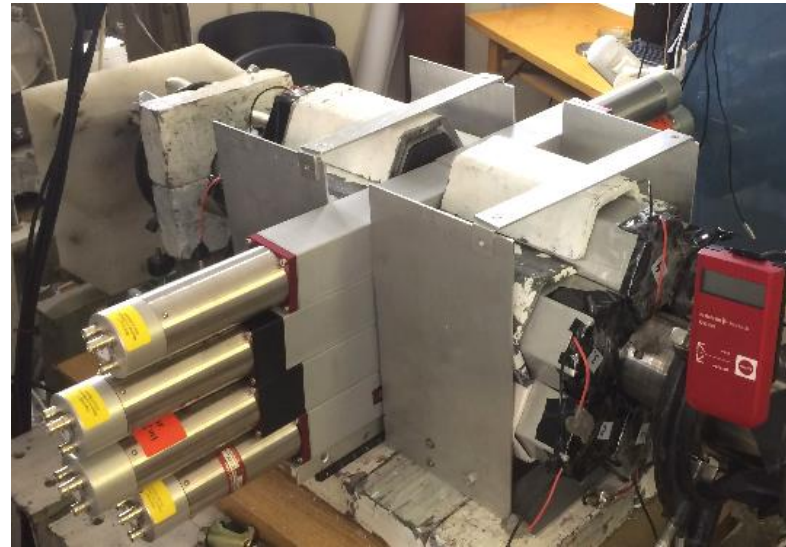
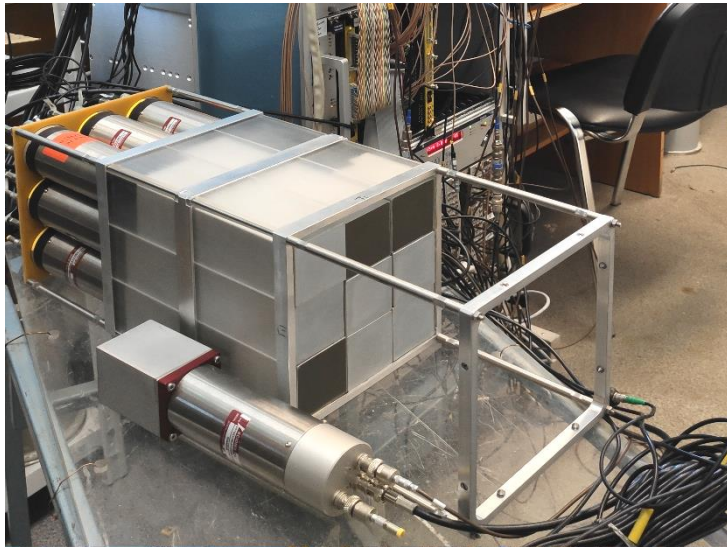


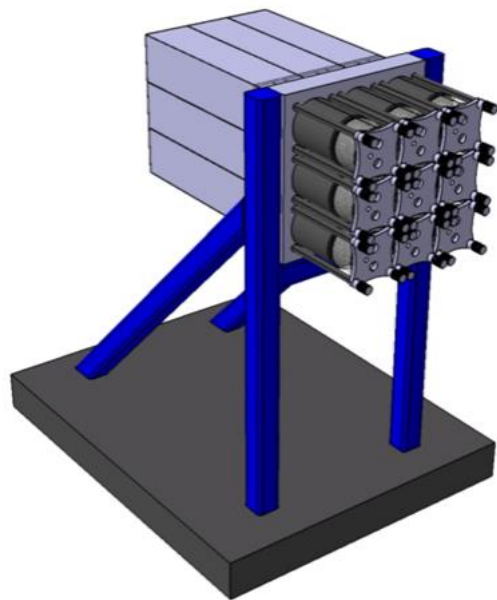
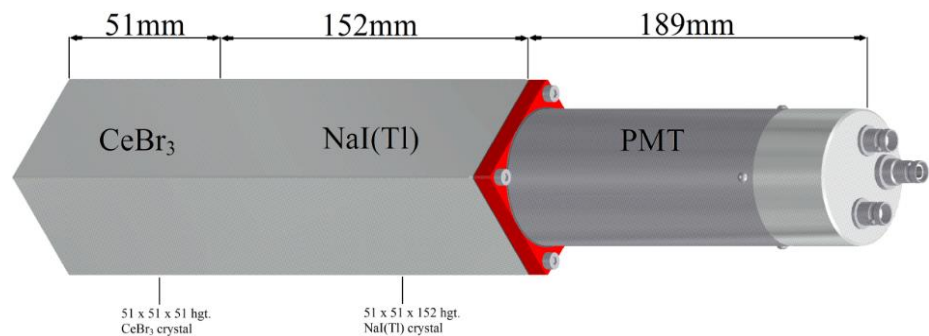
CLUSTER of PHOSWICH γ -DETECTORS for “MULTI” FACILITY

*Sobolev Yu.G., Penionzhkevich Yu.E., Maj A., Stukalov S.S.,
Siváček I., Zeinulla Zh.*

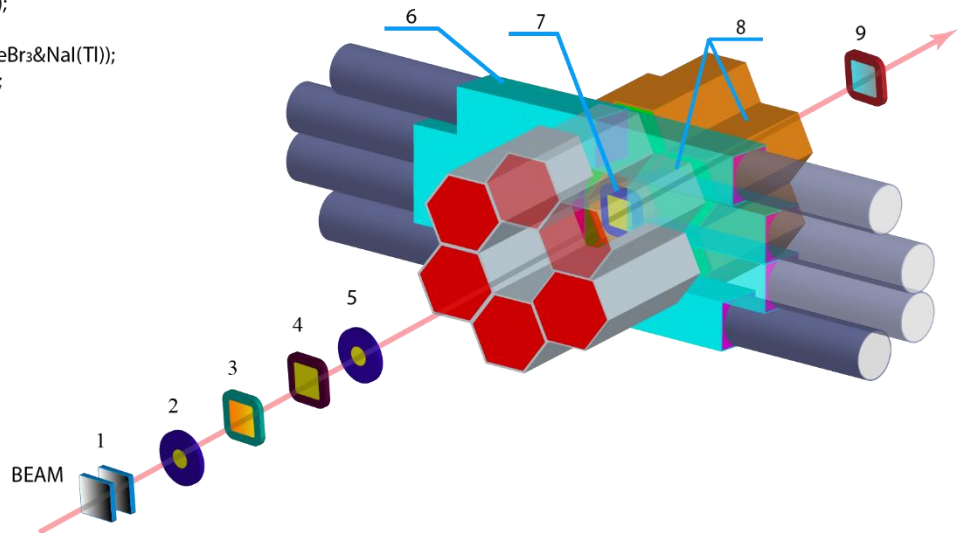
The array of CeBr₃–NaI(Tl) phoswich detectors together with CsI(Tl) 4 π γ -spectrometer of MULTI setup was designed at FLNR JINR for studying reaction cross sections with neutron-rich nuclei and can be used separately as PARIS cluster for study of β -decay process accompanied by γ -rays from high-lying collective Giant Dipole Resonances and low-lying collective Pygmy Dipole Resonances from the daughter nuclei



Применение фосвич детекторов в 4π- γ-спектрометре **MULTI** и как кластера установки **PARIS**



- 1 - C₂H₄;
- 2 - AC1;
- 3 - ΔE - (16X:16Y);
- 4 - ΔE₀ (243 μm);
- 5 - AC2;
- 6 - Phoswich (CeBr₃&NaI(Tl));
- 7 - ΔE_T(790 μm);
- 8 - CsI(Tl);
- 9 - dEi(790 μm)



SPIRAL2

NFS: neutron beam

DESIR: low-energy radioactive beams

S³: super separator spectrometer

LINAC driver: p - 33MeV, d - 40 MeV, heavy ions - 14.5 AMeV

Ion sources: I > 1 mA

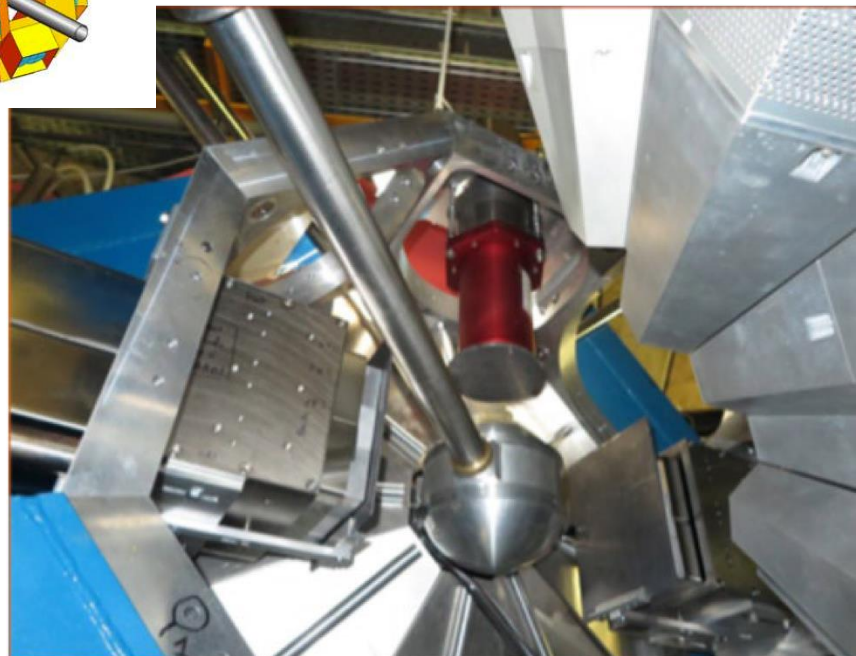
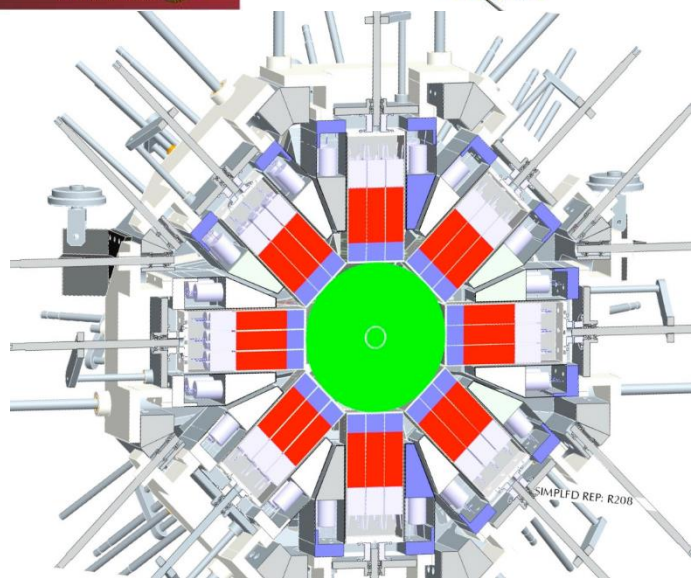
GANIL/SPIRAL1: existing infrastructure

Radioactive beams production cave: 10¹⁴ fissions/s

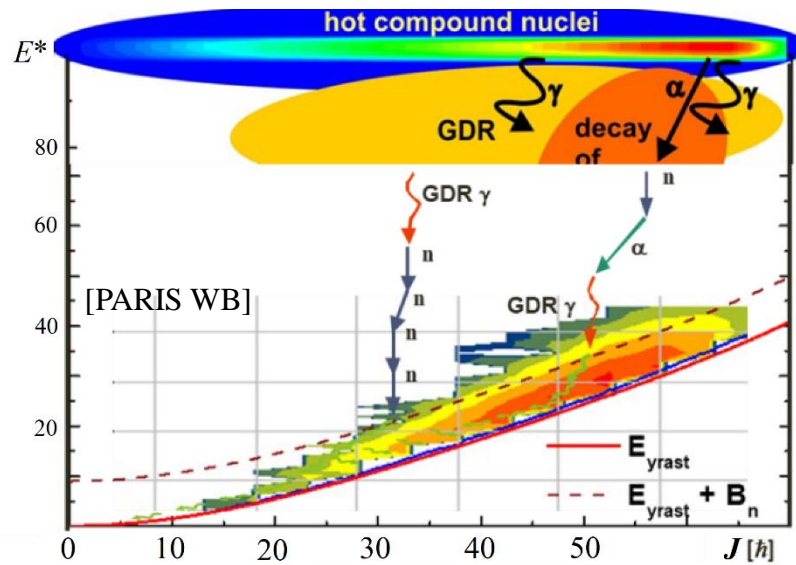


AGATA

EXOAM2



Почему выбраны фосвич-детекторы?



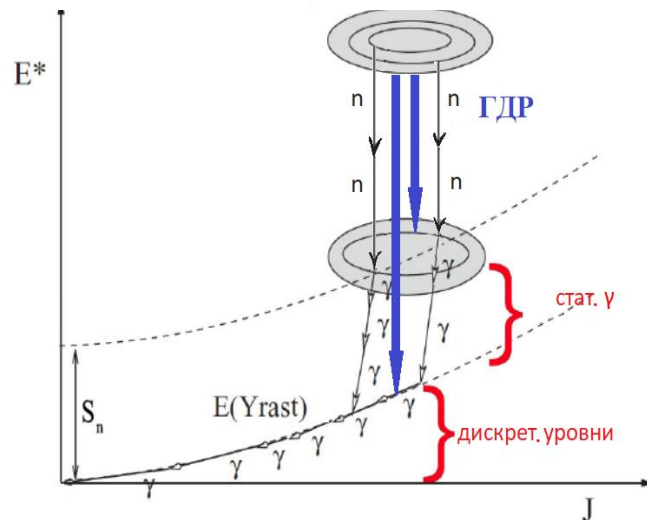
Проблемы регистрации γ -квантов в реакциях с тяжелыми ионами из-за высокой множественности γ -излучения, приводящей к "pile-up" – эффекту наложения импульсов

γ -кванты высокой энергии (ГДР) могут быть идентифицированы

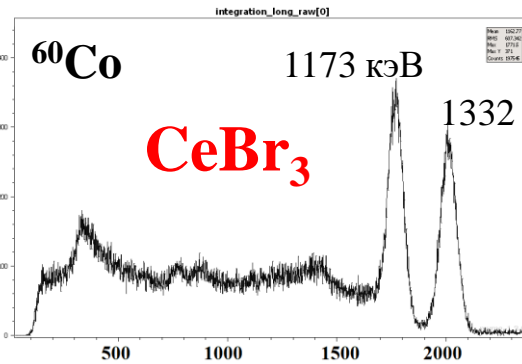
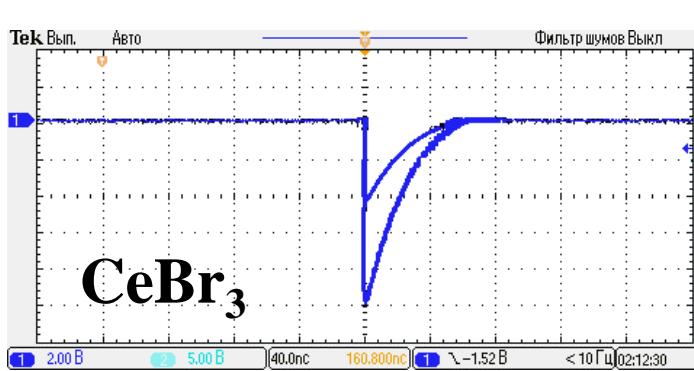
- 1) Телескопами детекторов
- 2) Фосвич-детекторами

Телескопы детекторов конструктивно неприемлемы в 4π -установках

Фосвич-детекторы:
 - сцинтилляторы с различным временем высвечивания τ
 - Возможность создания плотноупакованных 4π -конструкций

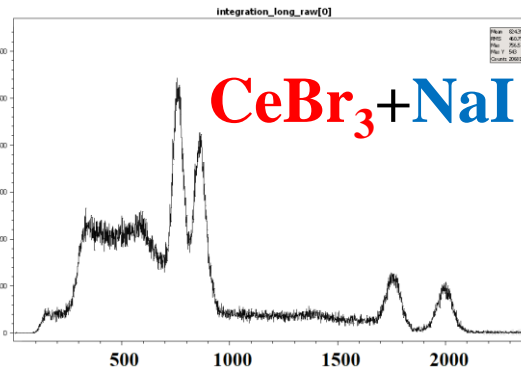
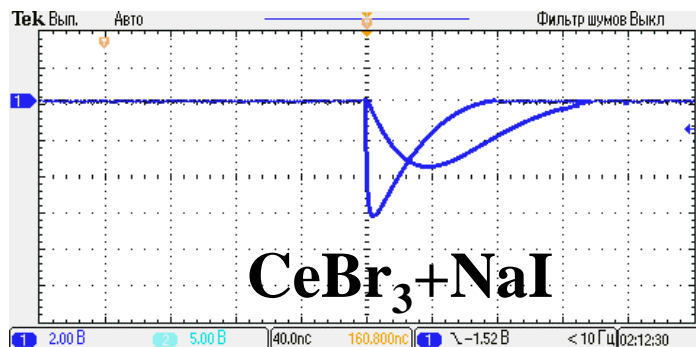
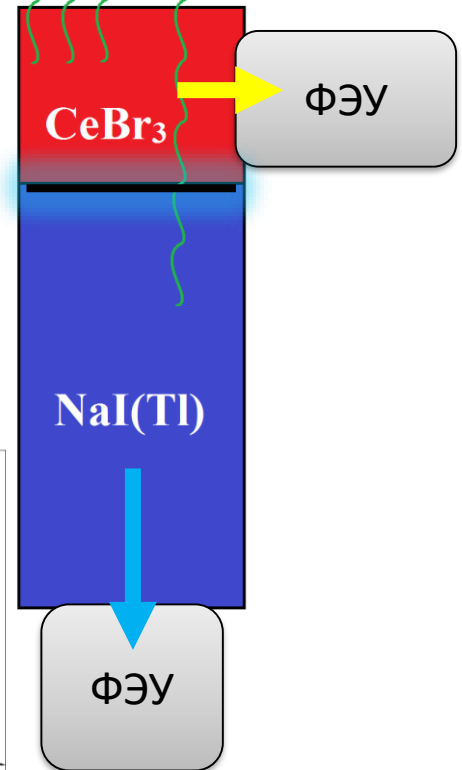
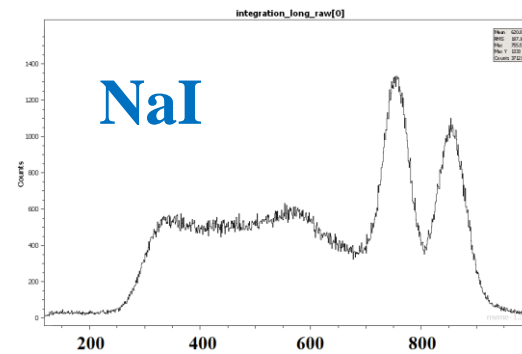
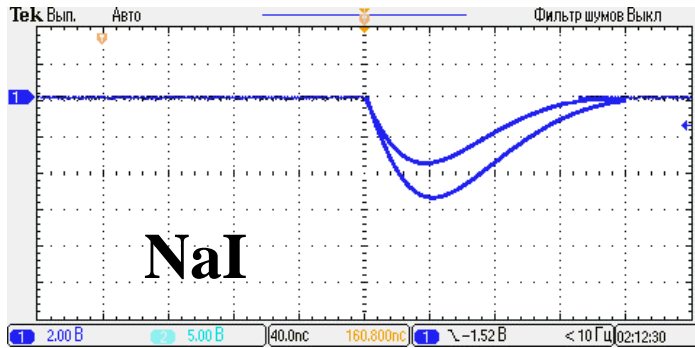


Проблема разделения низко и высоко –энергетических γ -квантов решается применением либо телескопов, либо фосвич-детекторов

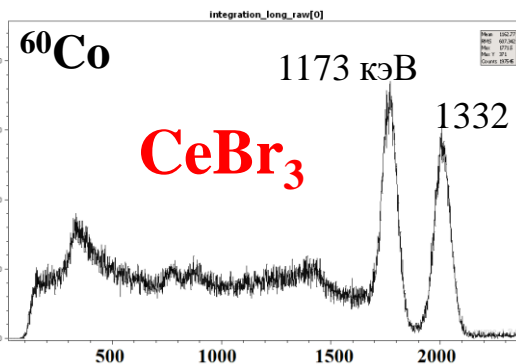
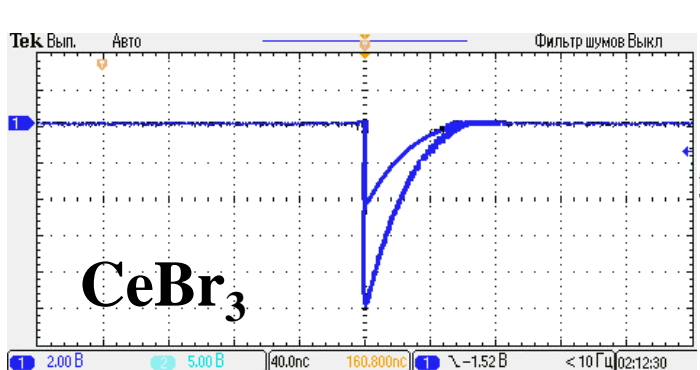


Мягкие γ -кванты по 1 МэВ

Жесткий γ -квант 3 МэВ

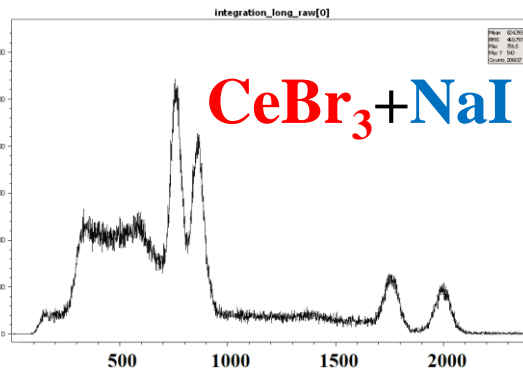
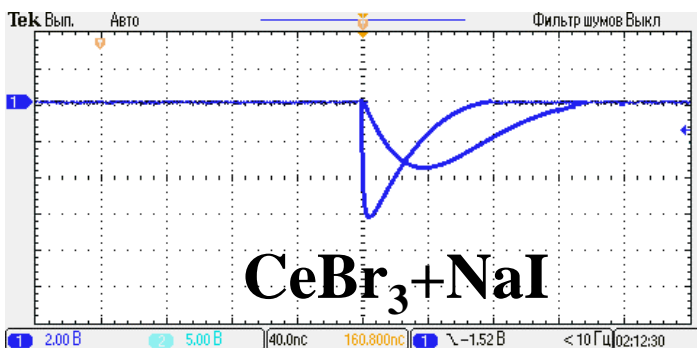
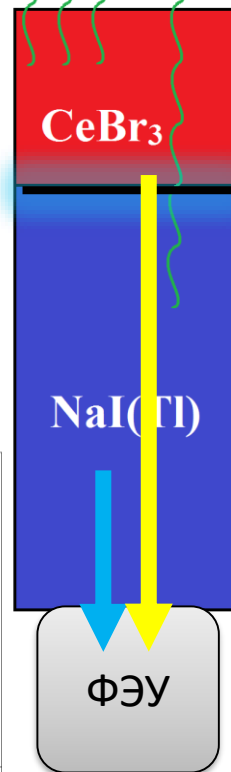
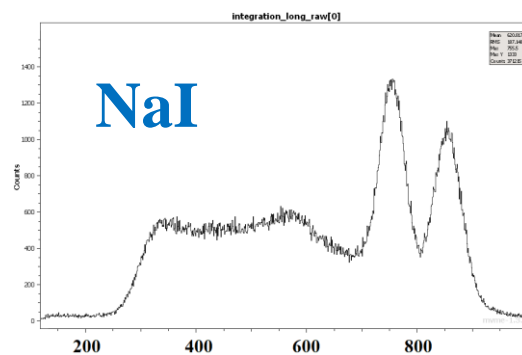
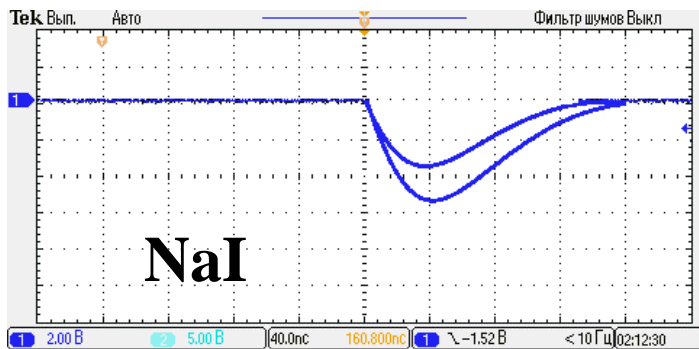


Проблема разделения низко и высоко –энергетических γ -квантов решается применением либо телескопов, либо фосвич-детекторов

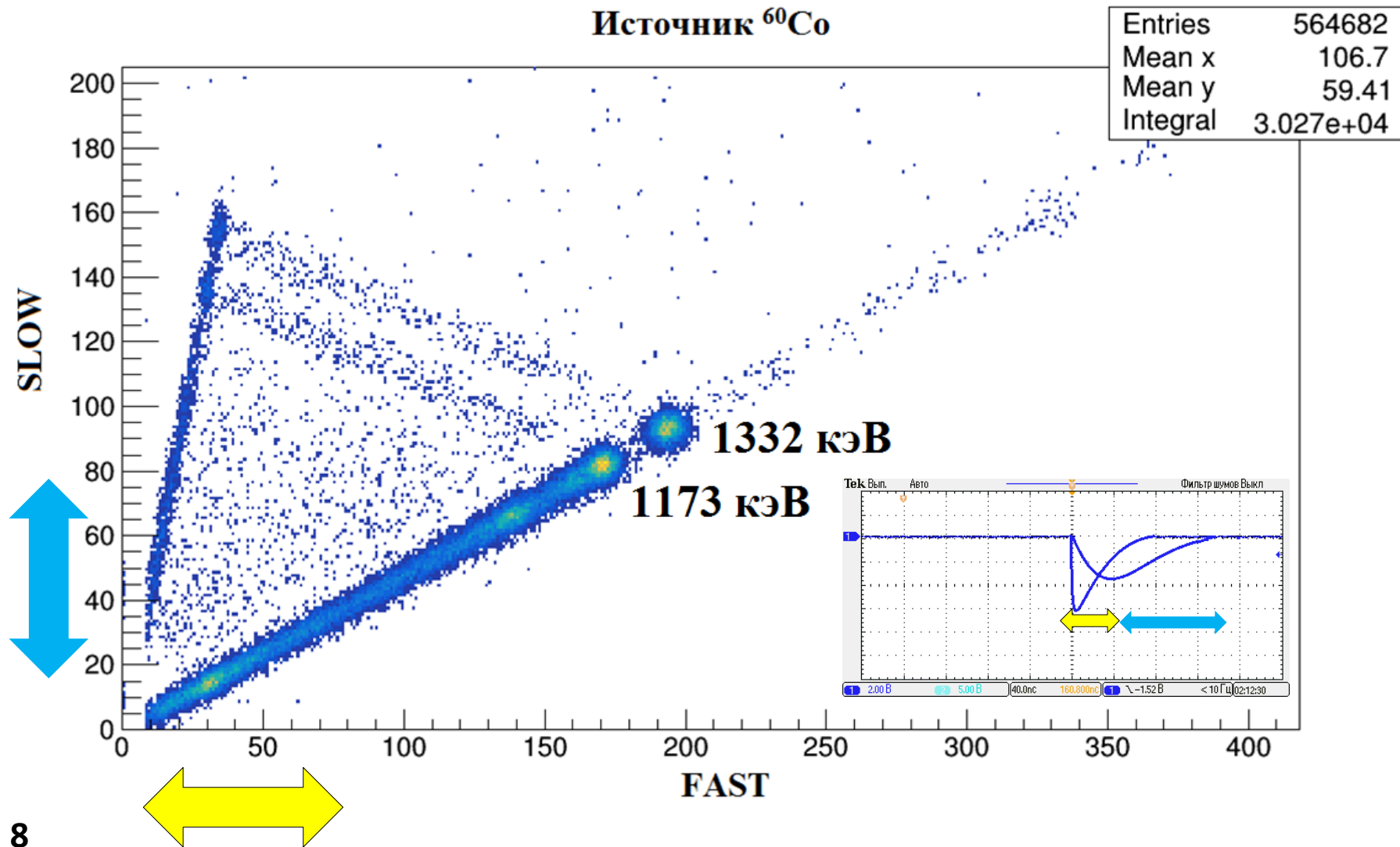


Мягкие γ -кванты по 1 МэВ

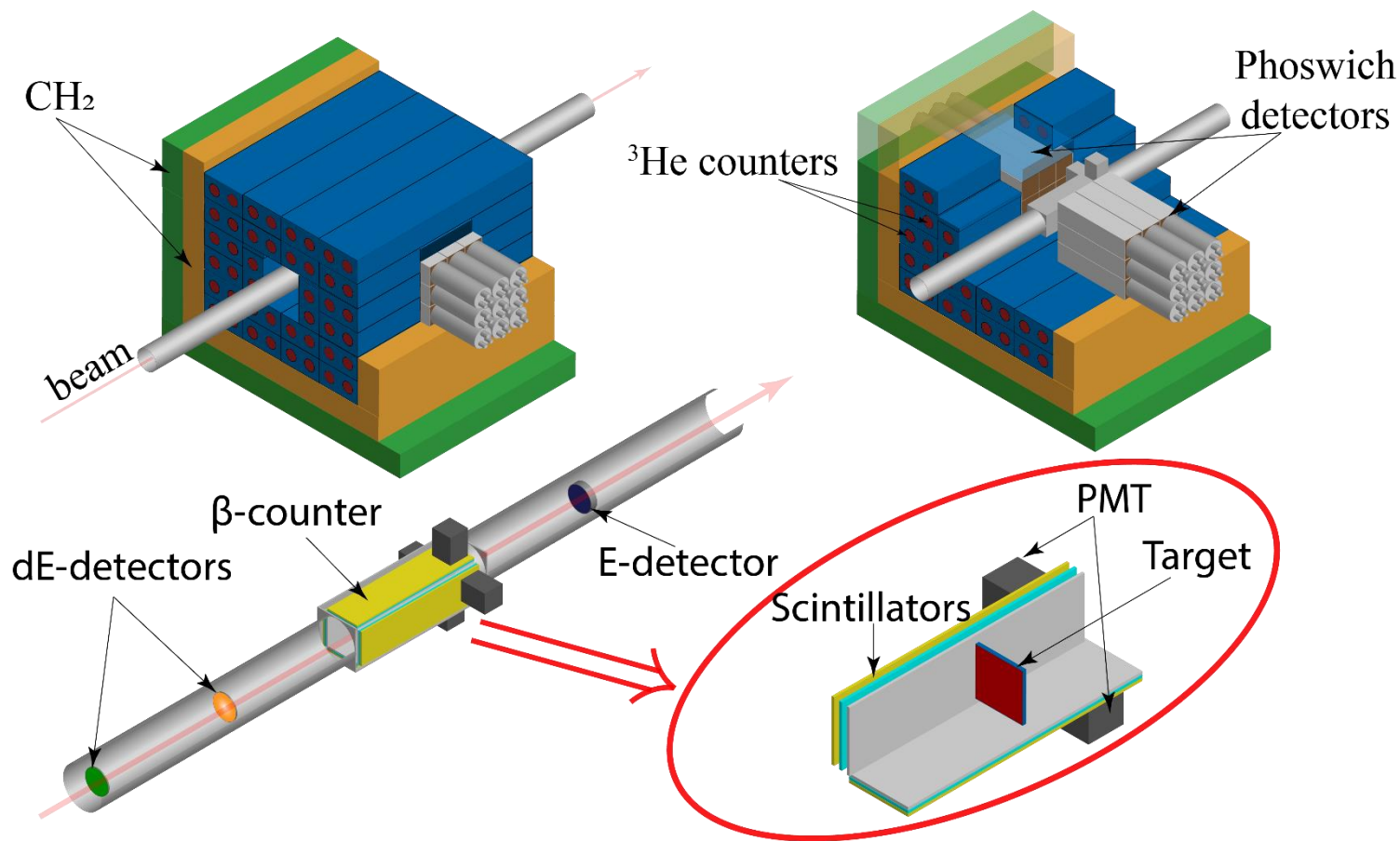
Жесткий γ -квант 3 МэВ



Идентификация γ -квантов фосвич-детекторами по форме сцинтилляционного импульса



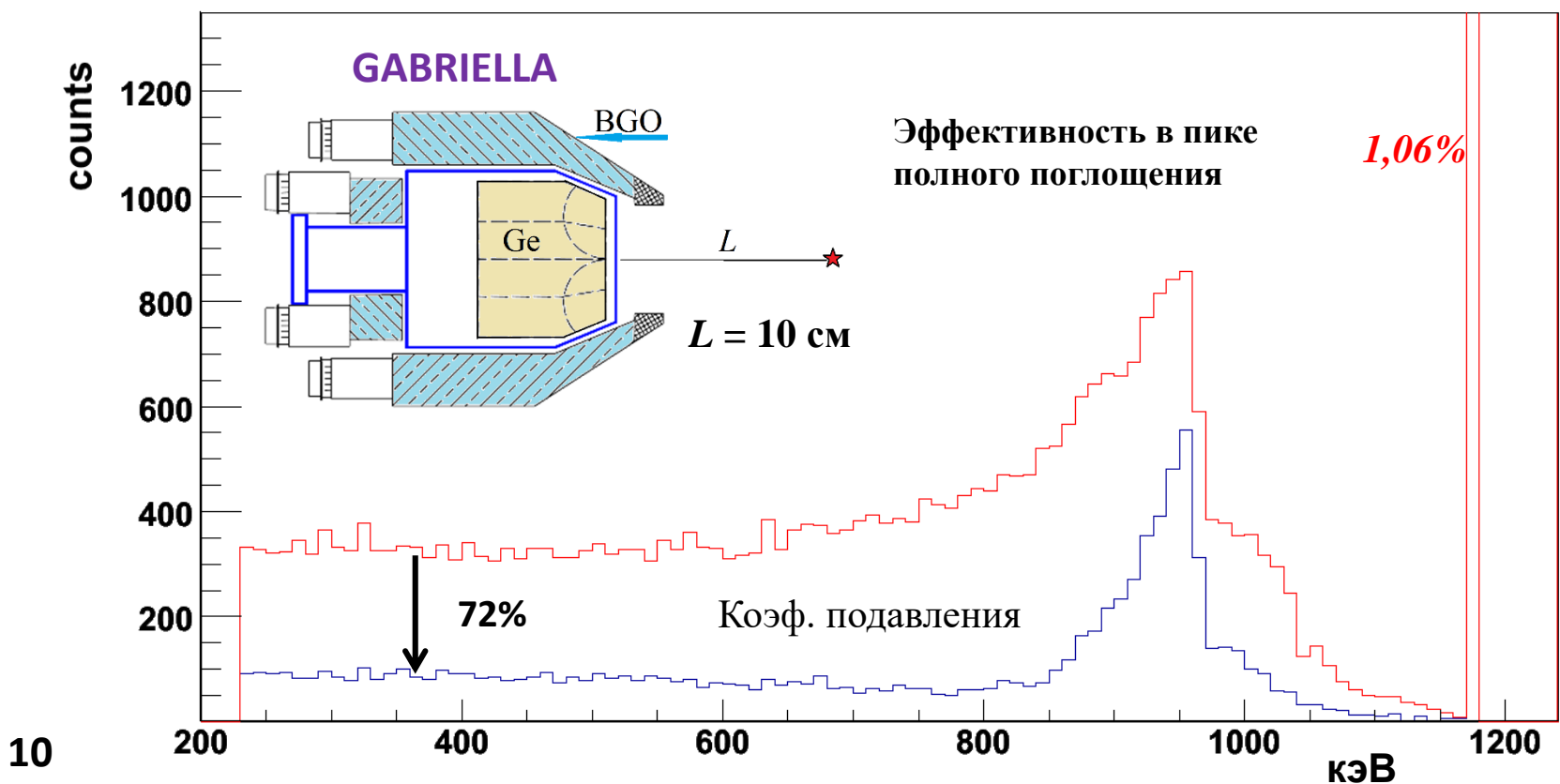
Установка **MULTI** для исследования новых видов распада экзотических ядер (β -распад через гигантские дипольные и пигми-резонансы, мультинейтронный распад..)



GEANT-4 анализ эффективности анти-комptonовской защиты HPGe-BGO клавера

- - без включения режима анти-комptonовской защиты
- - с включением режима анти-комptonовской защиты

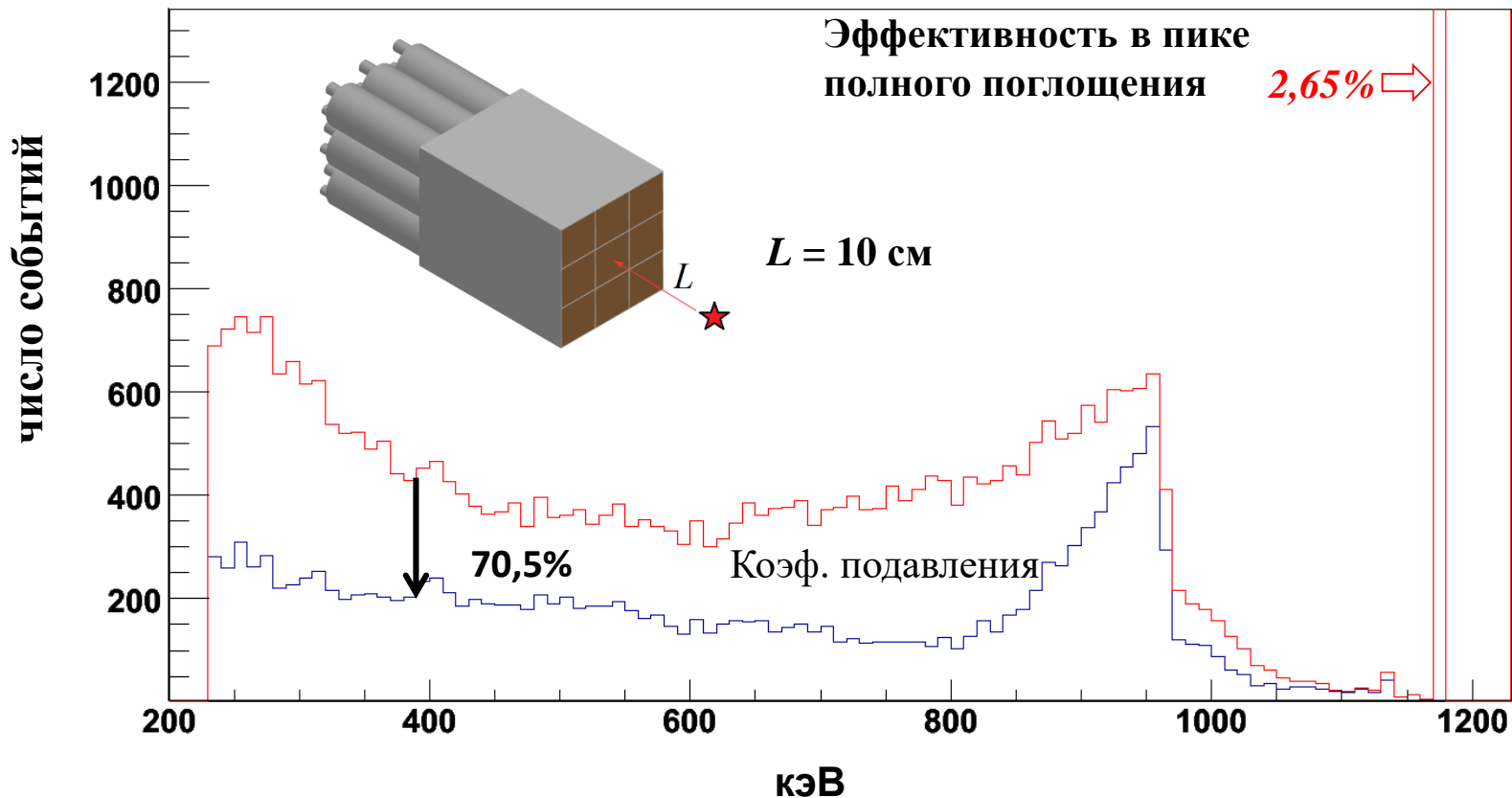
Спектр HPGe-BGO клавера при регистрации γ -квантов $E_\gamma=1173$ кэВ



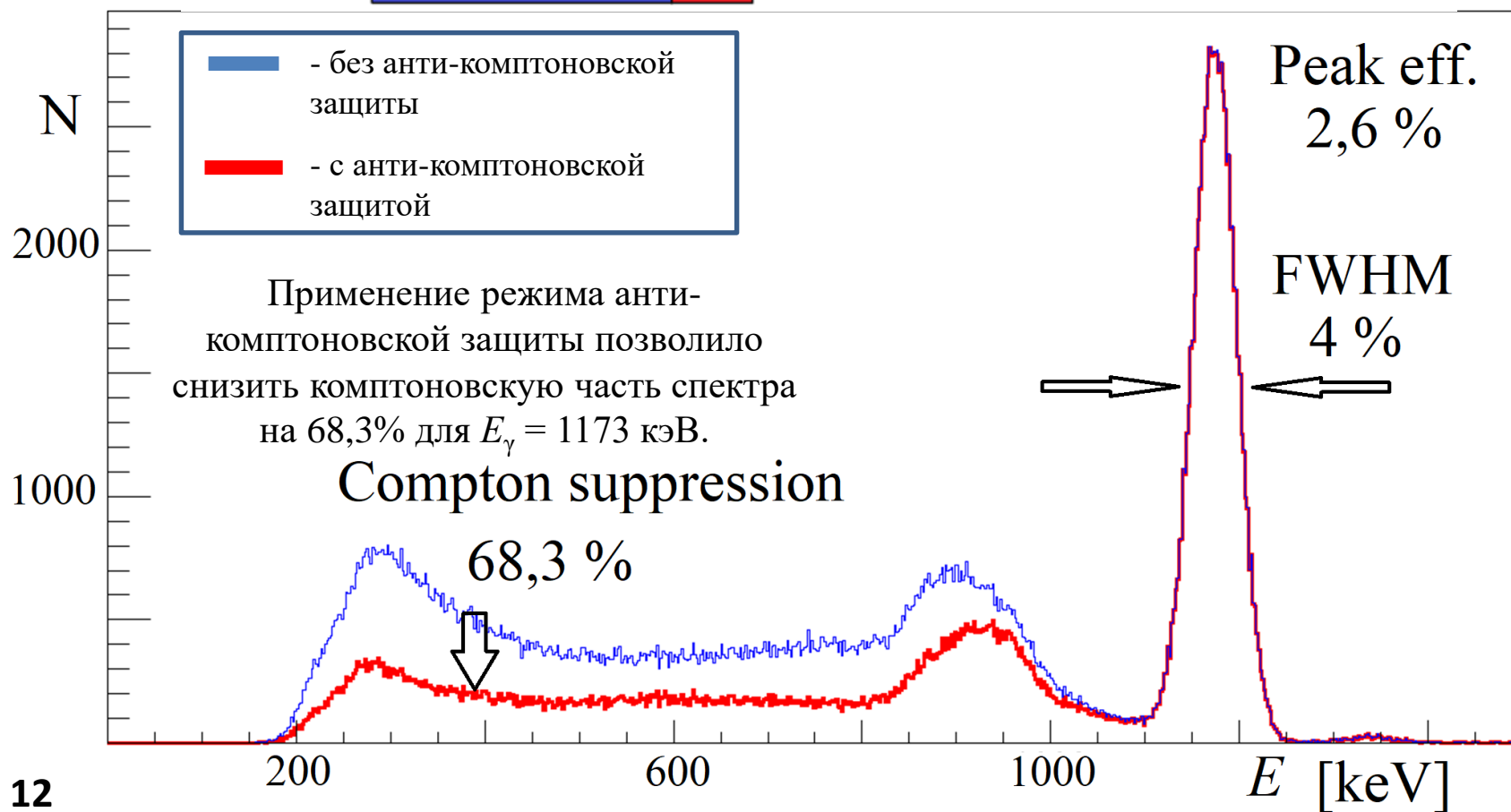
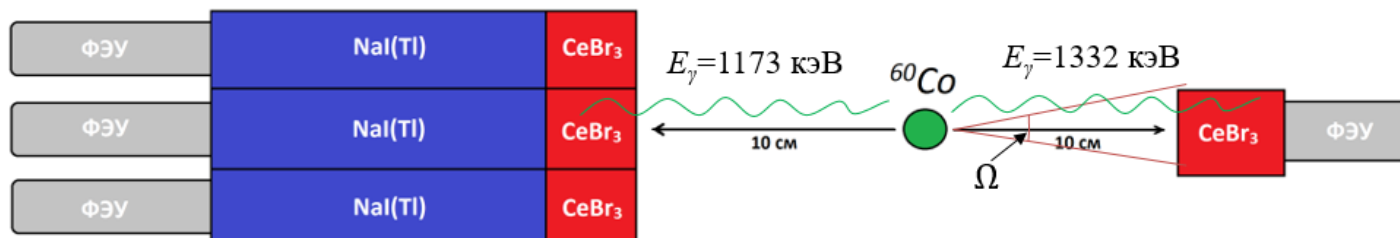
GEANT-4 анализ эффективности анти-комптоновской защиты кластера фосвич-детекторов

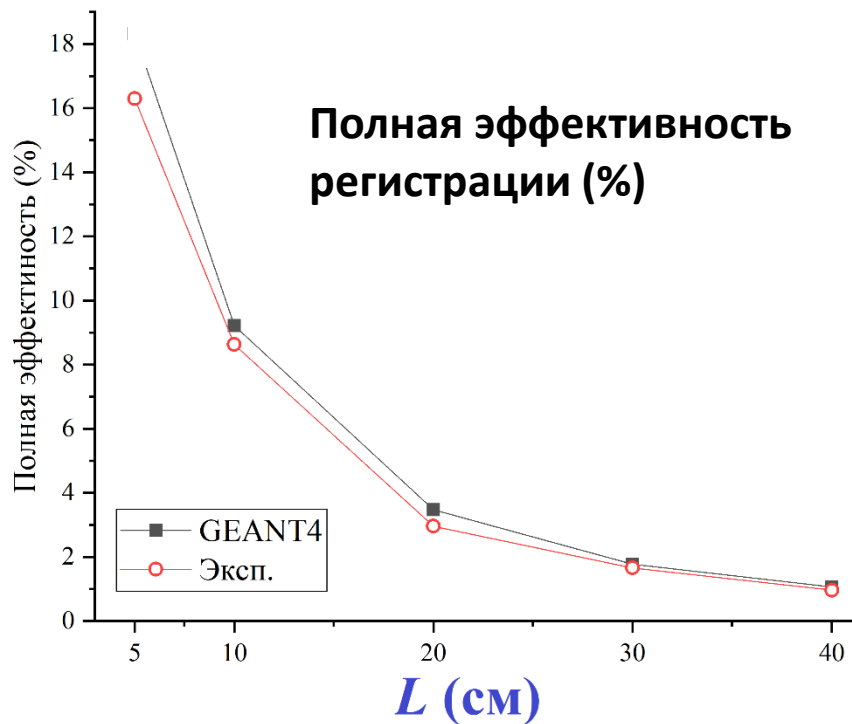
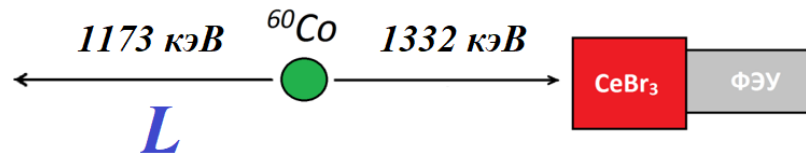
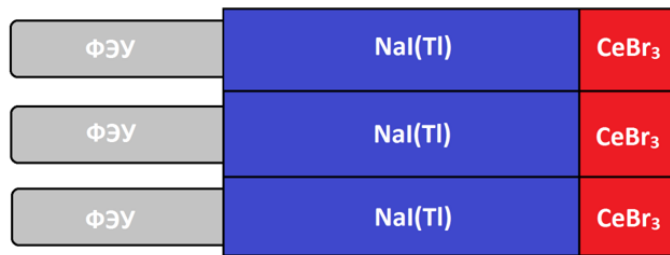
- █ - без анти-комптоновской защиты
- █ - С анти-комптоновской защитой

Спектр центрального детектора кластера при регистрации γ -квантов $E\gamma=1173$ кэВ

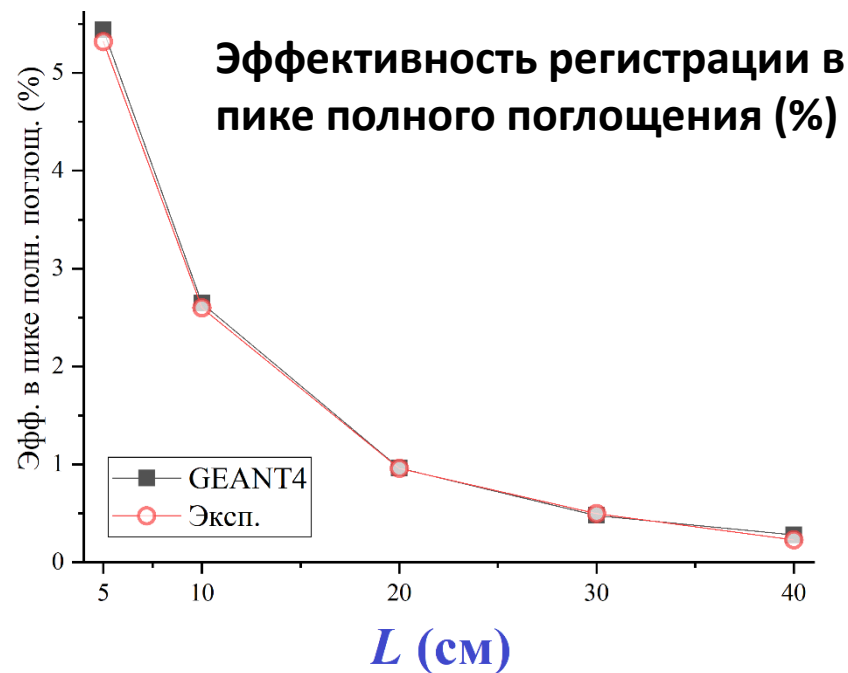


Измерение эффективности анти-комptonовской защиты кластера фосвич-детекторов методом меченных γ -квантов





| L (cm) | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 |
|----------------|------|------|------|------|------|
| G4 (%) | 18,3 | 9,22 | 3,48 | 1,78 | 1,07 |
| Exp (%) | 16,3 | 8,63 | 2,96 | 1,66 | 0,97 |

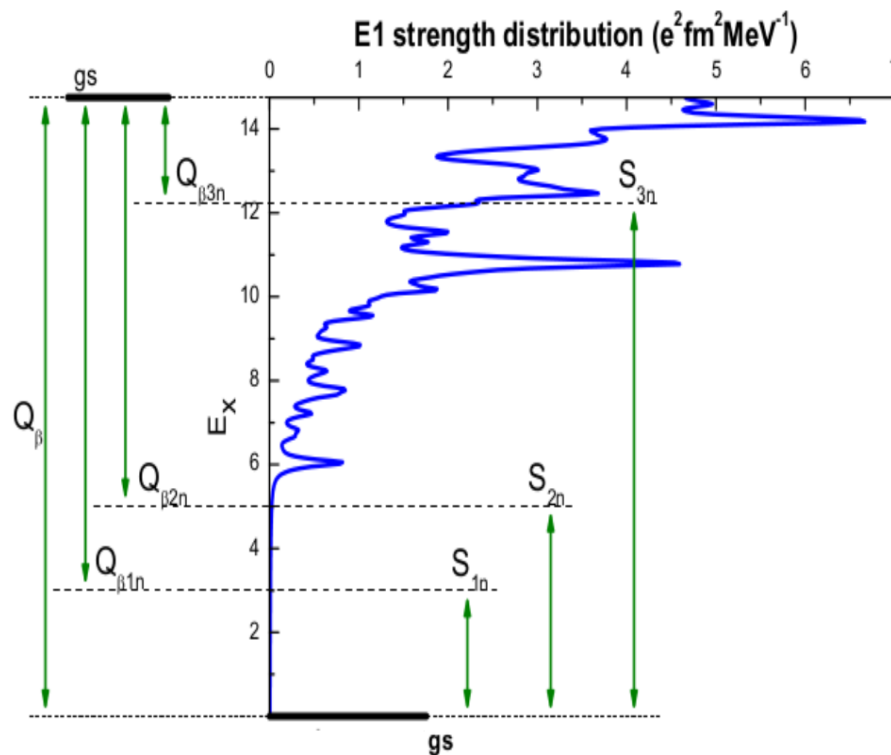


| L (cm) | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 |
|----------------|------|------|------|------|------|
| G4 (%) | 5,44 | 2,65 | 0,96 | 0,48 | 0,28 |
| Exp (%) | 5,32 | 2,6 | 0,96 | 0,49 | 0,23 |

В ЛЯР ОИЯИ кластеры фосвич-детекторов будут использоваться в исследованиях β -распадов экзотических ядер: (бета-распад через гигантские и пигми-резонансы, мультинейтронный распад) .

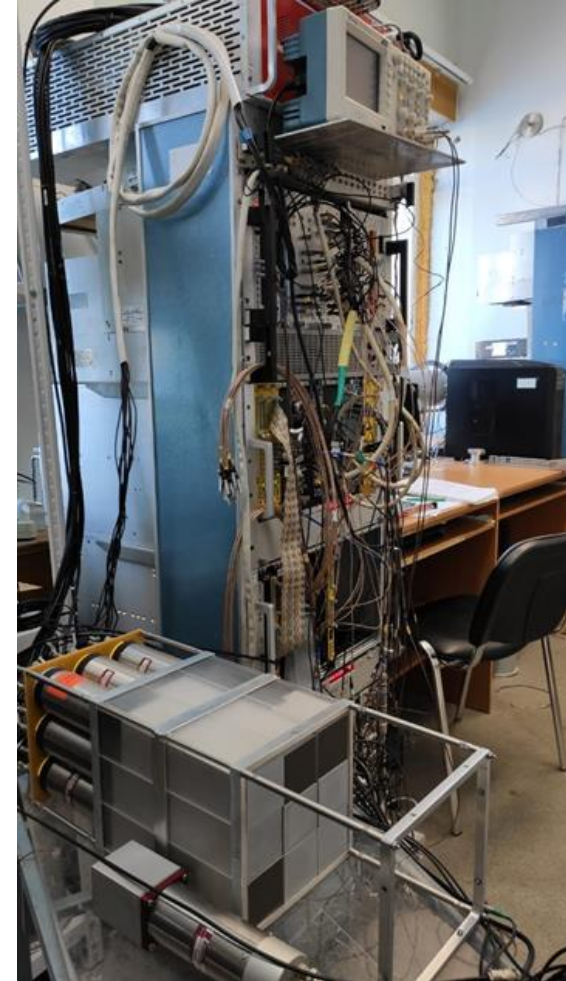
Основные характеристики ядер пучка $T_{1/2}$, $Q_{\beta n}$, $Q_{\beta 2n}$ (время жизни и энергии β -n, β -2n распадов).

| Яд ро | $T_{1/2}$ [ms] | Q_{β} [МэВ] | $Q_{\beta n}$ [МэВ] | $Q_{\beta 2n}$ [МэВ] |
|-----------------|----------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| ^{13}B | 17,3 | 13,4 | 8,5 | |
| ^{14}B | 12,5 | 20,6 | 12,5 | 7,5 |
| ^{15}B | 9,9 | 19,1 | 17,9 | 9,7 |
| ^{17}B | 5,1 | 22,7 | 22,0 | 17,8 |
| ^{22}N | 23 | 22,8 | 15,9 | 12,1 |
| ^{23}N | 14,1 | 23,7 | 20,9 | 14,1 |



Заключение

- Получены результаты измерения основных характеристик кластера $9 \times \text{CeBr}_3 \& \text{NaI}(\text{Tl})$ фосвич детекторов с помощью γ -источников (^{60}Co , ^{207}Bi) методом меченых частиц;
- Проведены расчеты характеристик γ -спектрометра с помощью кода GEANT4;
- Проведен сравнительный анализ CeBr_3 - $\text{NaI}(\text{Tl})$ γ -спектрометра и HPGe-BGO γ -кловера высокого разрешения;
- Показана возможность эффективного применения кластера из $\text{CeBr}_3 \& \text{NaI}(\text{Tl})$ фосвич детекторов в качестве антикомптоновского γ -спектрометра при исследовании β -распадов легких экзотических ядер, а также каналов реакций, сопровождающихся γ -излучением малой множественностью $M\gamma$.



Спектрометр MULTI для измерения процессов β -распада в легких экзотических ядрах

