

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

Фоторасщепление лёгких ИЗОТОПОВ $^{102,104}\text{Pd}$

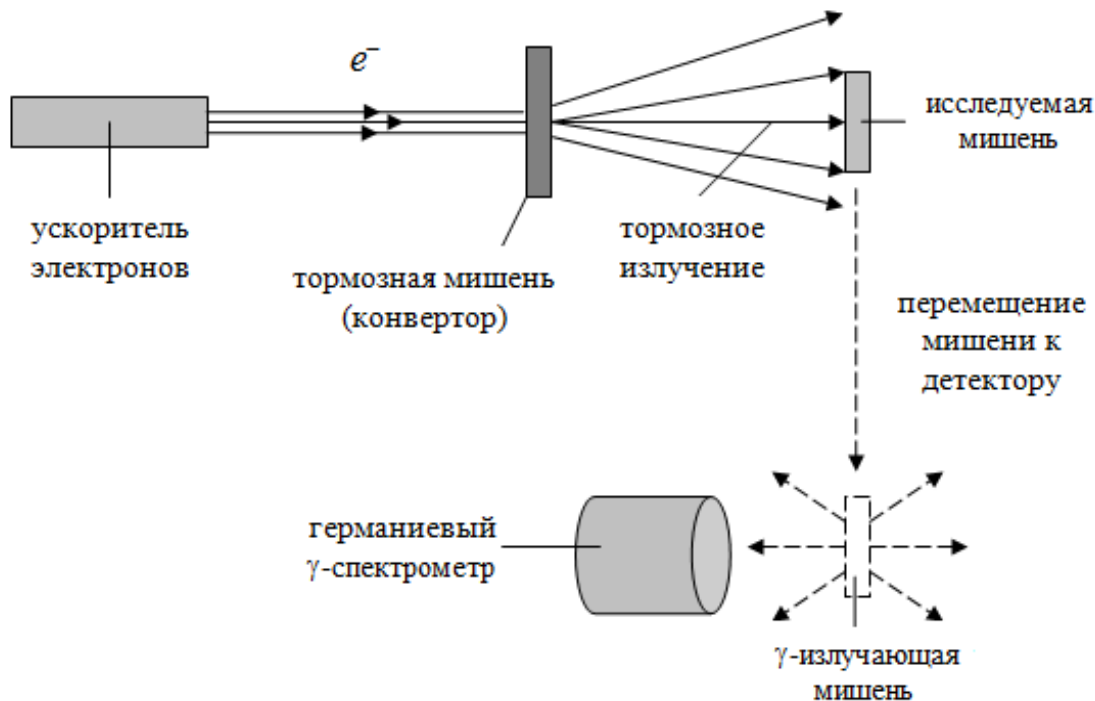
LXX International conference "NUCLEUS – 2020. Nuclear physics and elementary
particle physics. Nuclear physics technologies"

Section 2. Experimental and theoretical studies of nuclear reactions

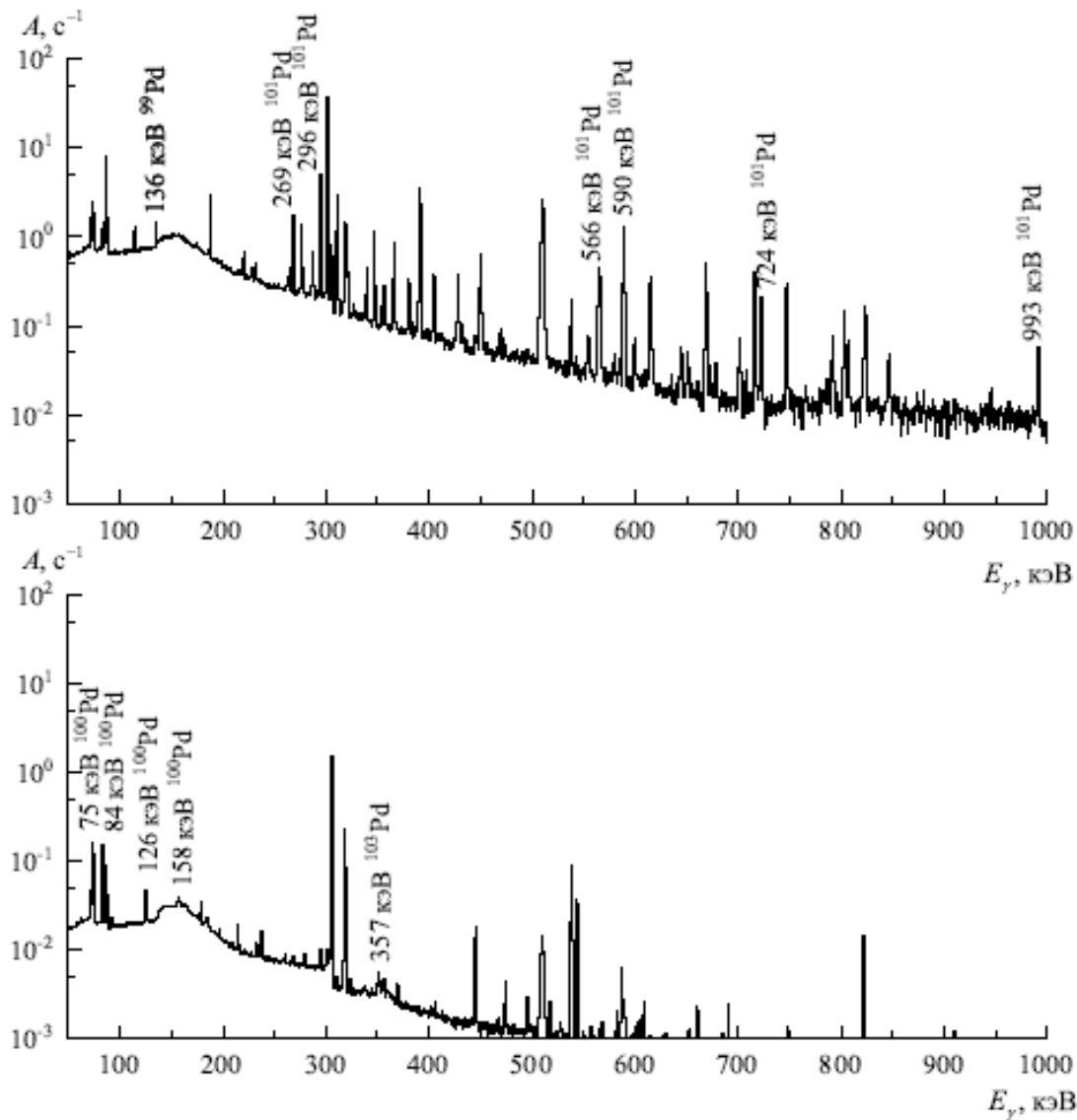
Москва, 11-17 октября

Методика проведения эксперимента

- эксперимент проводился на тормозном пучке импульсного разрезного микротрона РМ-55 НИИЯФ МГУ с максимальной энергией электронов 55 МэВ;
- длительность облучения мишени - 66 минут;
- тормозная мишень - из вольфрама, толщиной 0.2 мм;
- облучаемая мишень - из природной смеси изотопов палладия, толщиной 0.399 г/см²;
- за облучаемой мишенью располагался монитор из меди толщиной 0.097 г/см²;
- ток электронного ускорителя измерялся с помощью цилиндра Фарадея;



- спектры γ -квантов измерялись в диапазоне энергий от 35 кэВ до 3.7 МэВ на детекторе из сверхчистого германия Canberra GC3019 с цифровым многоканальным анализатором InSpector 1250.



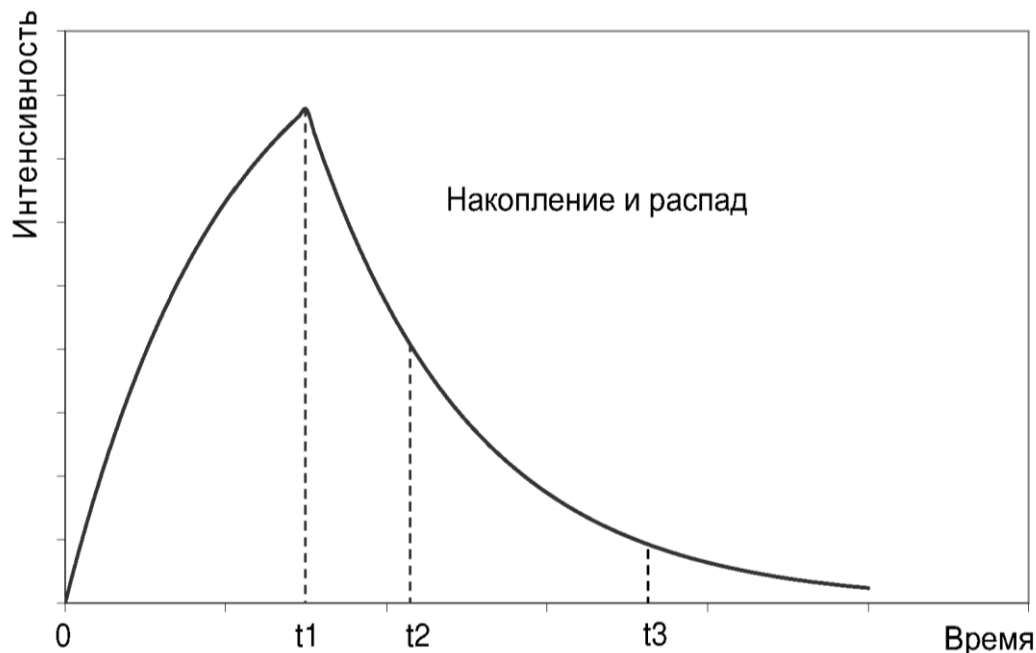
Спектры остаточной активности облучения образца из природной смеси изотопов палладия сразу после облучения и через три дня после. Продолжительность измерения спектров составляла 1 час и 20 часов соответственно.

Обработка результатов эксперимента

Образовавшиеся в результате фотоядерных реакций изотопы идентифицировались по энергии γ -квантов и периоду полураспада образовавшихся изотопов. 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.

Сравнение экспериментальных и теоретических выходов изотопов палладия

Изотоп	Реакции образования изотопа	$Y_{\text{ЭКСП}}, 1/e$	$Y_{\text{KAERI}}, 1/e$	$Y_{\text{TALYS}}, 1/e$
^{103}Pd	$\text{natPd}(\gamma, \text{in})$	$(2.08 \pm 0.11) \cdot 10^{-6}$	$2.62 \cdot 10^{-6}$	$2.52 \cdot 10^{-6}$
	$^{104}\text{Pd}(\gamma, 1n)$		$1.58 \cdot 10^{-6}$	$1.38 \cdot 10^{-6}$
	$^{105}\text{Pd}(\gamma, 2n)$		$1.03 \cdot 10^{-6}$	$8.98 \cdot 10^{-7}$
	$^{106}\text{Pd}(\gamma, 2n)$			$2.33 \cdot 10^{-7}$
^{102}Pd	$\text{natPd}(\gamma, \text{in})$		$6.11 \cdot 10^{-7}$	$7.31 \cdot 10^{-7}$
	$^{104}\text{Pd}(\gamma, 2n)$		$4.65 \cdot 10^{-7}$	$4.32 \cdot 10^{-7}$
	$^{105}\text{Pd}(\gamma, 3n)$		$1.46 \cdot 10^{-7}$	$2.14 \cdot 10^{-7}$
	$^{106}\text{Pd}(\gamma, 4n)$			$8.51 \cdot 10^{-8}$
^{101}Pd	$\text{natPd}(\gamma, \text{in})$	$(1.38 \pm 0.07) \cdot 10^{-7}$	$2.03 \cdot 10^{-7}$	$2.46 \cdot 10^{-7}$
	$^{102}\text{Pd}(\gamma, 1n)$		$1.45 \cdot 10^{-7}$	$1.27 \cdot 10^{-7}$
	$^{104}\text{Pd}(\gamma, 3n)$		$3.52 \cdot 10^{-8}$	$7.05 \cdot 10^{-8}$
	$^{105}\text{Pd}(\gamma, 4n)$		$2.33 \cdot 10^{-8}$	$4.92 \cdot 10^{-8}$
^{100}Pd	$\text{natPd}(\gamma, \text{in})$	$(2.27 \pm 0.17) \cdot 10^{-8}$	$3.77 \cdot 10^{-8}$	$4.11 \cdot 10^{-8}$
	$^{102}\text{Pd}(\gamma, 2n)$		$3.02 \cdot 10^{-8}$	$2.50 \cdot 10^{-8}$
	$^{104}\text{Pd}(\gamma, 4n)$		$7.42 \cdot 10^{-8}$	$1.61 \cdot 10^{-8}$
^{99}Pd	$\text{natPd}(\gamma, \text{in})$	$(9.13 \pm 0.40) \cdot 10^{-10}$	$3.24 \cdot 10^{-9}$	$3.12 \cdot 10^{-9}$
	$^{102}\text{Pd}(\gamma, 3n)$		$3.20 \cdot 10^{-9}$	$2.65 \cdot 10^{-9}$
	$^{104}\text{Pd}(\gamma, 5n)$		$4.51 \cdot 10^{-11}$	$4.75 \cdot 10^{-10}$

Выводы:

- были определены абсолютные выходы фотоядерных реакций на изотопах ^{102}Pd и ^{104}Pd с вылетом до трёх нейтронов;
- сравнение с результатами расчётов по программе TALYS, и оцененными сечениями из библиотеки KAERI показало, что во всех случаях теоретические сечения фотонейтронных реакций оказываются завышенными. Это связано с тем, что в теоретических расчётах парциальных сечений не учитывалось изоспиновое расщепление ГДР, которое должно приводить к существенному увеличению доли фотопротонных реакций и снижению доли фотонейтронных реакций в полном сечении фотопоглощения на изотопах ^{102}Pd и ^{104}Pd .

[1] A.J.Konig, S.Hilaire, M.C.Duijvestijn, in Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology. 2007, Ed by Bersillon O. et al. EDP Sciences (Nice, France, 2008). p. 211

[2] Y.O.Lee, Y.Han, J. Chang, KAERI Photonuclear Data Library, KAERI/TR-1512/2000 (Korea Atomic Energy Research In-stitute, 2000).