

**Белышев С.С., Дружинина А.В., Ишханов Б.С.,
Кузнецов А.А., Фурсова Н.Ю., Ханкин В.В.**

Средние сечения фотоядерных реакций на изотопе ^{89}Y

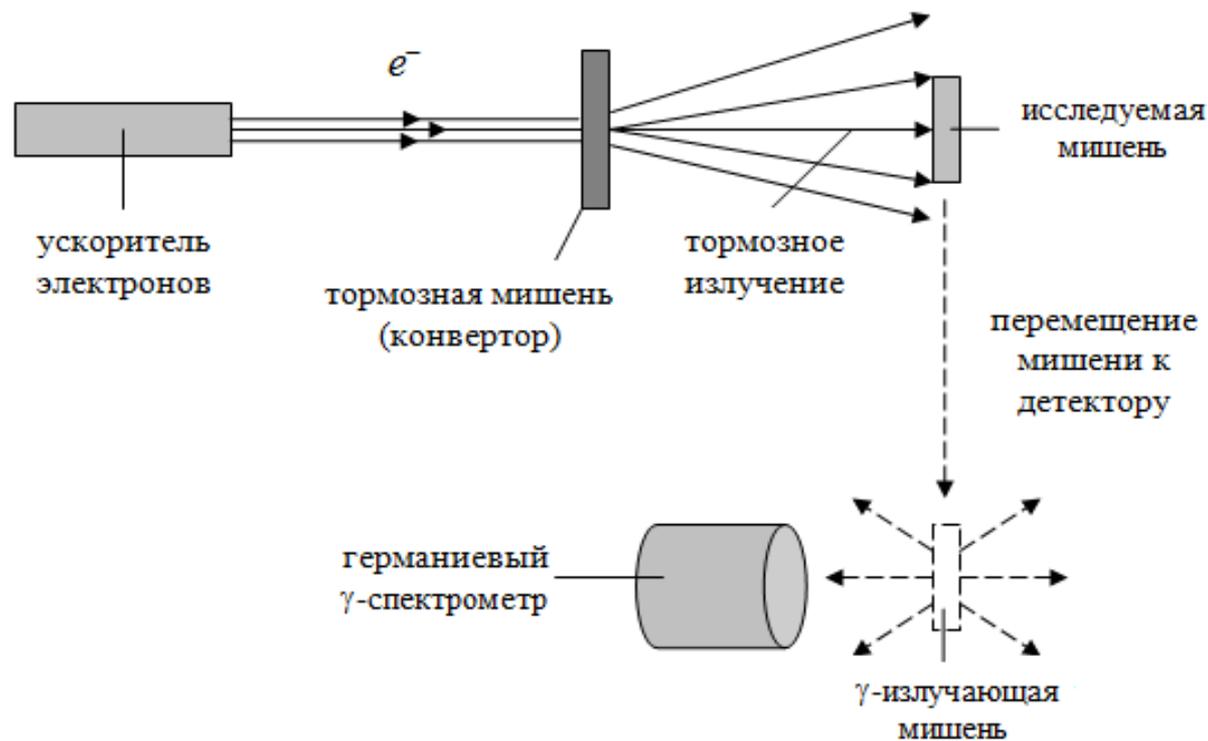
LXX International conference "NUCLEUS – 2020. Nuclear physics and elementary particle physics. Nuclear physics technologies"

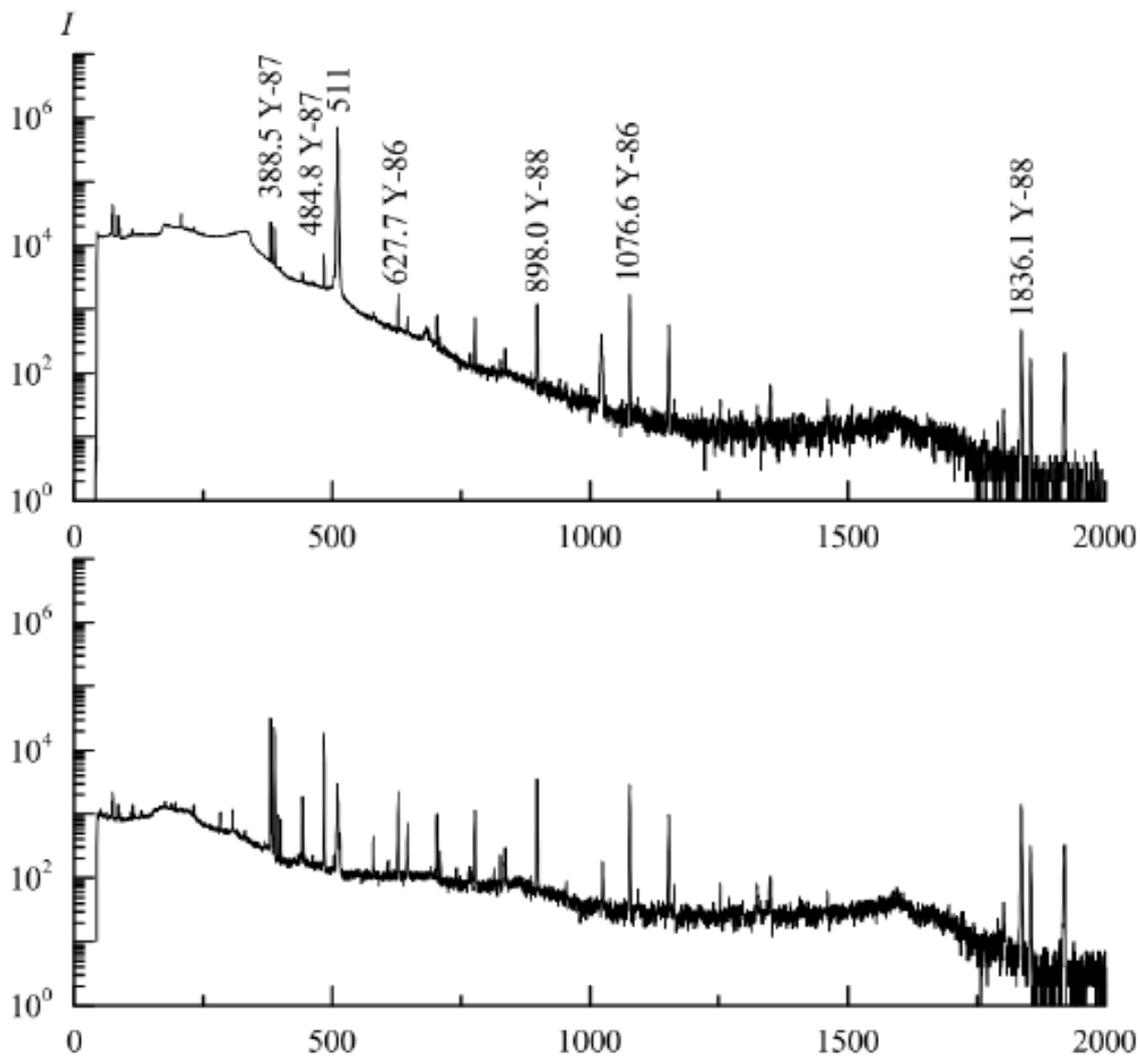
Section 2. Experimental and theoretical studies of nuclear reactions

Москва, 11-17 октября

Методика проведения эксперимента

- эксперимент был выполнен на разрезном микротроне РТМ-55 НИИЯФ МГУ при энергии электронов ускорителя 55 МэВ;
- время облучения - 10 минут при среднем токе электронов ~ 70 нА;
- тормозная мишень - из вольфрама, толщиной 0.2 мм;
- облучаемая мишень - спрессованный порошок оксидов иттрия Y (82.5%), иттербия Yb (15%) и эрбия Er (2.5%); диаметр - 22.5 мм, толщина - 2.8 мм;
- для определения абсолютных выходов одновременно облучалась медная фольга;
- суммарная продолжительность измерения спектров γ -квантов составляла 24 дня.





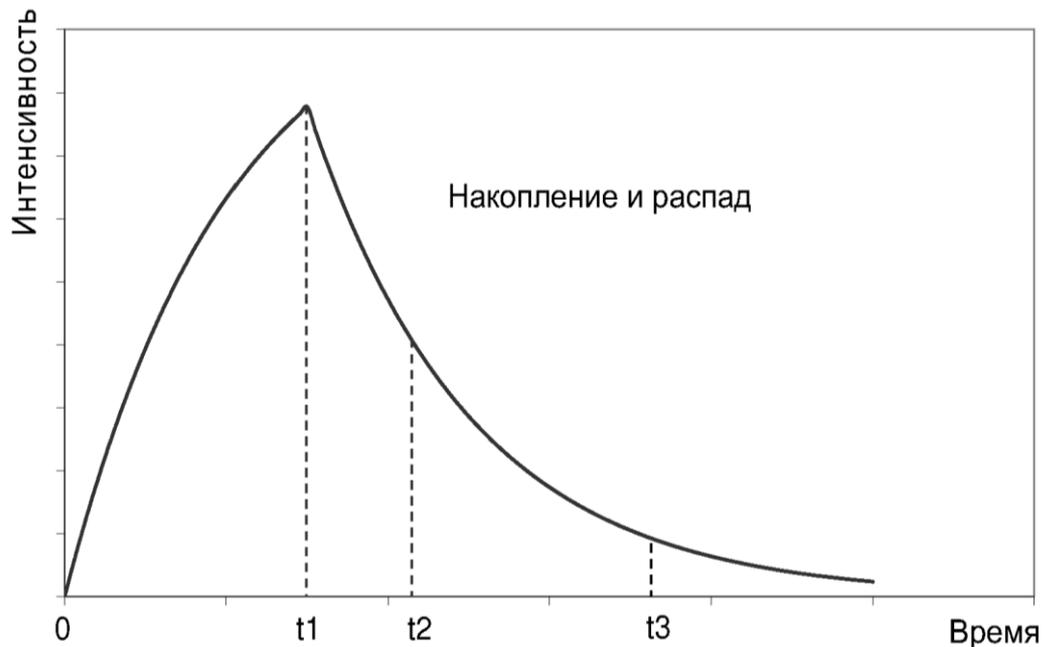
Спектр γ -квантов от облученного образца ^{89}Y , измеренный HPGe спектрометром через 5 минут и 12 часов (сверху вниз) после облучения. Время измерения - 3 часа.

Обработка результатов эксперимента

Анализ продуктов распадов изотопа иттрия ^{89}Y проводился на основе характерных γ -линий изотопов и их периодов полураспада. Экспериментальные выходы реакций $Y(E^m)_{\text{эксп}}$ рассчитывались по площадям фотопиков S в спектрах остаточной активности с учётом мёртвого времени детектора, тока ускорителя во время облучения и нескольких каналов распада, приводящих к образованию исследуемых изотопов:

$$Y(E^m)_{\text{эксп}} = \frac{N_{10}}{e^{-\lambda t_1} \int_0^{t_1} I(t) \cdot e^{\lambda t} dt}$$

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



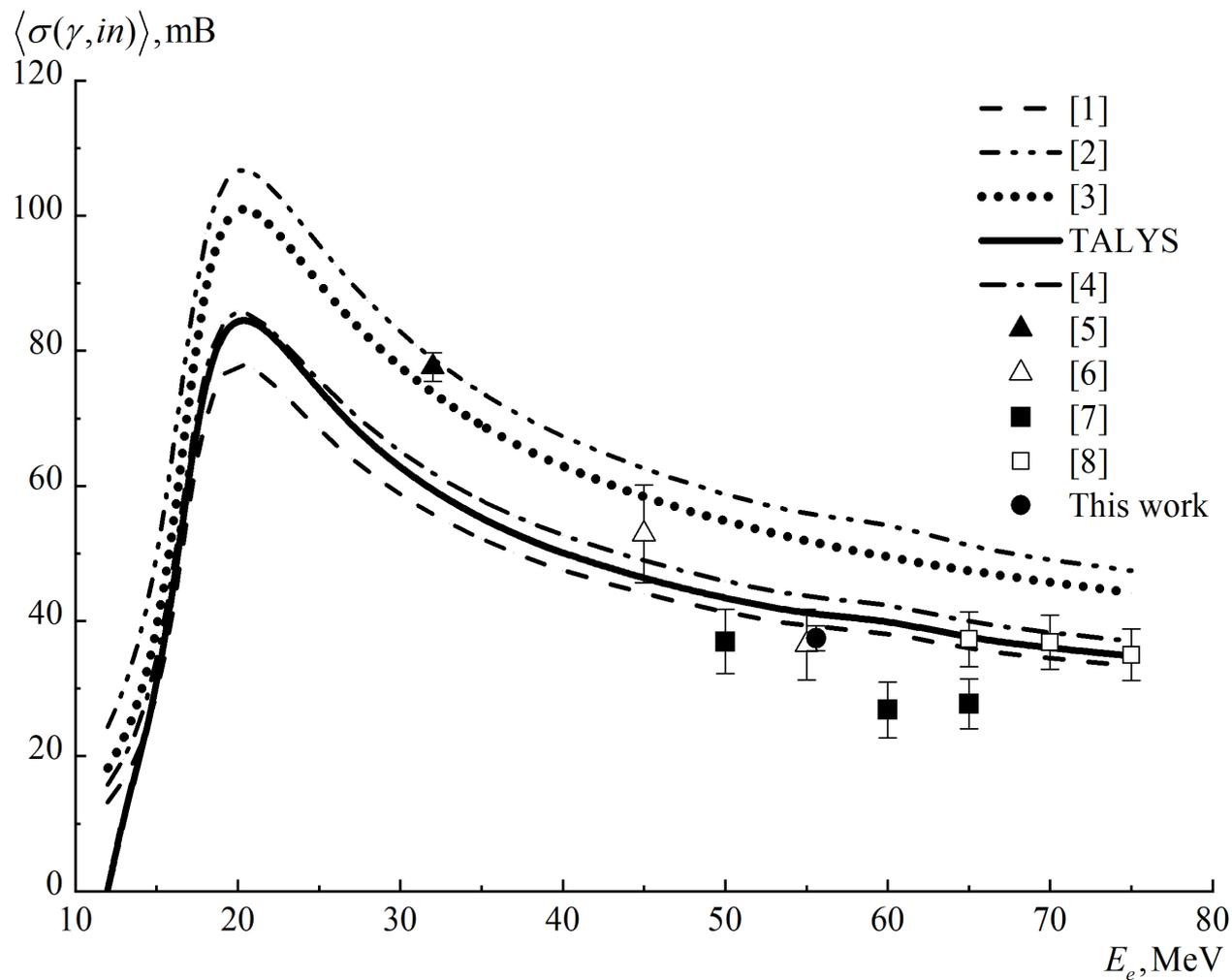
N_{10} - число ядер исследуемого изотопа на момент окончания облучения,
 λ - постоянная распада изотопа, $I(t)$ - ток ускорителя, t_1 - время облучения,
 t_2 - время начала измерения спектров, t_3 - время окончания измерения спектров.

Абсолютные экспериментально измеренные выходы фотонейтронных реакций на ядре ^{89}Y и выходы, рассчитанные по программе TALYS

Изотоп	Реакции образования изотопа	$Y_{\text{эксп}}, 1/e$	$Y_{\text{TALYS}}, 1/e$
^{88}Y	$^{89}\text{Y}(\gamma, 1n)$	$(5.05 \pm 0.25) \cdot 10^{-6}$	$5.66 \cdot 10^{-6}$
^{87}Y	$^{89}\text{Y}(\gamma, 2n)$	$(5.76 \pm 0.27) \cdot 10^{-7}$	$4.55 \cdot 10^{-7}$
^{86}Y	$^{89}\text{Y}(\gamma, 3n)$	$(6.96 \pm 0.24) \cdot 10^{-8}$	$7.34 \cdot 10^{-8}$
^{85}Y	$^{89}\text{Y}(\gamma, 4n)$	$(1.09 \pm 0.09) \cdot 10^{-8}$	$1.41 \cdot 10^{-8}$

Средние сечения, взвешенные по тормозному спектру, полученные в настоящей работе и средние сечения, рассчитанные на основе аппроксимации экспериментальных [1,2,4], оцененных [10] и теоретических сечений [9] в области энергий до 55МэВ

	Наст. работа	Ливермор [1]	Сакле [2]	Young [4]	TALYS [9]	Оцен. [10]
$\langle \sigma(E_\gamma, 1n) \rangle$	37.4 ± 1.9	40.0	56.8	44.4	41.9	53.0
$\langle \sigma(E_\gamma, 2n) \rangle$	7.81 ± 0.37				6.4	
$\langle \sigma(E_\gamma, 3n) \rangle$	2.06 ± 0.07				2.17	
$\langle \sigma(E_\gamma, 4n) \rangle$	0.717 ± 0.063				1.00	



Средние сечения, взвешенные по тормозному спектру, для реакции $^{89}\text{Y}(\gamma, 1n)$ в зависимости от энергии электронов ускорителя (линии), рассчитанные на основе экспериментальных [1-4] и теоретических сечений. Точками показаны средние сечения, полученные в настоящей работе и в работах на тормозных пучках [5-8].

Выводы:

- были получены абсолютные выходы фотонейтронных реакций на изотопе ^{89}Y ;
- рассчитанное в работе среднее сечение, взвешенное по тормозному спектру, для фотонейтронной реакции $(\gamma, 1n)$ согласуется с результатами расчёта по программе TALYS и сечениями из работ [1, 4];
- для среднего сечения, взвешенного по тормозному спектру, для фотонейтронной реакции $(\gamma, 2n)$ сравнение затруднено из-за отсутствия данных выше 28 МэВ и невозможности описать сечение этой реакции Лоренцевской кривой;
- средние сечения, взвешенные по тормозному спектру, для реакций $(\gamma, 2n)$ - $(\gamma, 4n)$, полученные в нашей работе, хорошо согласуются с данными других активационных экспериментов [5–8] и с расчётами по программе TALYS .

[1] B.L.Berman et al. // Phys.Rev. 1967. **162**. P. 1098.

[2] A.Lepretre et al. // Nucl. Phys. A. 1971. **175**. P. 609.

[3] V. V. Varlamov, A. I. Davydov, V. N. Orlin, N. N. Peskov. // Bull. Russ. Acad. Sci.: Physics. 2017. 81. P. 664.

[4] L.M.Young // PhD Thesis, Champaign: Illinois University, 1972.

[5] A.Rahman et al.// J. Nucl. Sci. Tech. 2010. **47**. P. 618.

[6] M.Zaman et al. // J. Radioanal. Nucl. Chem. 2014. **299**. P. 1739.

[7] M.Zaman et al. // J. Korean Phys. Soc. 2015. **67**. P. 1482.

[8] M.Tatari et al. // Radiochim. Acta 2017. **105**. P. 789.