

## Фоторасщепление естественной смеси изотопов $^{235}, ^{238}\text{U}$

С.С. Белышев<sup>(1)</sup>, А.Н. Ермаков<sup>(2)</sup>, А.А. Кузнецов<sup>(2)</sup>, И.В. Макаренко<sup>(1)</sup>,  
В.В. Ханкин<sup>(2)</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет,

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ

E-mail: kuznets@sinp.msu.ru

In this work we conduct research on charge distribution and measurements of relative yields of isotopes which are formed at fission of a uranium isotopes natural mix by bremsstrahlung photons. Experiments on studying photofission reactions are made on electron racetrack microtron RTM-70, which was built in SINP MSU. Spectra of the irradiated uranium were analyzed and maxima were found. Gamma peaks position, width, intensity and a half-life are calculated by means of standard fitting procedure and corresponding isotopes have been identified.

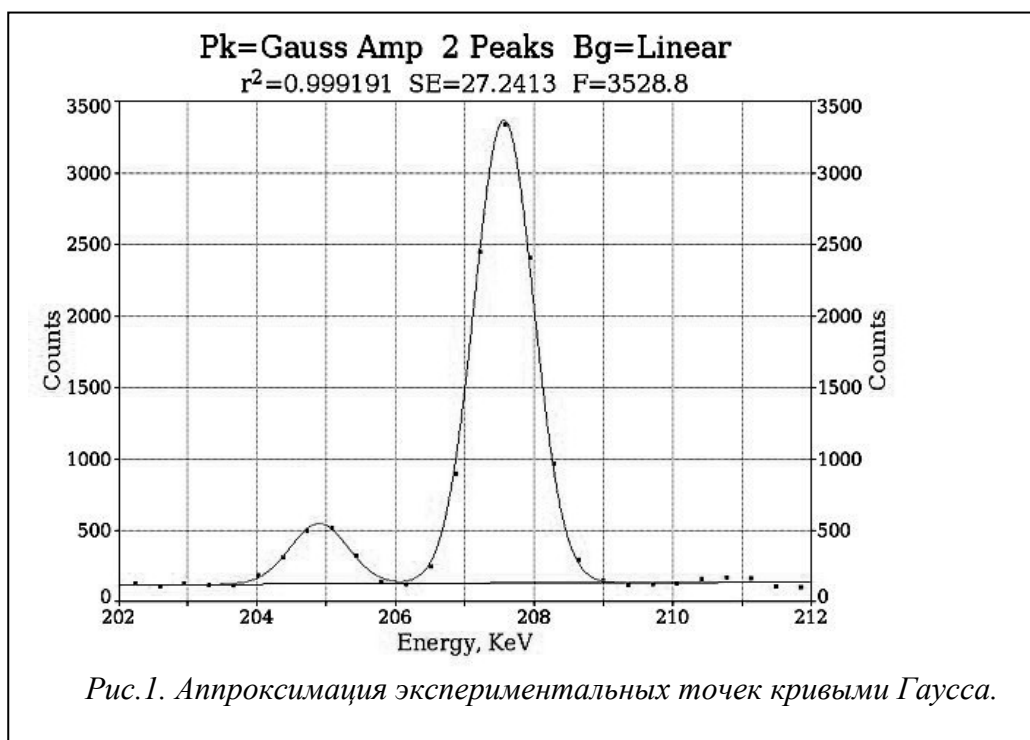
В работе проводится исследование зарядового распределения и определение относительных выходов изотопов, образующихся при делении естественной смеси изотопов урана тормозными гамма – квантами при различных энергиях электронов от ускорителя. Эксперименты по изучению реакций фоторасщепления проводятся на разрезном микротроне RTM – 70, созданном в НИИЯФ МГУ. Ускоритель RTM - 70 представляет собой компактный ускоритель электронов на энергию до 70 МэВ. В качестве образца использовался алюминиевый диск с напыленным на него естественной смесью изотопов урана.

Изучение осколков деления представляет большой интерес, знание зарядового распределения и количественных характеристик осколков деления позволяет исследовать механизмы и динамику процесса деления при различных энергиях возбуждения ядра.

Облучения проводятся при энергии электронов – 19.5, 29.1, 43.5, 48.3 и 67.7 МэВ. Помимо реакции фоторасщепления при таких энергиях гамма квантов происходят также фотоядерные реакции с вылетом до нескольких нейтронов ( $\gamma, xn$ ). В результате фотоделения и фотоядерных реакций в образце образуется огромное число радиоактивных изотопов. Идентификация изотопов и определение их количественных характеристик проводится методом гамма – спектроскопии. В общем случае анализ проводится путем измерения активности, энергии и периода полураспада элементов, образовавшихся в результате фоторасщепления. Гамма спектры остаточной активности облученного образца измеряются с помощью HPGe детектора, изготовленного из сверхчистого германия.

Перед облучением был измерен фон на детекторе в отсутствии образца и спектр необлученного уранового образца. Таким образом, удалось определить все гамма пики, отвечающие за естественный распад урана и пики, отвечающие за фон детектора. При анализе спектров не облученного урана использовалась база данных LUNDL [1] и каталог гамма – спектров на германиевом детекторе INEL [2].

Были проанализированы спектры облученного урана. Образование каждого изотопа идентифицировалось по  $\gamma$ - линиям в спектрах  $\gamma$ - квантов. Радиоактивные изотопы, образующиеся в результате облучения, имеют различные периоды полураспада. Идентификация изотопов сводится к определению энергии пика и его периода полураспада. Поиск максимумов в спектрах гамма квантов и определение их интенсивностей производится с помощью специализированного программного обеспечения Fytk. Программа анализа данных Fytk позволяет производить поиск и разделение пиков, а также их нелинейную аппроксимацию методом наименьших квадратов. Каждый отдельный пик аппроксимируется суммой кривой Гаусса и прямой линии (рис.1). Кривая Гаусса дает параметры  $\gamma$  – пика: центроида (энергия пика), интенсивность, ширина и площадь. Прямая линия соответствует комптоновской подложке. В случае перекрывающихся пиков спектр аппроксимируется суммой гауссиан.



Активация исходного радиоактивного ядра 1 в ядро 2, с последующим его распадом в ядро 3, описывается системой дифференциальных уравнений, решением которых будет:

$$N_1(t) = N_{10} \cdot e^{-\lambda_1 t},$$

$$N_2(t) = \frac{N_{10} \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}).$$

где  $N_1(t)$  и  $N_2(t)$  – количество ядер, а  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – постоянные распада ядер 1 и 2 соответственно.

После облучения образца снимается ряд спектров в последовательные интервалы времени. Для каждого исследуемого пика определяется значение площади под пиком в соответствующем диапазоне времени. Строится кривая распада. По этой кривой определяется период полураспада. Идентификация радиоактивных изотопов сводится к сопоставлению полученных значений энергии пика и периода полураспада с данными из специализированных баз ядерных данных.

Было проведено облучение уранового образца с энергией электронов 19.5 МэВ. Время облучения – 3ч. 35мин. В таблице 1. приведены результаты расшифровки спектров.

Таблица 1. Результат анализа спектров облученного образца урана.

E(gamma),KeV	Amplitude	Isotope	T1/2	Ig%
59,24	824,87	$^{237}\text{U}$	6,75 d	34,5
63,00	1645,89	$^{234}\text{Th}$ Естественный распад		
72,52	232,09	Фон		
74,59	459,47	Фон		
79,12	153,86	$^{134}\text{Te}$	41,8 m	20,9
84,10	314,89	Фон		
89,58	133,43	Фон		
92,22	4043,23	$^{234}\text{Th}$ Естественный распад		
112,70	396,17	$^{234}\text{Th}$ Естественный распад		
143,40	618,85	$^{235}\text{U}$ Естественный распад		
149,36	534,13	$^{131}\text{Te}$	25,0 m	69
150,78	415,45	$^{85}\text{Kr}^m$	4,480 h	75
163,00	245,07	$^{235}\text{U}$ Естественный распад		
164,13	155,89	$^{237}\text{U}$	6,75 d	1,86
165,53	803,78	$^{139}\text{Ba}$	83,06 m	23,7
180,52	194,42	$^{134}\text{Te}$	41,8 m	18,3
185,38	2659,14	$^{235}\text{U}$ Естественный распад		
205,00	230,75	$^{235}\text{U}$ Естественный распад		
207,68	1599,67	$^{237}\text{U}$	6,75 d	21,2
210,29	234,71	$^{134}\text{Te}$	41,8 m	22,7
227,97	167,25	$^{132}\text{Te}$	76,896 h	88
249,44	502,44	$^{135}\text{Xe}$	9,14 h	90
277,57	182,67	$^{134}\text{Te}$	41,8 m	21,2
293,02	122,78	$^{143}\text{Ce}$	33,039 h	42,8
306,60	214,64	$^{101}\text{Tc}$	14,22 m	89
316,28	99,47	$^{105}\text{Ru}$	4,44 h	11,1
402,41	186,43	$^{87}\text{Kr}$	76,3 m	49,6
462,55	128,50	$^{138}\text{Cs}$	33,41 m	30,7

529,78	269,21	$^{133}I$	20,8 h	87
555,43	192,58	$^{91}Y^m$	49,71 m	95
641,22	257,48	$^{142}La$	91,1 m	47
658,05	243,55	$^{97}Nb$	72,1 m	98
676,91	88,06	$^{105}Ru$	4,44 h	15,7
724,14	127,59	$^{105}Ru$	4,44 h	47
743,33	284,55	$^{97}Zr$	16,91 h	93
749,79	72,47	$^{91}Sr$	9,63 h	23,61
766,95	136,58	$^{234}Pa^m$ Естественный распад		
847,15	552,13	$^{134}I$	52,5 m	95,4
884,19	356,54	$^{134}I$	52,5 m	64,9
1001,27	128,14	$^{234}Pa^m$ Естественный распад		
1024,24	49,44	$^{91}Sr$	9,63 h	33
1131,64	50,13	$^{135}I$	6,57 h	22,74
1260,81	76,99	$^{134}I$	6,57 h	28,9
1384,35	244,01	$^{92}Sr$	2,71 h	90

Полученные результаты согласуются с данными из других экспериментальных работ [3,4].

1. <http://ie.lbl.gov/toi/>
2. <http://id.inel.gov/gamma/>
3. S.Kahane and A.Wolf. Phys. Rev. C 32, 1944-1955 (1985)
4. D.De Frenne, H.Thierens, B.Proot, E.Jacobs, P.De Gelder, A.De Clercq, and W.Westmeier. Phys. Rev. C 26, 1356-1368 (1982)