



# Влияние отношения $N/Z$ на свойства вынужденного деления составного ядра $Sg$ , образованного в реакциях с тяжелыми ионами

---

Магистерская диссертация

Магистрант Физического факультета  
Московского государственного университета  
имени М.В.Ломоносова

**Галкина Евгения**

Научный руководитель:

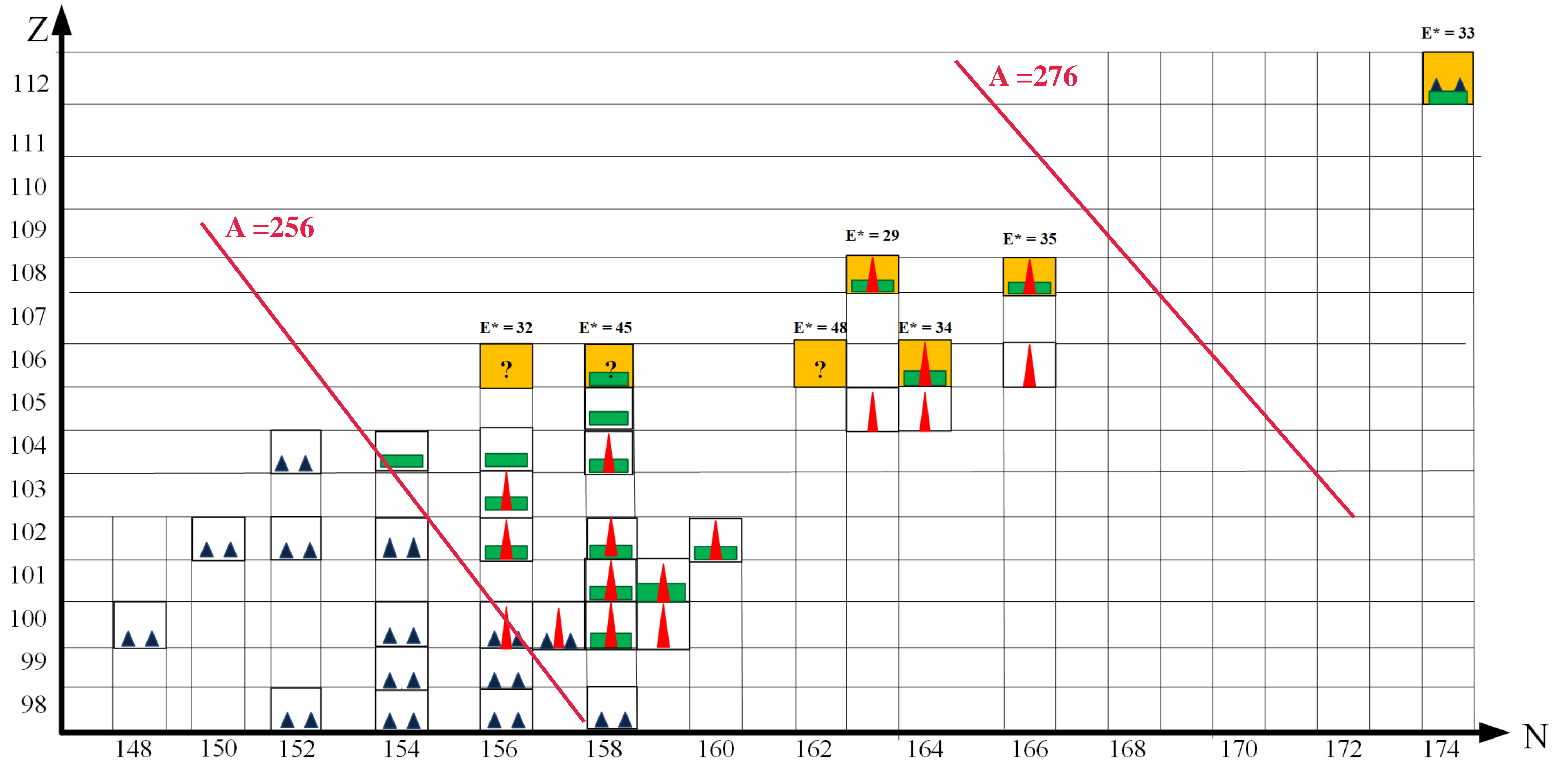
**д.ф.- м.н Теряев Олег Валерианович**

Научный консультант:

**к.ф. - м.н Козулин Эдуард Михайлович**

27.05.2022

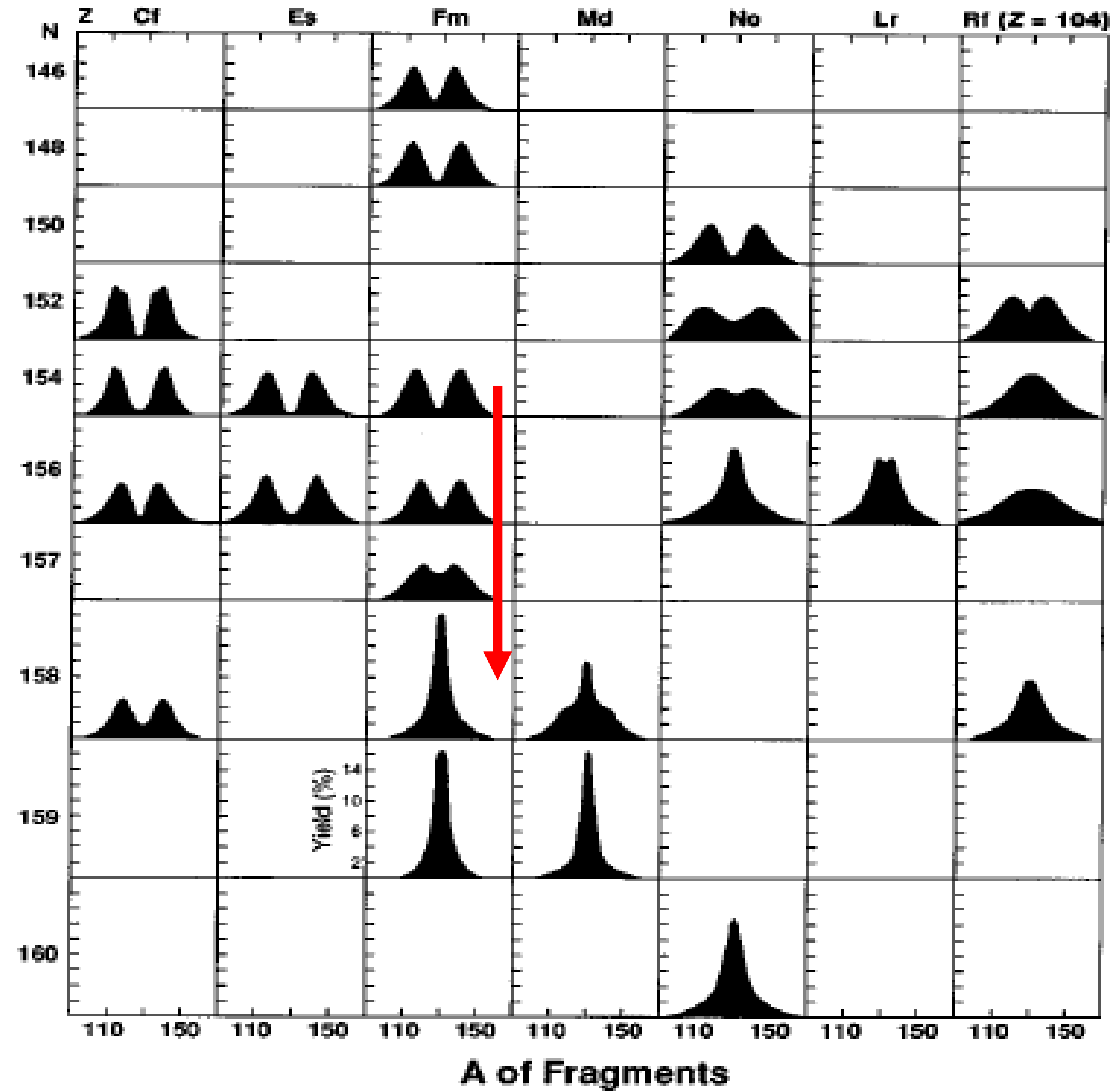
# Введение



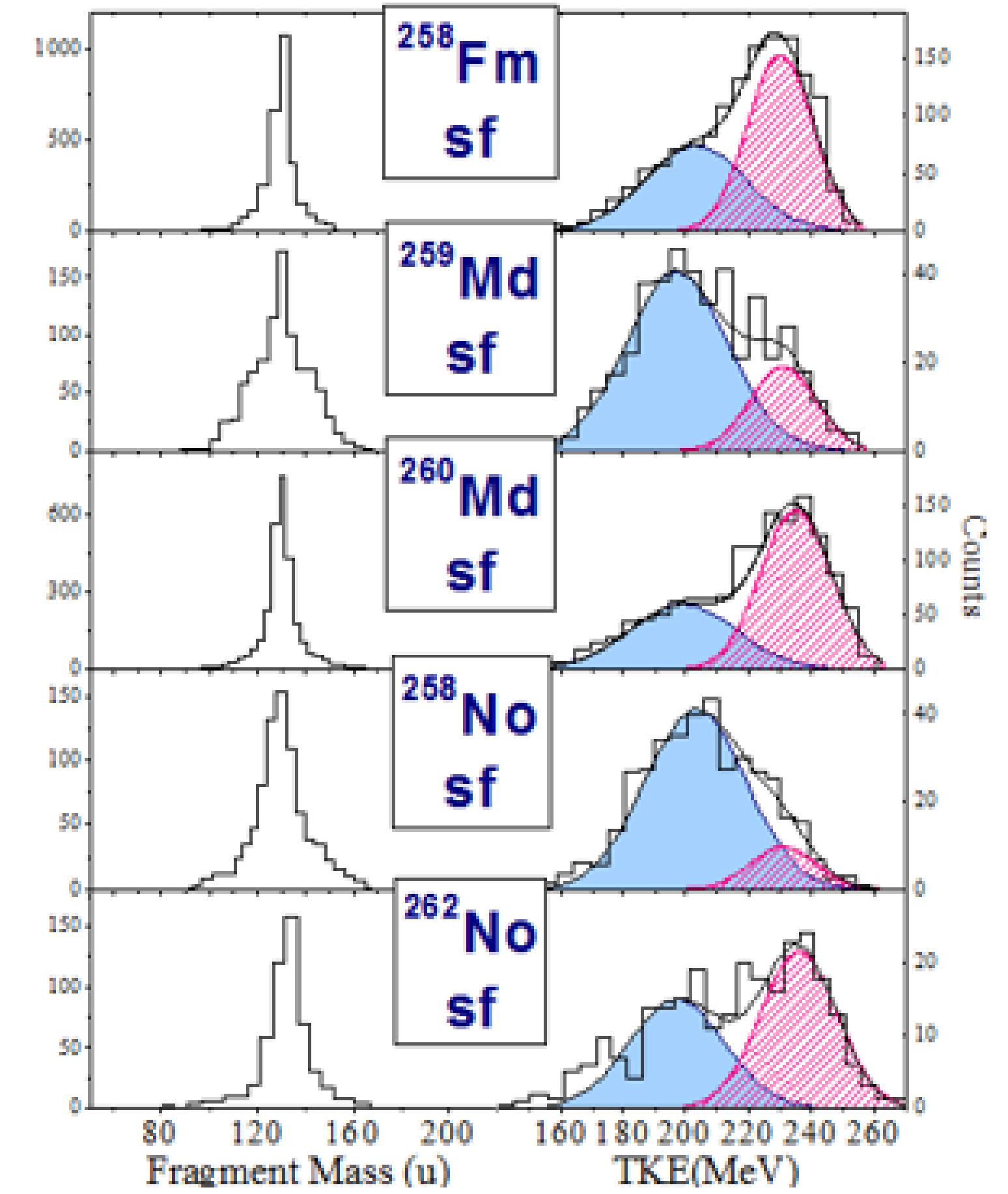
Experimental data from:  
 D. C. Hoffman PRC 41, 661 (1990);  
 D.C. Hoffman et al., NPA 502, 21c (1989);  
 D.C. Hoffman et al., Radioch. Acta 70/71, 135 (1995);  
 M.R. Lane et al., PRC 53, 2893 (1996);  
 D. Hult et al., PRL 56, 313  
 D. Hulet et al., Phys. Atom. Nucl 57 (1994)  
 Yu. Ts. Oganessian, PRC 72 034611 (2005)  
 M. G. Itkis, N. A. Kondratiev, E. M. Kozulin,  
 Yu.Ts. Oganessian, et al.// Phys.Rev.C (1999)  
 vol.59, n.6, pp.3172-3176.

# Особенности деления ядер в области Fm-Rf

Экспериментальные данные массовых распределений спонтанного деления ядер области Fm-Rf



[Phys.Review C53.2893](#)



[E.K.Hulet et al., Phys.Rev. Lett. 56, 313 \(1986\)](#)

# Проявление оболочечных эффектов

## Оболочечные эффекты:

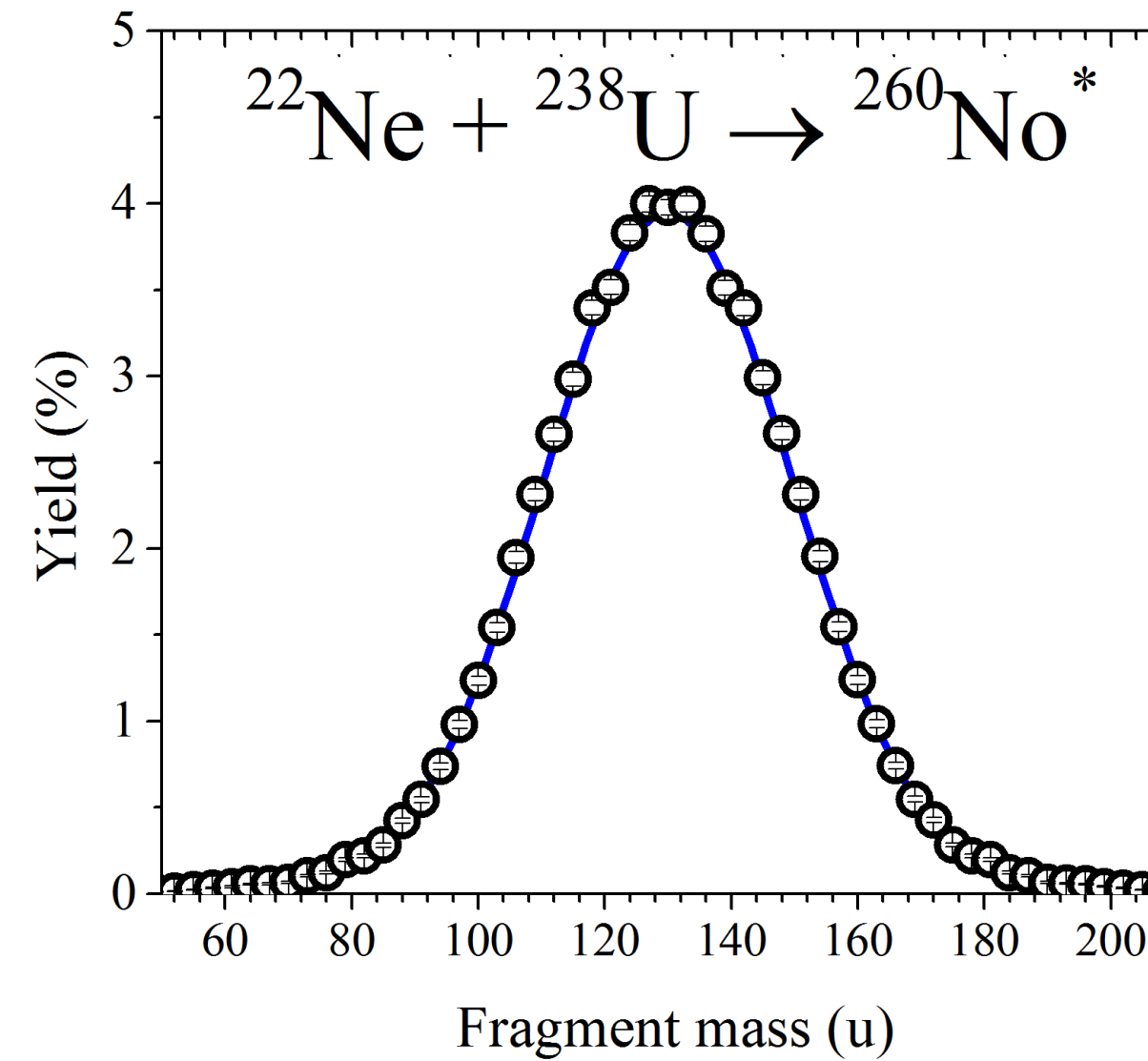
### Классификация мод деления по Брозе

**S (Superlong)** - обусловлена сильно вытянутыми формами делящегося ядра

**S1(Standard1)** - обусловлена влиянием замыкания сферической оболочки в осколках деления со средней массой 132-134 а.е.м ( $Z = 50$  и/или  $N = 82$ )

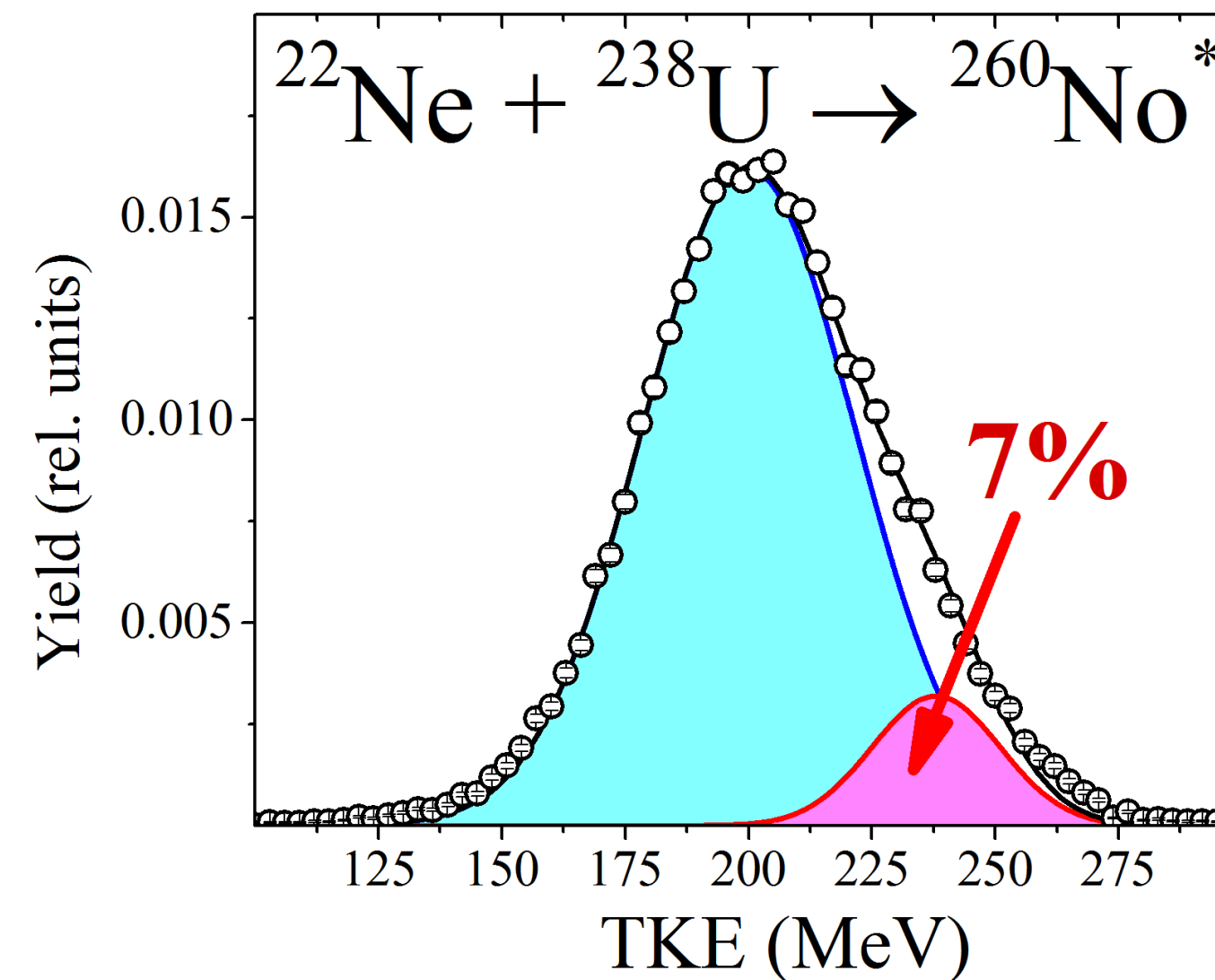
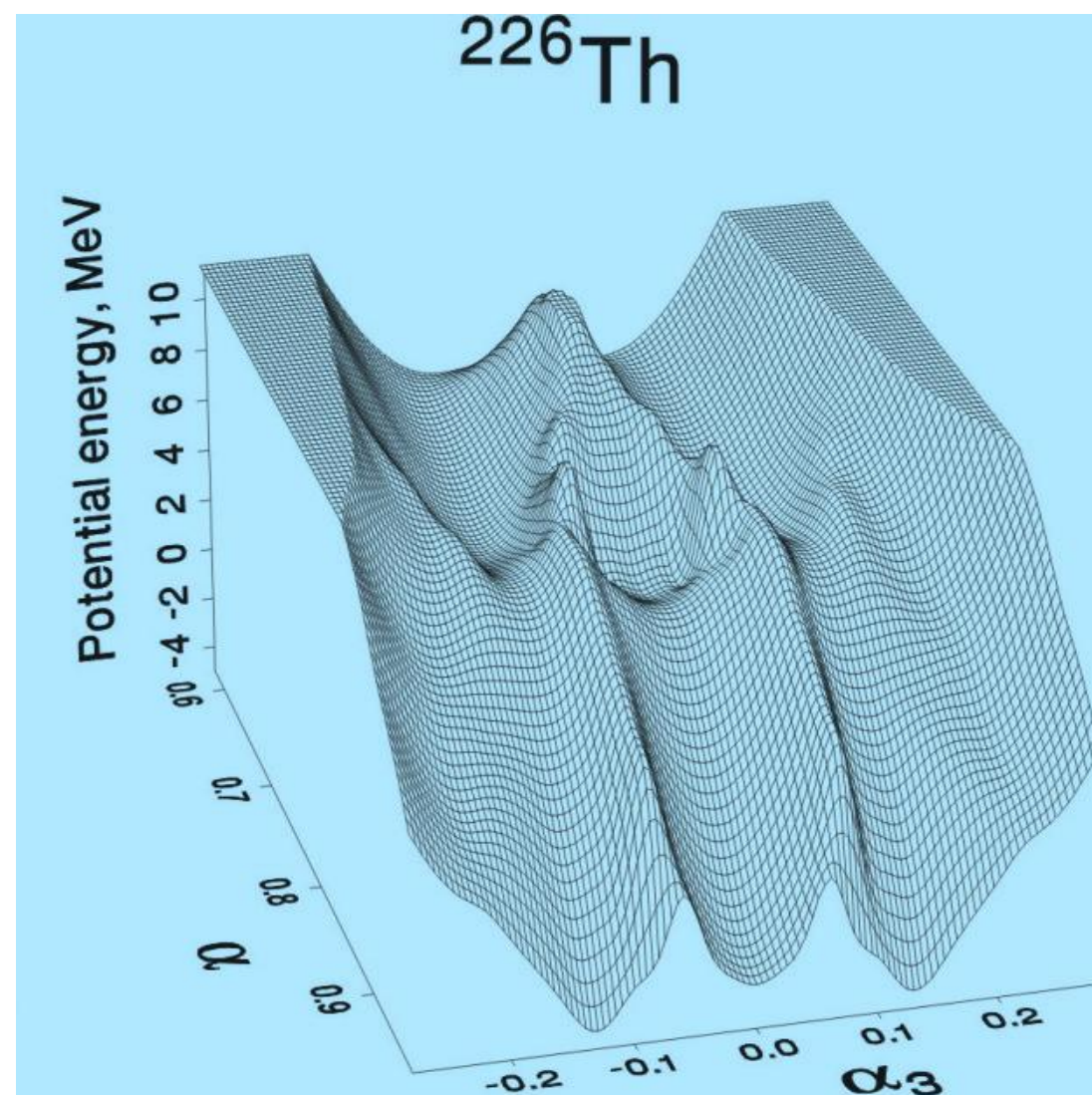
**S2(Standard2)** - возникает из-за замыкания деформированной нейтронной оболочки  $N=88$ , образующейся также в тяжелом осколке со средней массой  $\sim 140$  а.е.м

**SuperShort** - обусловлен влиянием магических оболочек олова ( $Z_1, Z_2 = 50$  и  $N_1, N_2 = 82$ ), образованными одновременно в двух фрагментах деления



Экспериментальные характеристики проявления SuperShort моды:

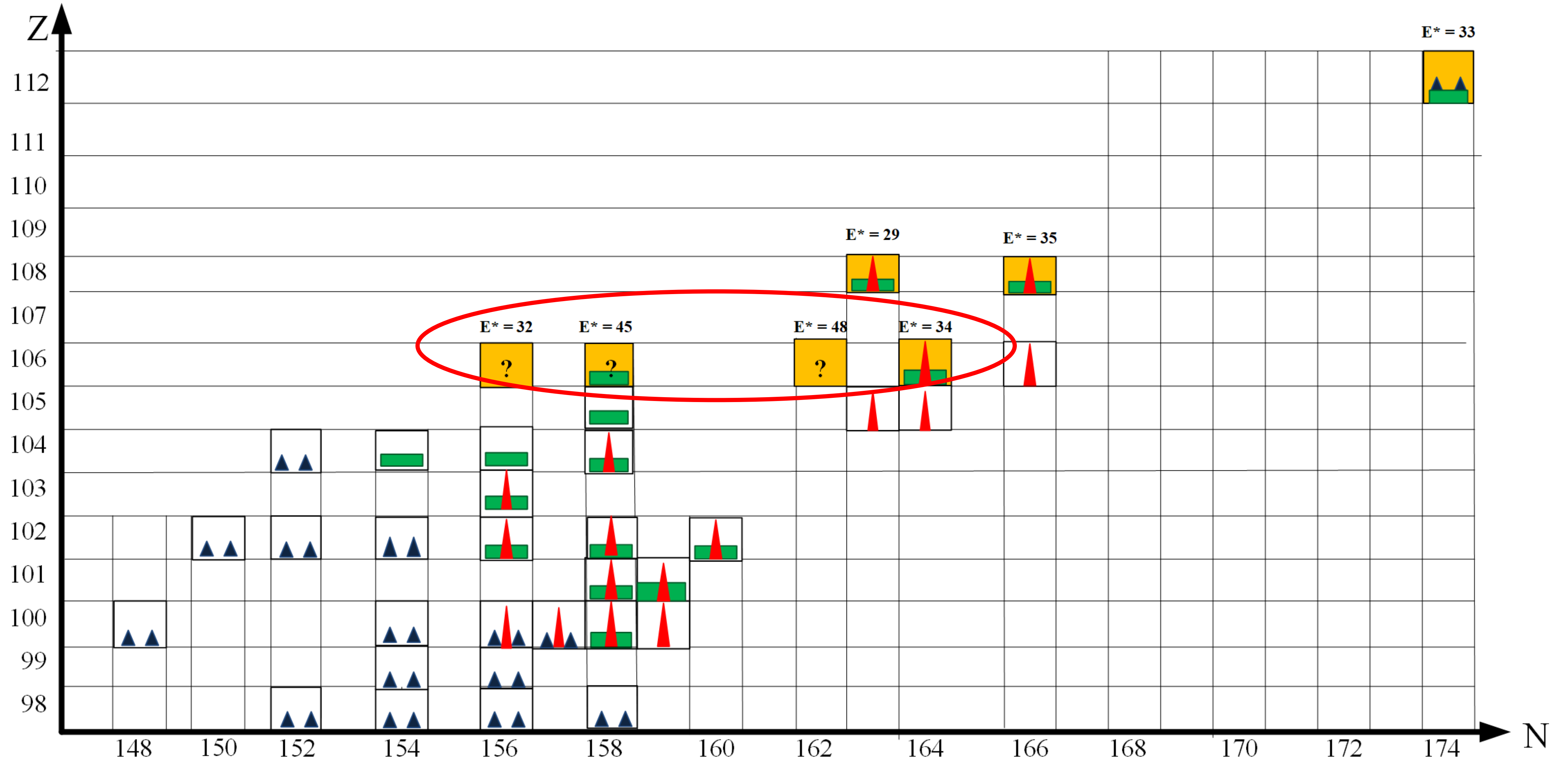
- Узкое массовое распределение
- В энергетических распределениях наблюдается повышенный выход фрагментов в области 20-30 МэВ выше чем  $\text{TKE}_{\text{Viola}}$
- Дисперсия ТКЕ компоненты  $\sim 5-8$  МэВ
- Вклад высокоэнергетичной компоненты уменьшается с ростом энергии возбуждения компаунд-ядра



Экспериментальные характеристики процесса слияния-деления:

- Массовое распределение имеет типичную Гауссовую форму с дисперсией, зависящей от энергии возбуждения и углового момента составного ядра
- Симметричные угловые распределения осколков относительно в системе центра масс

# ОБЛАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

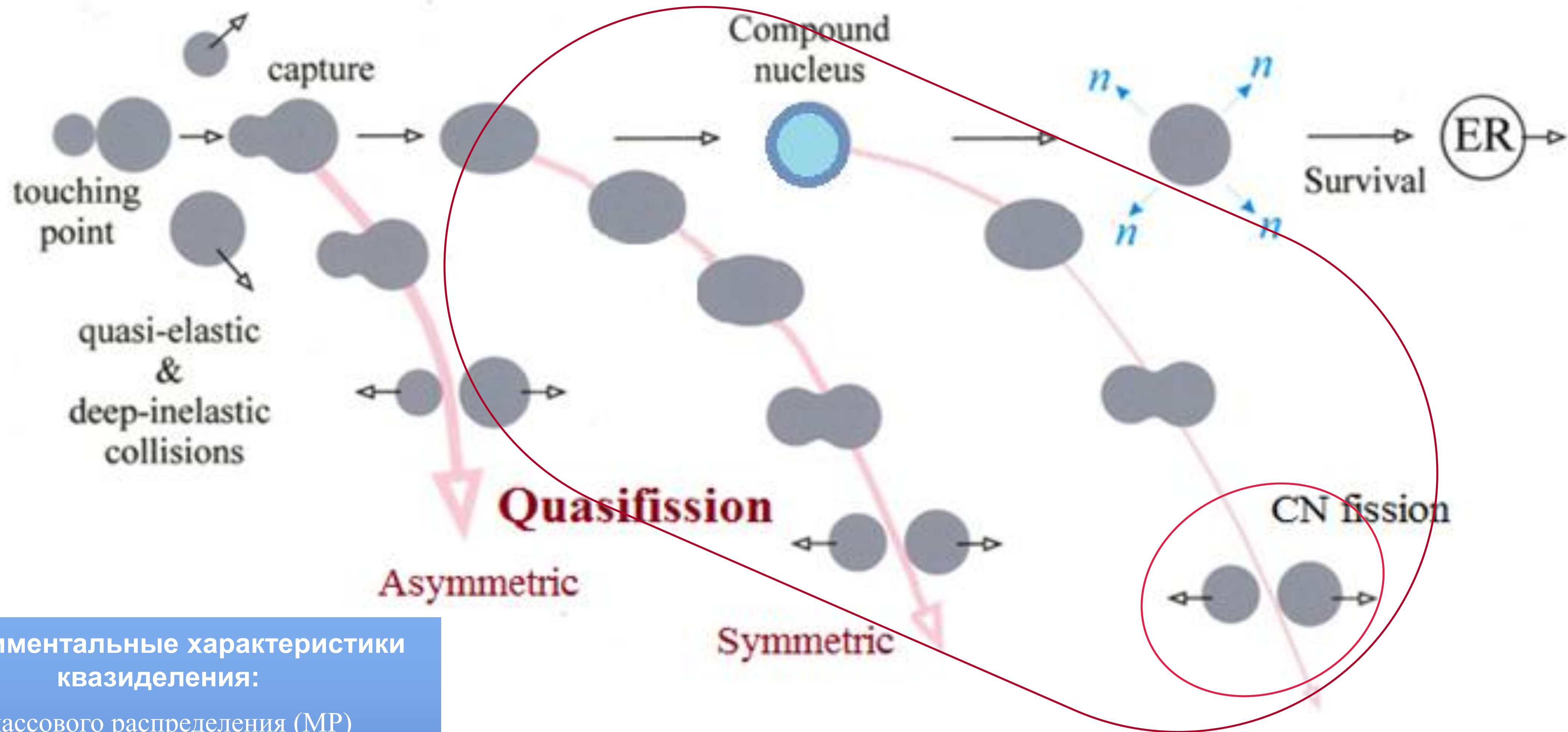


**ЦЕЛЬ настоящей работы** - исследование проявления моды SuperShort при вынужденном делении ядер  $^{262, 264, 268, 270}\text{Sg}$  в зависимости от N/Z составного ядра.

## **ЗАДАЧИ:**

- Измерение массовых и энергетических распределений бинарных фрагментов реакций  $^{54}\text{Cr}+^{208}\text{Pb}$ ,  $^{36}\text{S}+^{232}\text{Th}$ , ведущих к образованию  $^{262, 268}\text{Sg}$  при энергиях вблизи Кулоновского барьера
- Обработка полученной совокупности данных
- Анализ массово-энергетических распределений бинарных фрагментов реакций  $^{54}\text{Cr}+^{208}\text{Pb}$ ,  $^{36}\text{S}+^{232}\text{Th}$ , ведущих к образованию  $^{262, 268}\text{Sg}$
- Сравнительный анализ массовых и энергетических распределений бинарных фрагментов реакций  $^{32}\text{S}+^{232}\text{Th}$ ,  $^{22}\text{Ne}+^{248}\text{Cm}$
- Оценка вклада процесса слияния-деления компаунд-ядер  $^{262, 264, 268, 270}\text{Sg}$  в общее число событий в зависимости от энергии налетающего иона

# Механизмы реакций с тяжелыми ионами



**Quasifission**  
Asymmetric

Symmetric

CN fission

Survival

ER

Квазилепение -

90°  
Экспериментальные характеристики квазиделения:

- Ширина массового распределения (MP) фрагментов больше ширины MP при делении компаунд-ядра
- Асимметрия углового распределения фрагментов относительно в системе центра масс
- Более высокие кинетические энергии, чем для деления составного ядра

# CORSET (COReRelation SETup)

## Характеристики спектрометра:

- Временное разрешение 150-300 ps
- Массовое разрешение  $\sim 4$  а.е.м
- Угловое разрешение  $0.3^\circ$
- Геометрическая эффективность 1-8%

## TOF-TOF метод

Параметры измерения

$\text{TOF}_1, \text{TOF}_2, \theta_1, \theta_2$

Закон сохранения нуклонного числа

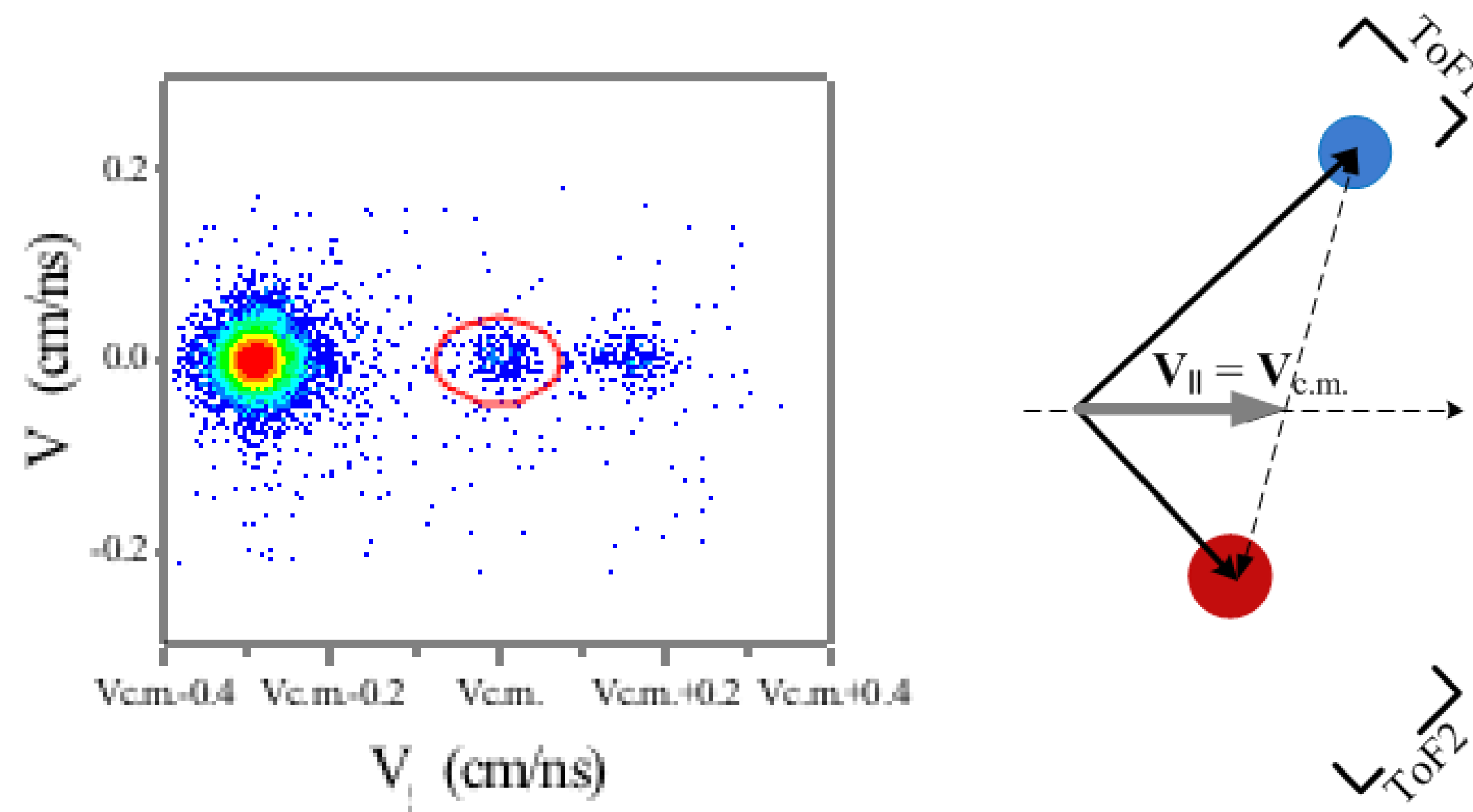
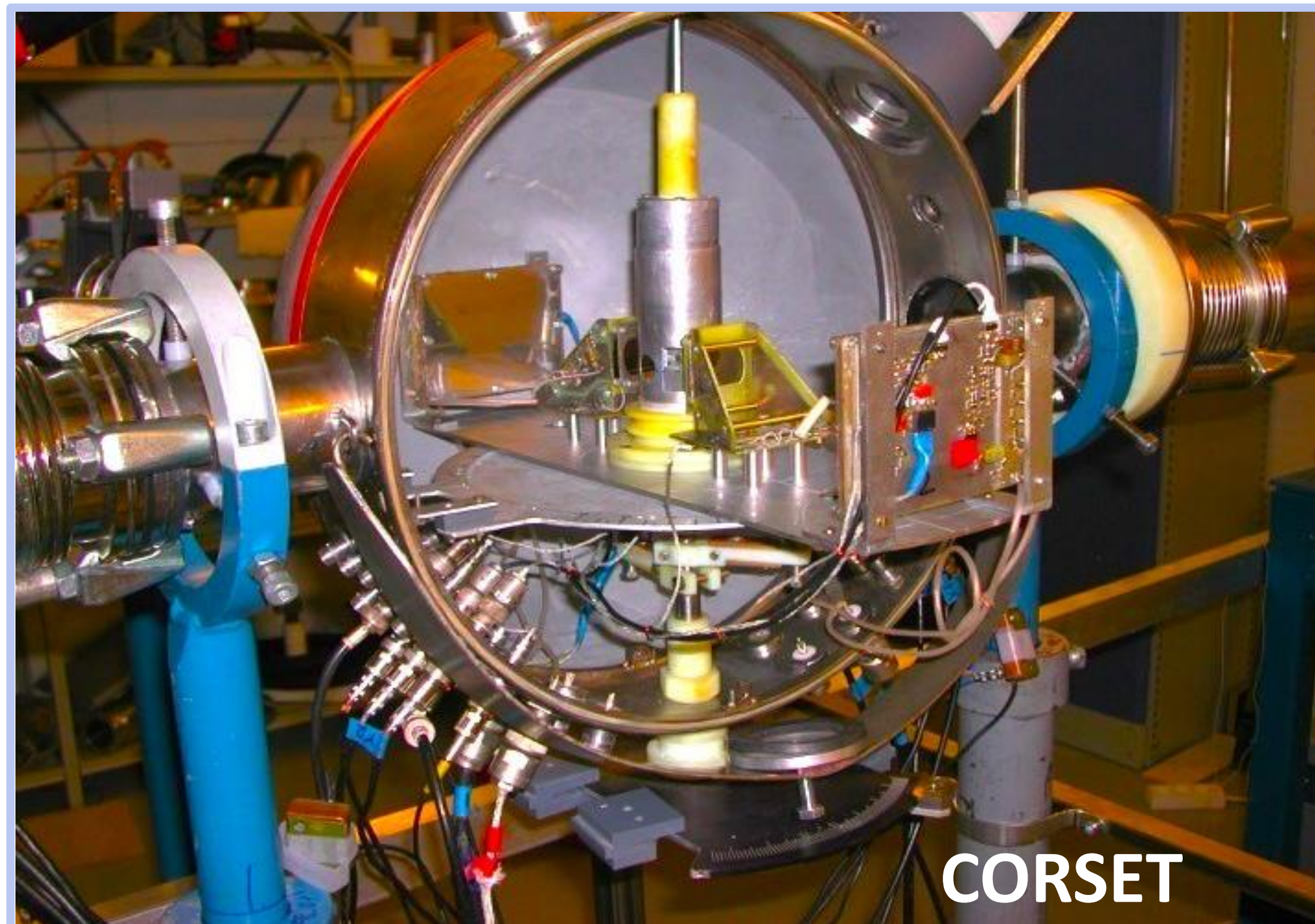
Закон полного момента инерции

$$M_{\text{proj}} + M_{\text{targ}} = M_1 + M_2 + v_{\text{pre}}$$

$$M_{\text{proj}} V_{\text{proj}} = M_1 V_1 + M_2 V_2$$

Полученные параметры

$M_{1,2}, \text{TKE}$



I.M. Itkis, E.M. Kozulin, M.G. Itkis et al. // Phys. Rev. C. 2011. V. 83. Art. No. 064613.

$V_{\text{cm}}$

Условия отбора бинарных событий:

- суммарный **фолдинг-угол** в с.ц.м -  $180^\circ$
- =



# Анализ массово-энергетических распределений фрагментов реакции $^{36}\text{S} + ^{232}\text{Th} \rightarrow ^{268}\text{Sg}$

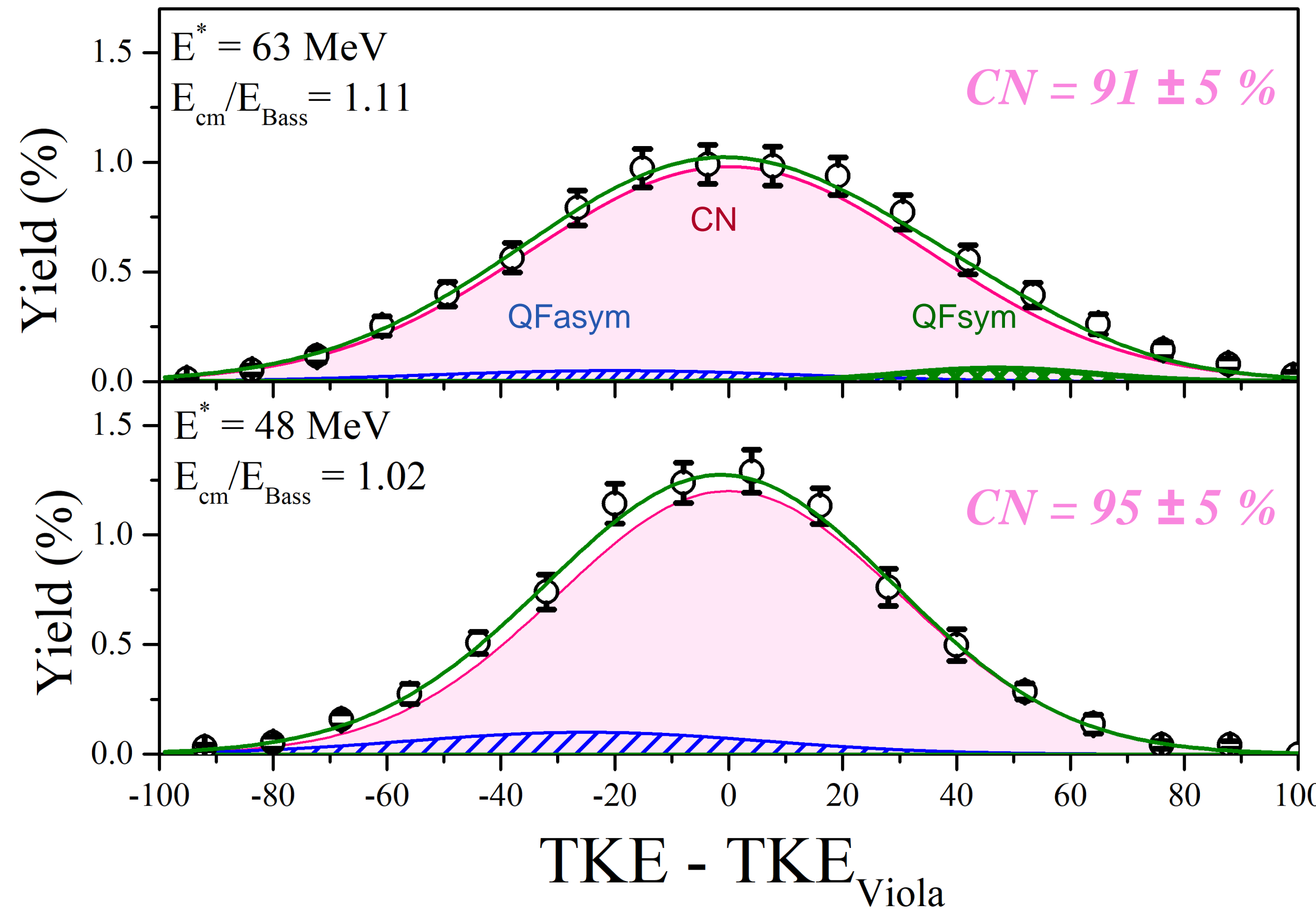
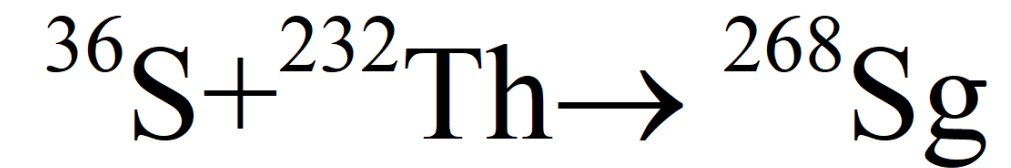
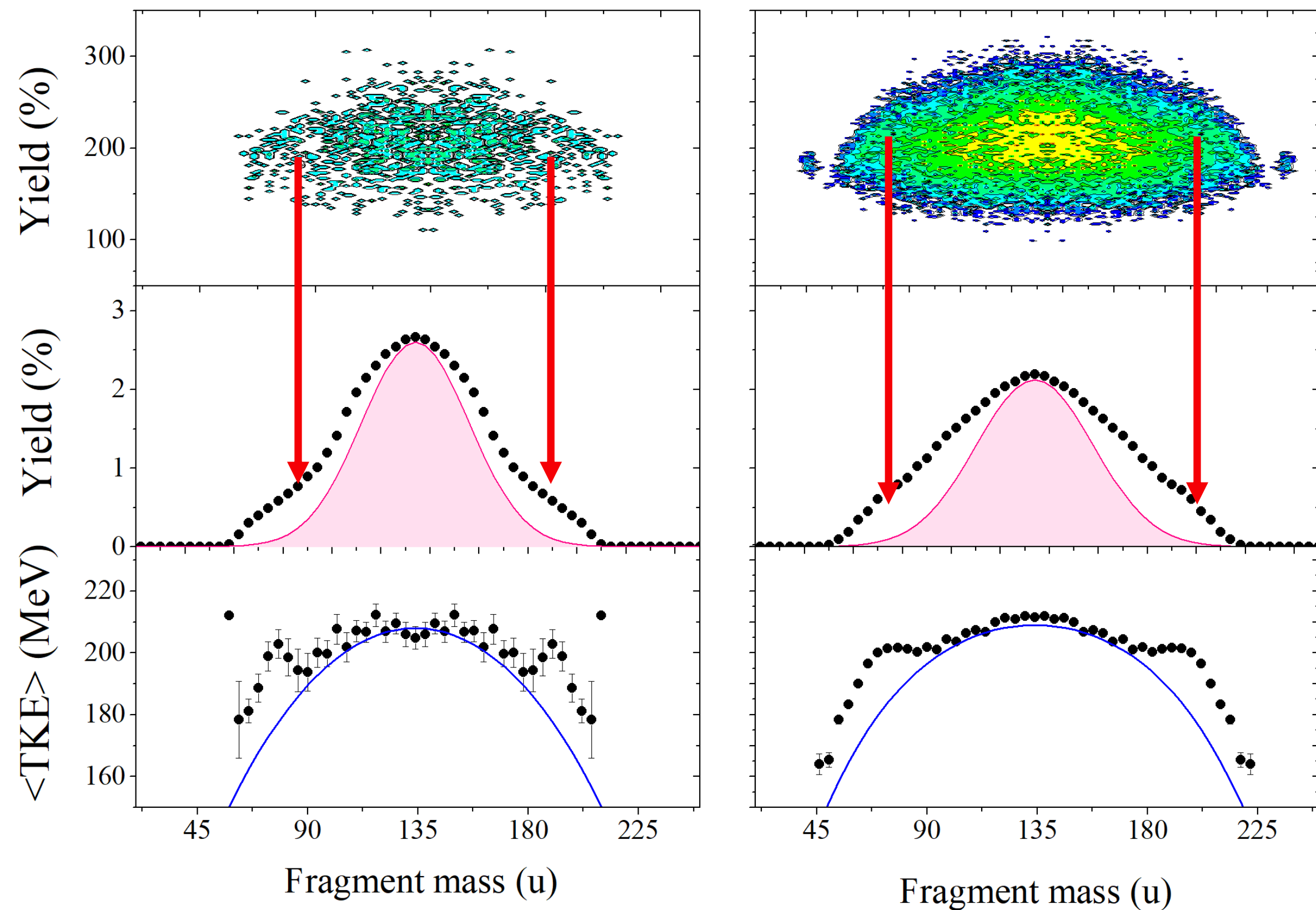


$E_{\text{lab}} = 183 \text{ MeV}$

$E^* = 48 \text{ MeV}$

$E_{\text{lab}} = 200 \text{ MeV}$

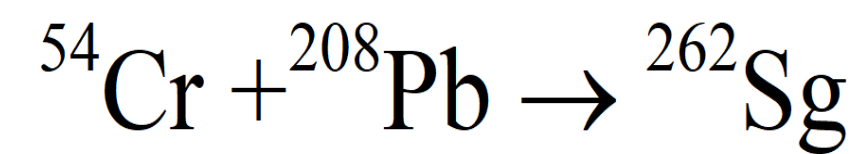
$E^* = 63 \text{ MeV}$



$\text{TKE} - \text{TKE}_{\text{Viola}}$

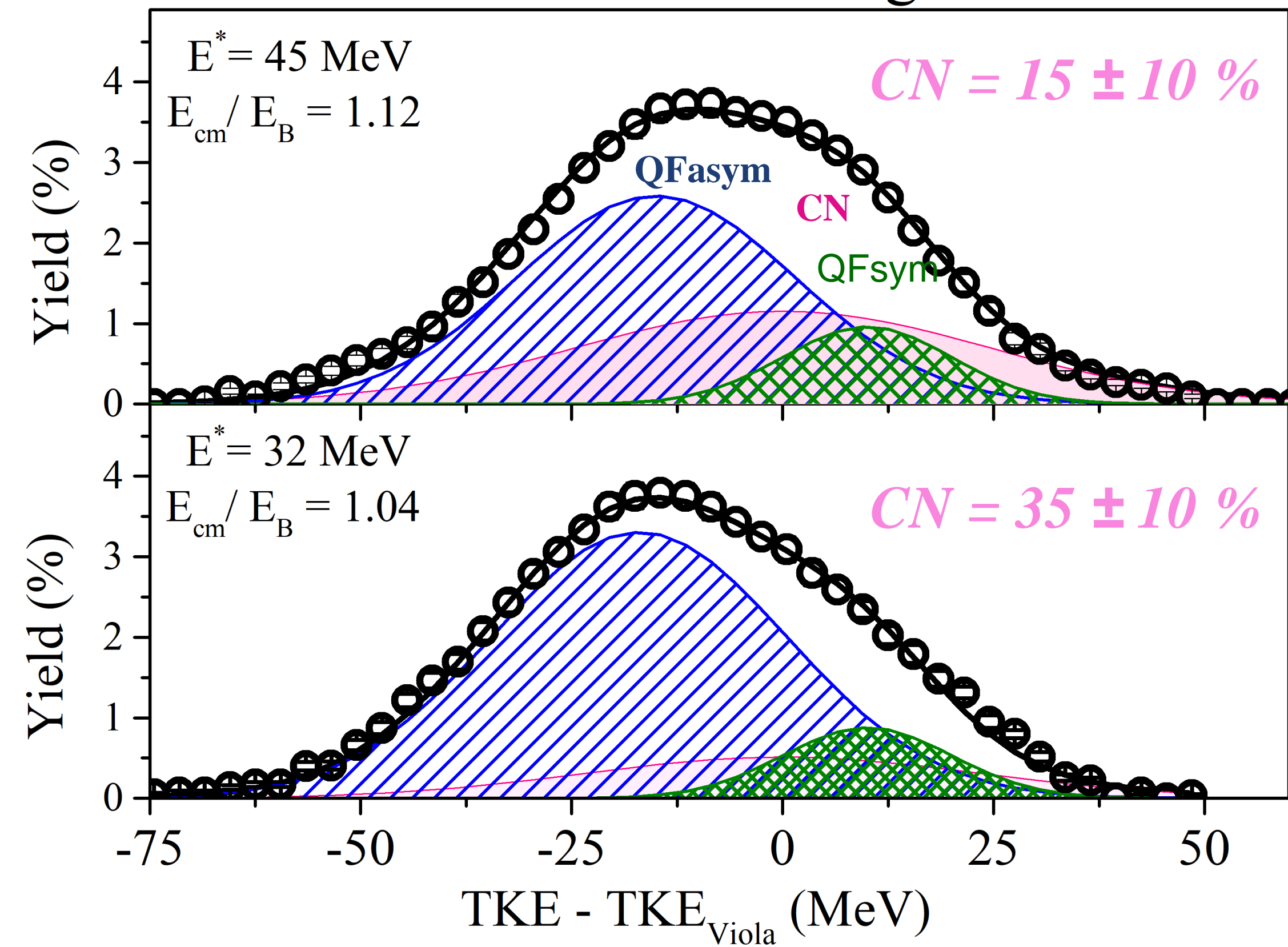
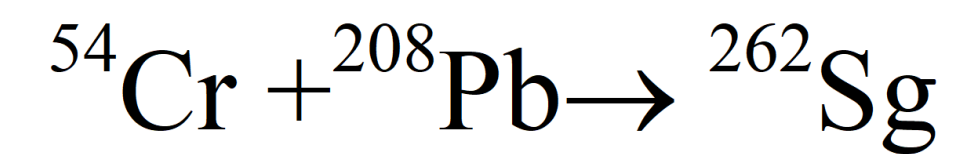
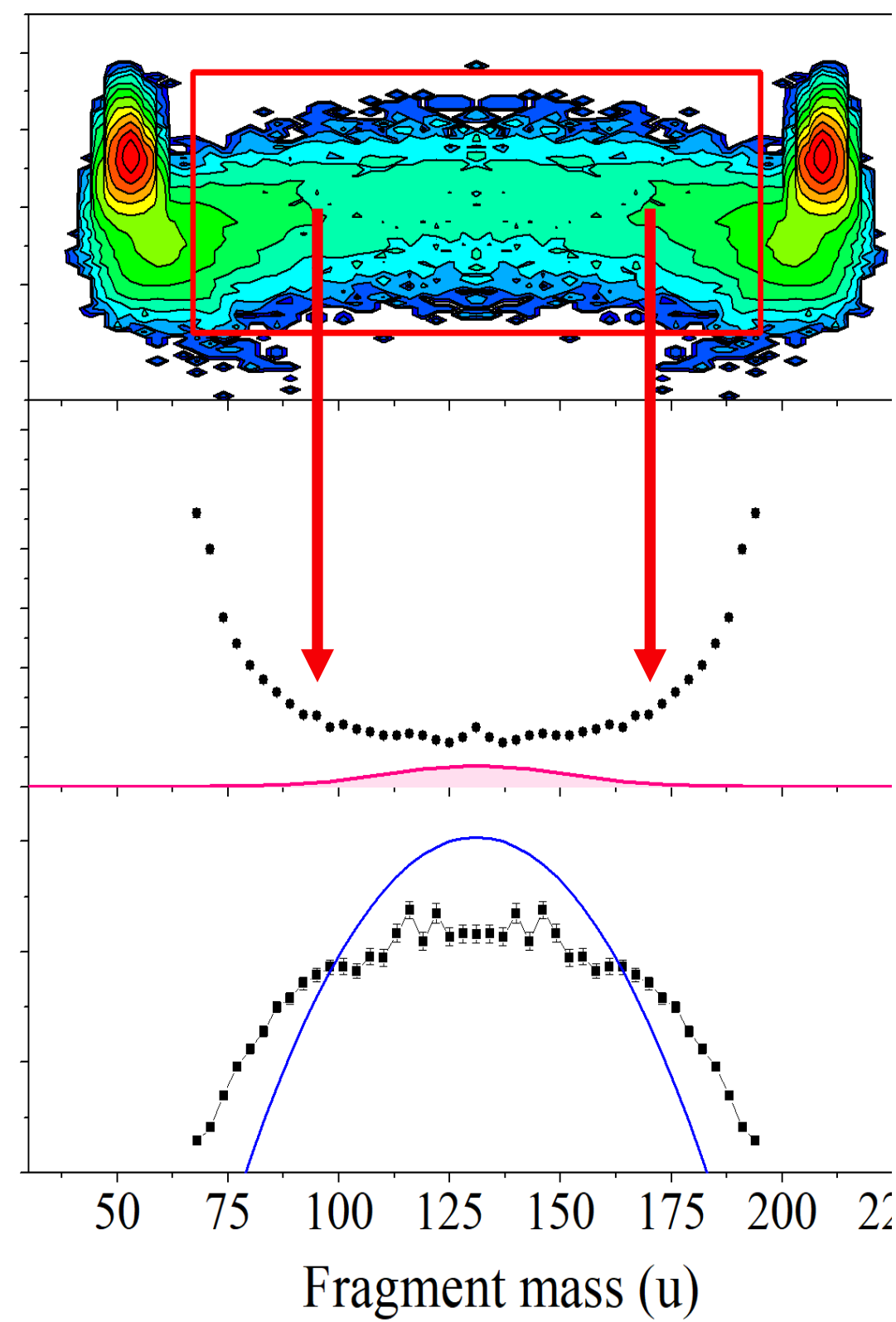
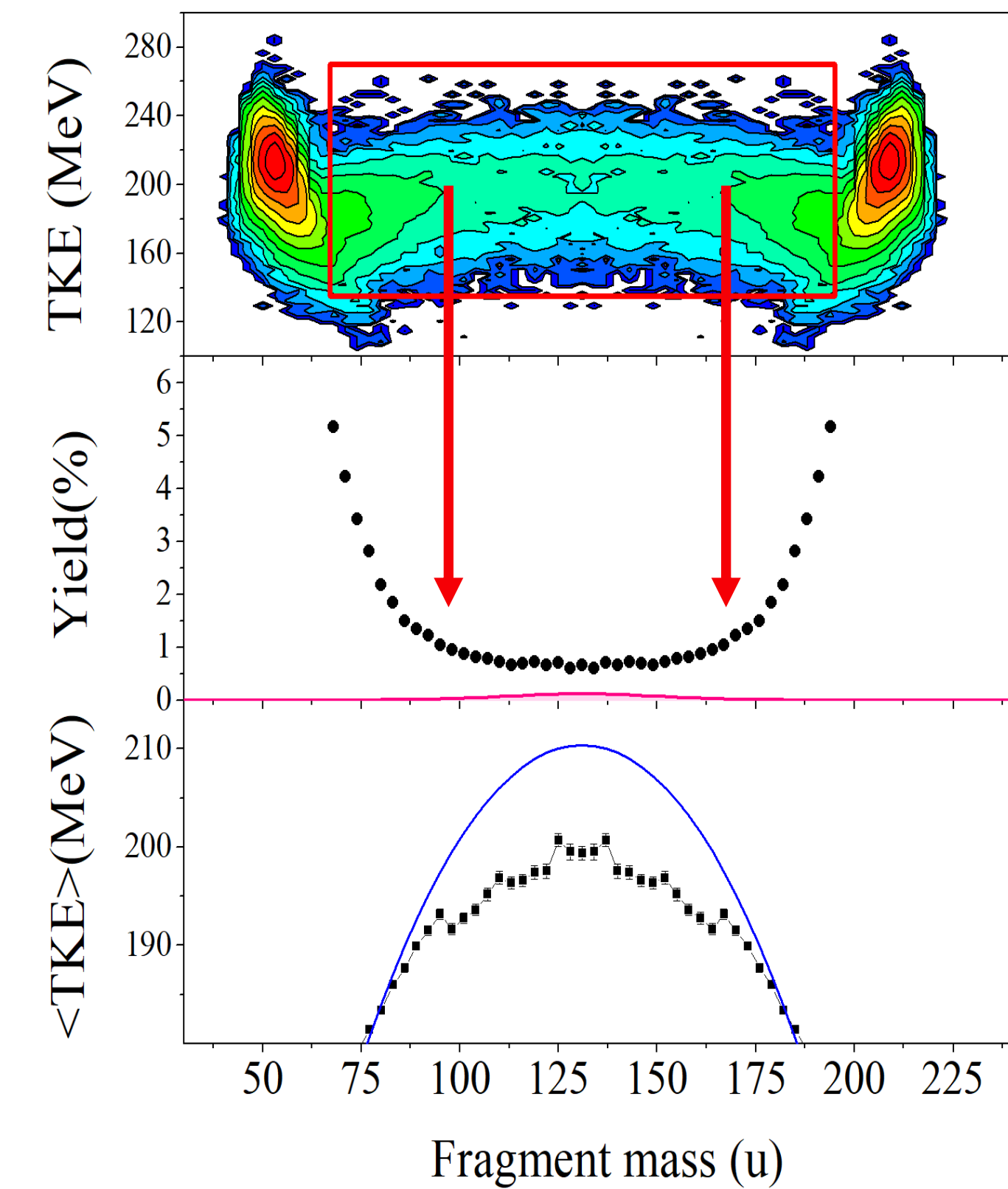
$A/2 \pm 20 \text{ a.e.m}$

# Анализ массово-энергетических распределений фрагментов $^{54}\text{Cr} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{262}\text{Sg}$



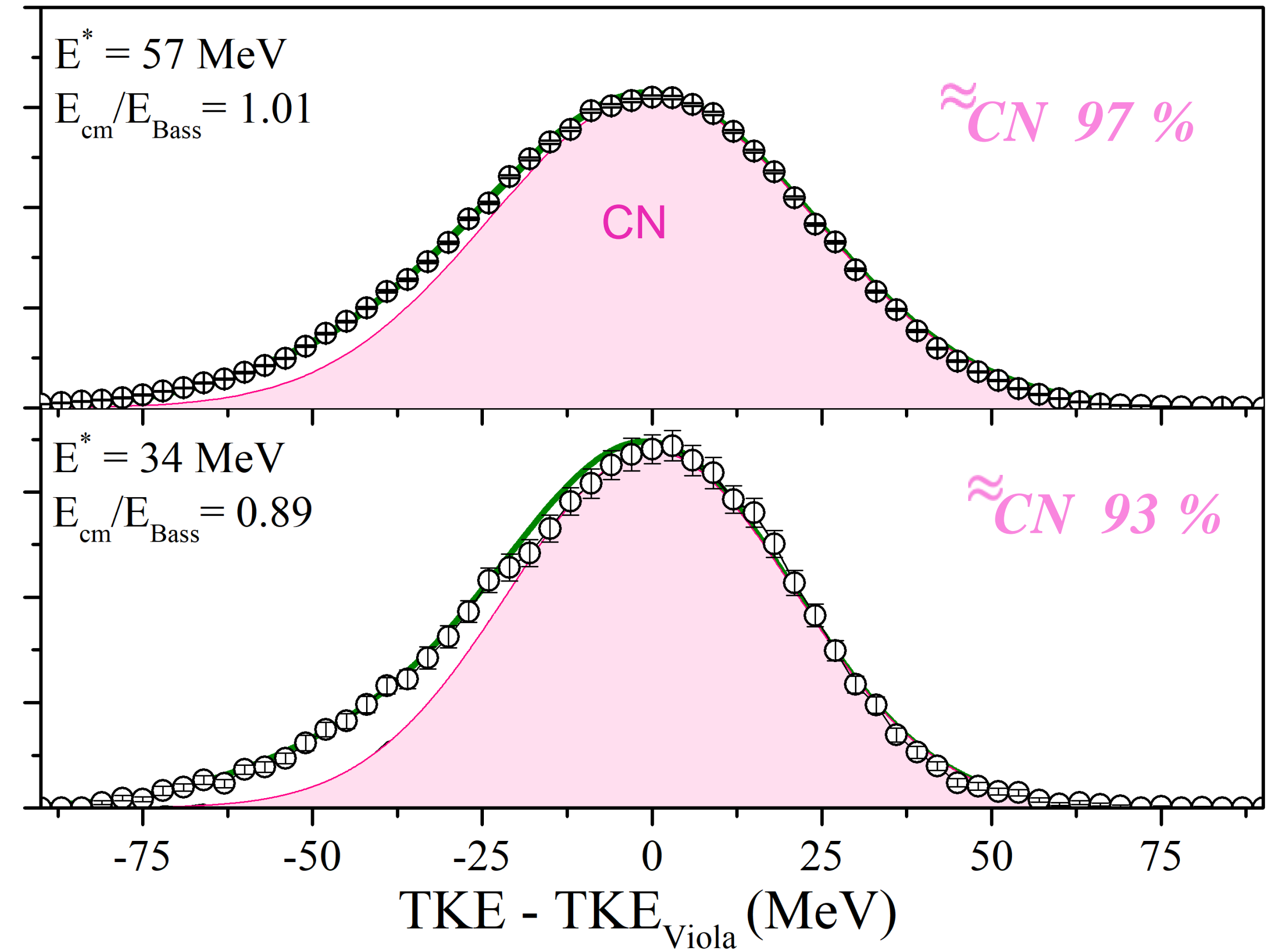
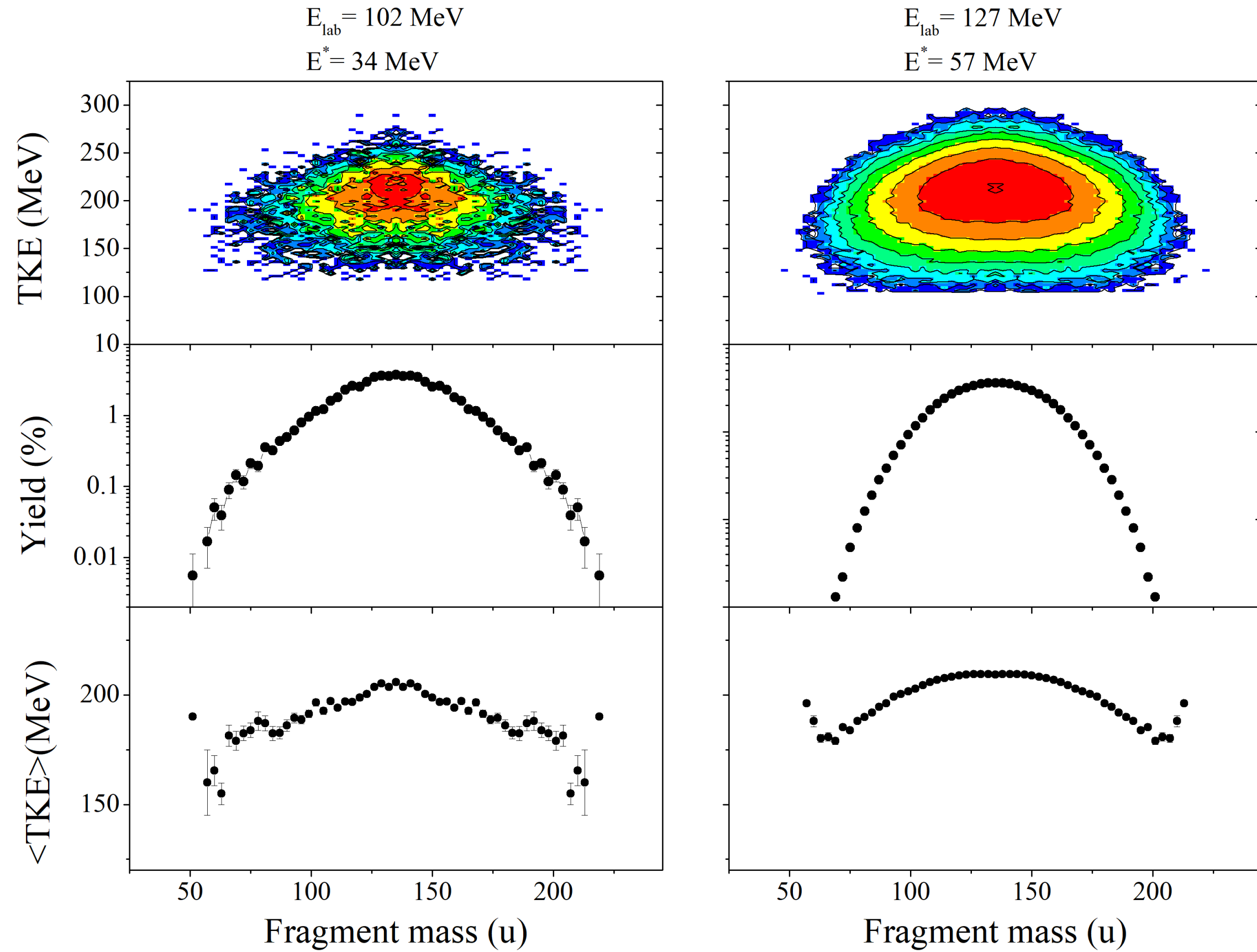
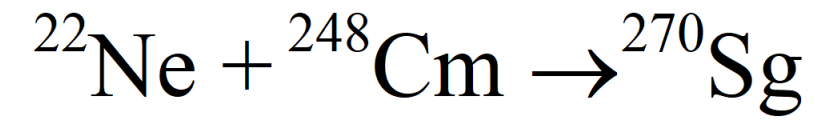
$E_{\text{lab}} = 275 \text{ MeV}$   
 $E^* = 32 \text{ MeV}$

$E_{\text{lab}} = 290 \text{ MeV}$   
 $E^* = 45 \text{ MeV}$



$A/2 \pm 20 \text{ a.e.m}$

# Анализ массово-энергетических распределений фрагментов $^{22}\text{Ne} + ^{248}\text{Cm} \rightarrow ^{270}\text{Sg}$

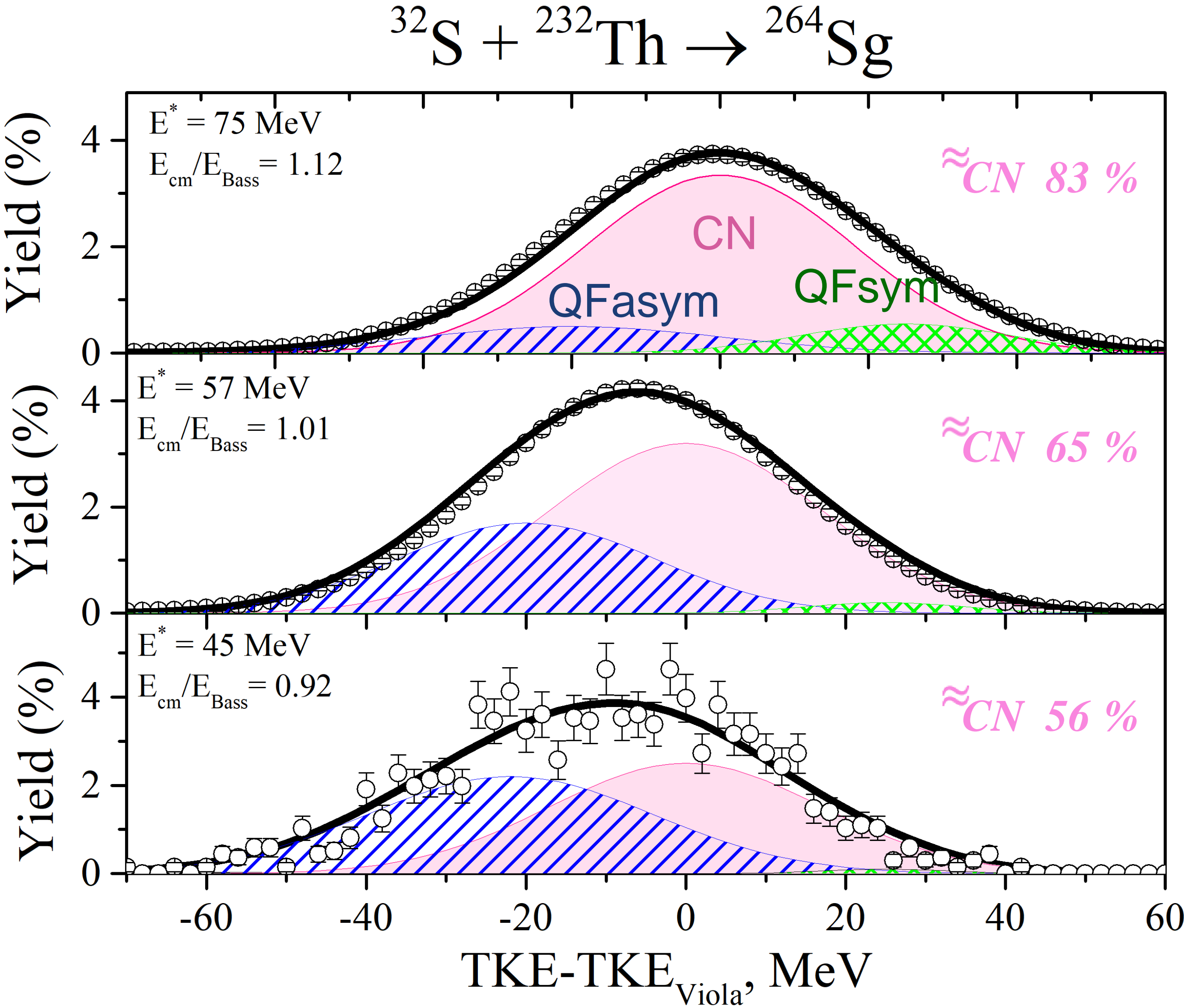
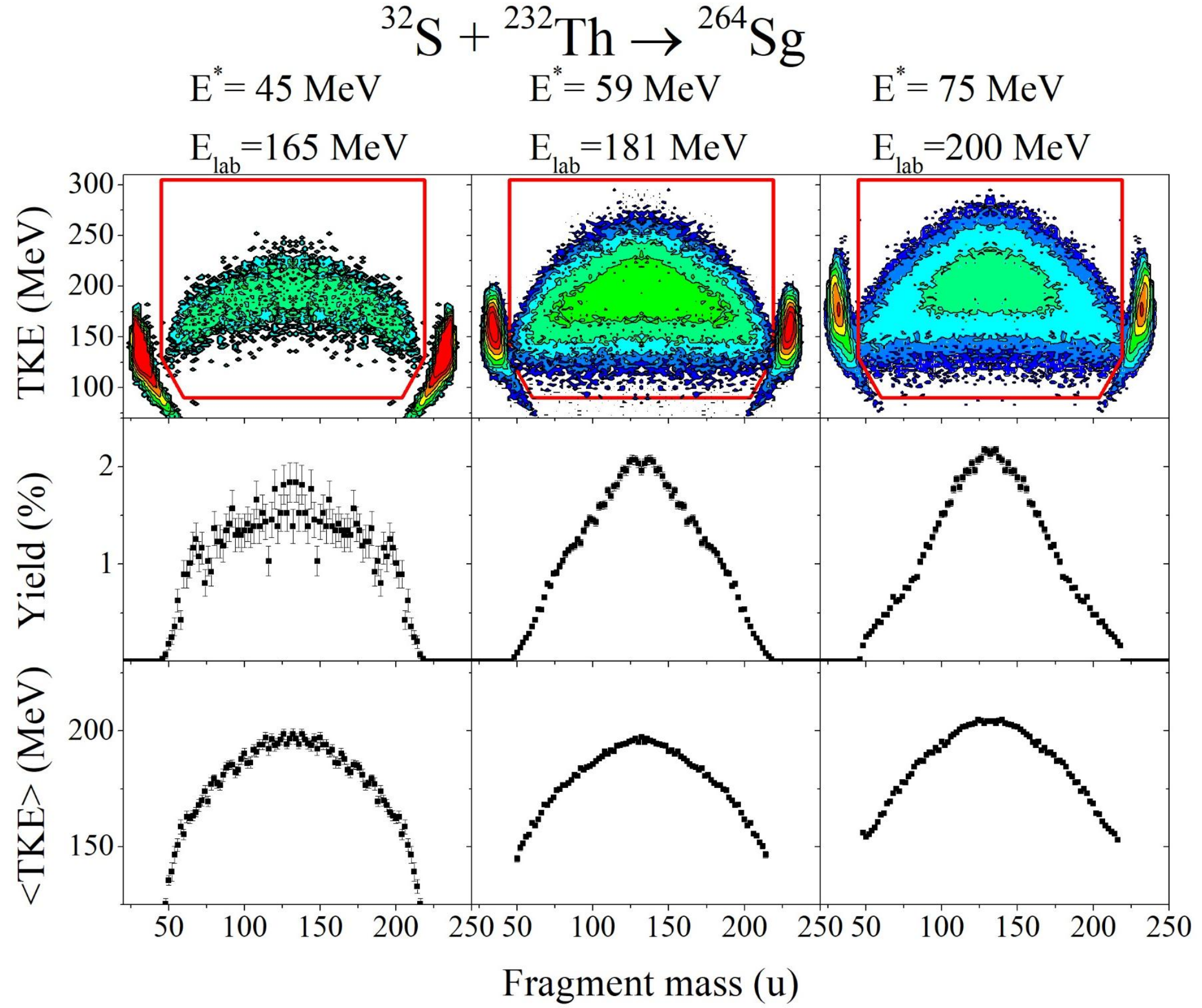


$A/2 \pm 20 \text{ a.e.m}$

M.G. Itkis, N.A.Kondratiev, E.M. Kozulin et al.//Phys. Rev. C. 1999.

V. 59. P. 3172

# Анализ массово-энергетических распределений фрагментов $^{32}\text{S} + ^{232}\text{Th} \rightarrow ^{264}\text{Sg}$

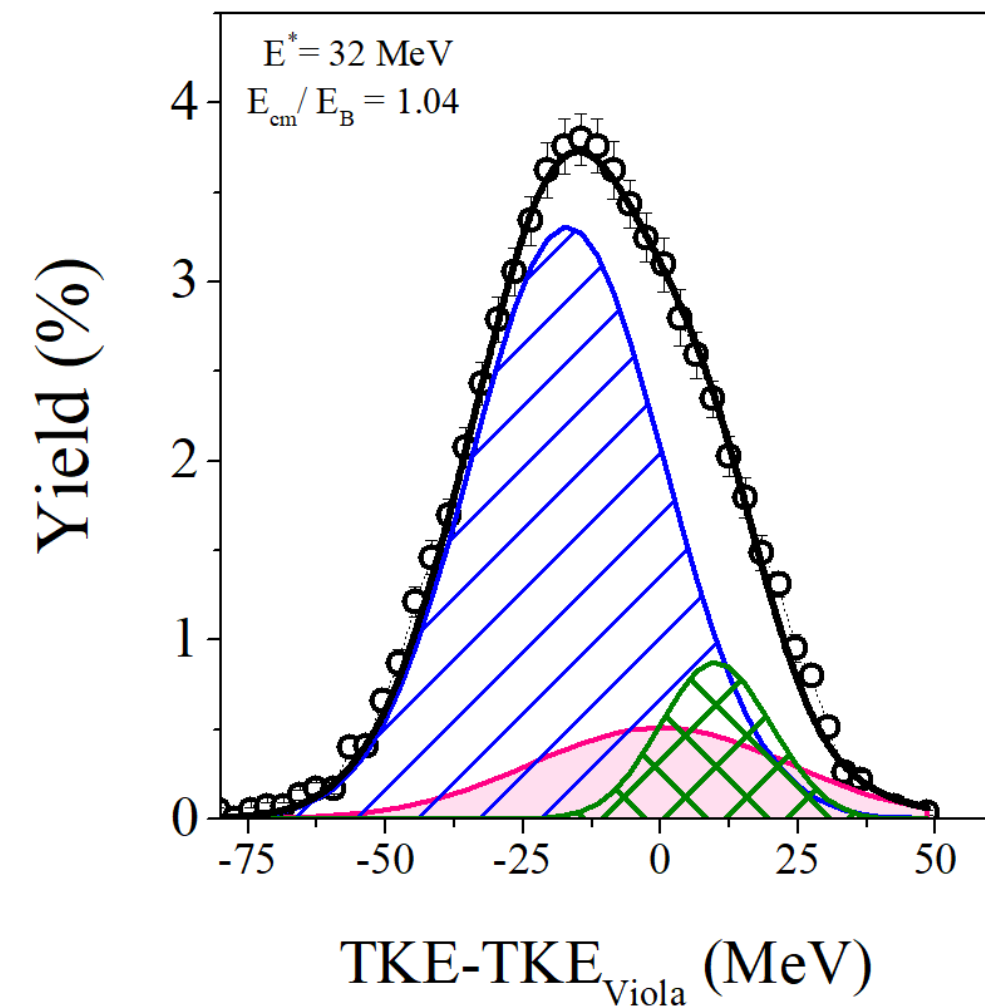
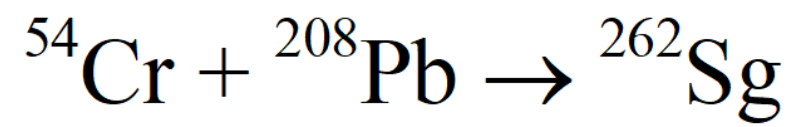


E. I. Galkina, E. M. Kozulin, G. N. Knyazheva, I. M. Itkis., et al. // *Bul Rus. Acad. Sci*, 2021, Vol. 85, No. 10.

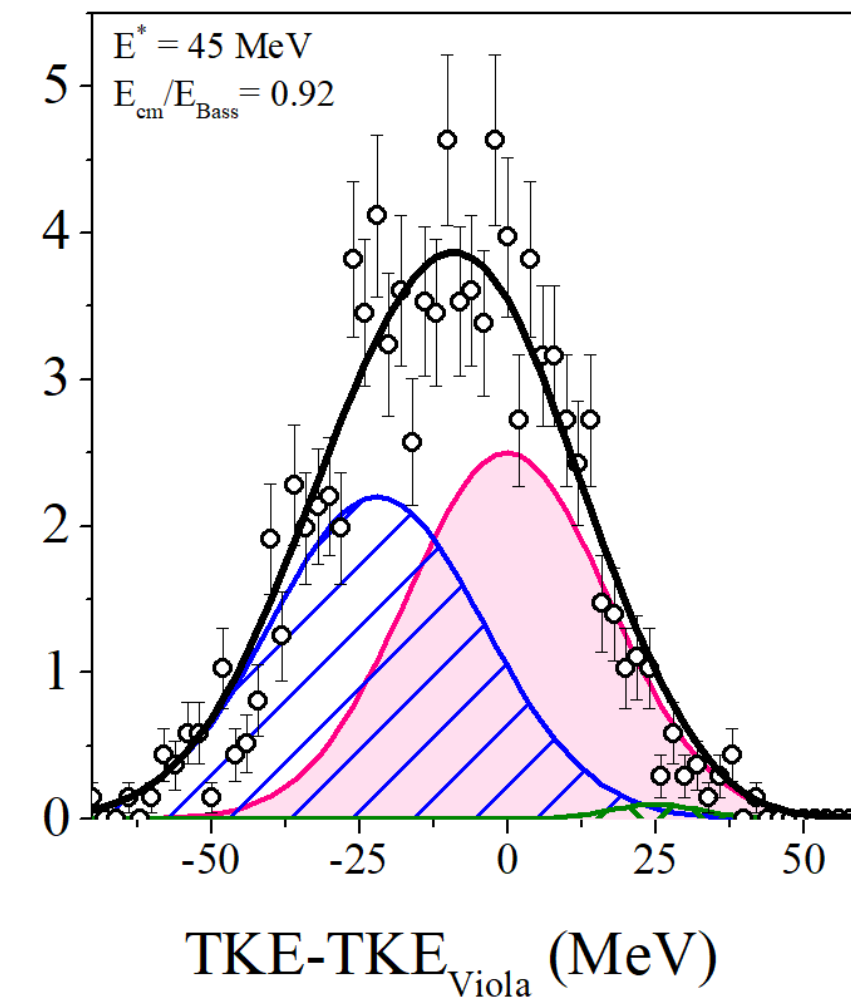
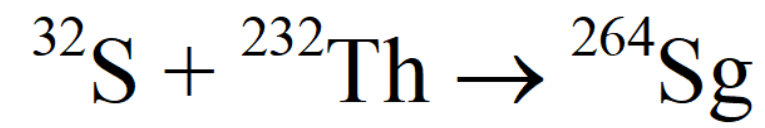
$A/2 \pm 20$  a.e.m

# Влияние N/Z на вклад моды SuperShort

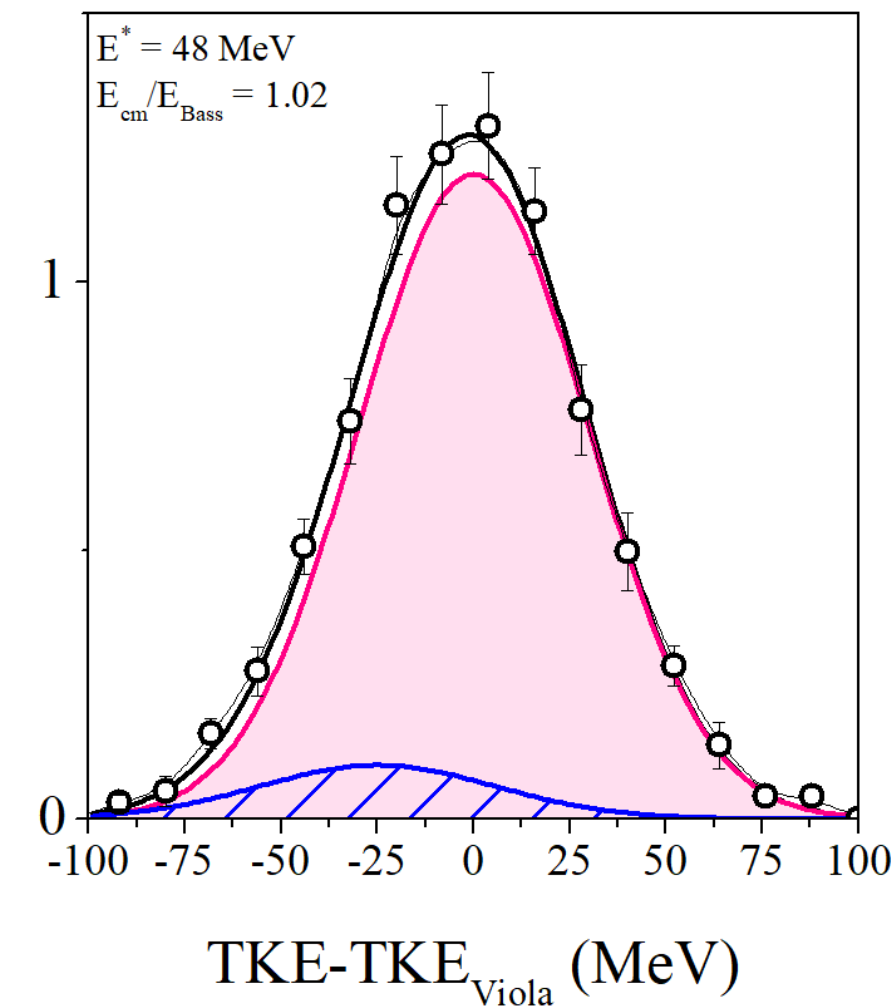
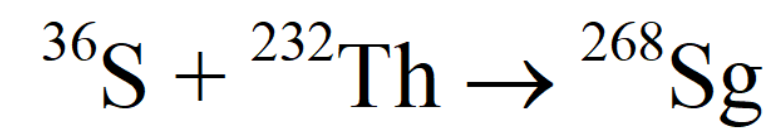
N/Z = 1.47



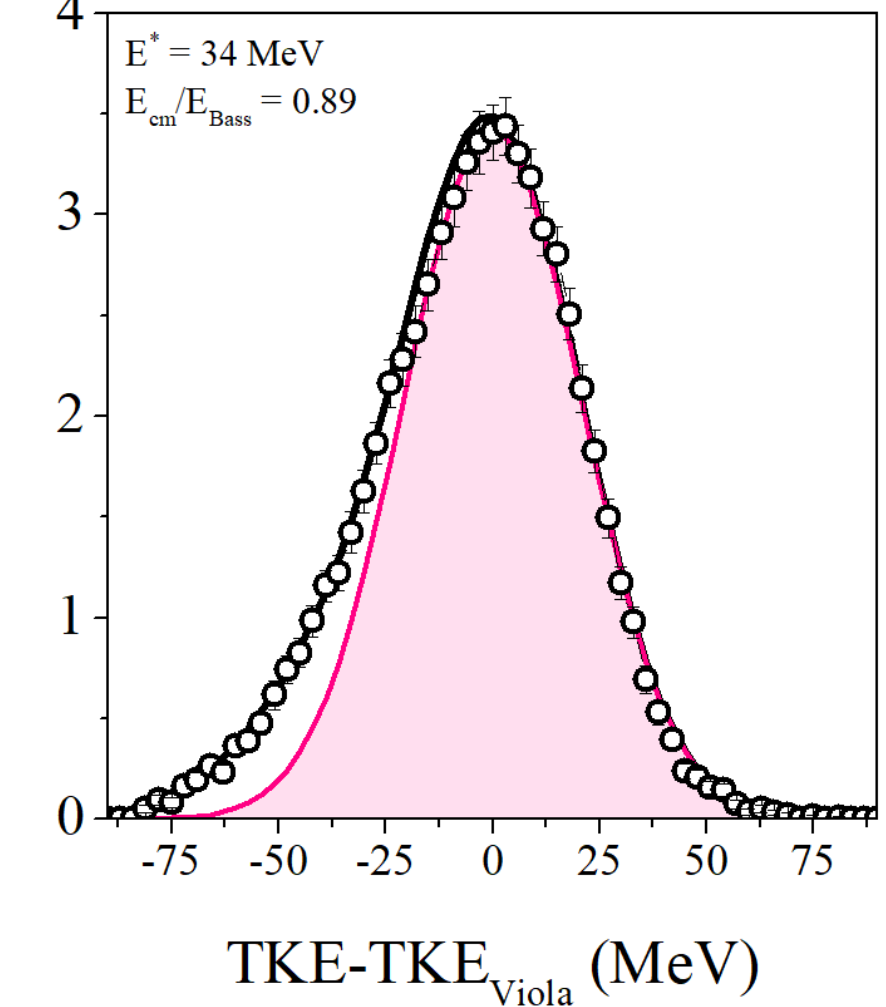
N/Z = 1.49



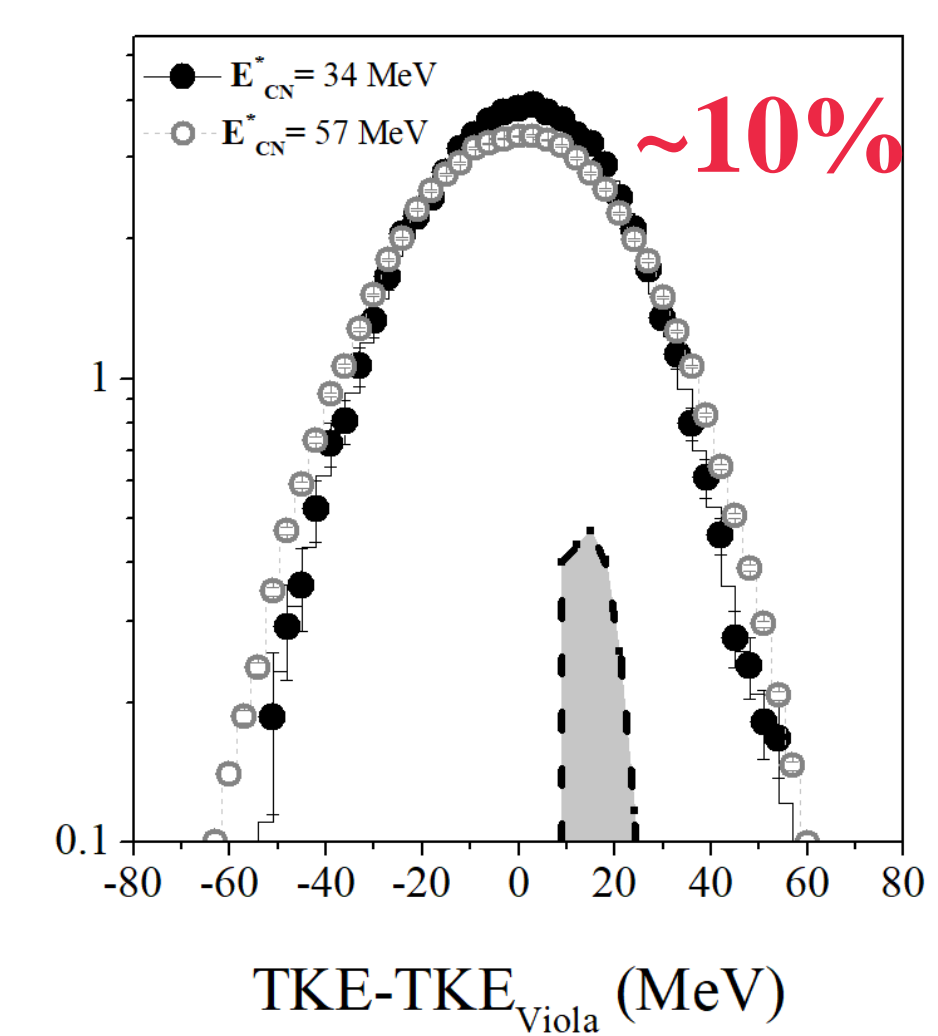
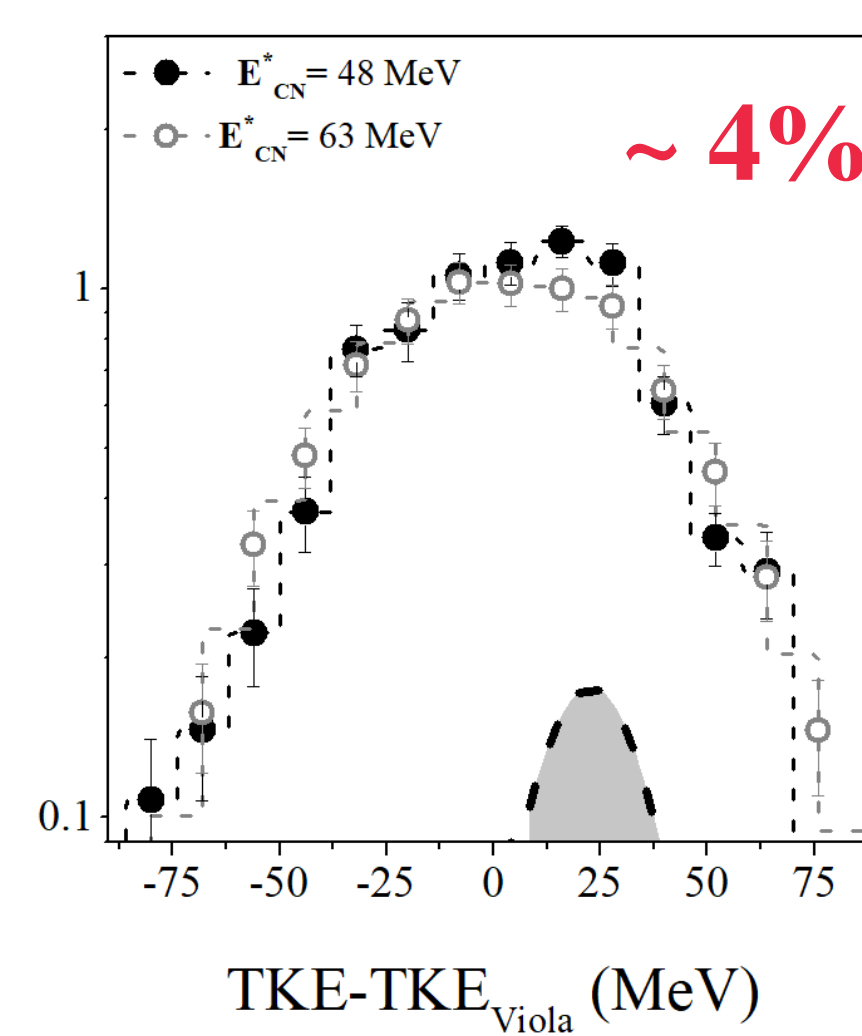
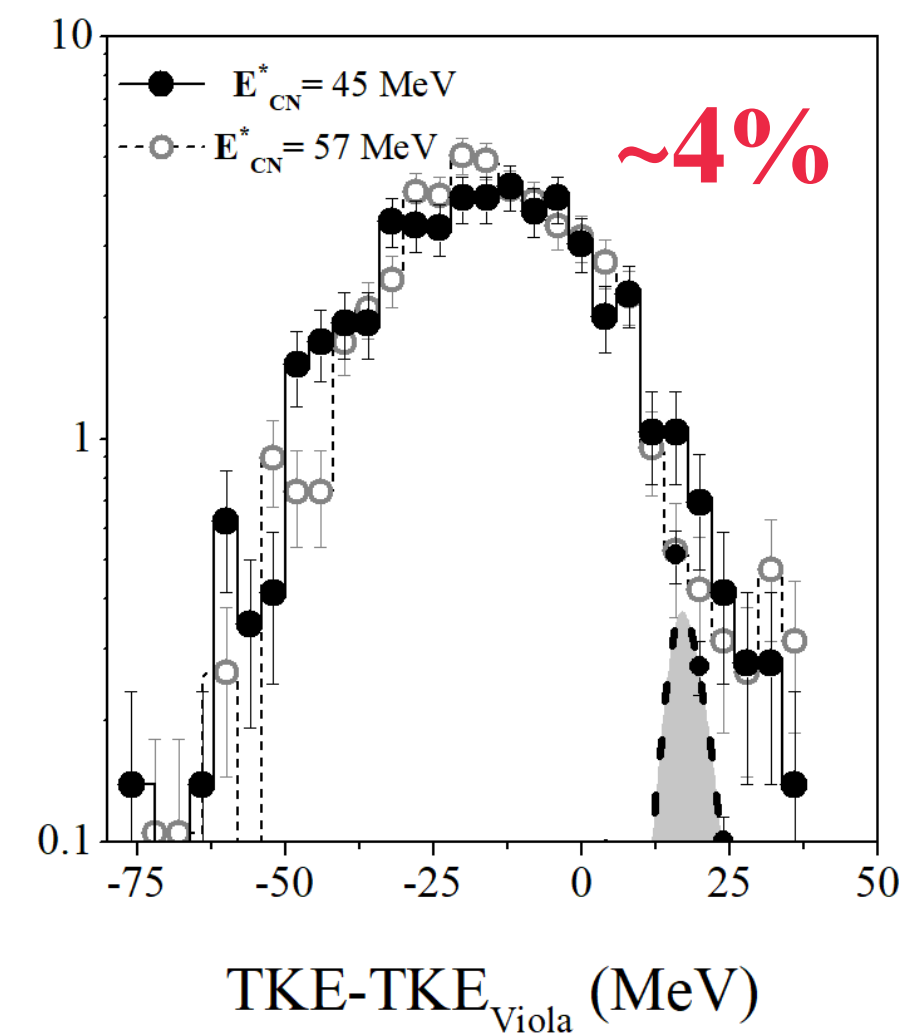
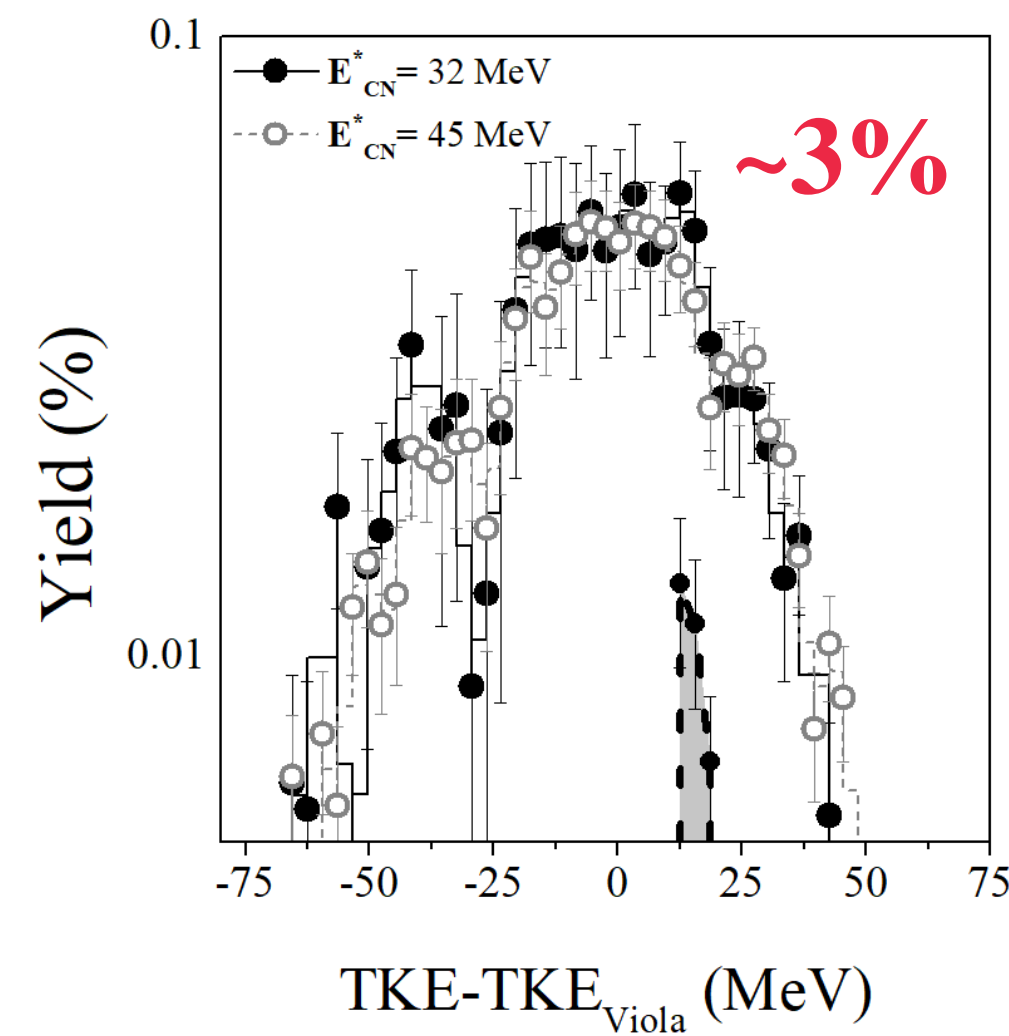
N/Z = 1.52



N/Z = 1.54

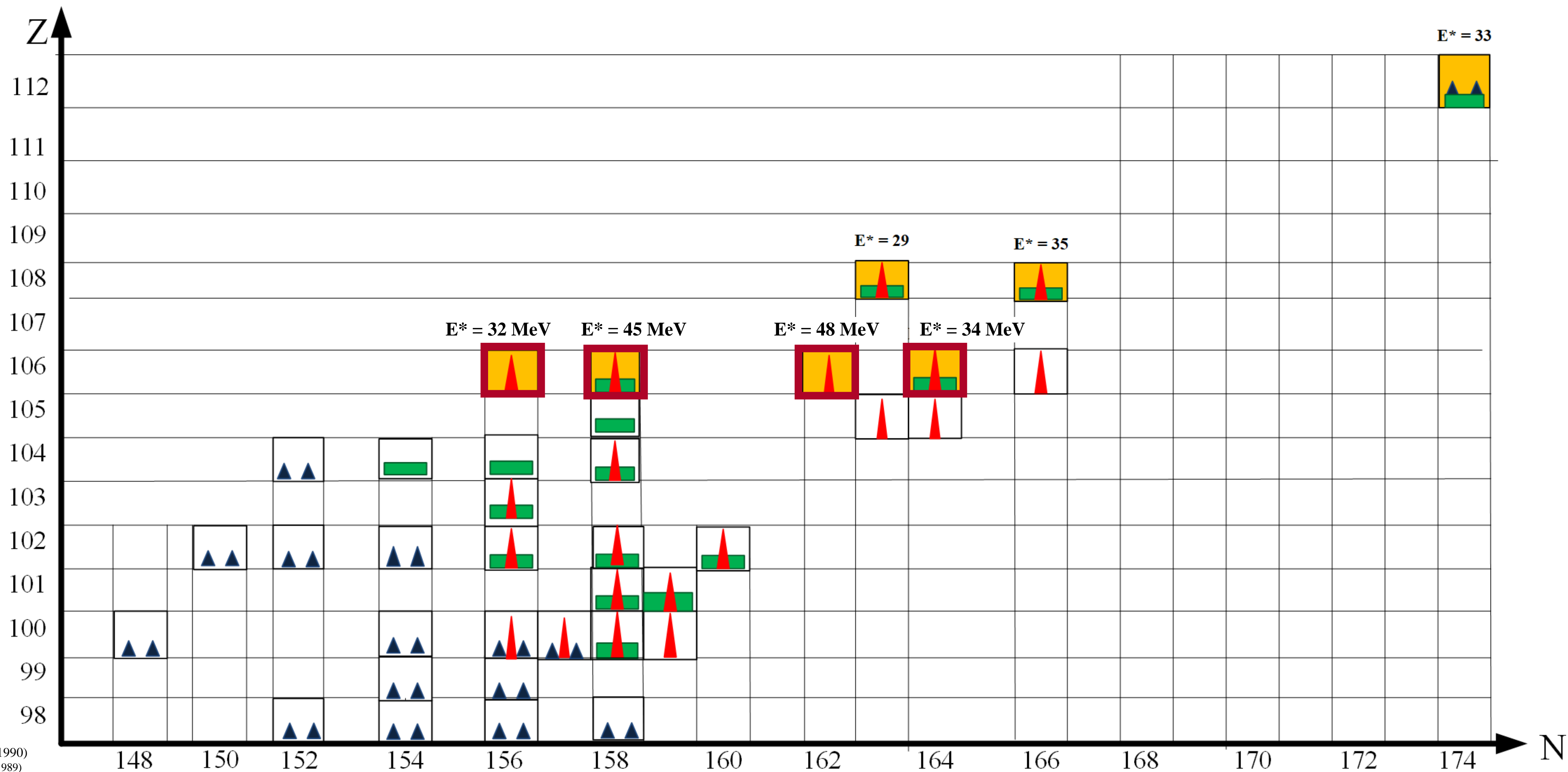


■ CN  
▨ QF\_asym  
▨ QF\_sym



-- SuperShort mode

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ



ED. C. Hoffman PRC 41, 661 (1990)  
 D.C. Hoffman et al., NPA 502, 21c (1989)  
 D.C. Hoffman et al., Radioch. Acta 70/71, 135 (1995)  
 M.R. Lane et al., PRC 53, 2893 (1996)  
 D. Hult et al., PRL 56, 313  
 D. Hulet et al., Phys. Atom. Nucl 57 (1994)  
 Yu. Ts. Oganessian, PRC 72 034611 (2005)  
 M. G. Itkis, N. A. Kondratiev, E. M. Kozulin, Yu.Ts. Oganessian, et al// Phys.Rev.C (1999)  
 vol.59, n.6, pp.3172-3176  
 M. G. Itkis, N. A. Kondratiev, E. M. Kozulin, Yu.Ts. Oganessian, et al// Phys.Rev.C (1999)  
 vol.59, n.6, pp.3172-3176  
 E. I. Galkina, E. M. Kozulin, G. N. Knyazheva, I. M. Itkis., et al. Bulletin of the Russian  
 Academy of Sciences: Physics, 2021, Vol. 85, No. 10

# ВЫВОДЫ

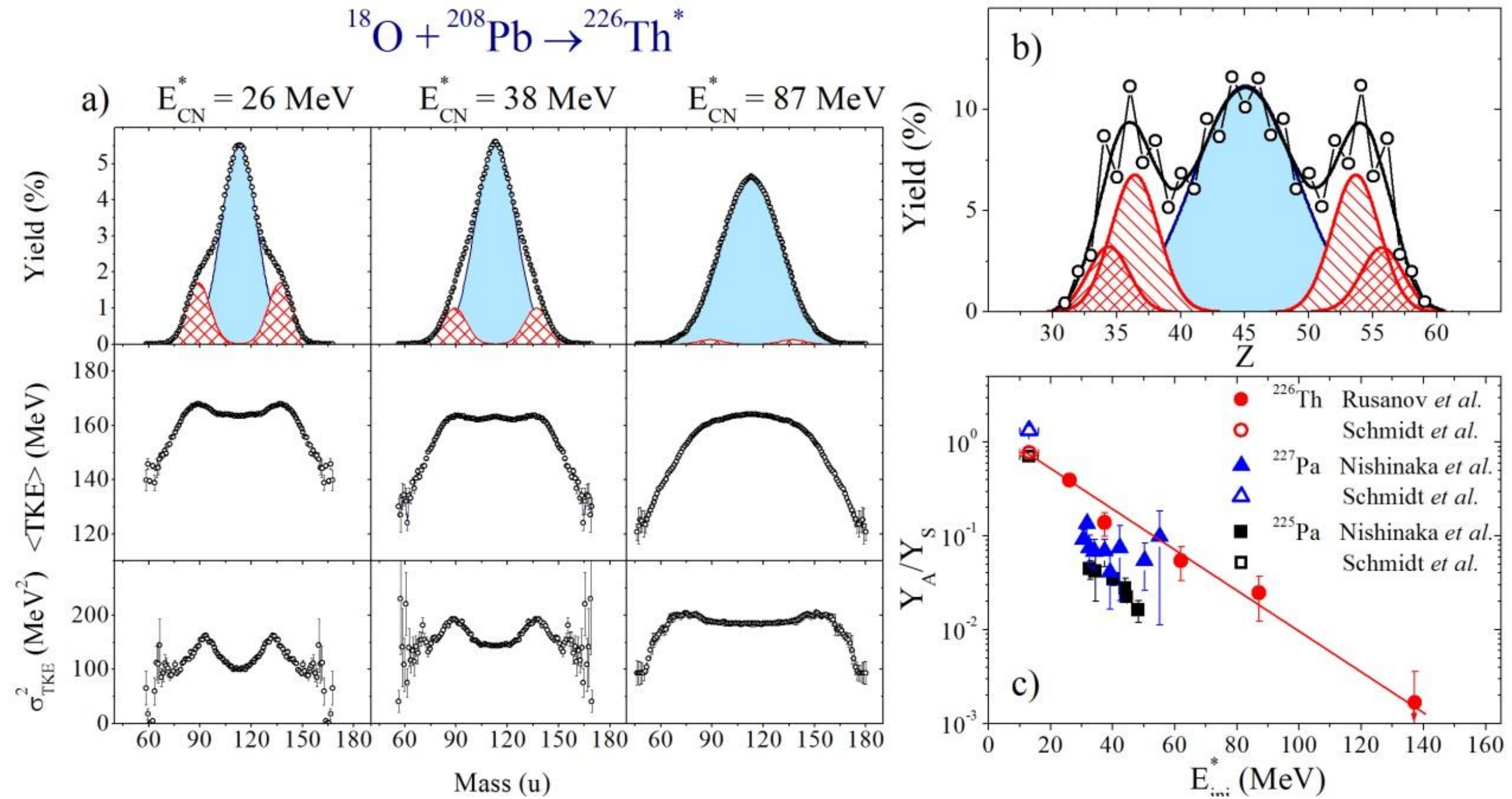
- Измерены массово-энергетические распределения фрагментов реакций  $^{36}\text{S}+^{232}\text{Th}$ ,  $^{54}\text{Cr}+^{208}\text{Pb}$  при энергиях налетающих ионов вблизи кулоновского барьера  $\sim \pm 10\%$  с помощью двухплечевого времяпролетного спектрометра **CORSET**
- Из анализа энергетических распределений симметричных фрагментов реакций ( $A_{CN}/2 \pm 20$  а.е.м)  $^{36}\text{S}+^{232}\text{Th}$ ,  $^{54}\text{Cr}+^{208}\text{Pb}$  был получен вклад процесса слияния-деления, который составил  $91 \pm 5\%$ ,  $95 \pm 5\%$  - при энергиях возбуждения компаунд-ядра  $^{268}\text{Sg}$  45 и 63 МэВ и  $15 \pm 10\%$ ,  $35 \pm 10\%$  -  $^{262}\text{Sg}$  при энергиях возбуждения 32 и 45 МэВ
- Анализ энергетических спектров для процесса слияния-деления показал, что вклад SuperShort моды проявляется при делении компаунд-ядра  $^{262, 268}\text{Sg}$  при энергии возбуждениях 32 и 48 МэВ составил  $\sim 3$  и  $4\%$  соответственно
- Было установлено, что вклад SuperShort моды составил  $\sim 4\%$  при энергии возбуждения компаунд-ядра  $^{264}\text{Sg}$  45 МэВ,  $\sim 10\%$  - при энергии возбуждения  $^{270}\text{Sg}$  34 МэВ
- Установлено, что вклад SuperShort моды  $^{262, 264, 268, 270}\text{Sg}$  увеличивается с увеличением N/Z

The background features a complex arrangement of overlapping, semi-transparent geometric shapes and spheres. The color palette is vibrant, including shades of cyan, magenta, orange, and green. The shapes are interconnected, creating a sense of depth and movement. The overall aesthetic is modern and digital.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**



# Проявление мод деления при высоких энергиях



A. Ya. Rusanov, M. G. Itkis et al // Physics of Atomic Nuclei, 2008,

Vol. 71, No. 6, pp. 956–98

# ВЫДЕЛЕНИЕ БИНАРНЫХ ФРАГМЕНТОВ РЕАКЦИИ

