

# Фоторасщепление $^{238}\text{U}$ .

С.С. Бельшев<sup>1</sup>, А.А. Кузнецов<sup>2</sup>, А.С. Курилик<sup>1</sup>, К.А. Стопани<sup>2</sup>,  
С.Ю. Трощев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,

<sup>2</sup> НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, МГУ имени  
М.В. Ломоносова,

Целью работы является определение независимых и накопленных выходов при фотоделении естественной смеси изотопов урана  $^{235,238}\text{U}$  тормозными  $\gamma$  – квантами для различных энергий электронов ускорителя.

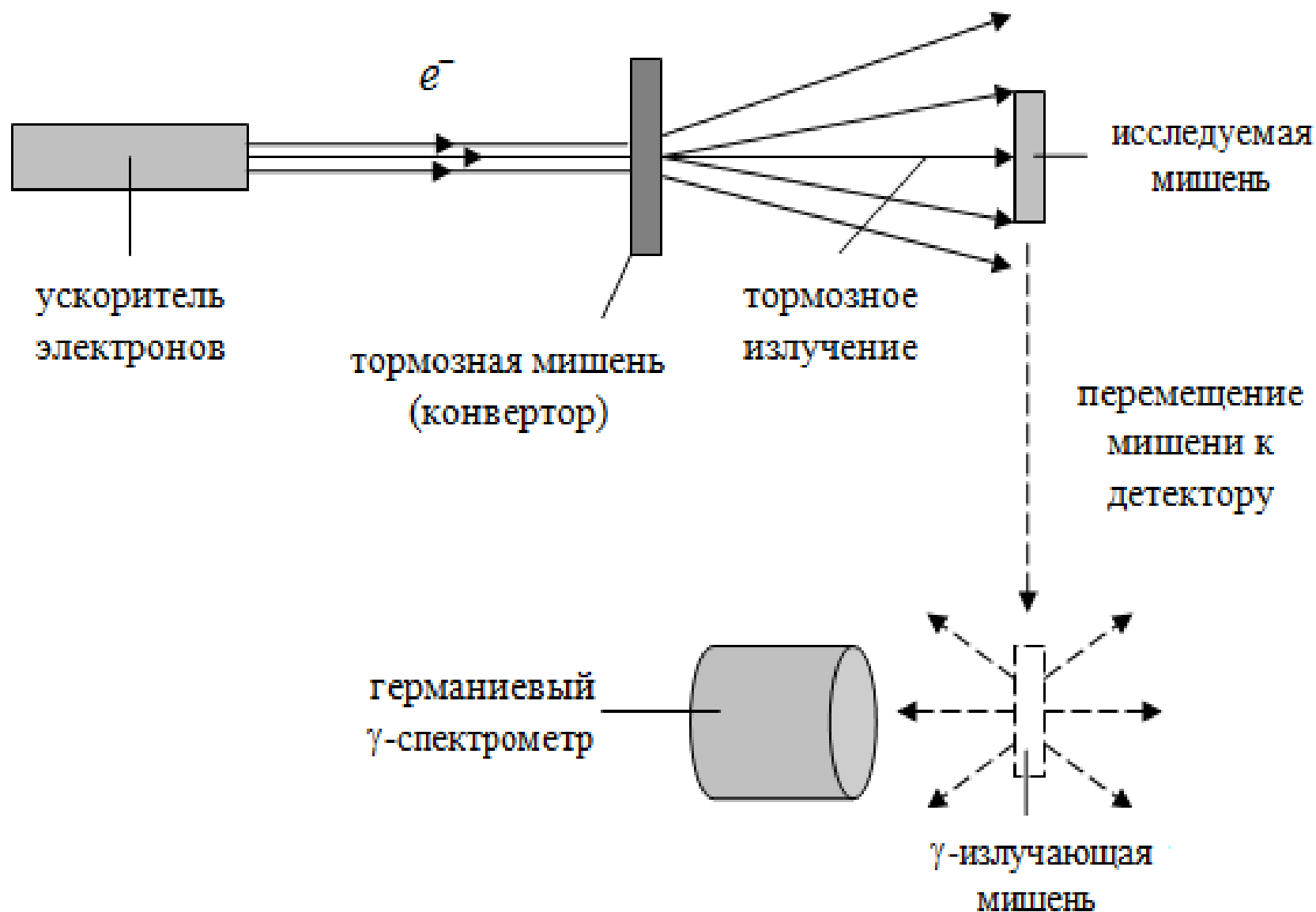
Облучение проводилось при энергии электронов – 19.5, 29.1, 43.5, 48.3 и 67.7 МэВ.

В результате фотоделения и фотоядерных реакций в образце образуется большое число радиоактивных изотопов.

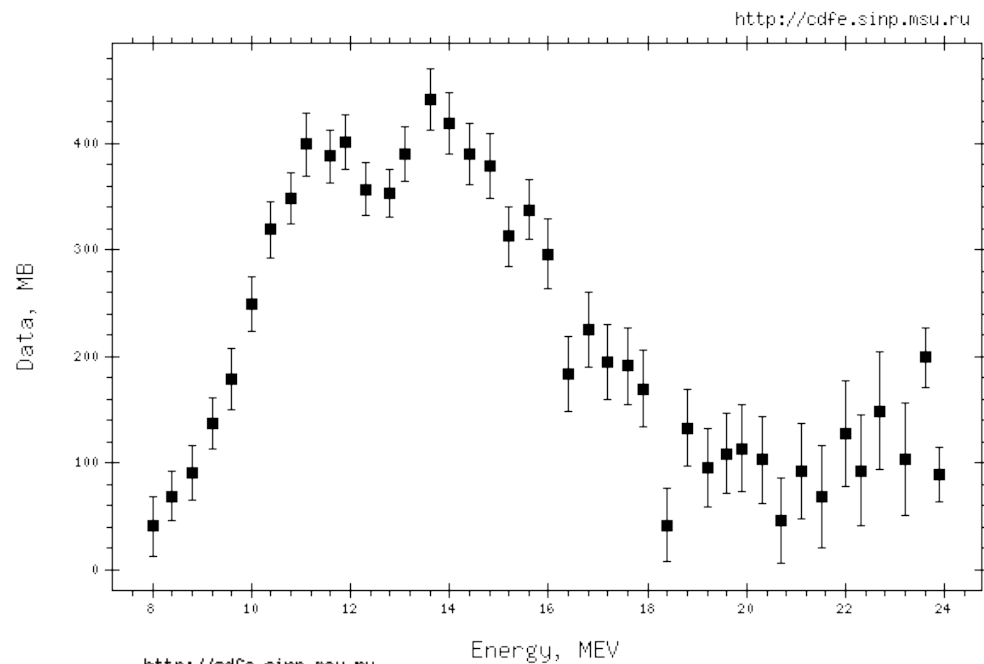
Идентификация изотопов и определение их количественных характеристик проводится методом  $\gamma$  – спектроскопии.

Анализ проводится путем измерения активности, энергии и периода полураспада элементов, образовавшихся в результате фоторасщепления.

# Экспериментальная установка



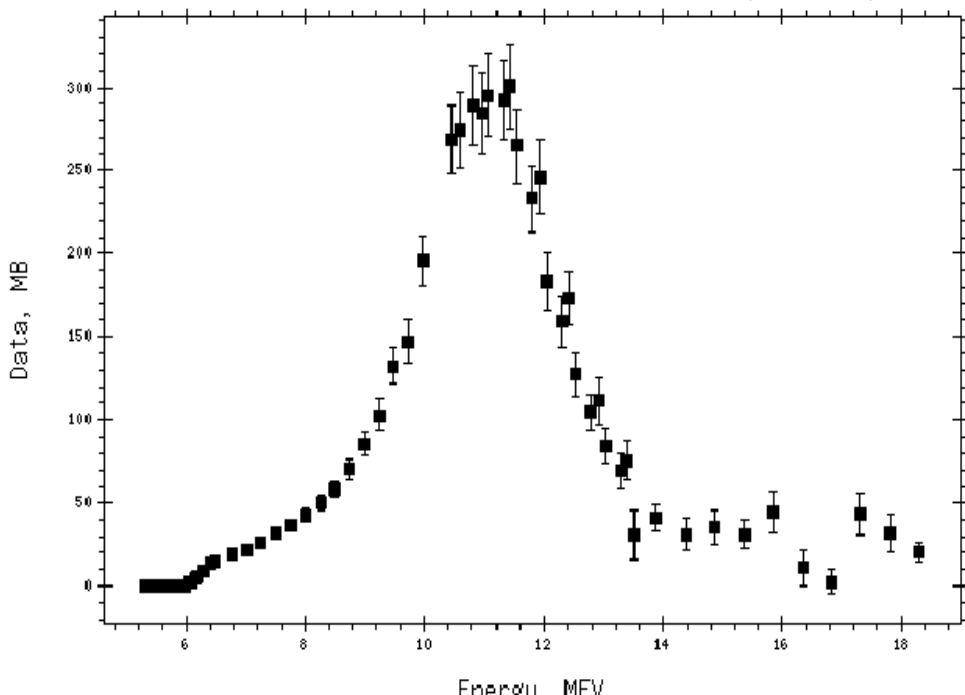
# Сечение фотоделения



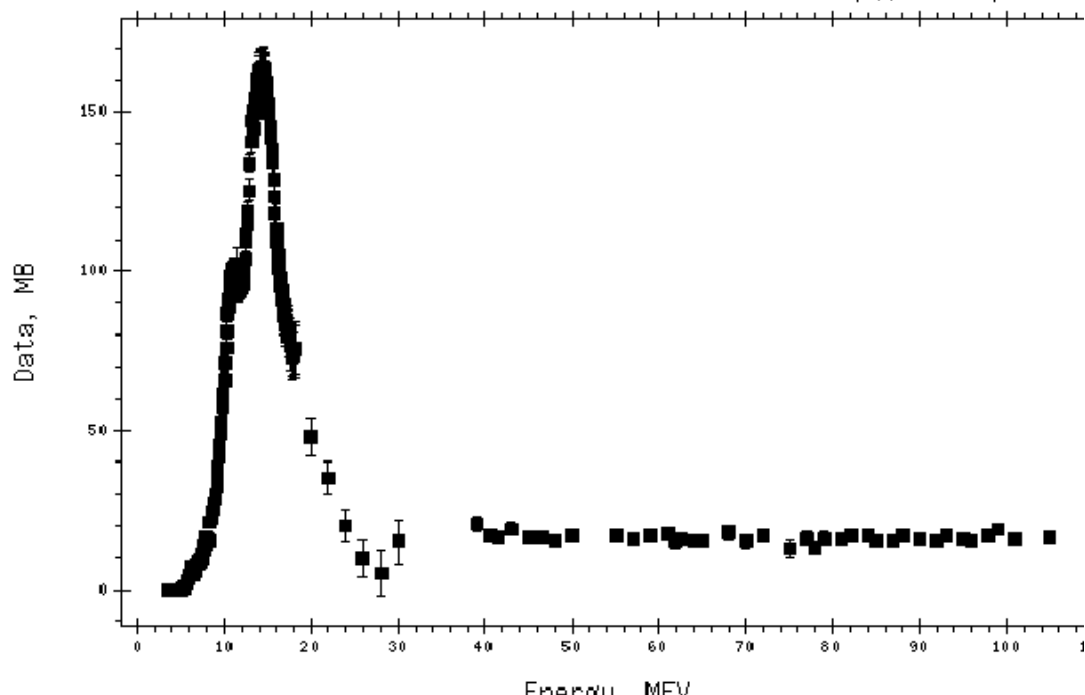
<http://cdfе.sinp.msu.ru>

Energy, MEV

<http://cdfе.sinp.msu.ru>



Energy, MEV

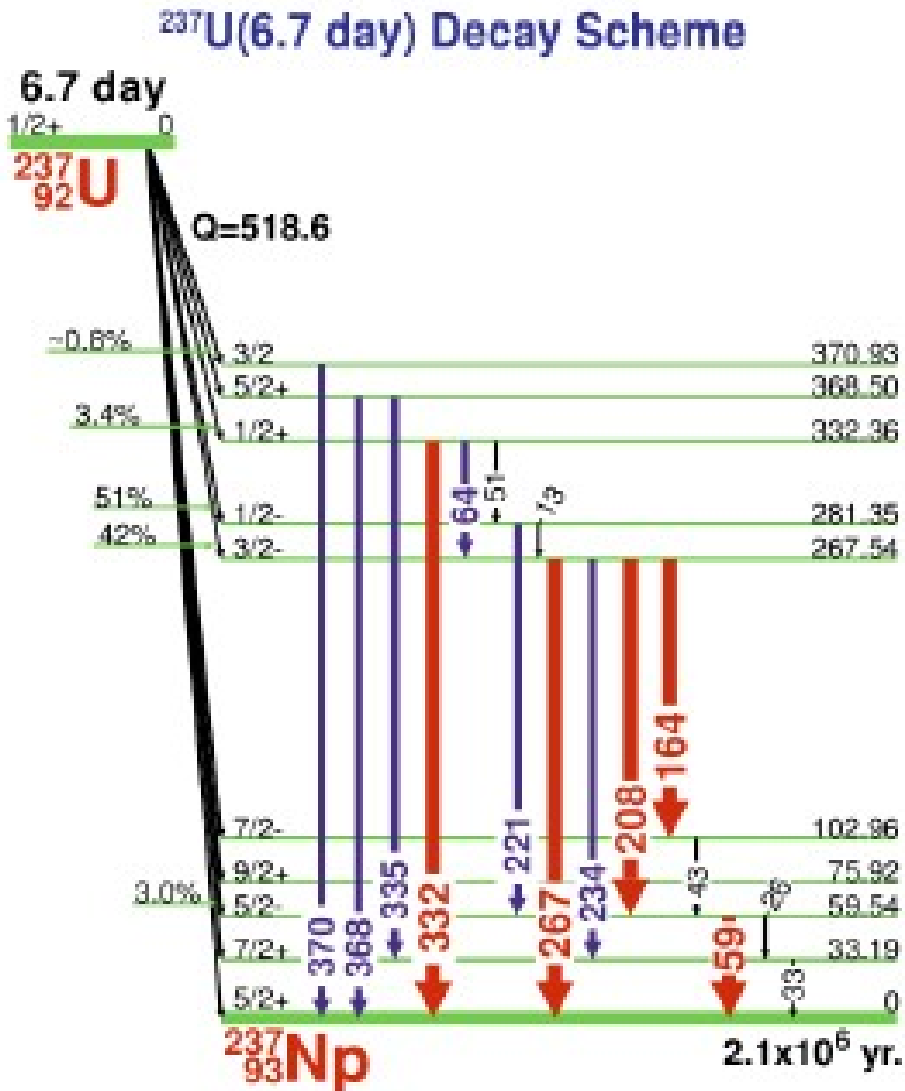


Energy, MEV

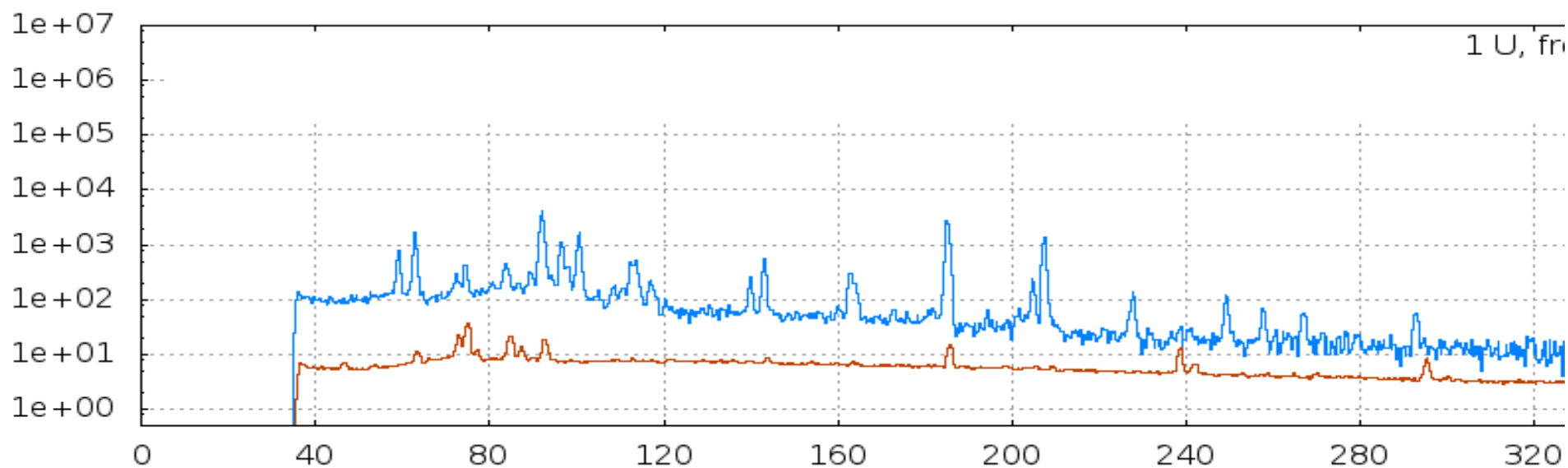
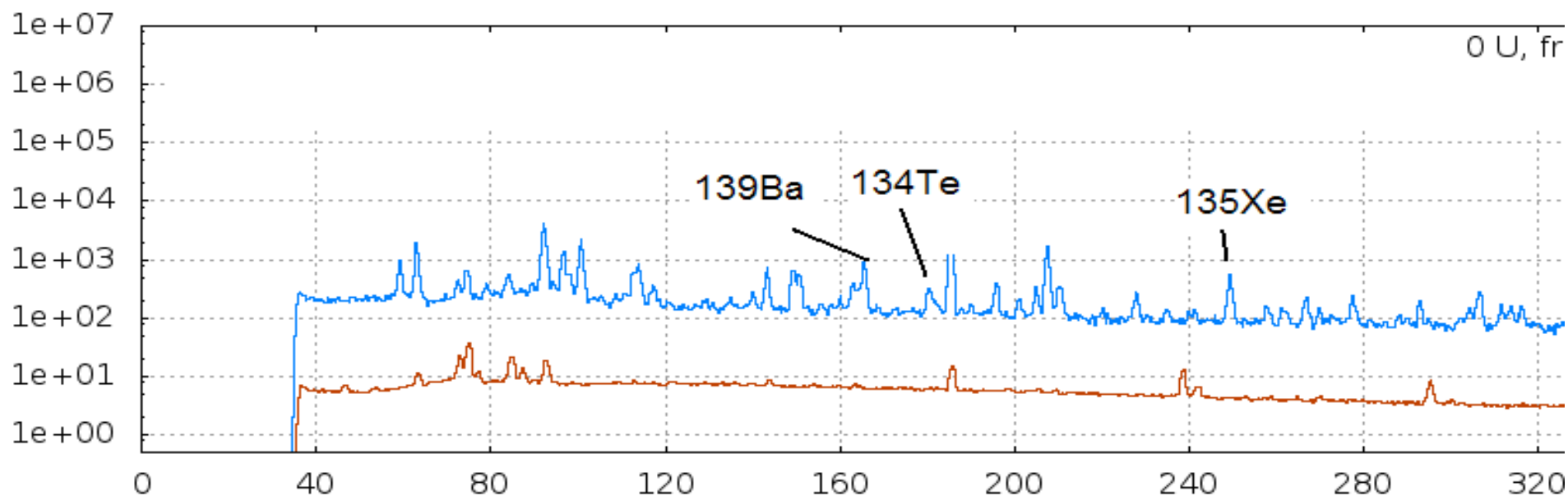
# Реакция $^{238}\text{U}(\gamma, n)^{237}\text{U}$

-Выход реакции  $^{238}\text{U}(\gamma, n)^{237}\text{U}$  используется как нормировка для выходов по каналу деления.

-В результате реакции  $^{238}\text{U}(\gamma, n)^{237}\text{U}$  получается радиоактивное ядро  $^{237}\text{U}$ . Это ядро  $\beta$ - радиоактивно с периодом полураспада 6.75 дней. После  $\beta$  - распада ядра  $^{237}\text{U}$  образуется ядро  $^{237}\text{Np}$  в возбужденном состоянии.



# Спектр остаточной активности сразу после облучения и через 2 дня после облучения.



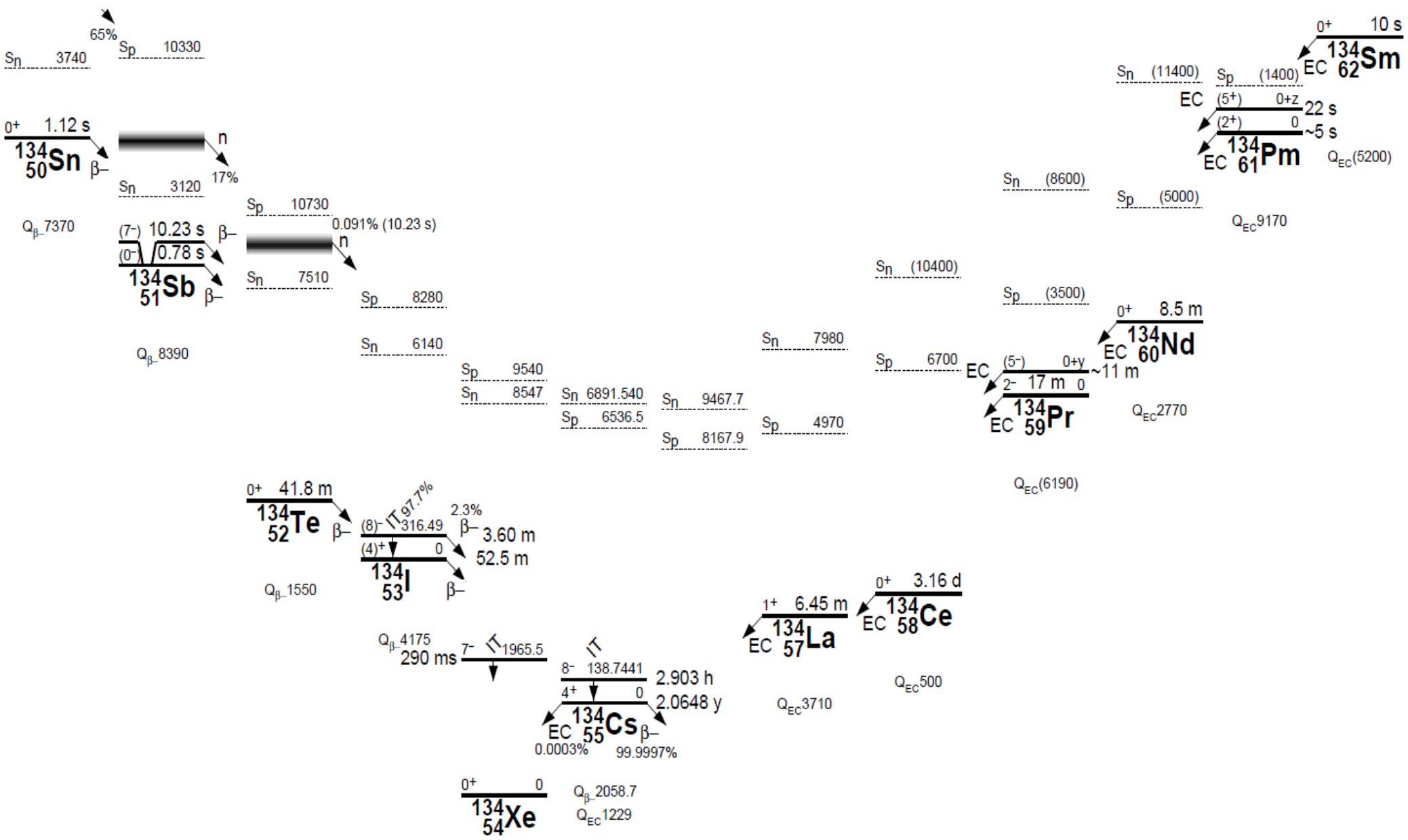
# Выход реакции

$$Y(T) = \alpha \int_0^T \sigma(E_\gamma) W(E_\gamma, T) dE_\gamma$$

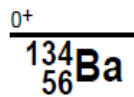
Выходом реакции называется количество реакций происходящих в образце в единицу времени.

Ядро может получиться как в результате деления, так и в результате распада на него родительского ядра, которое в свою очередь получается в результате деления.

В зависимости от способа образования ядра мы можем определять независимый или накопленный выход реакции.



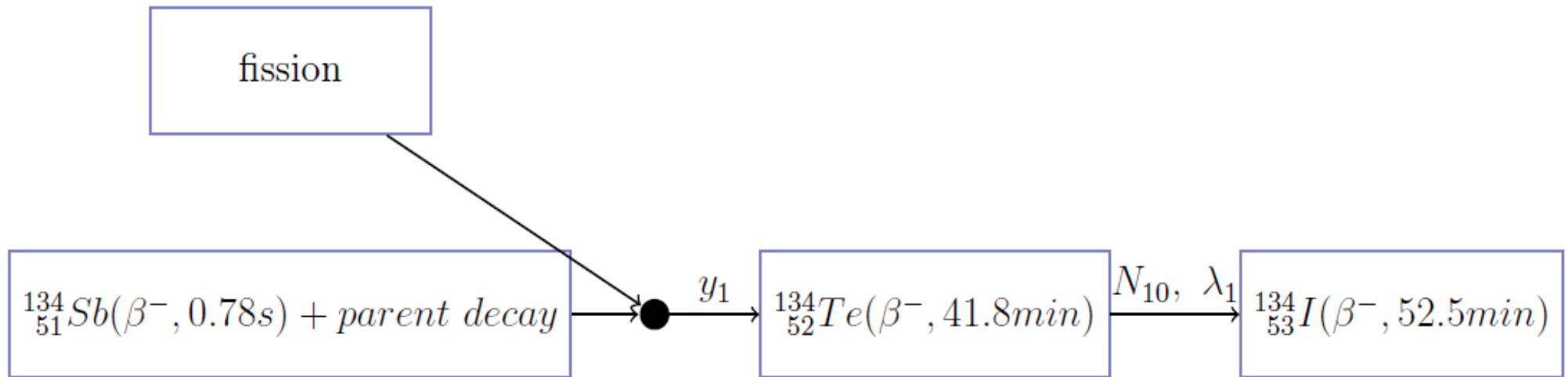
Evaluator: Yu.V. Sergeenkov





# Выход реакции

- Независимый выход (%) - число ядер определенного нуклида, произведенного непосредственно в результате деления (не через радиоактивный распад родительских ядер) в 100 реакциях расщепления.
- Накопленный выход (%) - общее число ядер определенного произведенного нуклида (непосредственно и после распада родительских ядер) в 100 реакциях расщепления.
- Полный выход цепи - общий выход для ядер изобар, получаемых в результате деления. Выход ядер с конкретным массовым числом. Эти ядра связаны между собой цепочкой распадов.
  - Это сумма накопленных выходов или просто накопленный выход долгоживущих ядер, находящихся в конце цепи распадов изобар с данным массовым числом.
  - Сумма независимых выходов ядер с данным массовым числом.



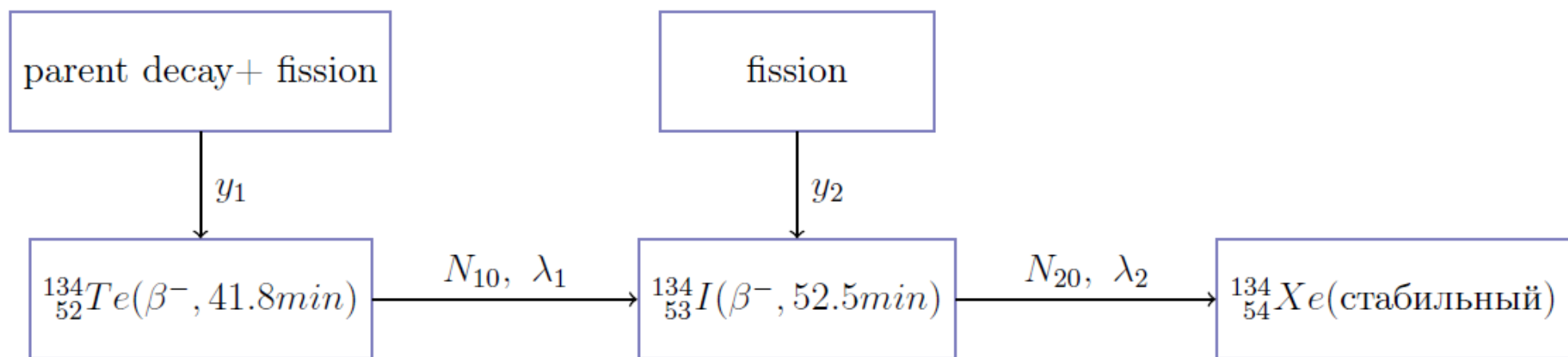
В этом случае уравнение изменения количества радиоактивных ядер во время и после облучения будет иметь вид:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 \cdot N_1 + y_1$$

Здесь  $y_1$  - накопленный выход ядер  $^{134}_{52}\text{Te}$ .

$$y_1 = \frac{N_{10} \cdot \lambda_1}{(1 - e^{-\lambda_1 t_1})}$$

$$N_{10} = \frac{S}{k_1(e^{-\lambda_1(t_2-t_1)} - e^{-\lambda_1(t_3-t_1)})}$$



Случай, когда можно разделить сколько ядер образовалось в результате деления, а сколько в результате распада на него родительских ядер.

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 + y_1 \\ \frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 N_2 + \lambda_1 N_1 + y_2 \end{cases}$$

$\lambda_1, \lambda_2$  - постоянные распада,

$y_1$ , - накопленный выход образования ядра 1 ( $^{134}_{52}\text{Te}$ ),

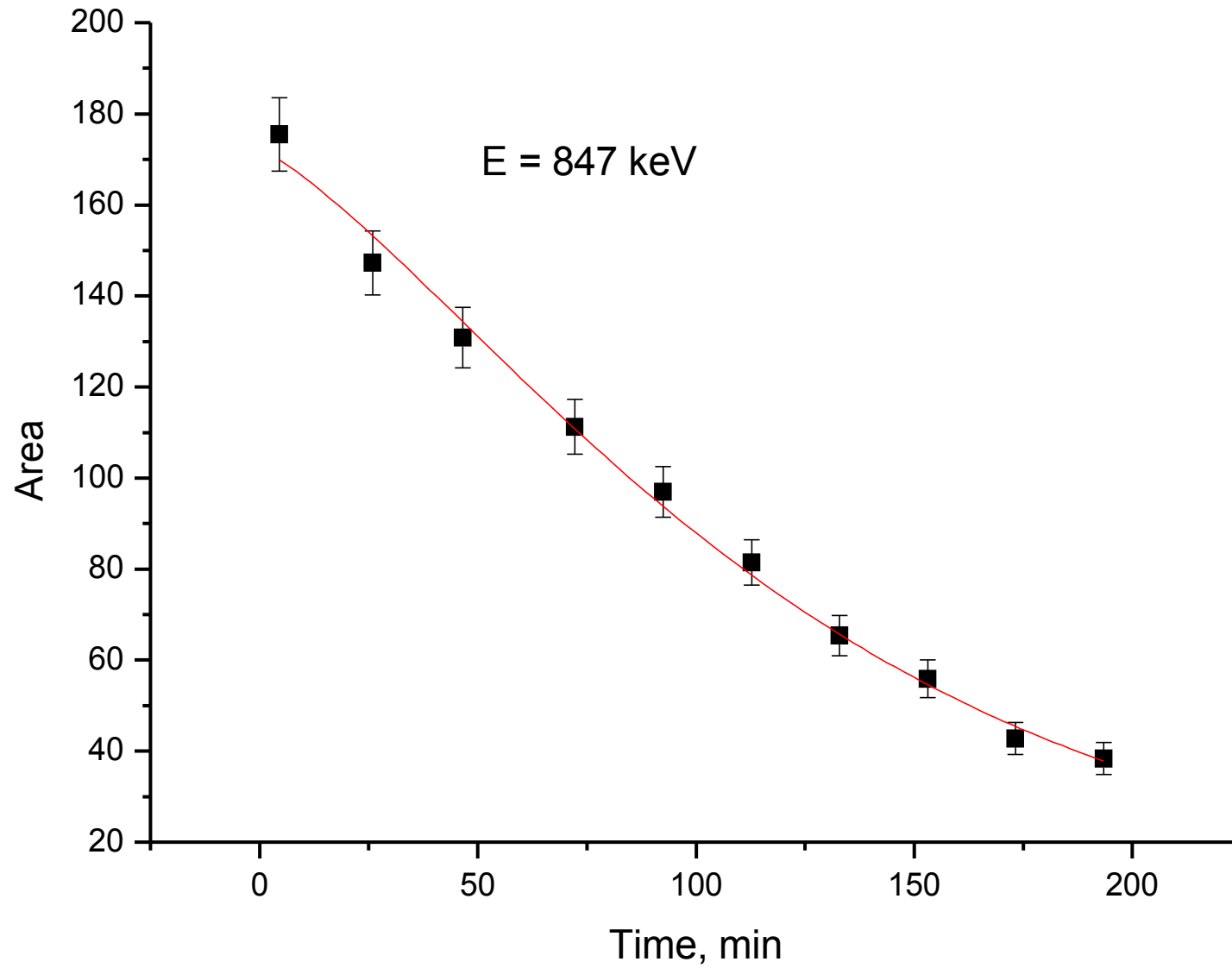
$y_2$ , - независимый выход образования ядра 2 ( $^{134}_{53}\text{I}$ ) в результате деления,

$N_{10}, N_{20}$  количество ядер 1 и 2 на момент окончания облучения.

$$y_2 = \frac{\lambda_2 N_{20}}{1 - e^{-\lambda_2 t_1}} - y_1 \frac{\lambda_2(1 - e^{-\lambda_1 t_1}) - \lambda_1(1 - e^{-\lambda_2 t_1})}{(\lambda_2 - \lambda_1)(1 - e^{-\lambda_2 t_1})}$$

$$N_{20} = \frac{S(t_2, t_3)}{k_2(e^{-\lambda_2(t_2-t_1)} - e^{-\lambda_2(t_3-t_1)})} + \frac{N_{10}\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} - \frac{N_{10}\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot \frac{(e^{-\lambda_1(t_2-t_1)} - e^{-\lambda_1(t_3-t_1)})}{(e^{-\lambda_2(t_2-t_1)} - e^{-\lambda_2(t_3-t_1)})}$$

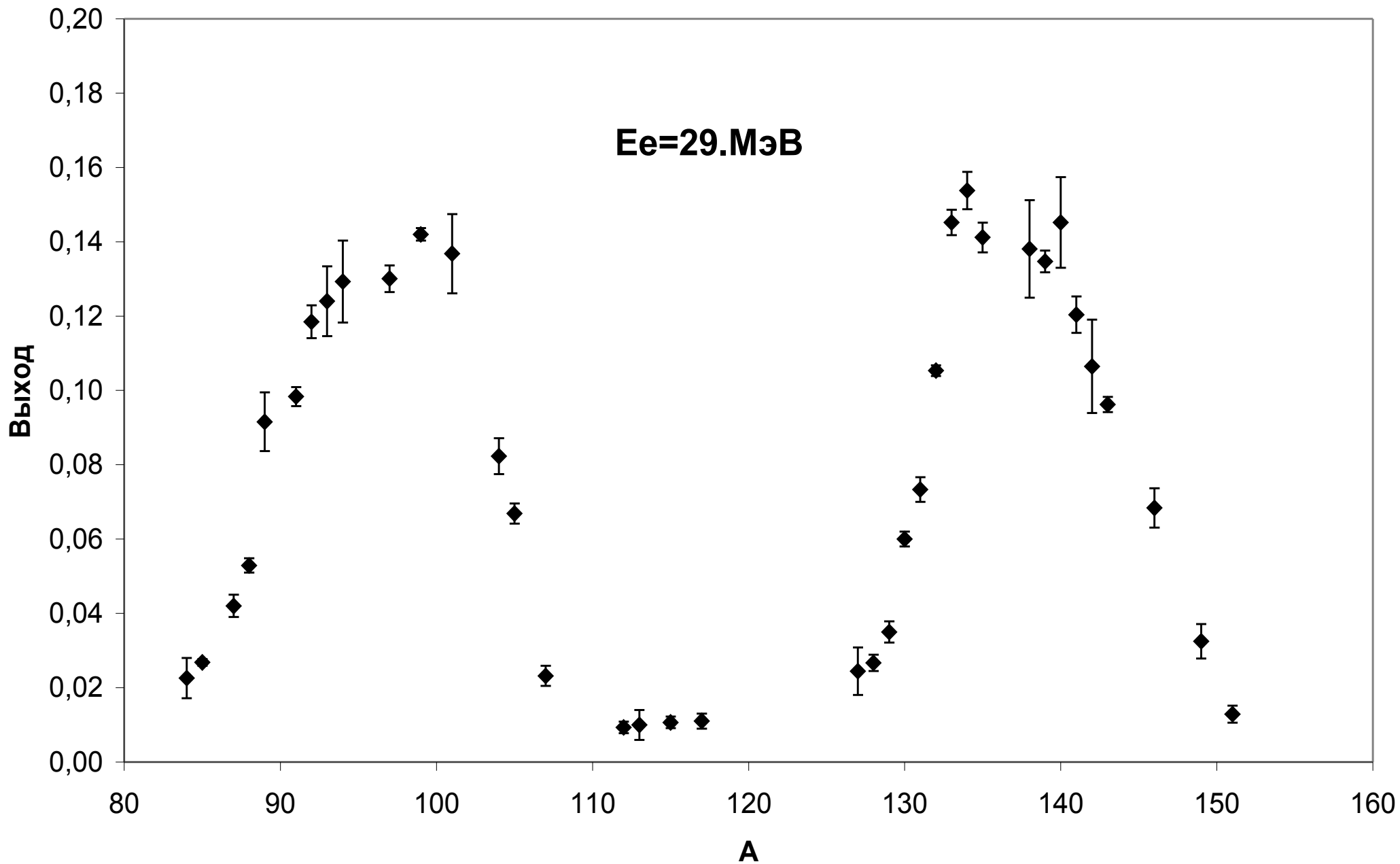
# I 134



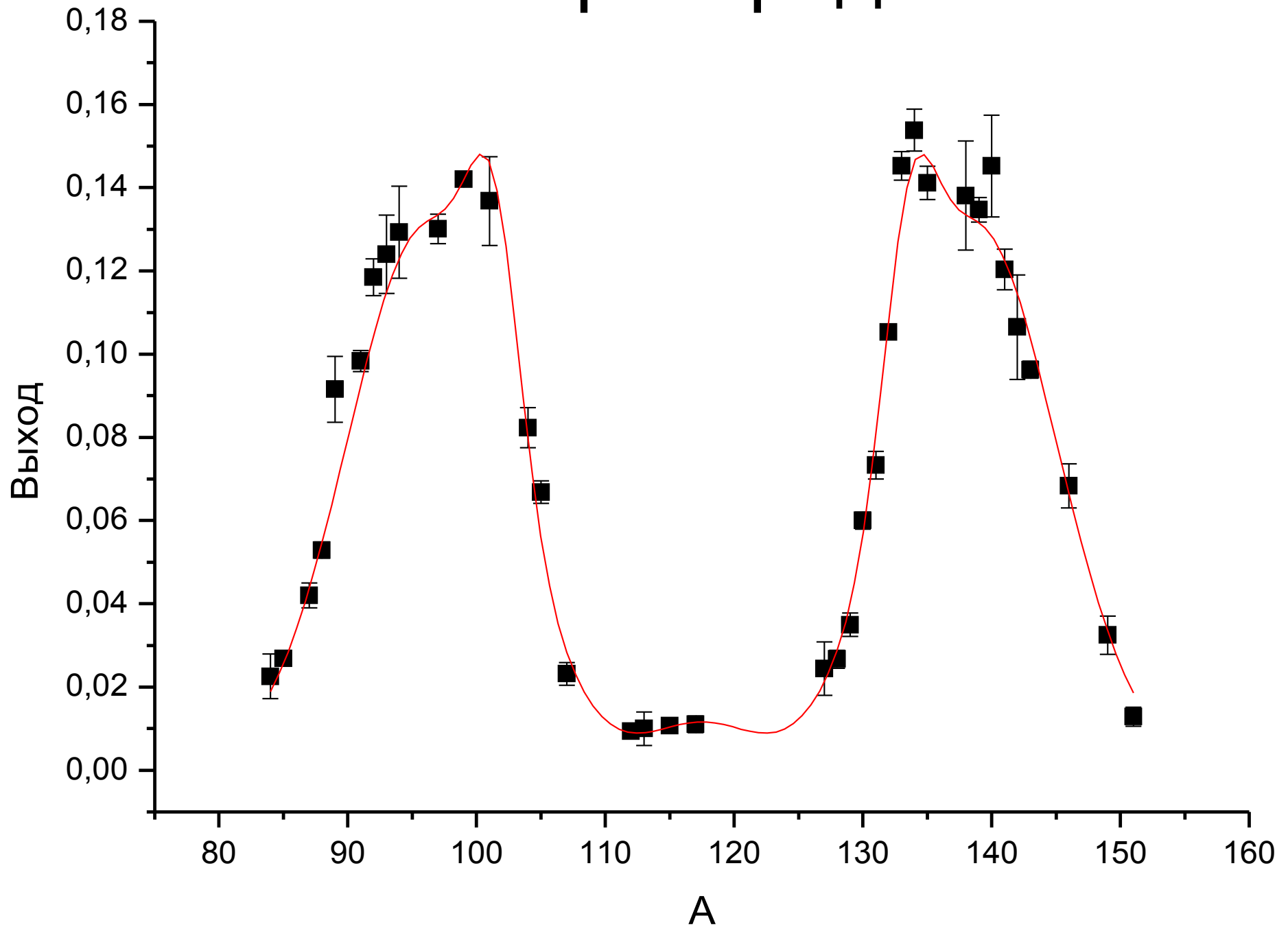
# Критерии расшифровки спектров

- Осколки, образующиеся при делении радиоактивные. Следовательно при распаде они излучают гамма — кванты. Ядро, образующееся в результате деления идентифицируется по энергии пика и его периоду полураспада.
- Радиоактивные изотопы имеют много гамма переходов при распаде. В спектрах должны быть видны хотя бы самые интенсивные из них. Выход по разным гамма - переходам должен быть одинаковым
- В процессе деления образуются ядра сильно перегруженные нейтронами, которые распадаются либо путем вылета нейтронов либо за счет бета распадов. Следовательно в спектре должны быть гамма переходы от дочерних и родительских изотопов радиоактивного ядра.
- В процессе деления образуется 2 осколка, следовательно должны быть видны гамма переходы от ядер - партнеров по делению.

# Массовое распределение

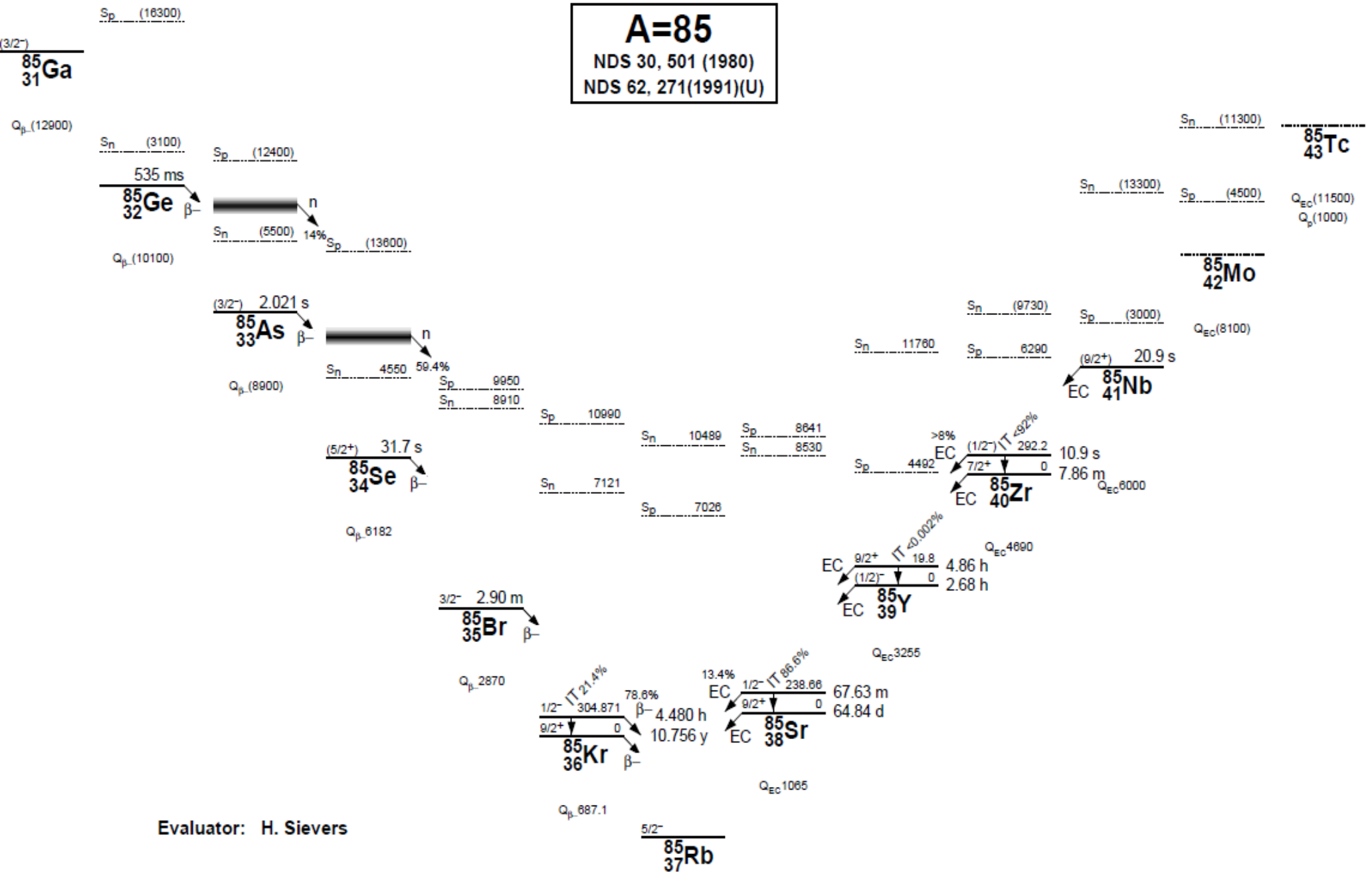


# Массовое распределение



# Запаздывающие нейтроны

**A=85**  
 NDS 30, 501 (1980)  
 NDS 62, 271(1991)(U)

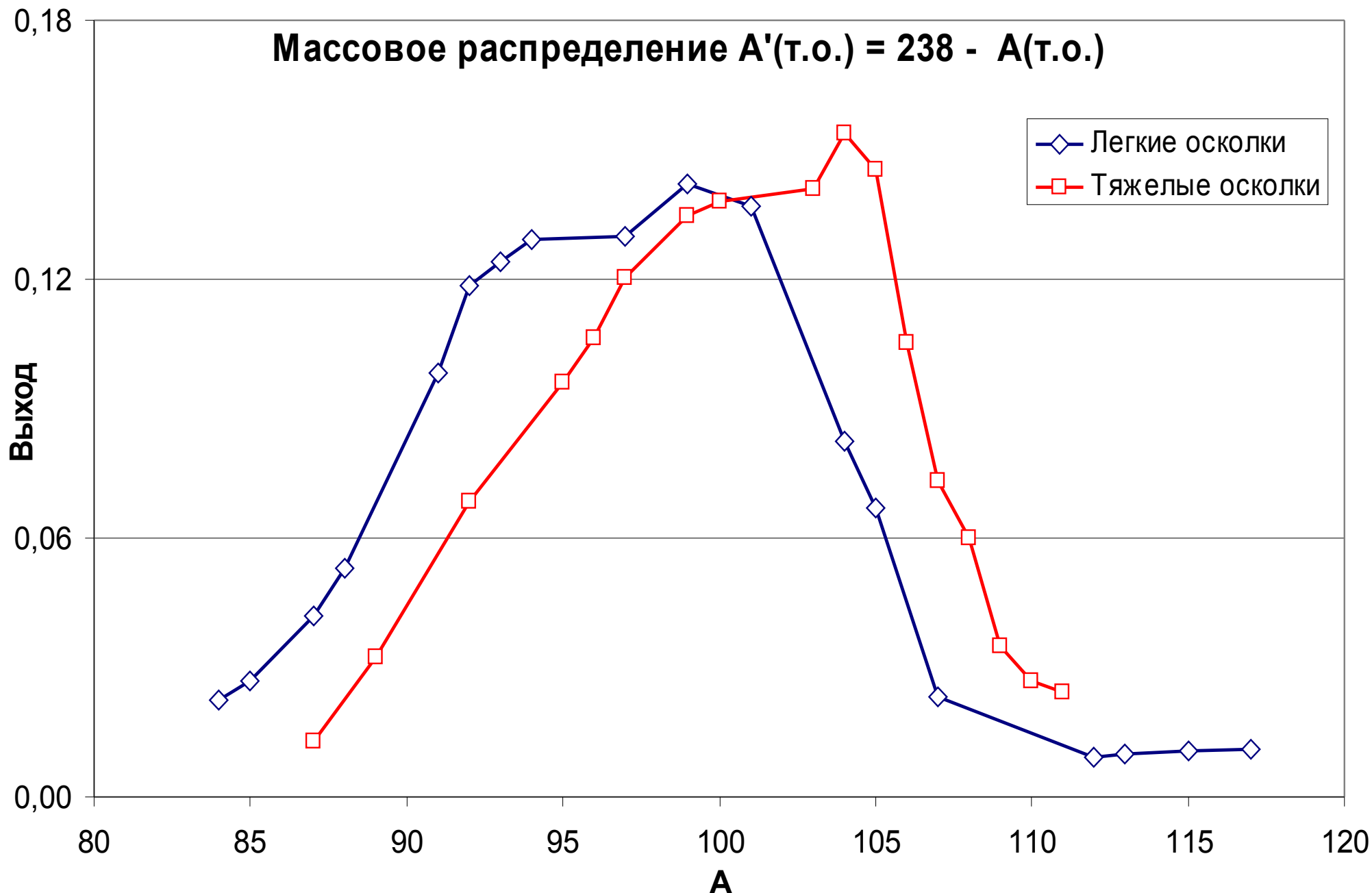


Evaluator: H. Sievers

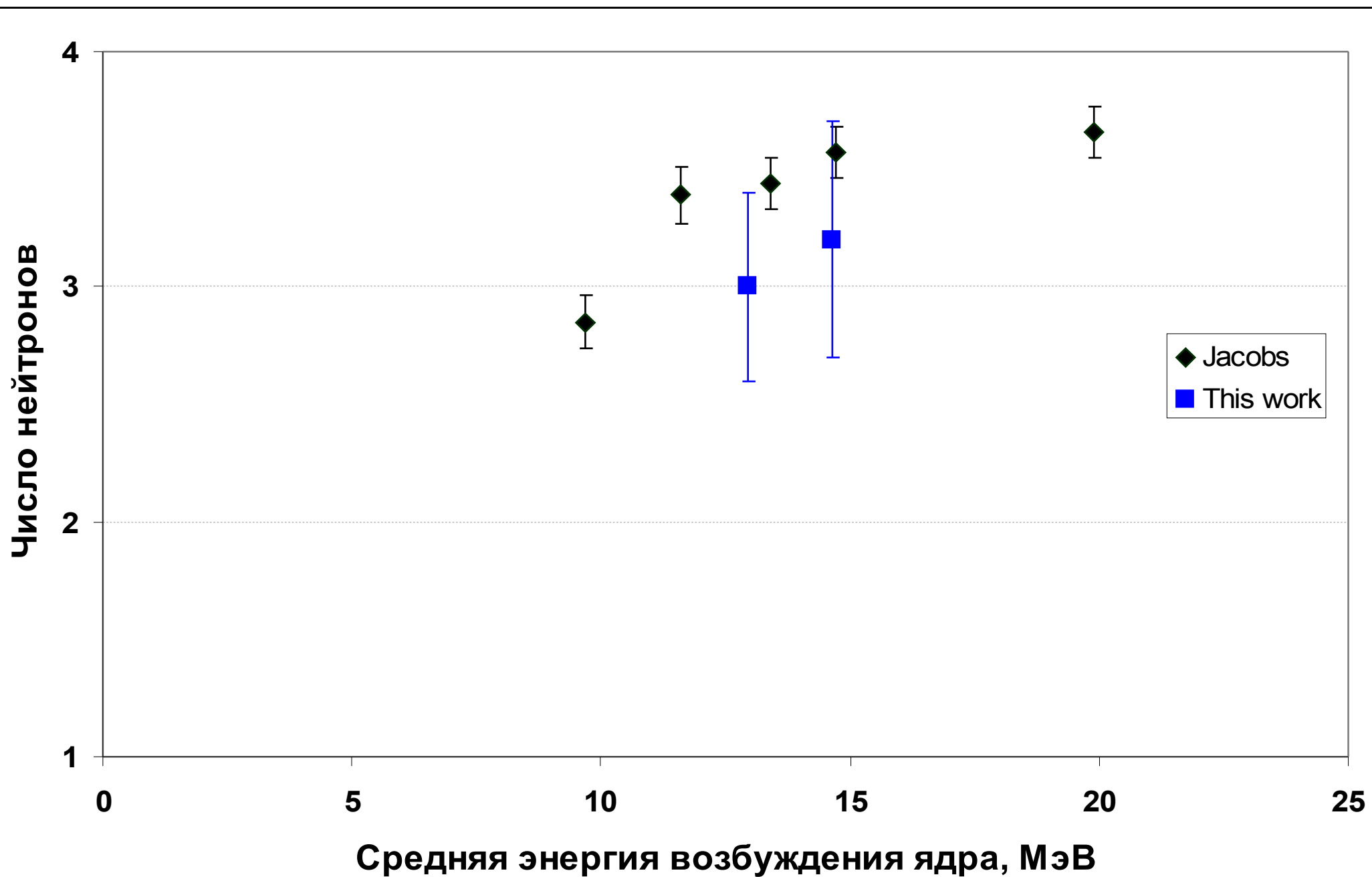


# Мгновенные нейтроны

Массовое распределение  $A'(т.о.) = 238 - A(т.о.)$

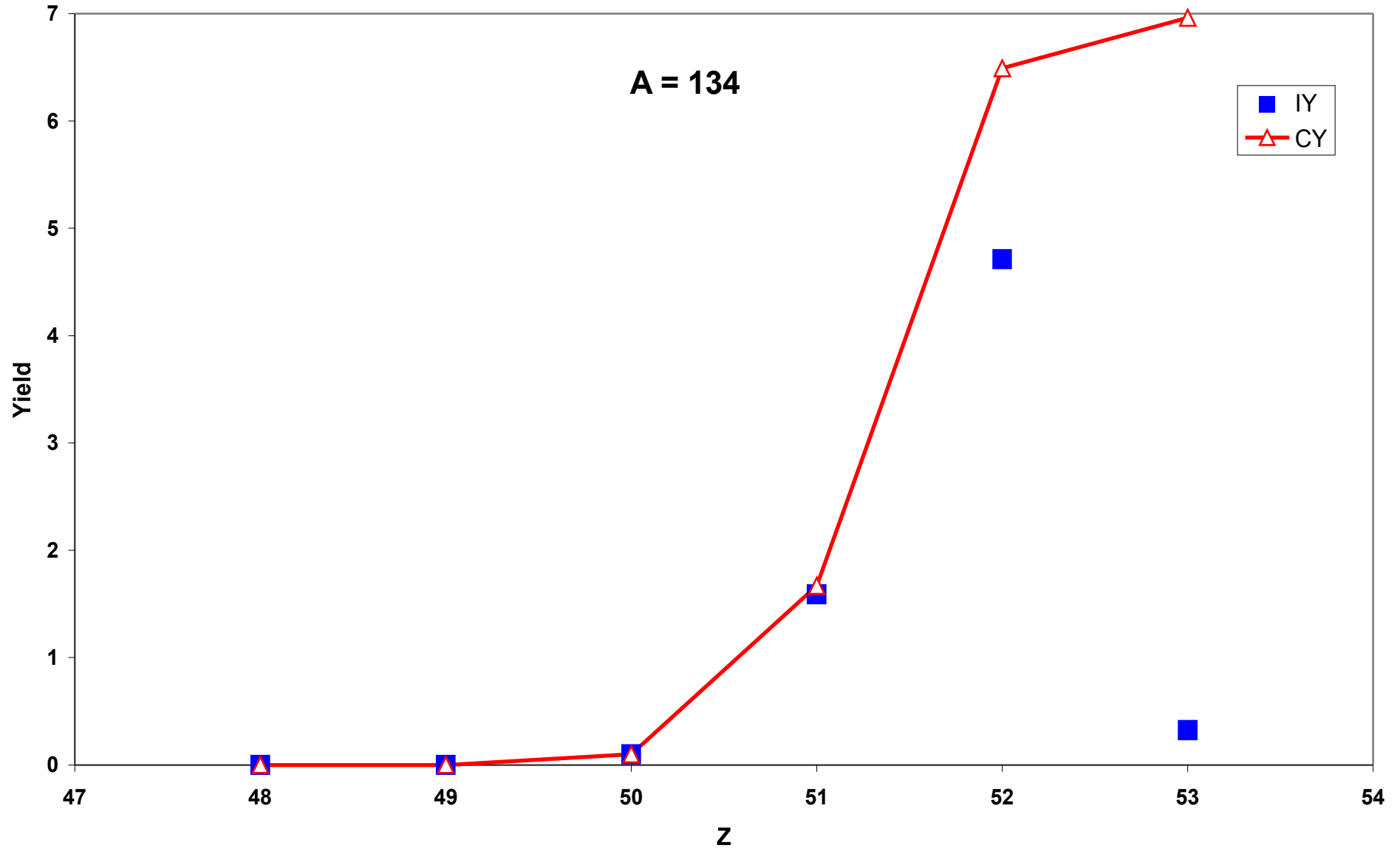


# Мгновенные нейтроны

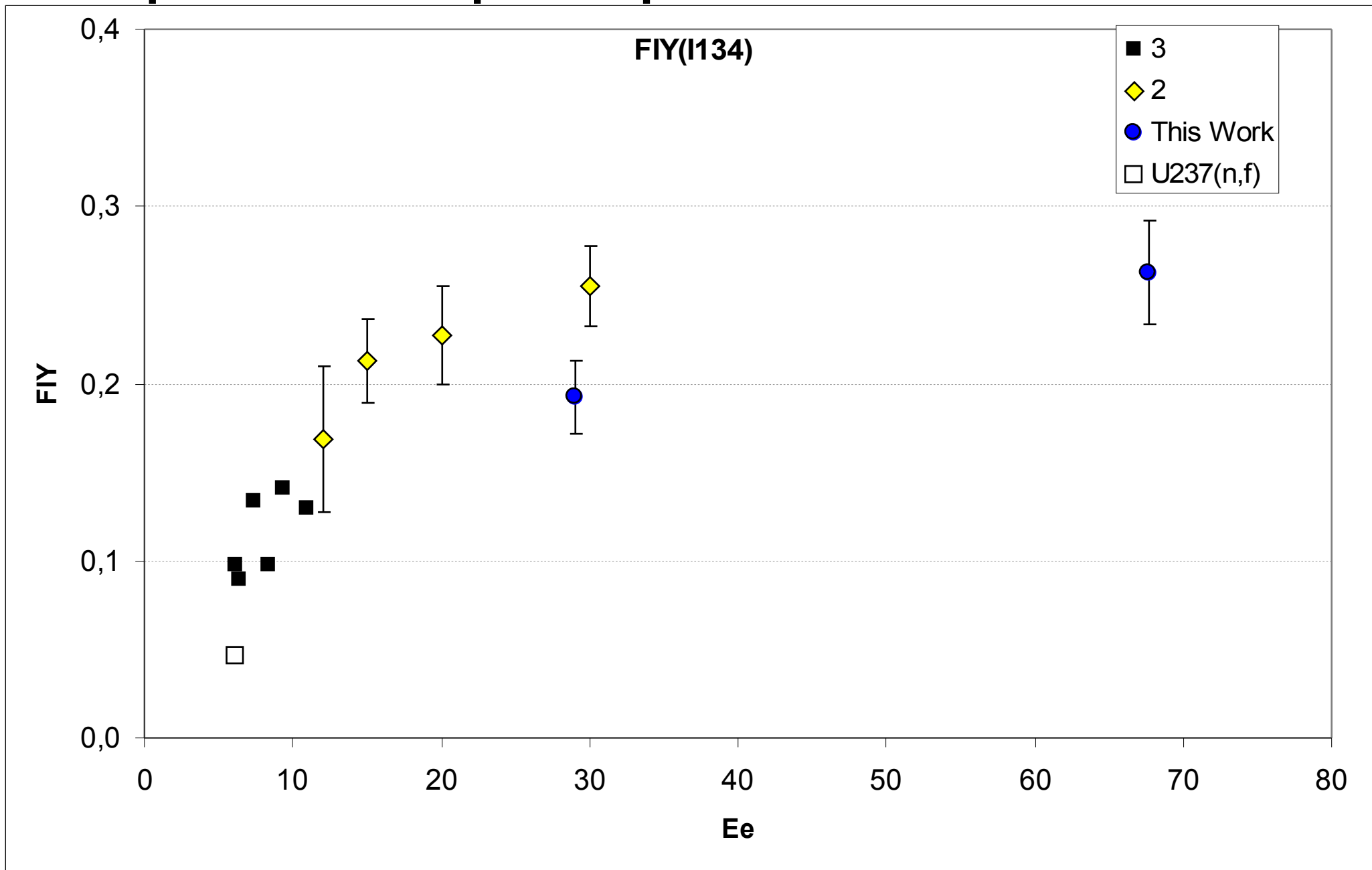


# Зарядовое распределение $A = 134$

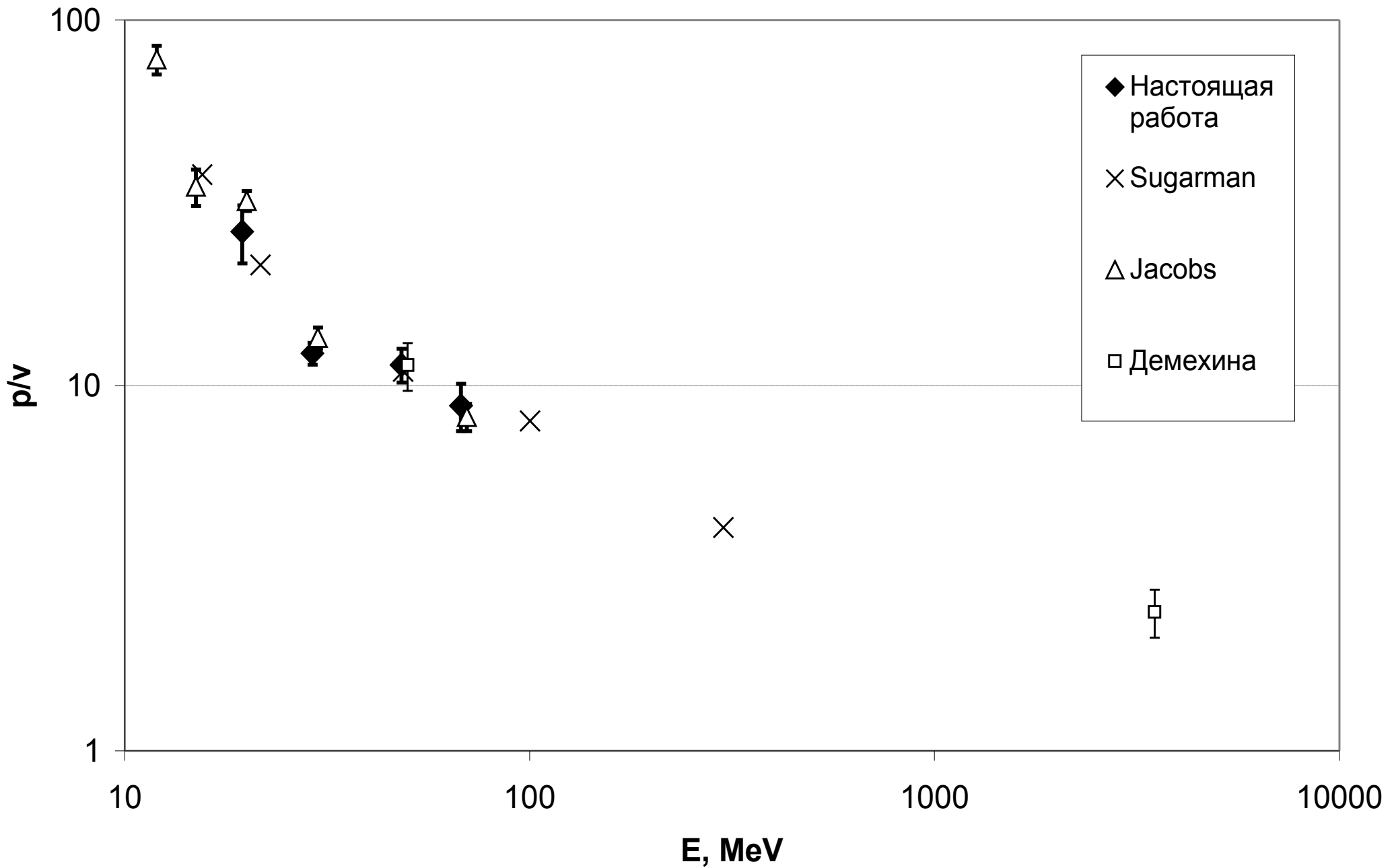
реакция  $^{237}\text{U}(n,f)$



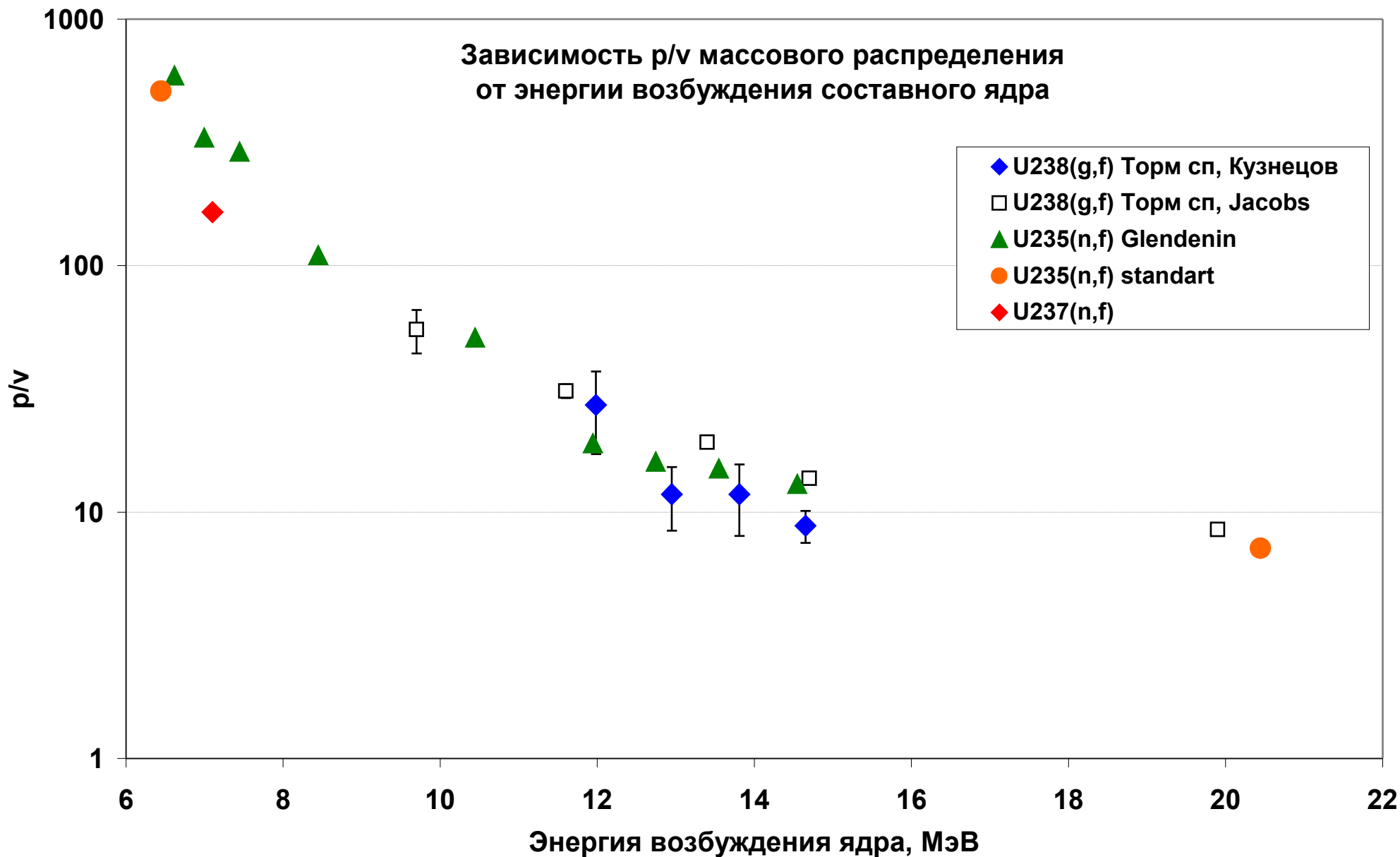
# Зарядовое распределение $A = 134$



# Симметричное и несимметричное деление



# Симметричное и несимметричное деление



**Спасибо за внимание!**