

**ИССЛЕДОВАНИЕ ^{178m}Ta и ^{180m}Hf
В РЕАКЦИЯХ
С ВЫЛЕТОМ ЗАРЯЖЕННЫХ
ЧАСТИЦ**

**Желтоножский В.А., Желтоножская М.В.,
Саврасов А.Н., Черняев А.П., Яценко В.Н.**

*Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев
Московский государственный университет*

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ С
ВЫЛЕТОМ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ПРИ $E_{\max} = 55$ МэВ НА МИШЕНЯХ
ЕСТЕСТВЕННОГО ТАНТАЛА И
ВОЛЬФРАМА**

**Желтоножский В.А., Желтоножская М.В.,
Белышев С.С.,
Саврасов А.Н., Черняев А.П.**

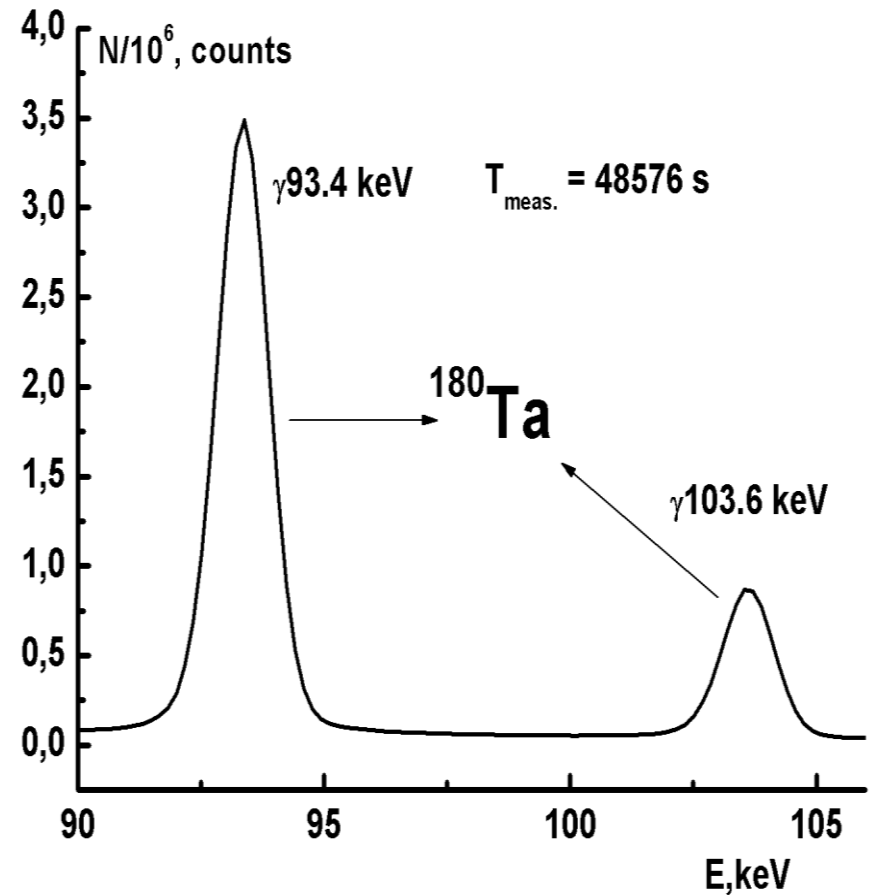
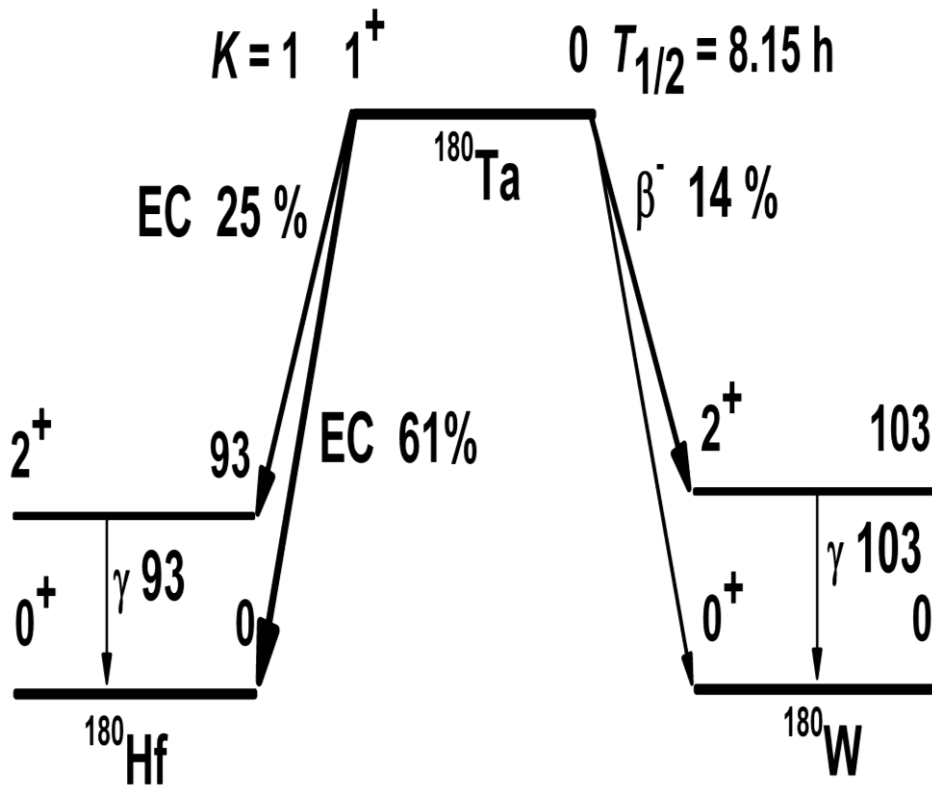
*Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев
Московский государственный университет*

Методика проведения экспериментов

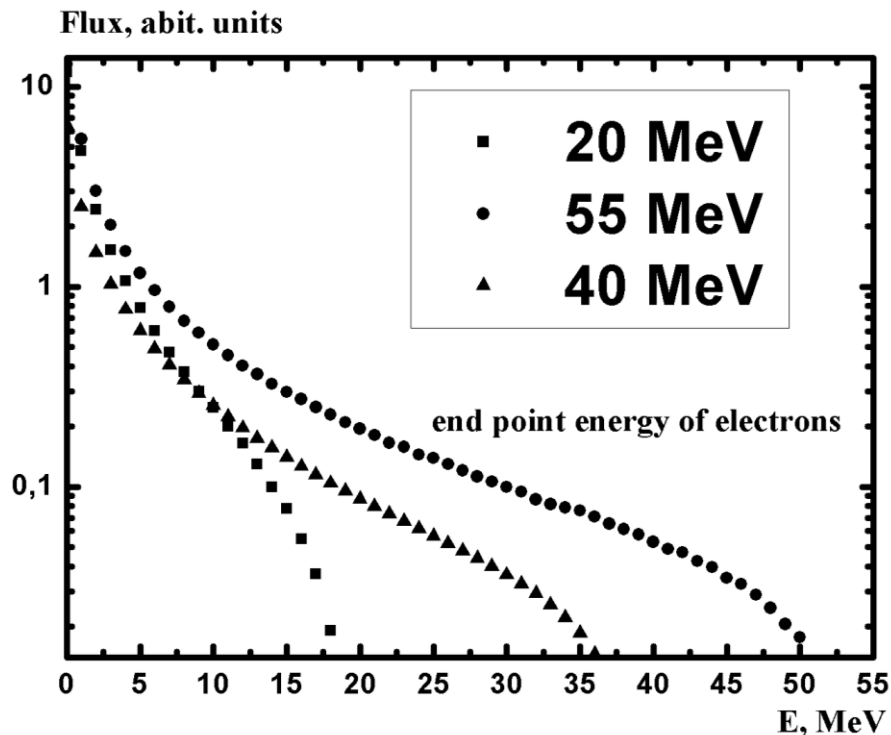


Активационная методика; Измерения в низкофоновых условиях; Нетспектрум, Винспектрум, GENIE-2000 для набора и анализа гамма-спектров

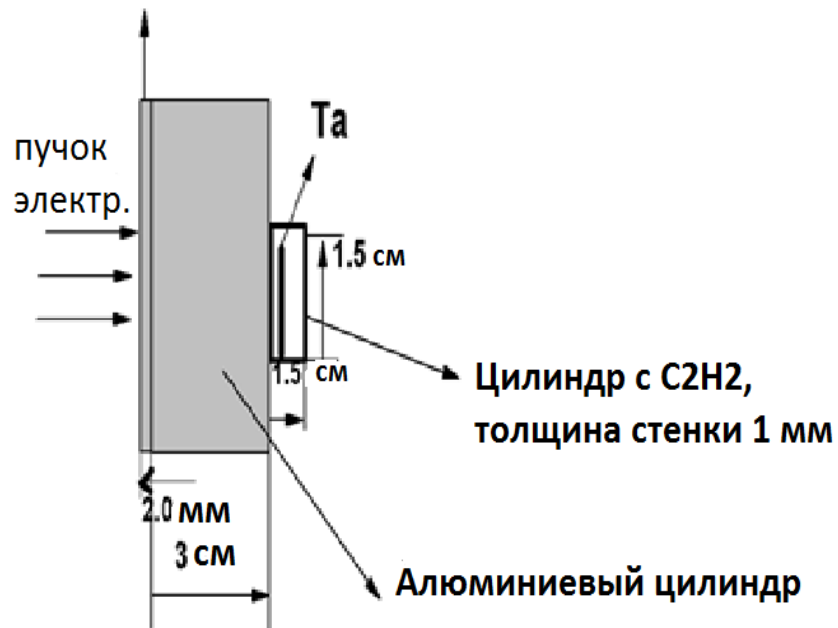
Фрагменты схемы распада ^{180}Ta (слева) и γ -спектра тантала, облученного тормозными γ -квантами с $E^{\text{max}} = 55 \text{ МэВ}$ (справа).



Методика определения потока тормозных γ -квантов



Металлическая фольга
Ta в форме цилиндра

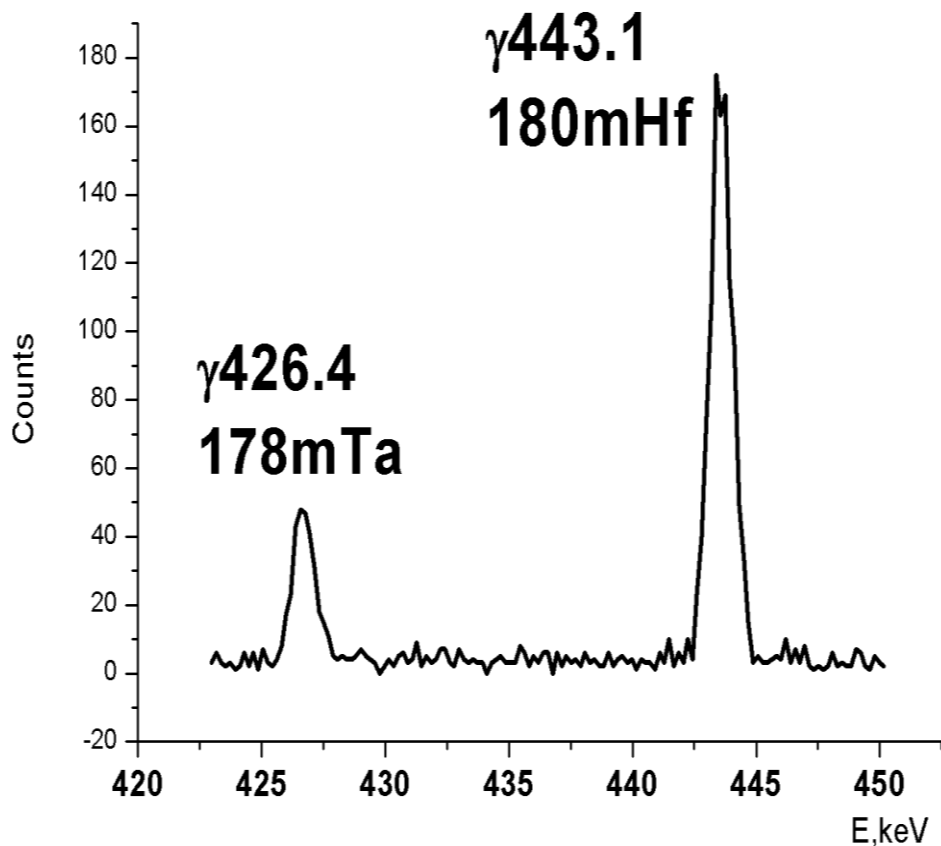
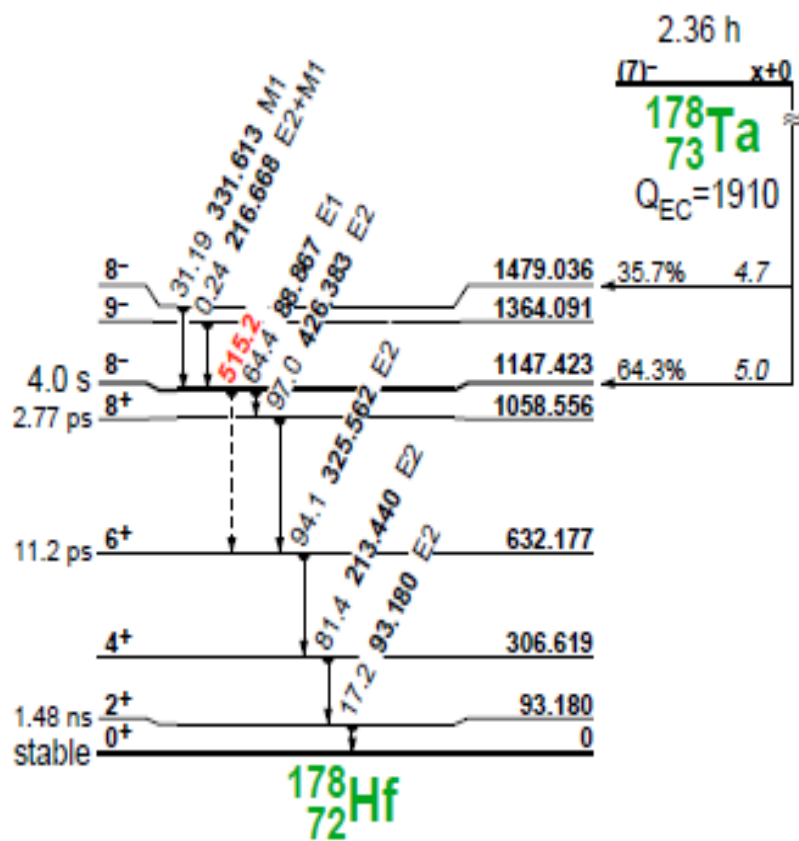


$$Y_{\text{mon}}^{\text{aver}} = \frac{\sum \sigma \varphi}{\sum \varphi}$$

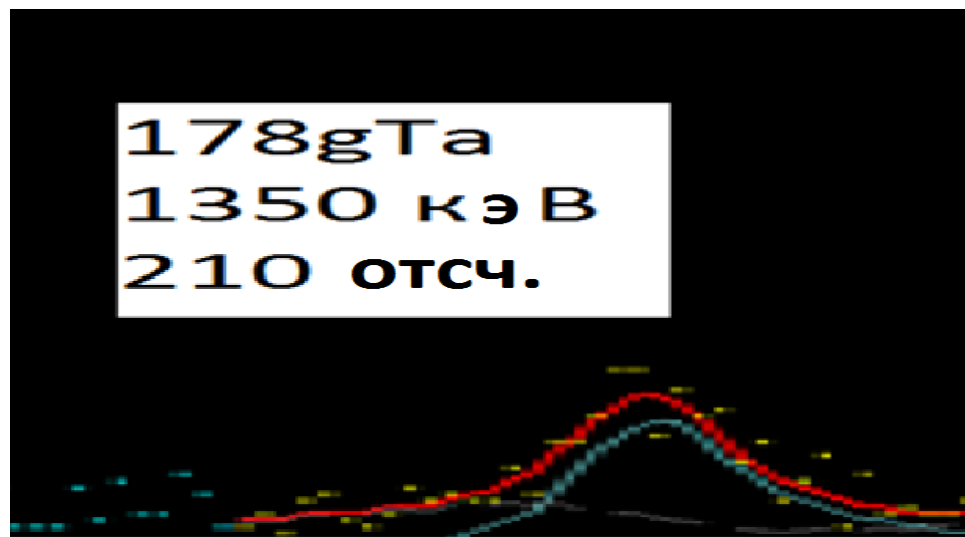
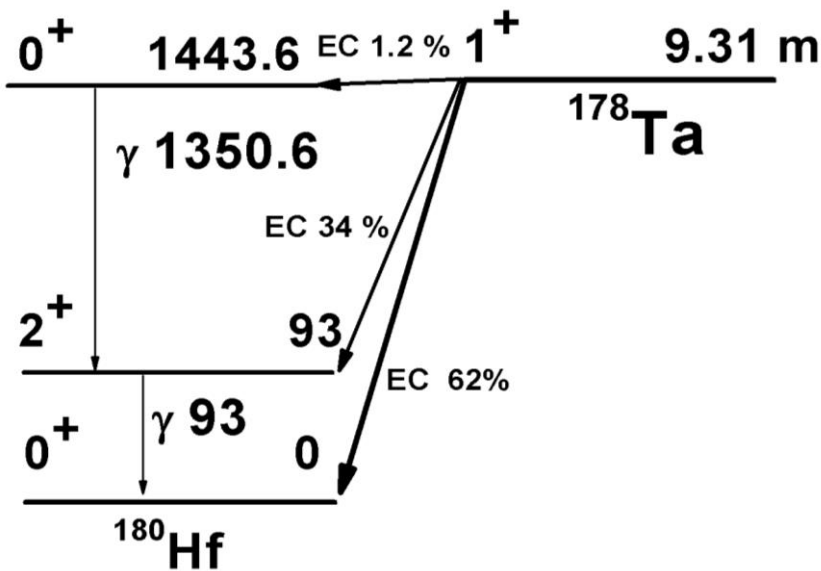
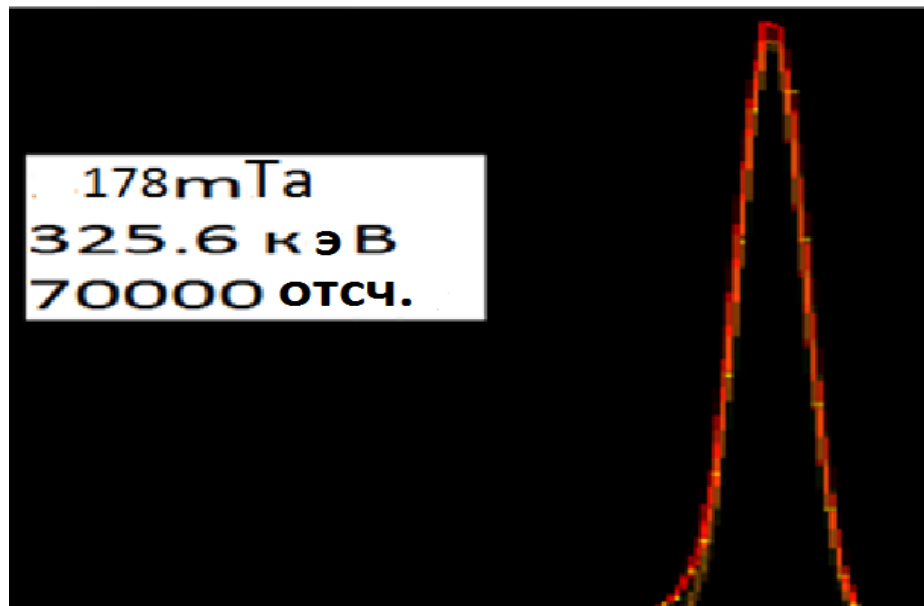
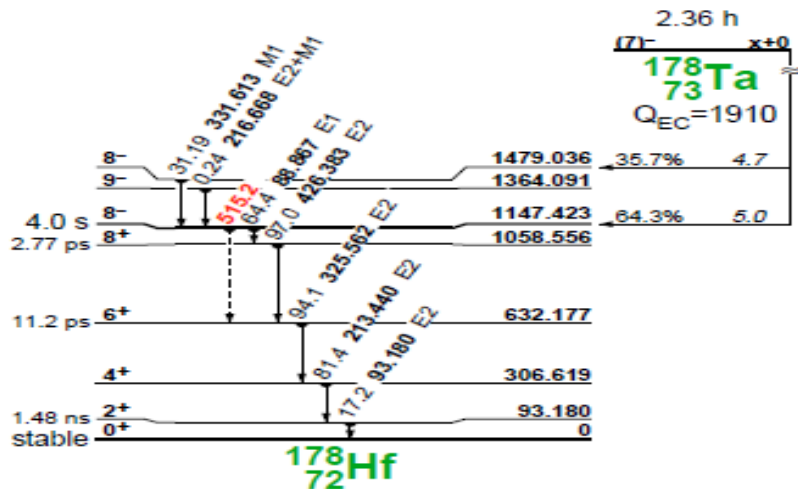


Фрагменты схемы распада ^{178m}Ta (слева) и γ -спектра (справа)

$^{180}\text{Ta}(\gamma, 2n)^{178m}\text{Ta}$ (0.012%)



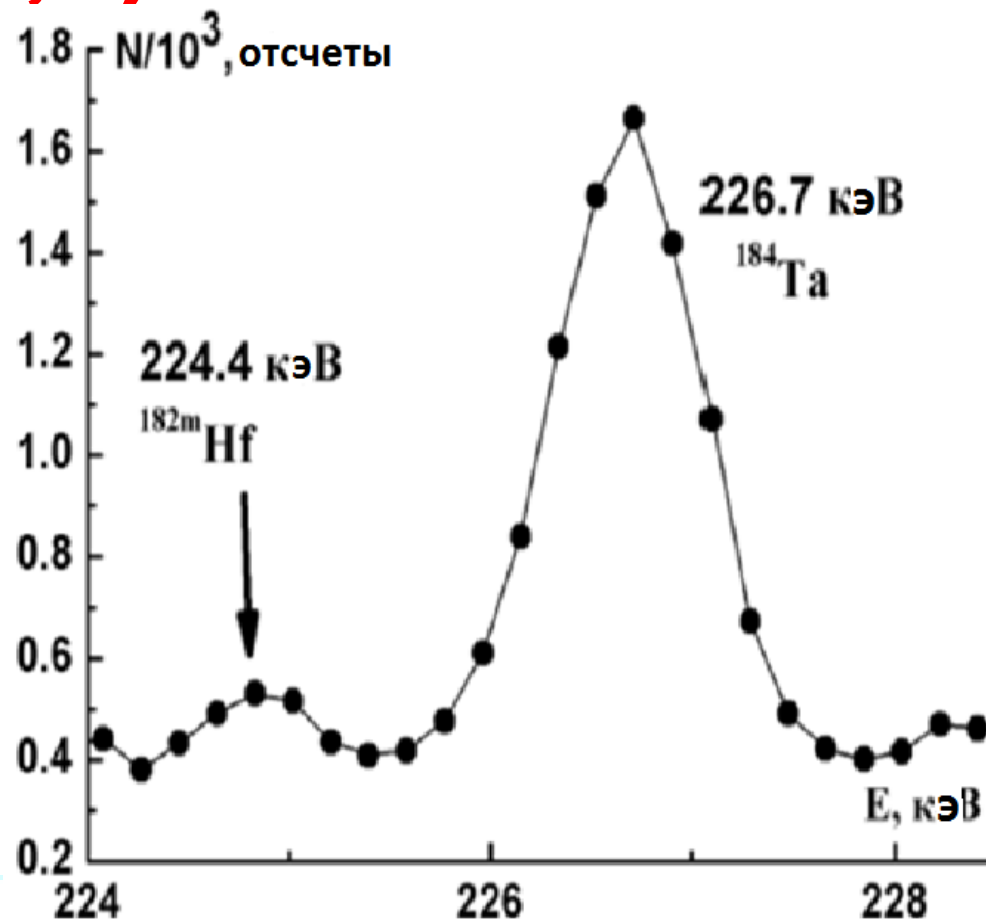
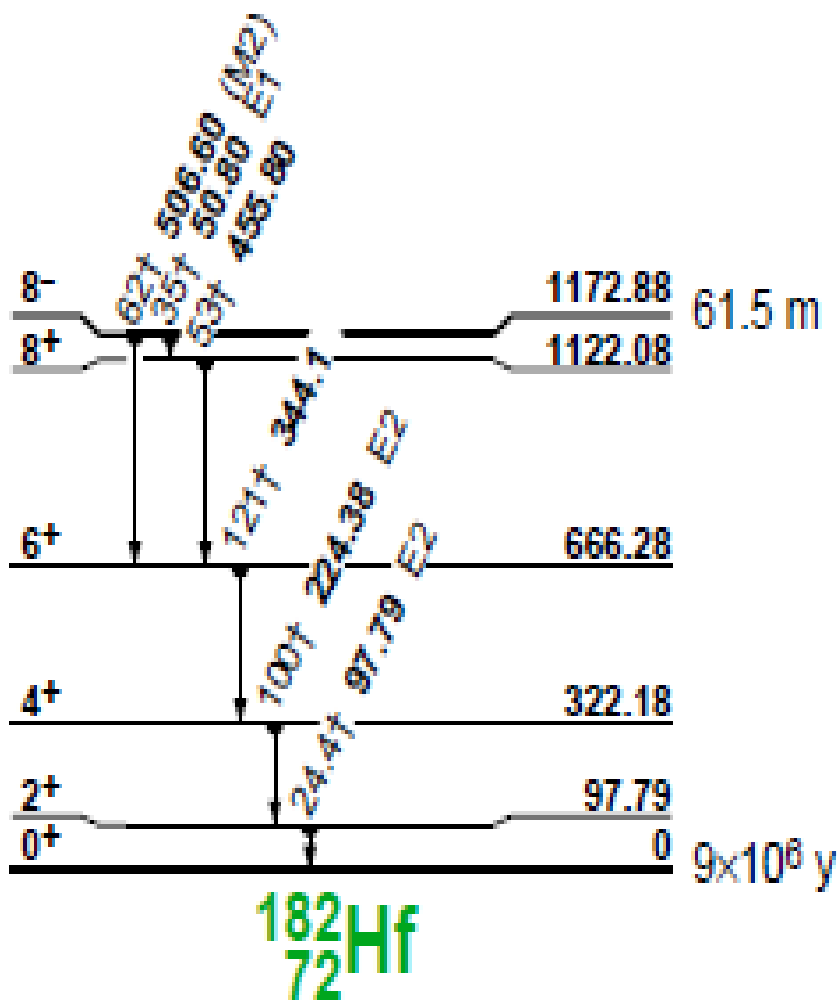
Фрагменты схемы распада $^{178m,g}\text{Ta}$ (слева) и γ -спектра (справа). $^{181}\text{Ta}(\gamma, 3n)^{178m,g}\text{Ta}$



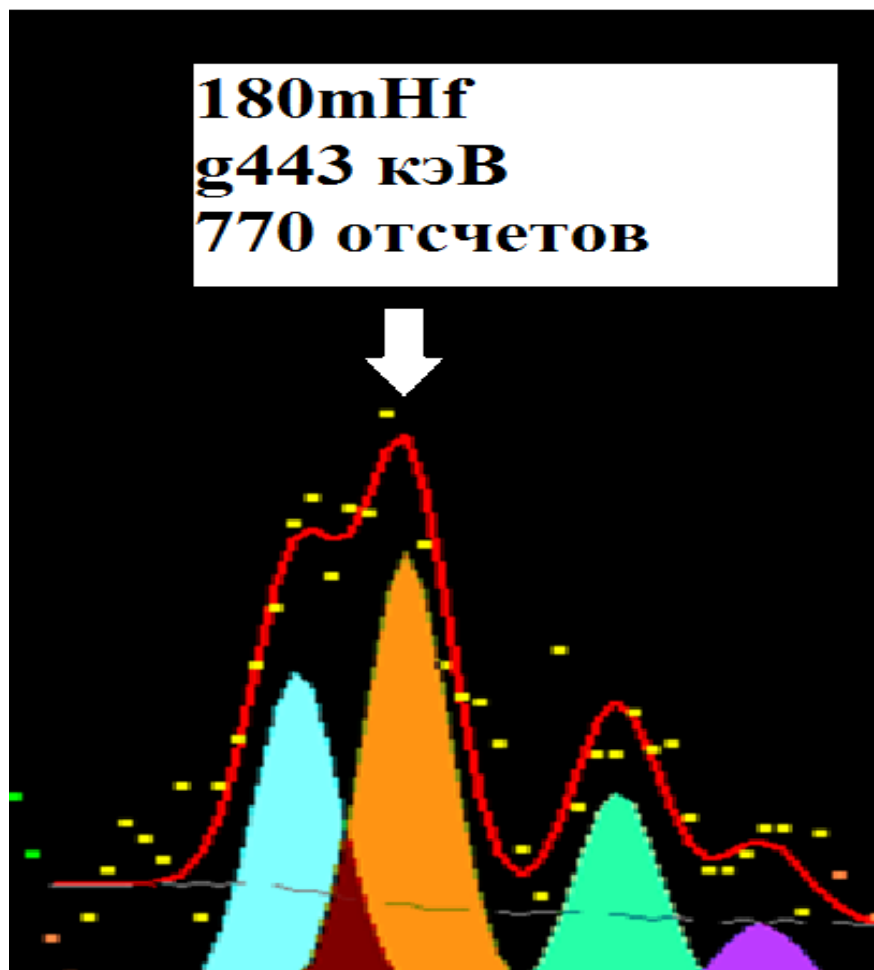
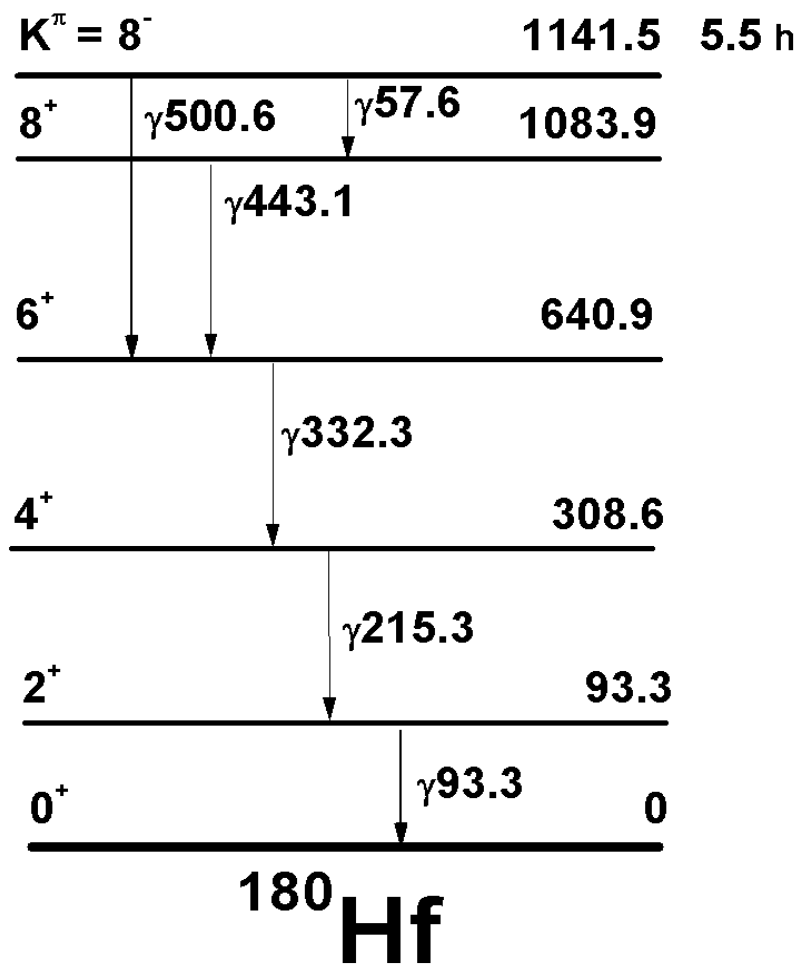
Экспериментальные и теоретические средневзвешенные выходы $(\gamma, 2n)$ - и изомерные отношения выходов $(\gamma, 3n)$ - реакций

Реакция	$E_{гр}$, МэВ	$Y_{эксп}$, мкб	Y , TALYS-1.9, мкб
$^{180}\text{Ta}(\gamma, 2n)^{178m}\text{Ta}$	20	$4.85(50) \times 10^4$	3.8×10^4
$Y_m/Y_g(\gamma, 3n)$	55	0.26(3)	0.41

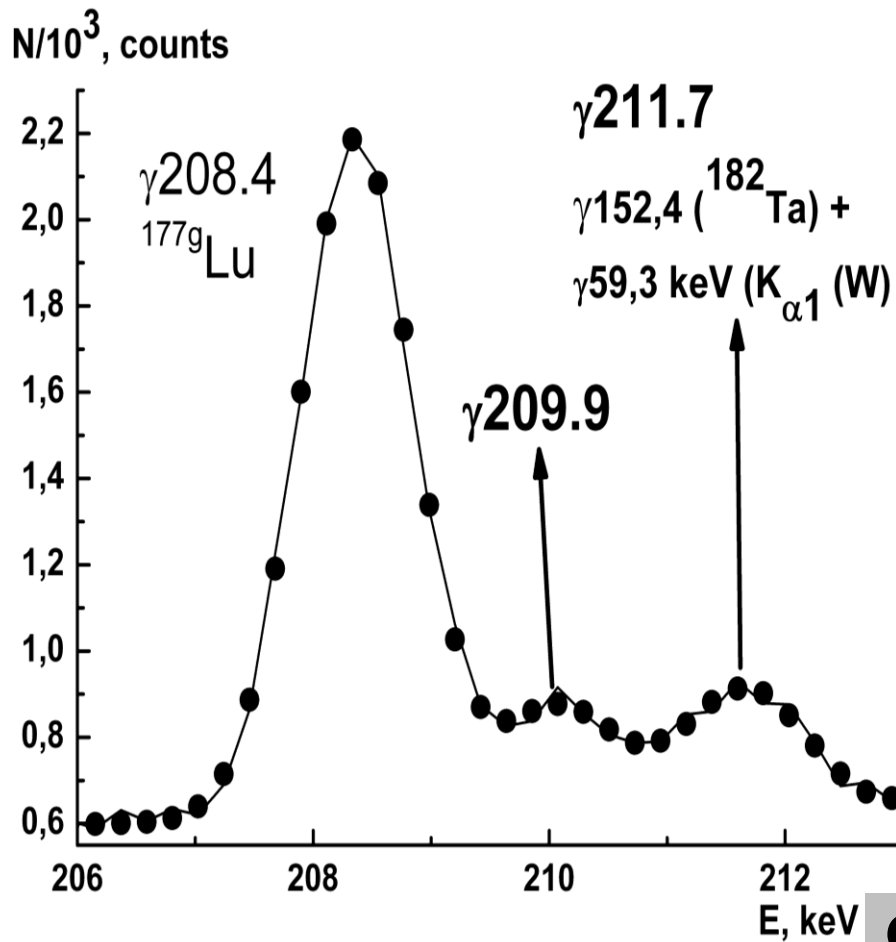
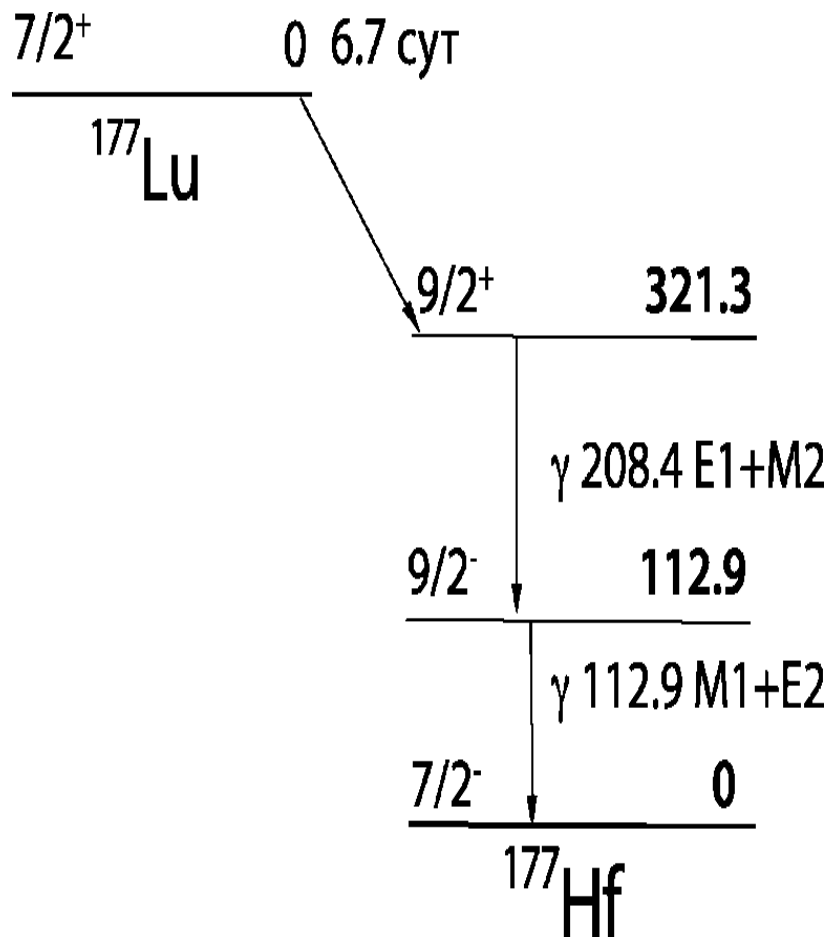
Фрагменты схемы распада ^{182m}Hf (слева) и γ -спектра (справа).



Фрагменты схемы распада ^{180m}Hf (слева) и γ -спектра (справа)



Фрагменты схемы распада ^{177}Lu (слева) и γ -спектра (справа)



Экспериментальные и теоретические средневзвешенные выходы (γ, α)-реакций

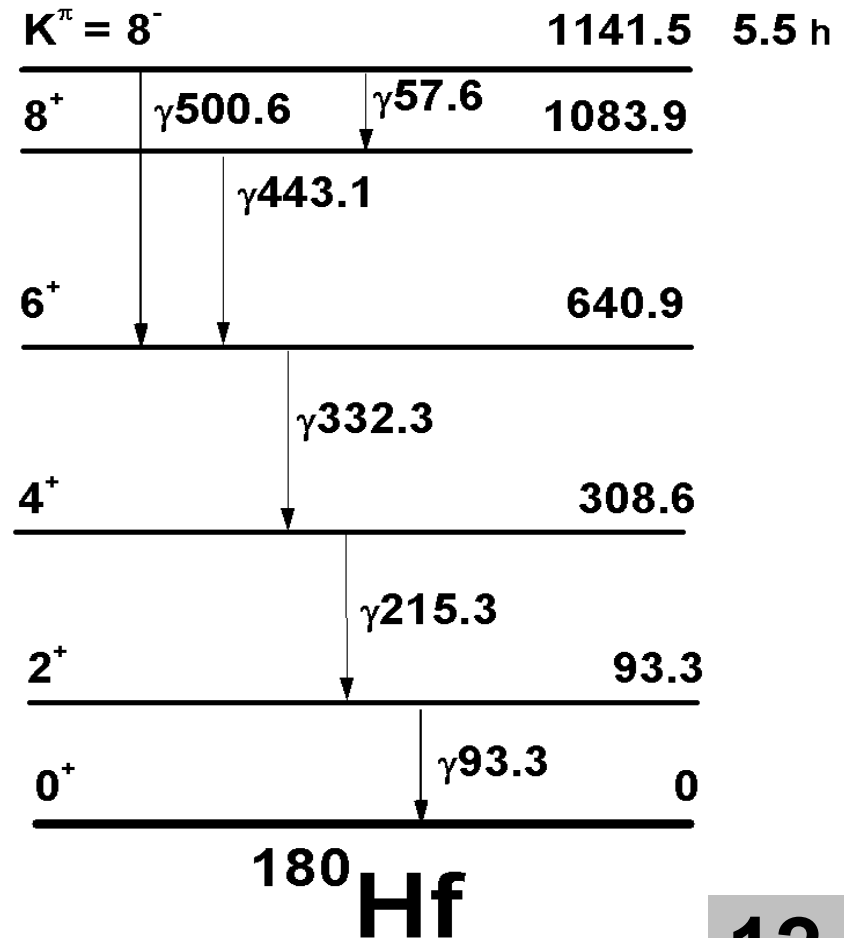
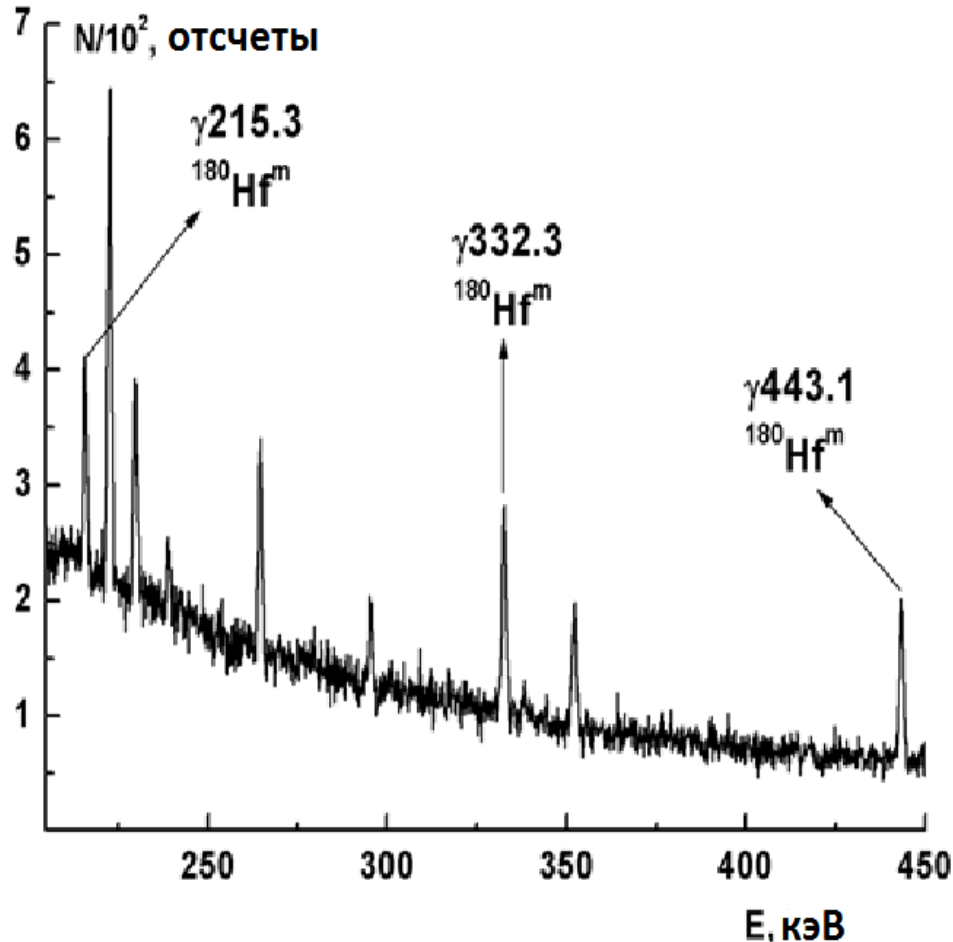
Реакция	$E_{\text{гр}}, \text{МэВ}$	$Y_{\text{эксп}}, \text{мкб}$	$Y, \text{TALYS-1.9}, \text{мкб}$	$Y_{\text{dir}}, \text{мкб}$
$^{184}\text{W}(\gamma, \alpha)^{180\text{m}}\text{Hf}$	40	1.0(2)	$3\text{-}5 \times 10^{-3}$	2-3
$^{184}\text{W}(\gamma, \alpha)^{180\text{m}}\text{Hf}$	55	3.5(3)		
$^{186}\text{W}(\gamma, \alpha)^{182\text{m}}\text{Hf}$	40	3.8(11)		
$^{186}\text{W}(\gamma, \alpha)^{182\text{m}}\text{Hf}$	55	3.6(9)		
$^{181}\text{Ta}(\gamma, \alpha)^{177\text{g}}\text{Lu}$	40	33(3)		
$^{181}\text{Ta}(\gamma, \alpha)^{177\text{g}}\text{Lu}$	55	46(5)		

Экспериментальные средневзвешенные сечения наработки $^{179}\text{Hf}^{m2}$ и ^{180}Hf [1]

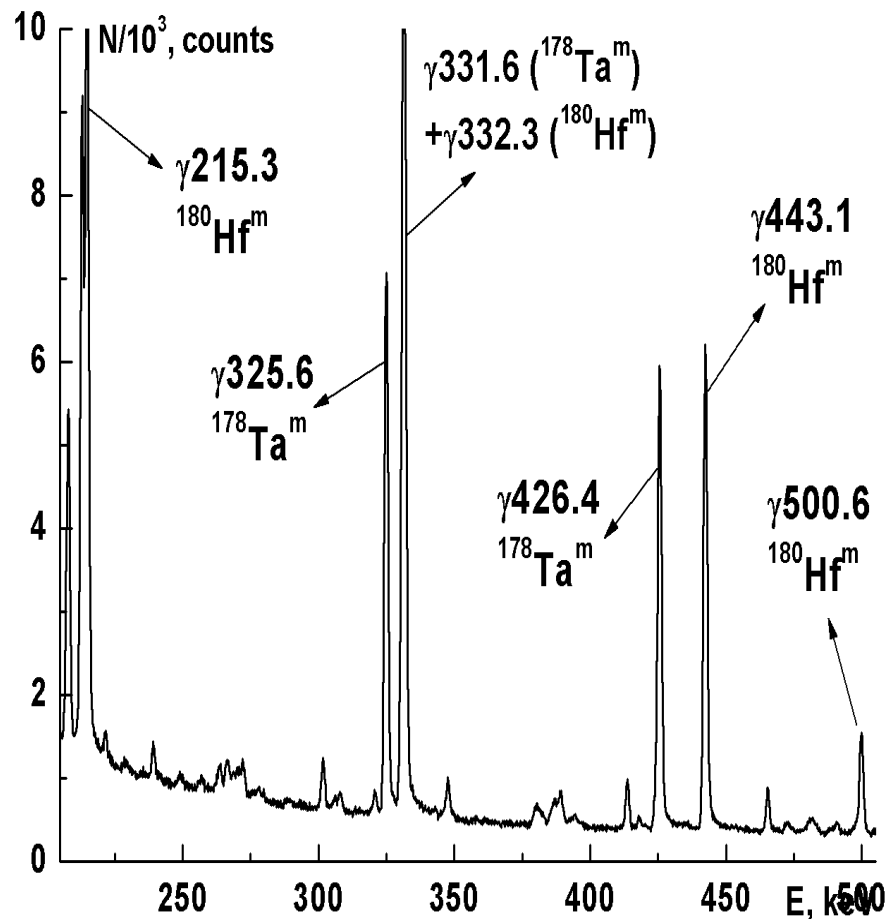
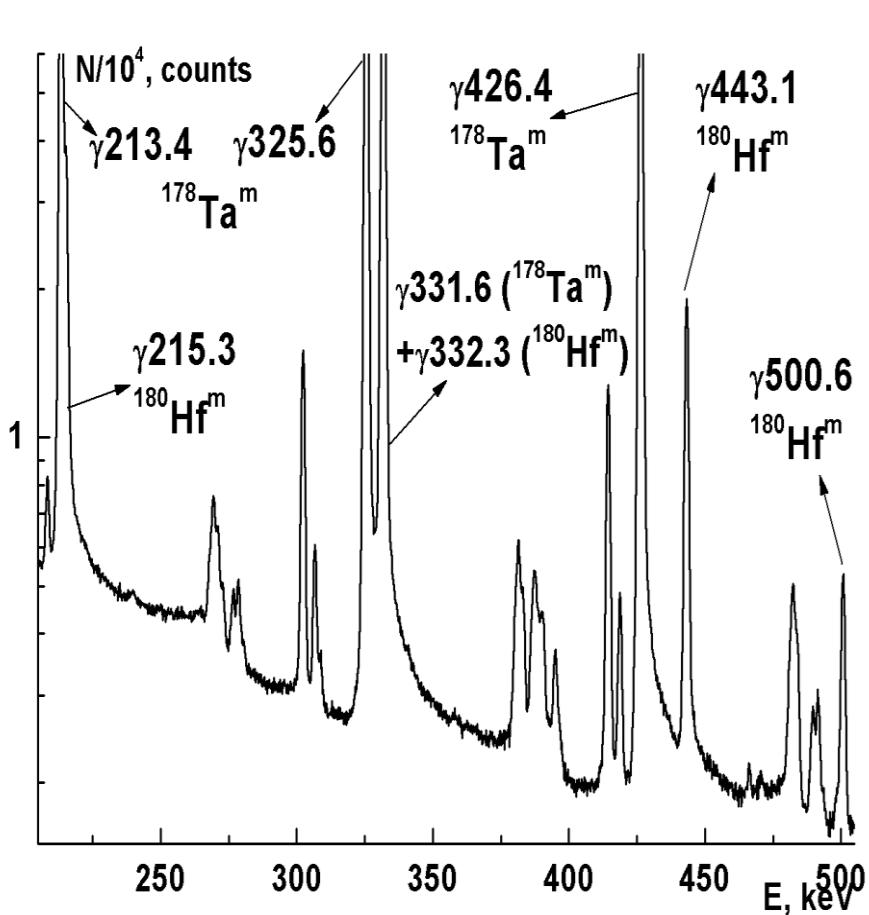
Реакция	Энергия <i>E_{γ, макс}</i> (МэВ)	σ^{cp} , мкбн	
		Эксп.	TALYS-1.9
$^{179}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{179m2}\text{Hf}$	17.5	≤ 0.3	2.0
	20	3.8 ± 1.2	1.5
	37	≤ 1.3	2.6
	55	0.7 ± 0.1	2.2
$^{180}\text{Hf}(\gamma, \gamma')^{180m}\text{Hf}$	20	3.9 ± 0.4	2.2
	55	2.0 ± 0.3	3.1

[1] Zheltonozhsky V.A., Zheltonozhskaya M.V., Savrasov A.N. *et al.* Investigation of Excitation of K Isomers $^{179m2}\text{Hf}$ and ^{180m}Hf in (γ, γ') Reactions. *Phys. Atom. Nuclei* 83, 539–544 (2020).

Фрагменты схемы распада ^{180m}Hf (справа) и γ -спектра (слева).



Фрагменты гамма-спектров облученных мишеней тантала при $E_{\text{гр}} = 40$ (слева) и 55 МэВ (справа)

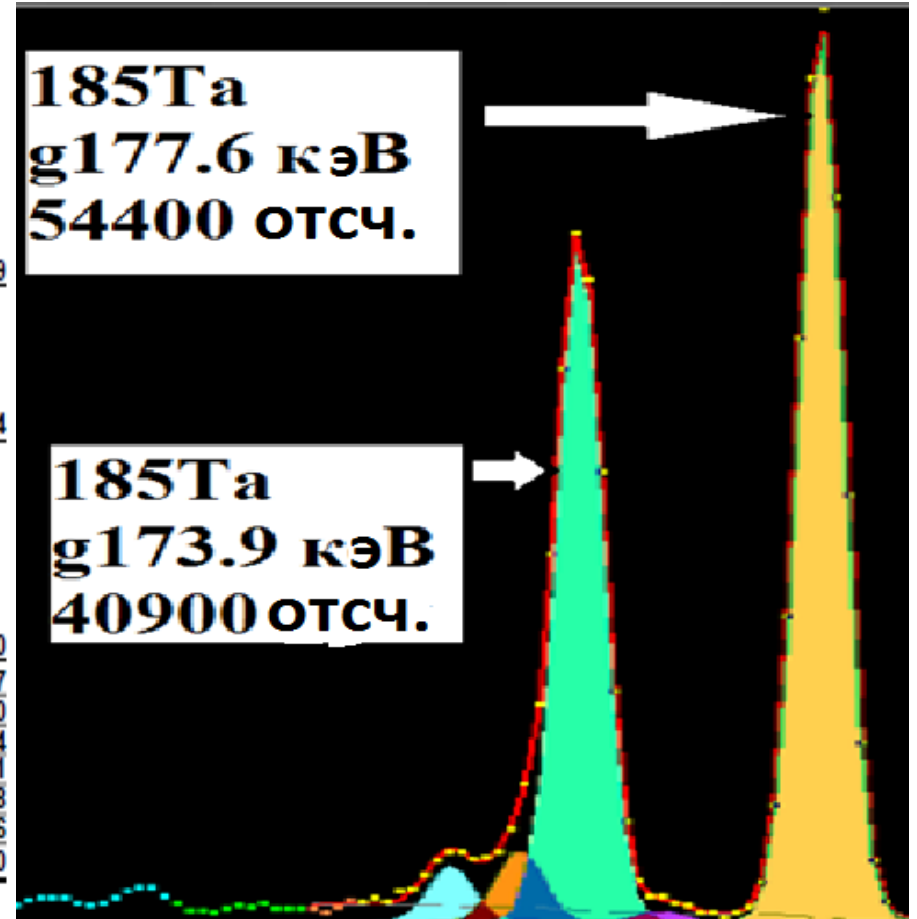
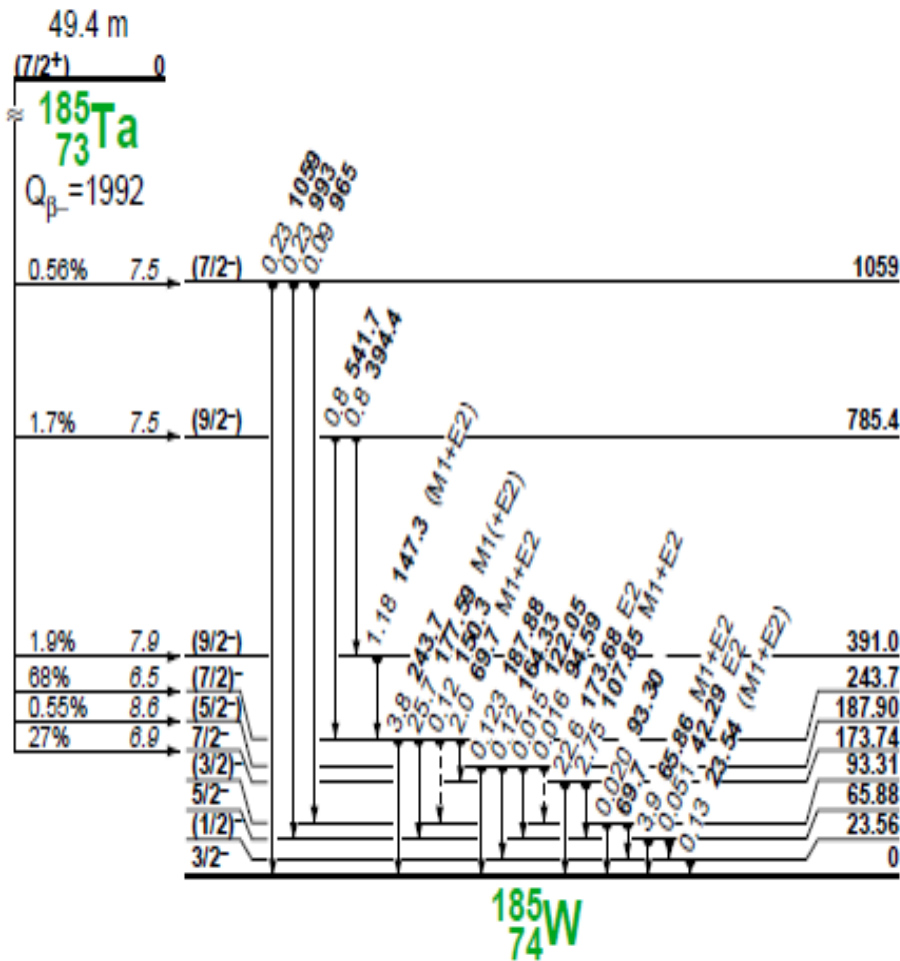


**Экспериментальные и теоретические
средневзвешенные
выходы реакции $^{181}\text{Ta}(\gamma, p)^{180}\text{Hf}^m$**

Энергия $E_{\text{гр}}$ (МэВ)	$\langle Y \rangle, \mu\text{b}$			
	$\langle Y \rangle_{\text{stat}}^{\text{exp}}$	$\langle Y \rangle_{\text{stat}}^{\text{theor}}$	$\langle Y \rangle_{\text{dir}}^{\text{exp}}$	$\langle Y \rangle_{\text{dir}}^{\text{theor}}$
20	51±5	0.46(1d3)	23±3	21
40	69±9	9.4(1d3)	55±6	57
55	56±6	11(1d3)	50±5	59

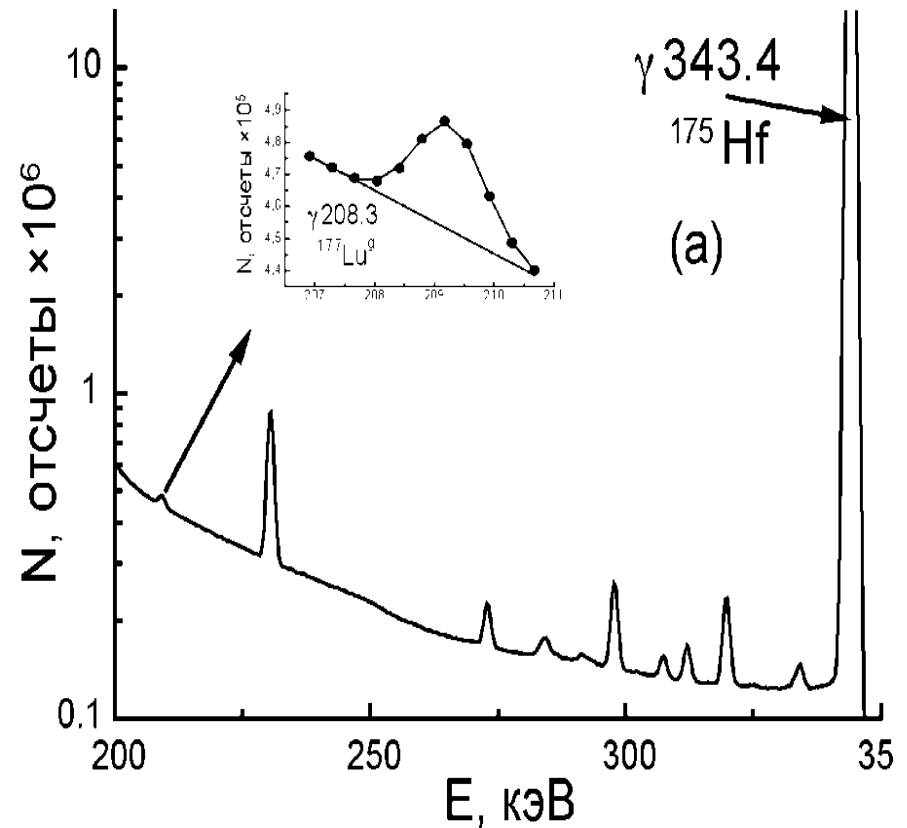
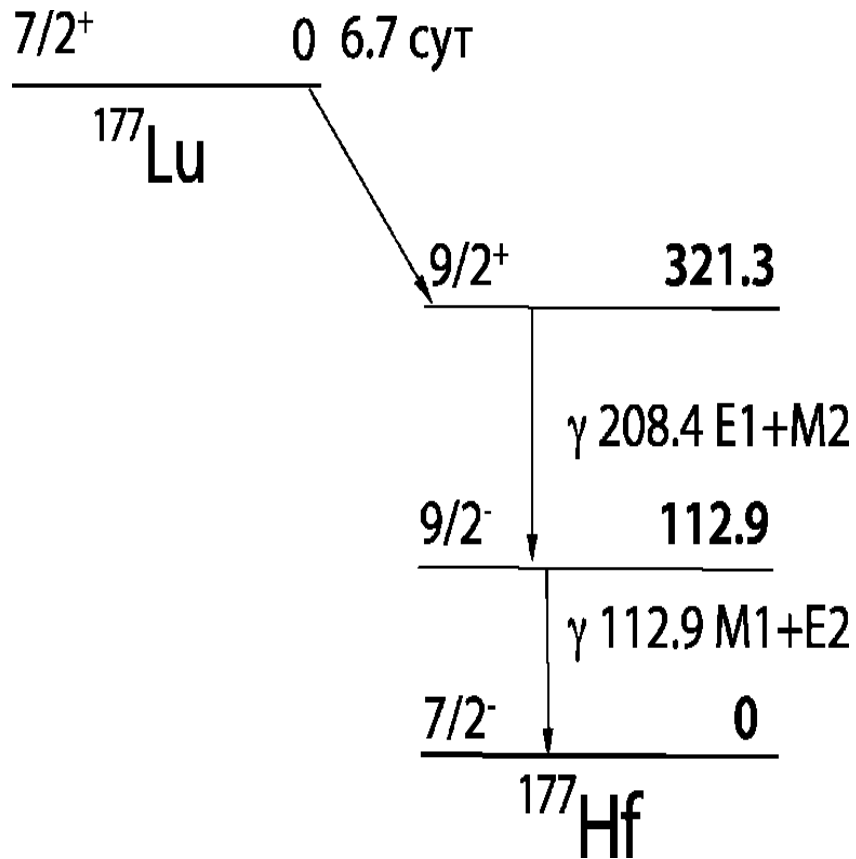
Фрагменты схемы распада ^{185}Ta (слева) и γ -спектра (справа)

$^{186}\text{W}(\gamma, p)^{185}\text{Ta}$



Фрагменты схемы распада ^{177}Lu (слева) и γ -спектра (справа).

$^{178}\text{Hf}(\gamma, p)^{177}\text{Lu}$. $E_{\text{гр}}=20$ МэВ



Экспериментальные и теоретические средневзвешенные выходы (γ, p)-реакций

Реакция	$E_{\text{гр}},$ МэВ	$Y_{\text{эксп}},$ мкб $B_k=8.2$	$Y_{\text{эксп}},$ мкб $B_k=6.4$	$Y,$ TALYS-1.9, мкб	$Y_{\text{dir}},$ мкб
$^{186}\text{W}(\gamma, p)^{185}\text{Ta}$	40	723(40)	594(60)		600
$^{186}\text{W}(\gamma, p)^{185}\text{Ta}$	55	910(50)	801(80)	64	600
$^{178}\text{Hf}(\gamma, p)^{177}\text{Lu}$ [2]	20	1360 \pm 190	583(80)	6.5	1500

[2] Zheltonozhsky V.A., Zheltonozhskaya M.V., Savrasov A.M. *et al.* Studying the Activation of ^{177}Lu in (γ, pxn) Reactions. *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.* 84, 923–928 (2020).

**Спасибо за
Внимание!**