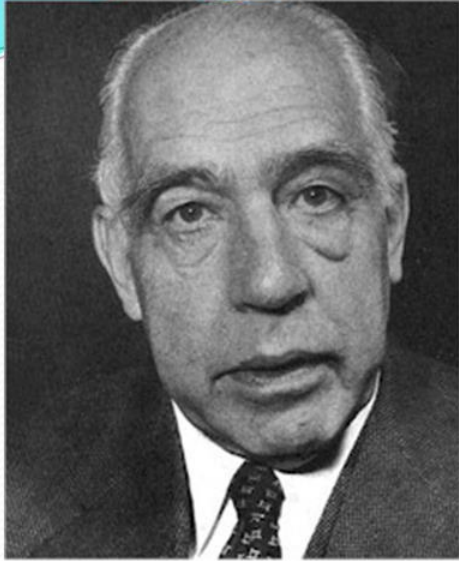


А может быть возможен и такой процесс?

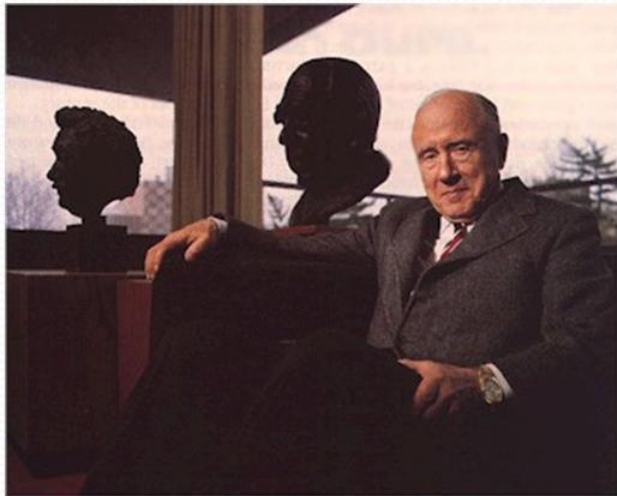


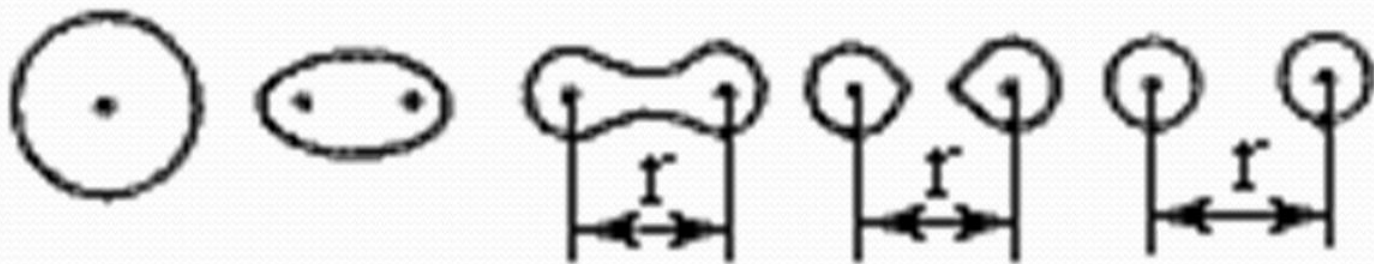


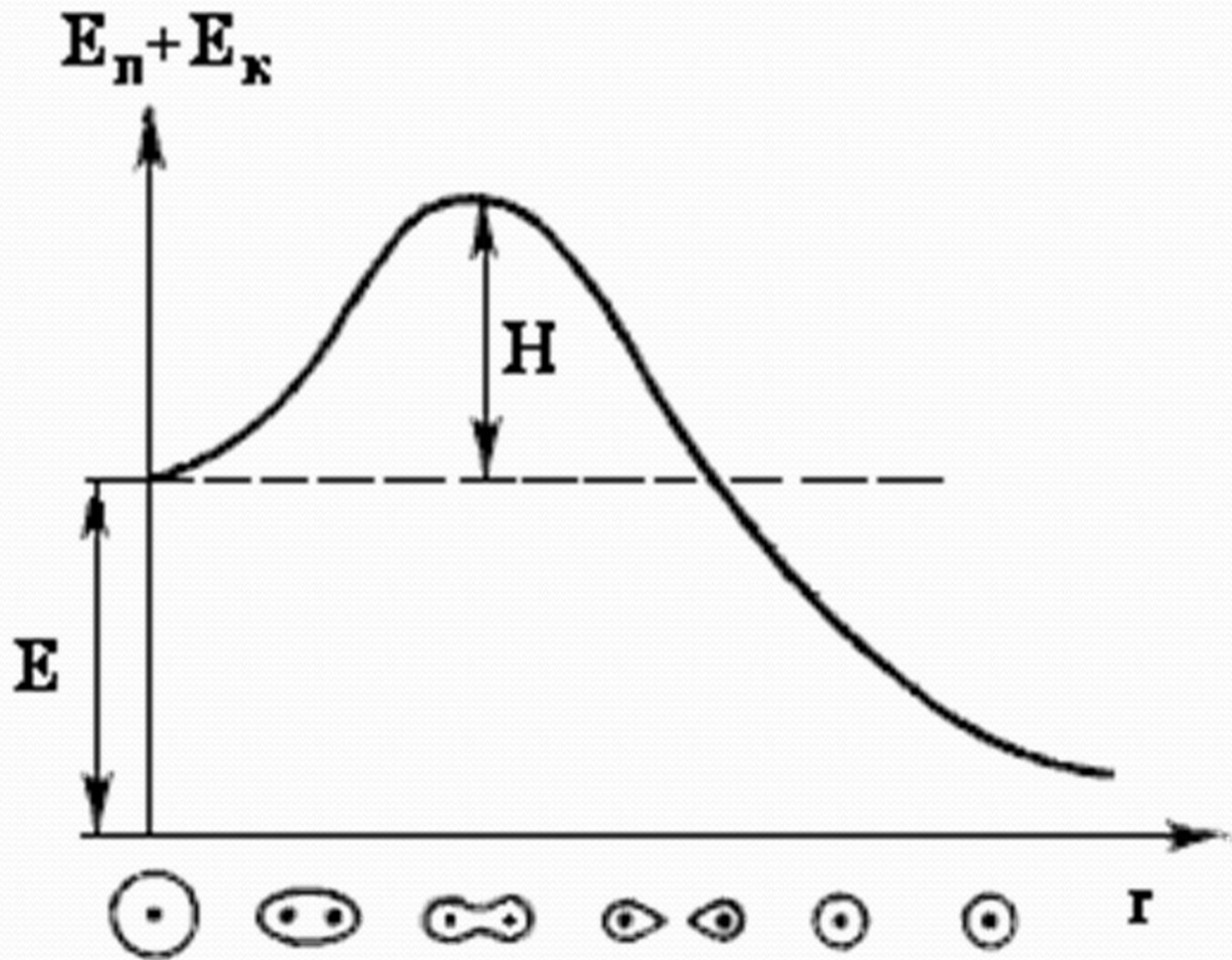
1939г.
радиохимики
Отто Ган и Фриц
Штрассман
доказали, что
новые активности
принадлежат не
тяжелым
элементам, а
характерны для
элементов из
середины
периодической
системы.



В 1939г. протекание процесса деления было объяснено в рамках модели жидкой капли Нильсом Бором, Джоном Уиллером и независимо от них Яном Френкелем







$$E_{\text{возб}} = E_{\text{св.}n} + T_n \frac{A}{A + 1}$$

Деление под действием тепловых нейтронов:

$$T_n \approx 0$$

$$E_{\text{возб}} \approx E_{\text{св.}n}$$

Параметр делимости ядра

$$f = \frac{Z^2}{A}$$

- определяет склонность ядра к делению

Процесс деления наблюдается, если

$$f \approx 35 - 36$$

Спонтанное деление

Спонтанное деление - реакция расщепления тяжелого атомного ядра на две (иногда на три) примерно равные по массе части (осколки деления) без предварительного возбуждения, т. е. самопроизвольно.



В 1940 г. Георгий Николаевич Флеров и Константин Антонович Петржак обнаружили, что деление ядер урана может происходить самопроизвольно.



Яков Ильич Френкель показал, что спонтанное деление можно рассматривать как туннельный эффект прохождения осколков через потенциальный барьер.

Начиная с Th все ядра способны делиться спонтанно. С ростом Z возрастает вероятность спонтанного деления.

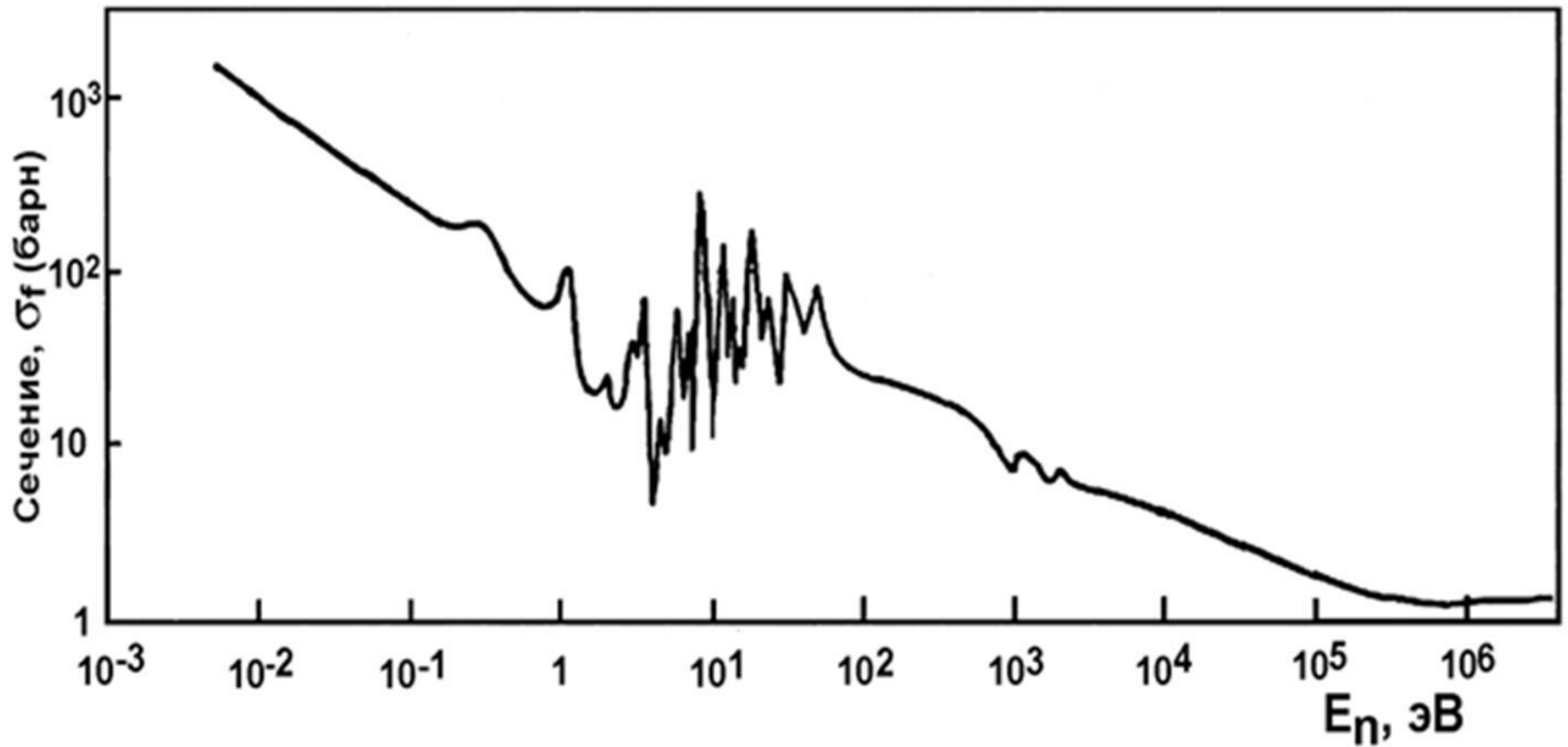
Выделение энергии при делении

$$Q_f = A \cdot \Delta E_{\text{CB}} \approx 200 \text{ МэВ}$$

Распределение энергии при делении:

Кинетическая энергия осколков	167 МэВ
Кинетическая энергия нейтронов	5 МэВ
Мгновенное γ -излучение	7 МэВ
Энергия β -частиц при распаде осколков	8 МэВ
Энергия $\hat{\nu}$	10 МэВ
Энергия γ -излучения продуктов деления	7 МэВ

Эффективные сечения деления



$$\sigma_f = \frac{N}{n\Phi}$$

Φ – плотность потока нейтронов

N – число актов деления за 1 с

n – число ядер делящегося вещества



ν – среднее число нейтронов, возникающих в процессе деления

При делении ^{235}U тепловыми нейтронами $\nu=2,47$.

Это говорит о том, что можно продолжить цепной процесс деления, поскольку на деление одного ядра требуется один нейтрон. Таким образом, если $\nu>1$ – возможна самоподдерживающаяся реакция

Осколки деления

Наиболее вероятное деление:

$$M_{\text{л}}/M_{\text{т}} = 2/3$$

Распределение осколков по массам

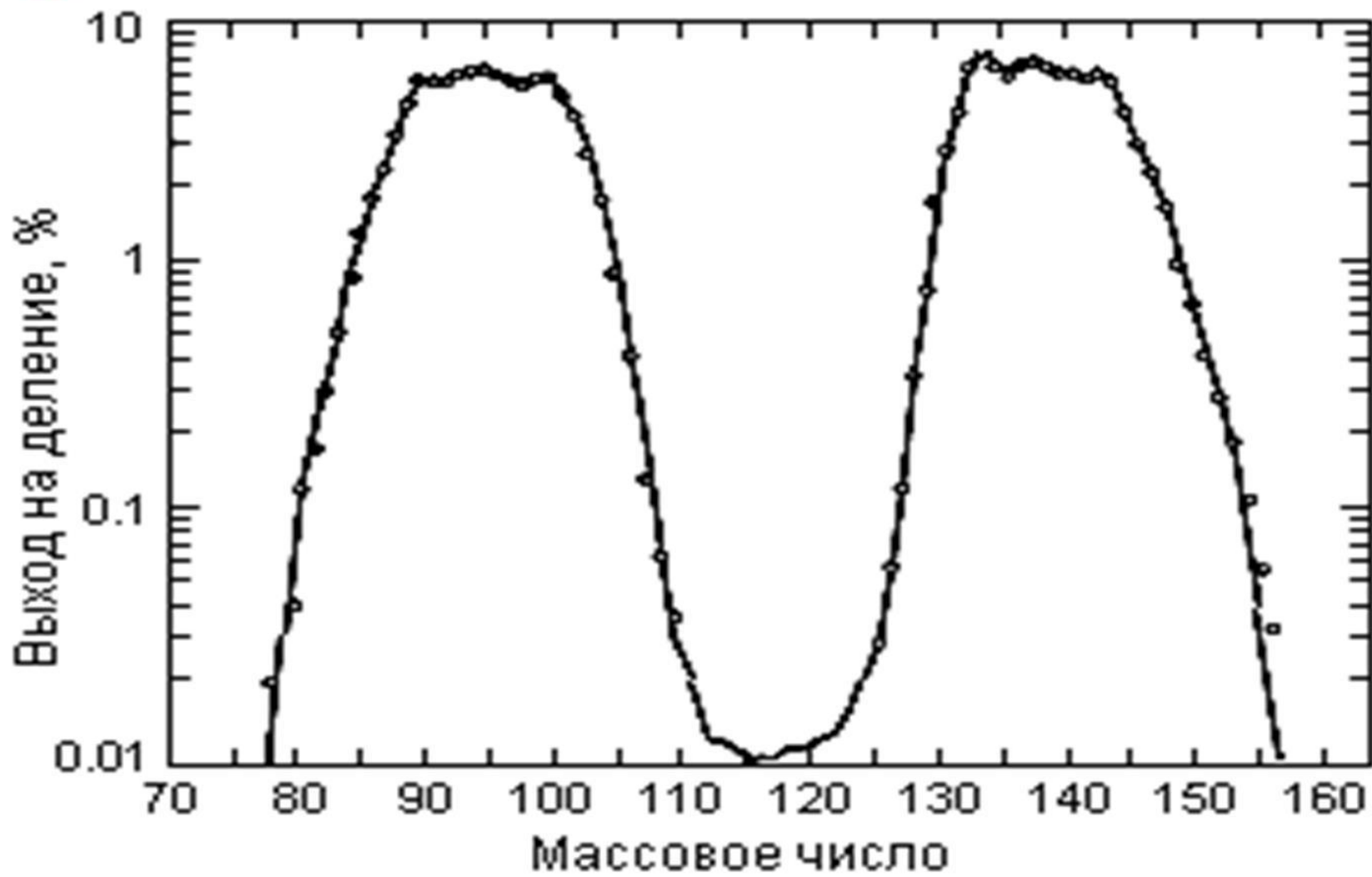
Выход осколков с данным значением A :

$$Y_A = \frac{N_A}{N_f}$$

N_A – число образовавшихся осколков

N_f – число делений в образце

$$\sum_A Y_A = 200\%$$



- под действием тепловых нейтронов деление точно пополам ($A_{\text{л}}=A_{\text{т}}\approx 120$) имеет \approx в 600 раз меньшую вероятность, чем деление с соотношением осколков, как 2:3;

- под действием тепловых нейтронов деление точно пополам ($A_{\text{л}}=A_{\text{т}}\approx 120$) имеет \approx в 600 раз меньшую вероятность, чем деление с соотношением осколков, как 2:3;
- с увеличением энергии нейтронов, вызывающих деление, глубина впадины уменьшается, т.е. деление становится более симметричным;

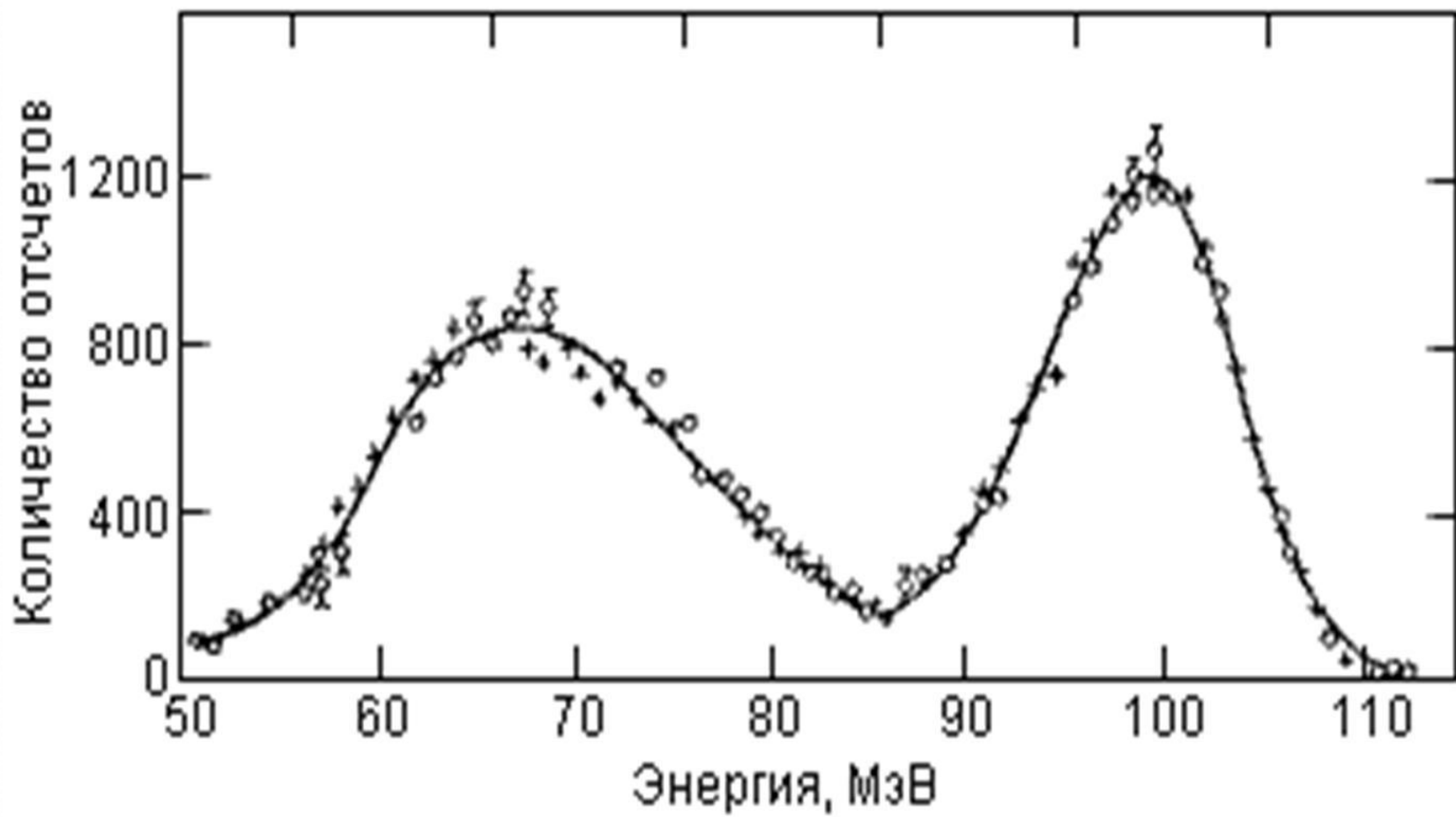
- под действием тепловых нейтронов деление точно пополам ($A_{\text{л}}=A_{\text{т}}\approx 120$) имеет \approx в 600 раз меньшую вероятность, чем деление с соотношением осколков, как 2:3;
- с увеличением энергии нейтронов, вызывающих деление, глубина впадины уменьшается, т.е. деление становится более симметричным;
- с ростом массового числа делящегося ядра положение правого пика практически не меняется, тогда как левый пик сдвигается вправо. В результате пики сдвигаются, глубина впадины между ними уменьшается и деление в целом становится симметричным (двугорбая кривая переходит в одногорбую).

Из-за непрерывного распределения масс непрерывным оказывается и энергетический спектр осколков, который также представляется двугорбой кривой.

Суммарная кинетическая энергия:

$$T_k = T_l + T_T$$

$$M_T / M_l = T_l / T_T$$



Нейтроны деления

Нейтроны, под действием которых возникает реакция деления, называются *первичными*.

Нейтроны деления

Нейтроны, под действием которых возникает реакция деления, называются *первичными*.

Нейтроны, возникающие в процессе деления – *вторичные* нейтроны.

Нейтроны деления

Нейтроны, под действием которых возникает реакция деления, называются *первичными*.

Нейтроны, возникающие в процессе деления – *вторичные* нейтроны.

В свою очередь вторичные нейтроны делятся на *мгновенные* и *запаздывающие*.

Поскольку осколки перегружены нейтронами и возбуждены, то непосредственно в момент деления возможно испускание *мгновенных нейтронов*, а снятие возбуждения происходит посредством *мгновенного γ – излучения*.

Мгновенные нейтроны - нейтроны, испускаемые осколками деления практически мгновенно после деления составного ядра.

Мгновенные нейтроны - нейтроны, испускаемые осколками деления практически мгновенно после деления составного ядра.

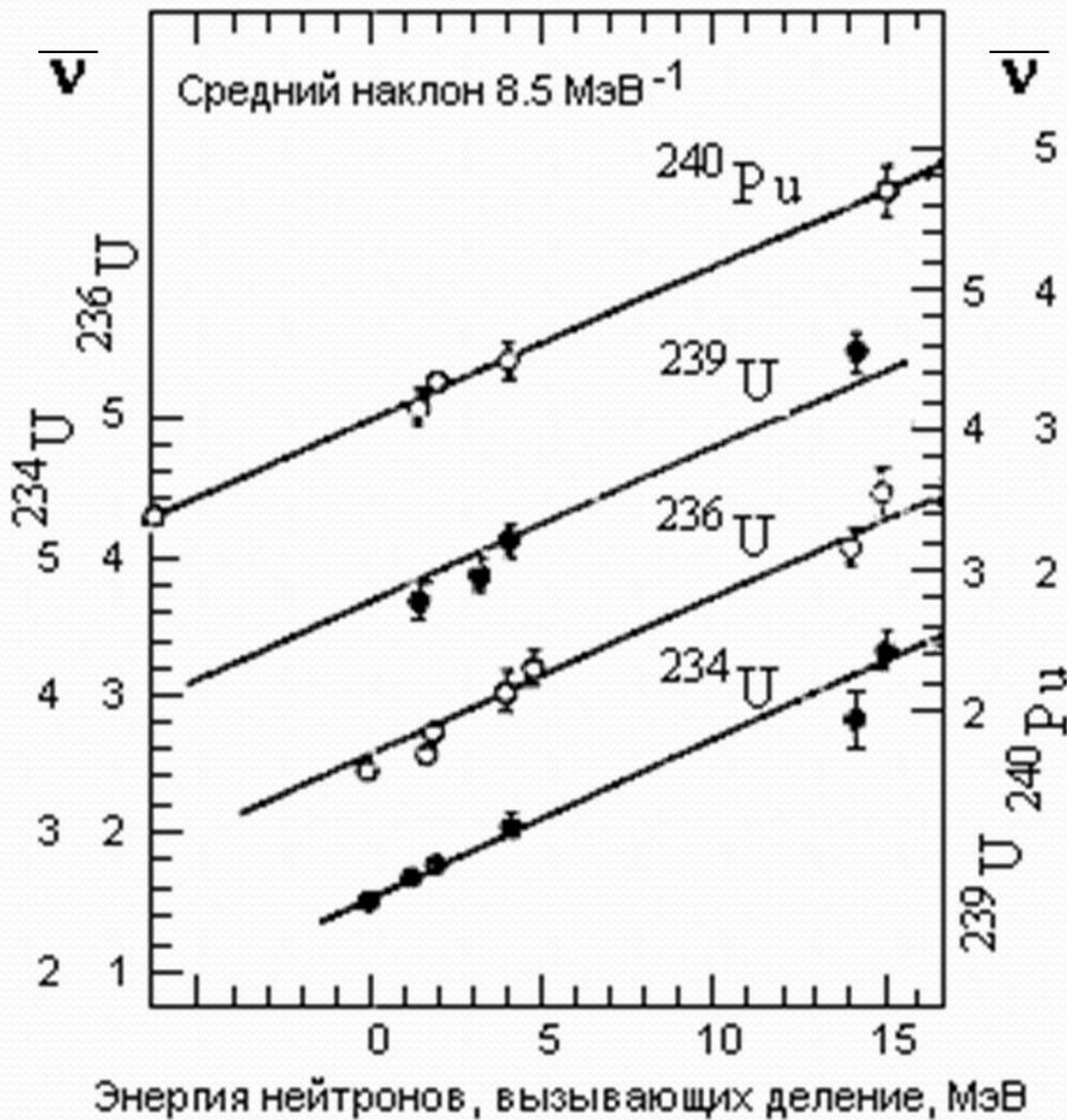
Количество нейтронов, испускаемых в одном акте деления - случайная величина, распределённая примерно по закону Гаусса около среднего значения.

Мгновенные нейтроны составляют более 99% нейтронов деления.

В 1939 г. Лео Сциллард и Христиан Цинн провели первую оценку числа вторичных нейтронов, выделяющихся в среднем в одном акте деления.

Согласно их данным

$$\bar{\nu} = 2 - 3$$



Зависимость среднего количества мгновенных нейтронов от энергии нейтронов, вызывающих деление.

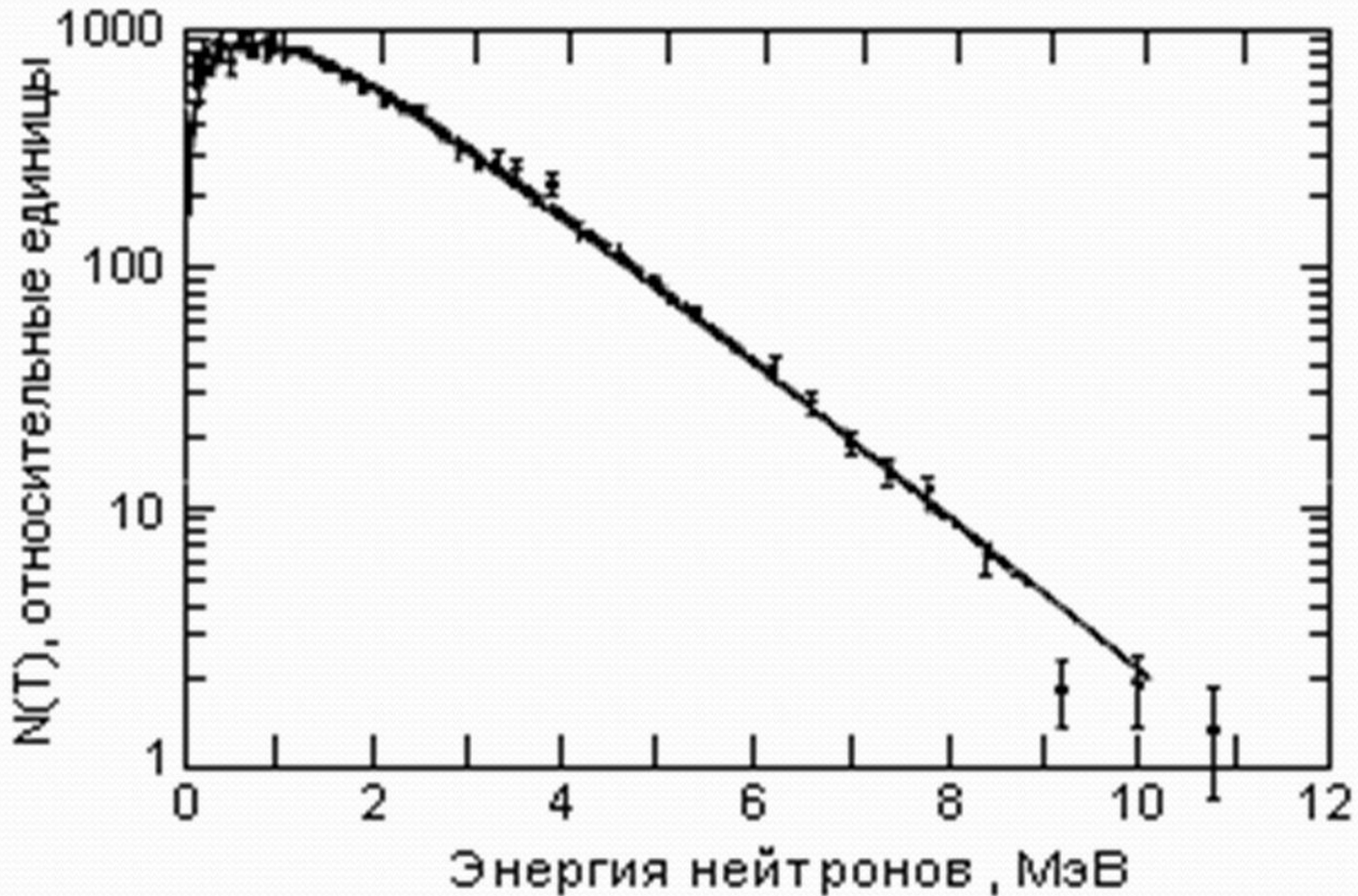
$$\bar{\nu} = \bar{\nu}_0 + aT_n$$

$\bar{\nu}_0$ - значение среднего количества мгновенных нейтронов при нулевой энергии нейтронов;

a – коэффициент, определяющий скорость увеличения среднего количества мгновенных нейтронов с ростом T_n ;

T_n - энергия первичных нейтронов.

Спектр вторичных нейтронов



$$P(E_n) = C_1 \sqrt{T_n} \exp(-T_n/T)$$

$$P(E_n) = C_2 \sinh\left(\frac{2}{T} \sqrt{T_n T_f}\right) \exp(-T_n/T)$$

Запаздывающие нейтроны - нейтроны, испускаемые продуктами деления через некоторое время (от нескольких миллисекунд до нескольких минут) после реакции деления тяжёлых ядер.

