

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

имени М.В. Ломоносова

Физический факультет

---

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

имени Д.В. Скобельцына

Трощев Сергей Юрьевич

**ФОТОРАСПЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР**

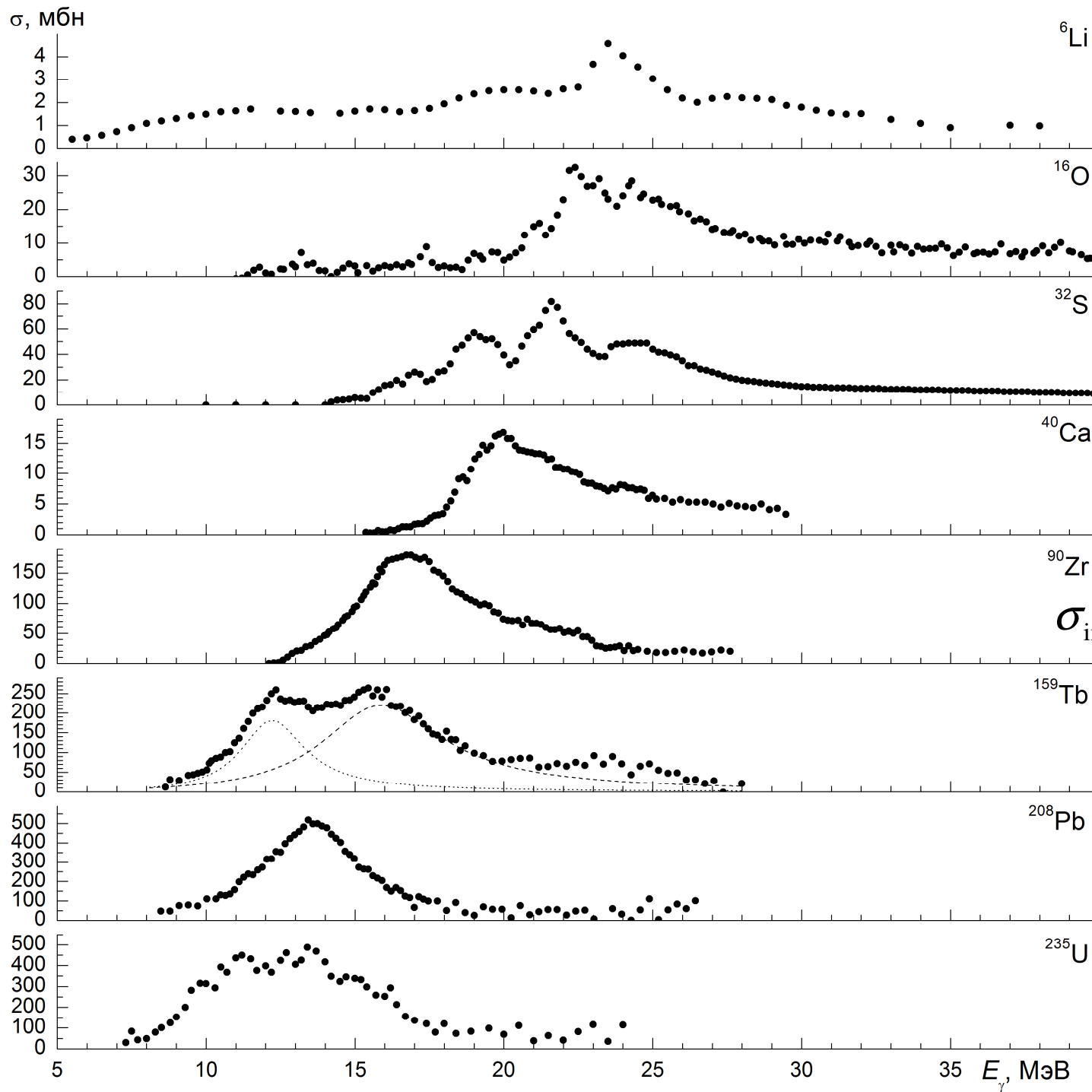
01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

Диссертация на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук

Научный руководитель:  
доктор физико-математических наук,  
профессор Б.С. Ишханов

Москва 2011

# Дипольный Гигантский Резонанс (ДГР)



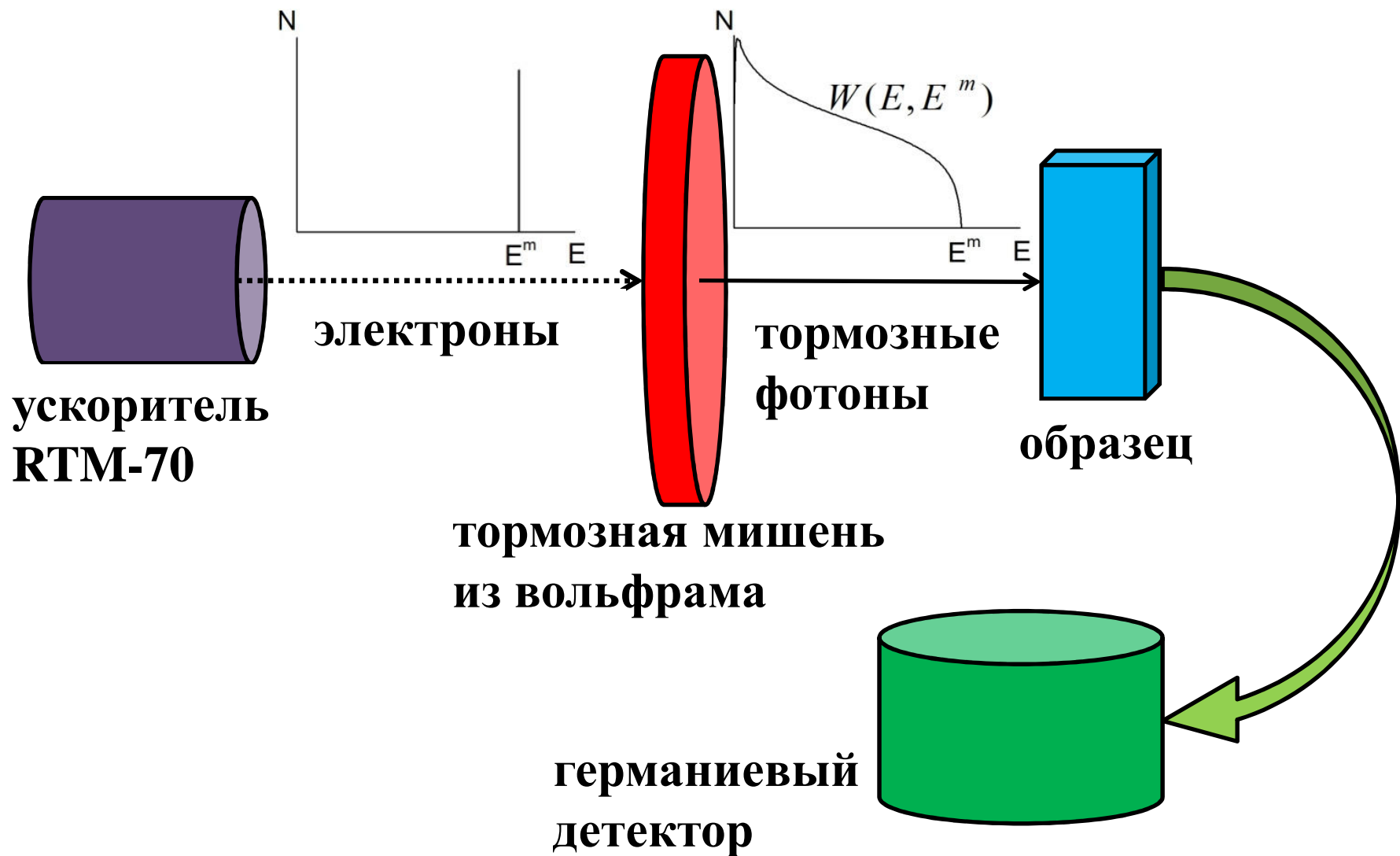
$$E \approx 78 A^{-1/3} \text{ МэВ}$$

$$\sigma_{\text{int}} \approx \frac{60NZ}{A} \text{ МэВ} \cdot \text{мбн}$$

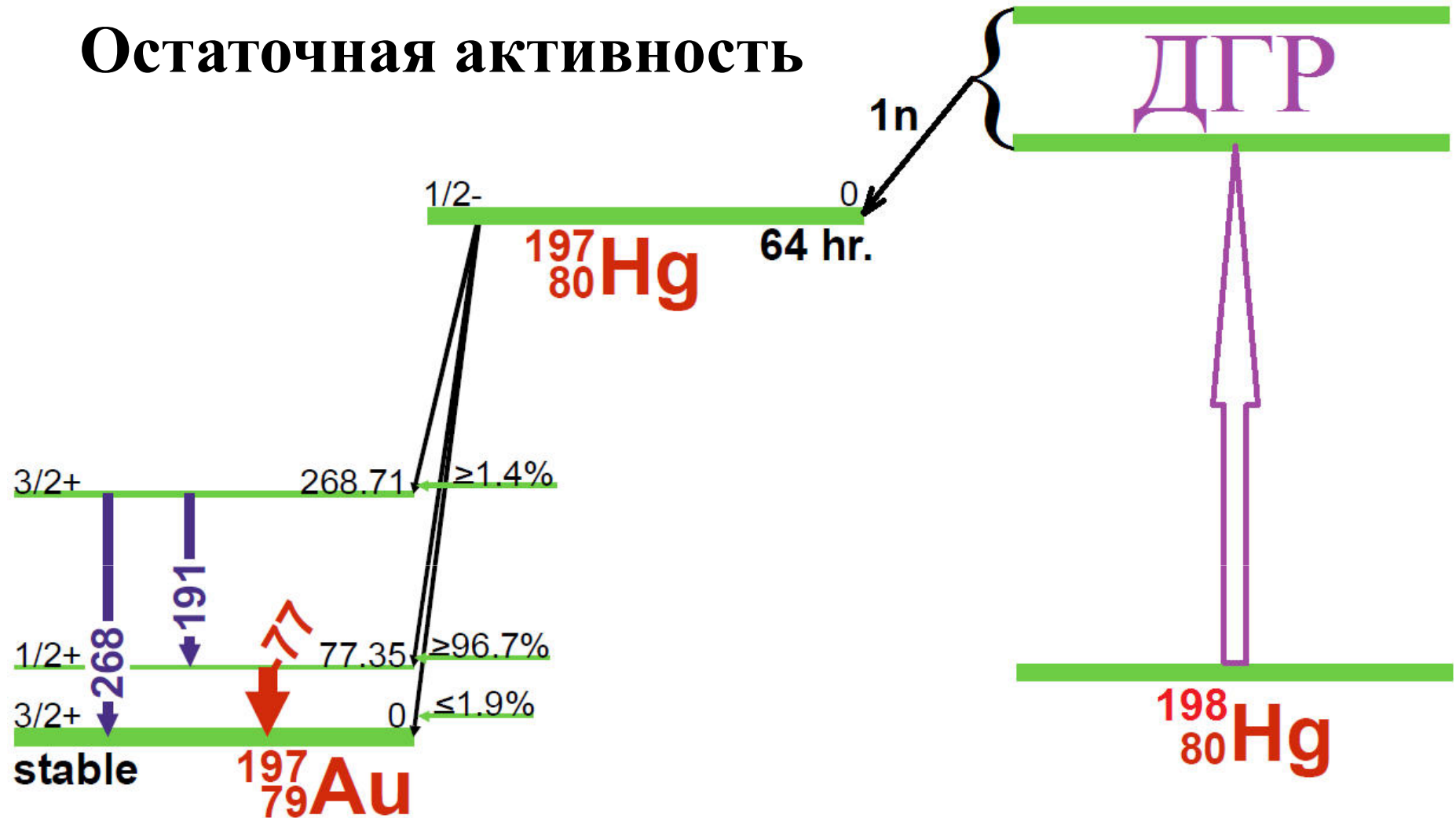
# Методика измерения остаточной активности

- В настоящей работе используется методика измерения остаточной активности. Она позволяет:
  - Исследовать фотонуклонные реакции различной множественности без прямой регистрации образующихся нейтронов.
  - Исследовать фотопротонные реакции.
  - Измерять в одном эксперименте выходы, величины которых отличаются на 3-4 порядка.
  - Исследовать фотонуклонные реакции с образованием ядер в изомерных состояниях
- Измеренные выходы фотонуклонных реакций могут быть использованы для проверки и уточнения сечений фотонуклонных реакций, измеренных в экспериментах на пучках тормозных и квазимонохроматических фотонов.

# Эксперимент по исследованию ДГР на тормозном пучке

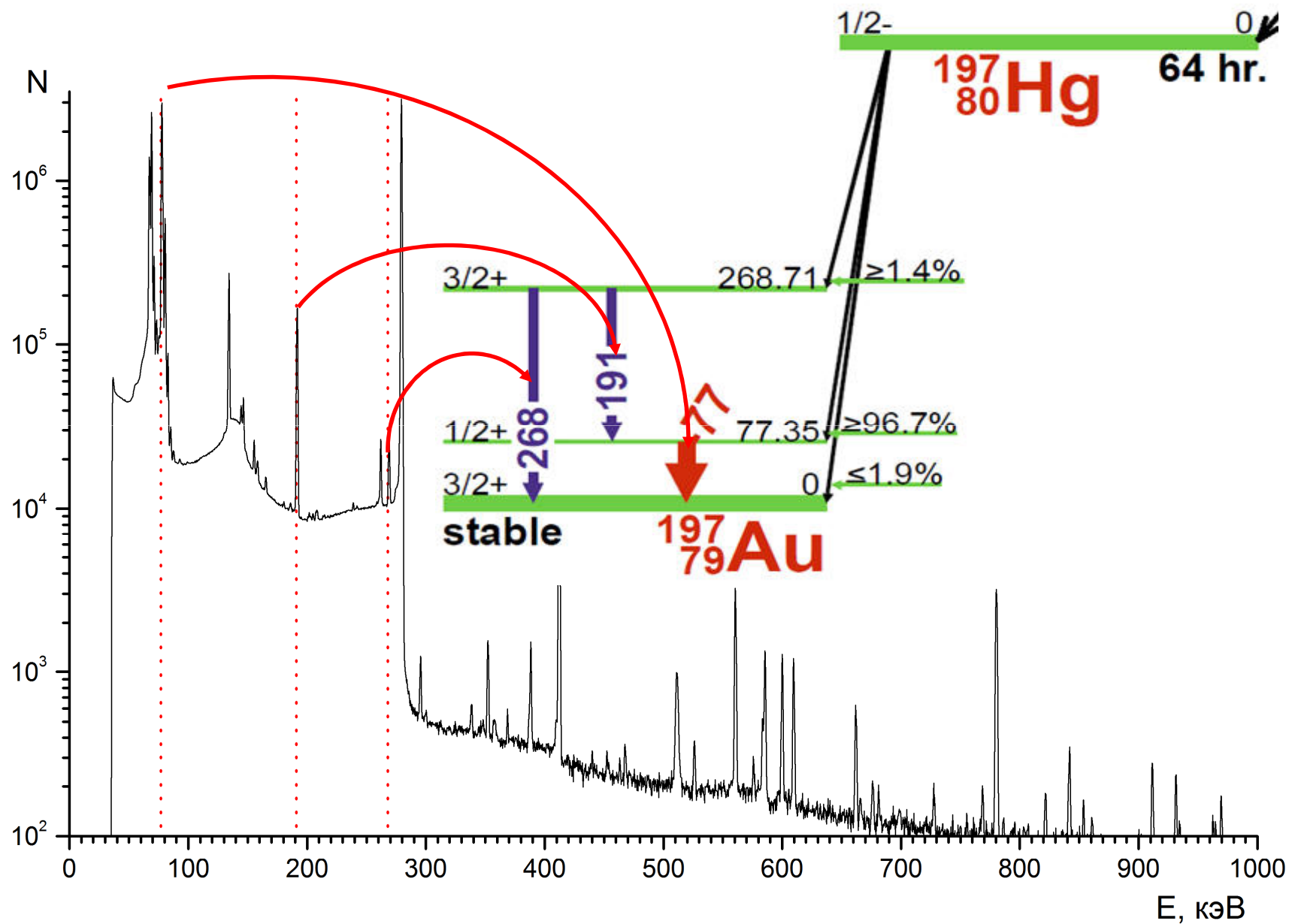


# Остаточная активность

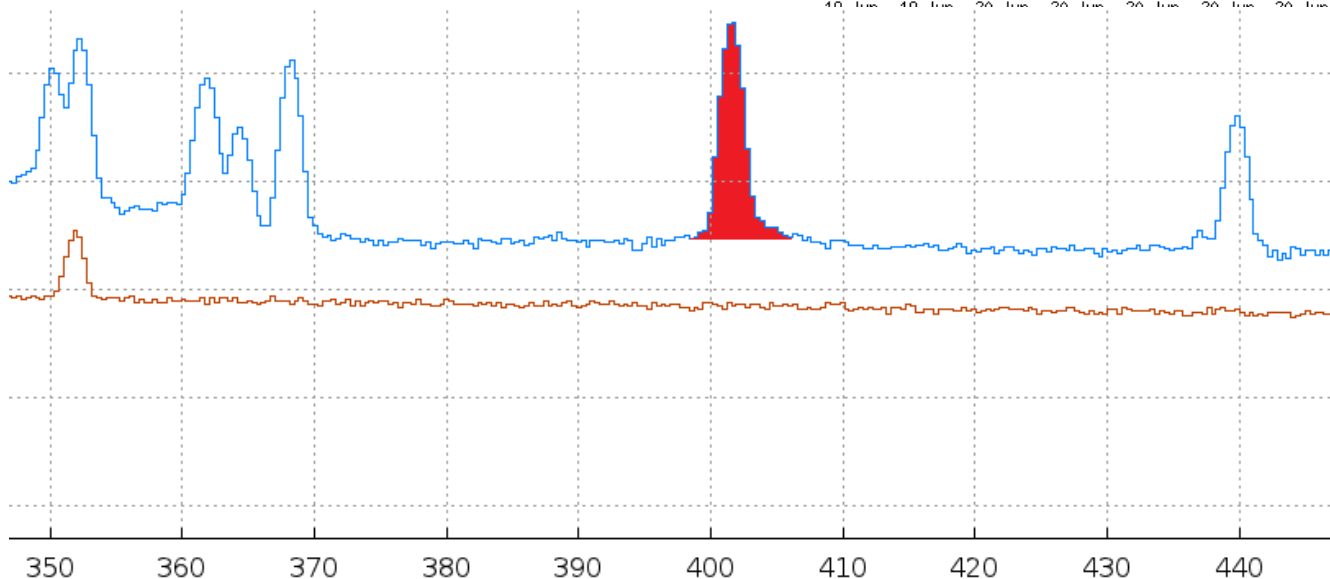
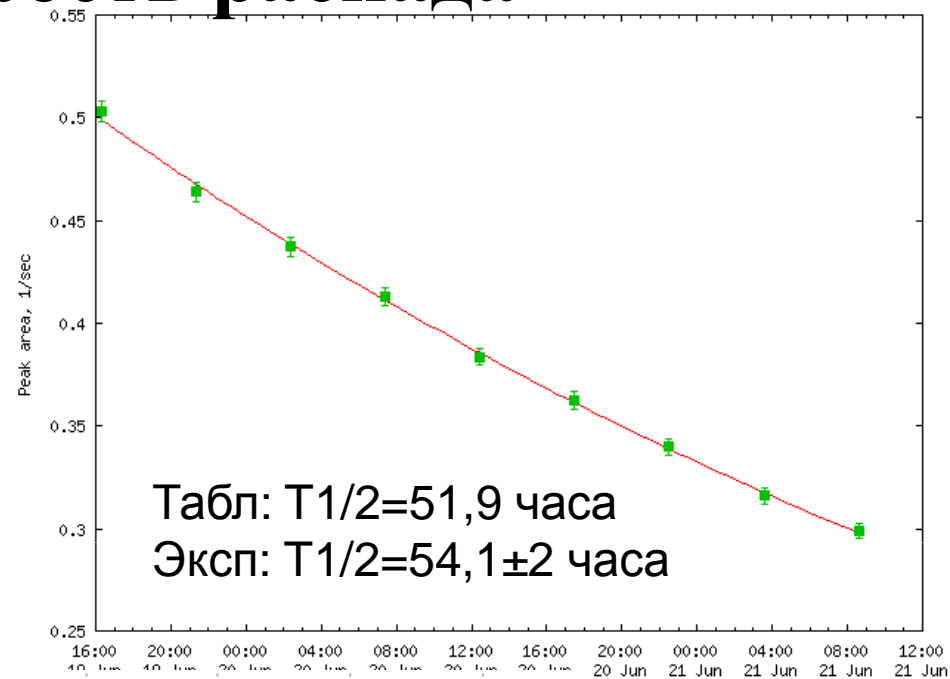
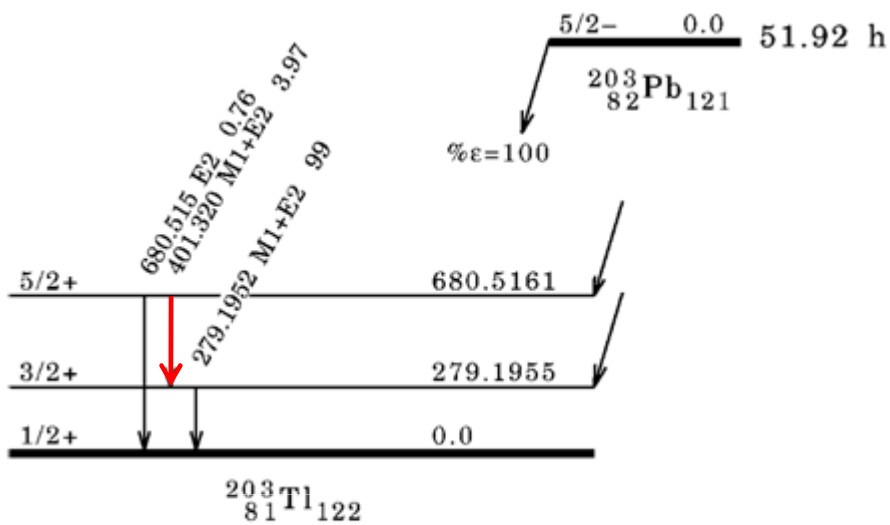


<b>Hg 195</b> 40 h   9,5 h I <sub>γ</sub> (37...) e <sup>-</sup> ; e <sup>+</sup> γ 560; 368... m	<b>Hg 196</b> 0,15 σ 110 + 3000	<b>Hg 197</b> 23,8 h   64,1 h e <sup>-</sup> I <sub>γ</sub> 134... e <sup>-</sup> m	<b>Hg 198</b> 9,97 σ 0,017 + 2	<b>Hg 199</b> 42,6 m   16,87 I <sub>γ</sub> 158; 374... e <sup>-</sup>	<b>Hg 200</b> 23,10 σ < 60	<b>Hg 201</b> 13,18 σ < 60	<b>Hg 202</b> 29,86 σ 5,0	<b>Hg 203</b> 46,59 d β <sup>-</sup> 0,2 γ 279	<b>Hg 204</b> 6,87 σ 0,4
<b>Au 194</b> 38,0 h e <sup>-</sup> β <sup>+</sup> 1,5... γ 328; 294; 1469...	<b>Au 195</b> 30,5 s   186,1 d I <sub>γ</sub> 262... e <sup>-</sup>	<b>Au 196</b> 9,7 h   8,2 s   6,2 d e <sup>-</sup> I <sub>γ</sub> 146; 188... e <sup>-</sup>	<b>Au 197</b> 7,73 s   100 I <sub>γ</sub> 279... e <sup>-</sup>	<b>Au 198</b> 2,30 d   2,6943 d I <sub>γ</sub> 215; 97; 190; 204... β <sup>-</sup> 1,0; 1,4... e <sup>-</sup>	<b>Au 199</b> 3,139 d β <sup>-</sup> 0,3; 0,5... γ 158; 208... g	<b>Au 200</b> 18,7 h   48,4 m β <sup>-</sup> 0,9 γ 368; 498; 579; 256... g	<b>Au 201</b> 26,4 m β <sup>-</sup> 2,3... γ 268; 1026; 1293...	<b>Au 202</b> 28 s β <sup>-</sup> 1,3... γ 543; 517; 613; 167...	<b>Au 203</b> 60 s β <sup>-</sup> 3,5... γ 440; 1125; 1307; 1204... β <sup>-</sup> 2,0... γ 218; 44; 51; 318; 369

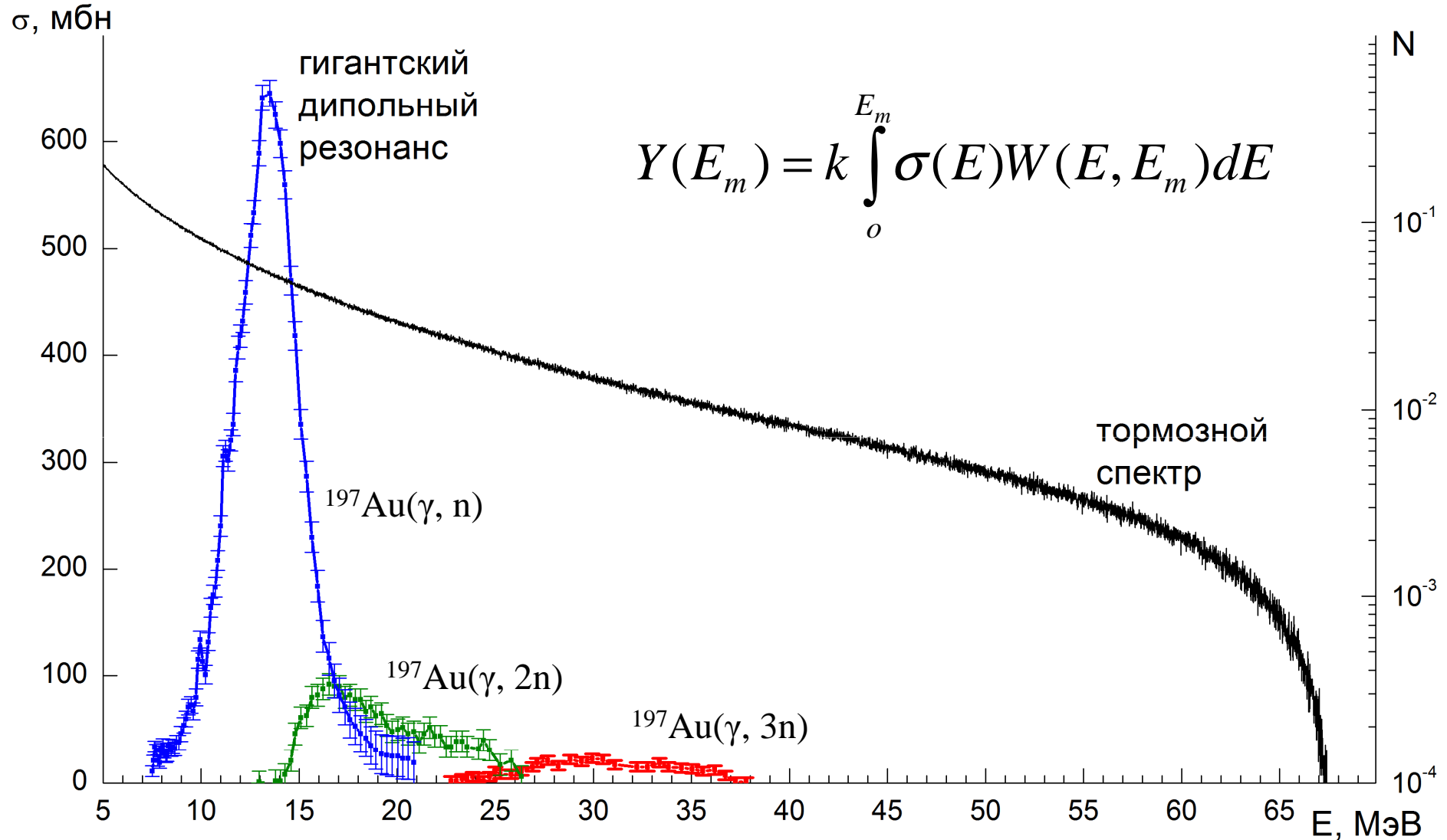
# Измеренный спектр остаточной активности



# Идентификация максимумов: энергия и скорость распада



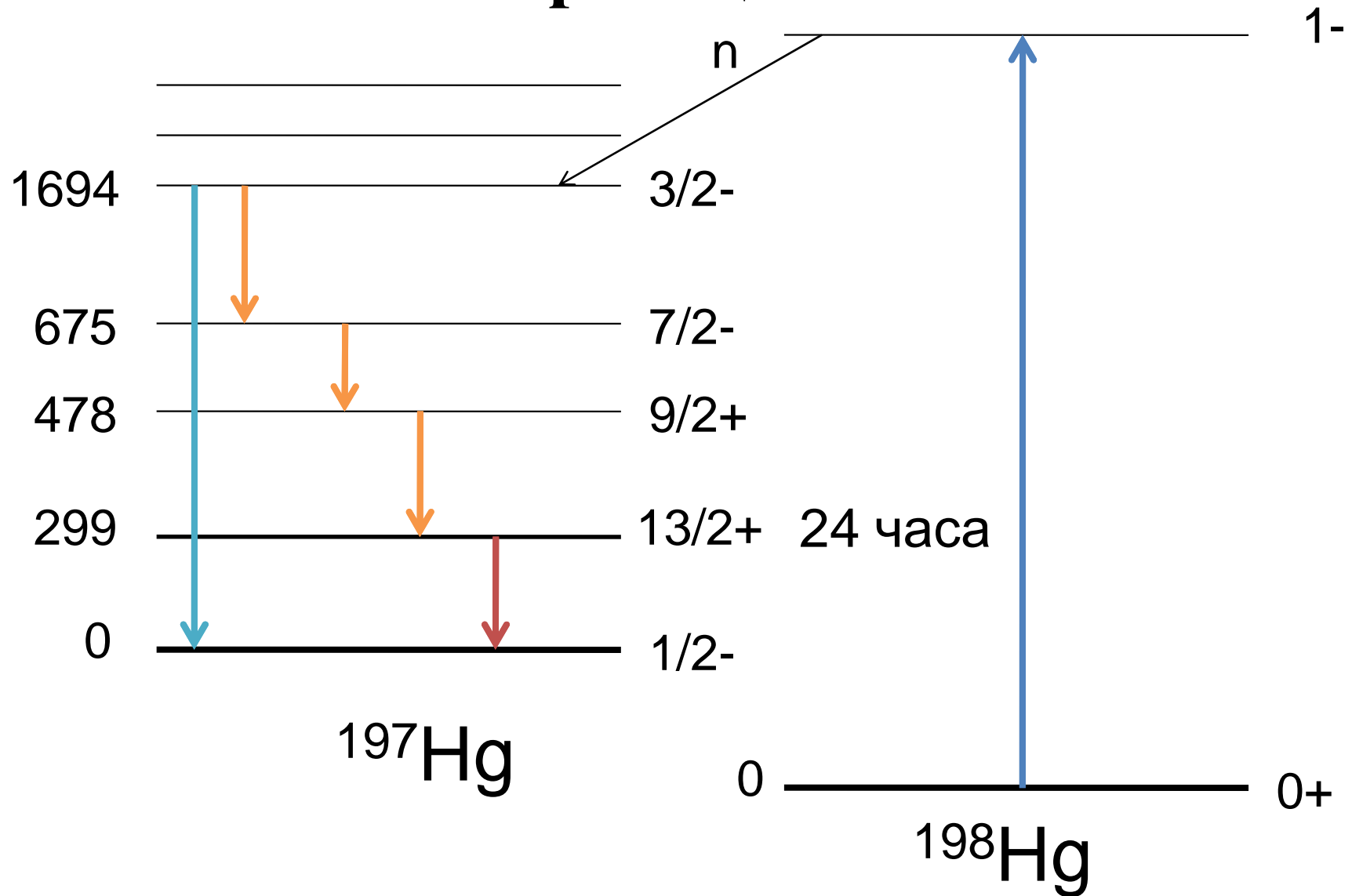
# Выходы фотонуклонных реакций



- Всего было измерено 4400 спектров. Время измерения одного спектра составляло от 1 минуты до 2 часов.



# Образование изомеров в фотонуклонных реакциях



# Выходы фотонуклонных реакций на тантале

Реакция	$J_f^P$	Выход $Y$ (67.7 МэВ)						
		Облучение 1	Облучение 2	КМ [49]	TALYS [106]	Эксп [68]	Эксп [69]	Оцен [38]
$^{181}\text{Ta}(\gamma, n)^{180\text{g.s.}}\text{Ta}$	1+	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0.93</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
$^{181}\text{Ta}(\gamma, n)^{180\text{m}}\text{Ta}$	9-				<b>0.07</b>			
$^{181}\text{Ta}(\gamma, 2n)^{179}\text{Ta}$	7/2+	$0.34 \pm 0.07$		0.29	0.32	0.42	0.24	0.37
$^{181}\text{Ta}(\gamma, 3n)^{178\text{g.s.}}\text{Ta}$	1+	$(1.8 \pm 0.4) \cdot 10^{-2}$	$(2.0 \pm 0.4) \cdot 10^{-2}$	$2.4 \cdot 10^{-2}$	$2.7 \cdot 10^{-2}$		$2 \cdot 10^{-2}$	
$^{181}\text{Ta}(\gamma, 3n)^{178\text{m}}\text{Ta}$	(7-)	$(5 \pm 1) \cdot 10^{-3}$	$(5 \pm 1) \cdot 10^{-3}$					
$^{181}\text{Ta}(\gamma, 4n)^{177}\text{Ta}$	7/2+	$(1.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-2}$	$(1.8 \pm 0.5) \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$			
$^{181}\text{Ta}(\gamma, 5n)^{176}\text{Ta}$	(1)-	$(5 \pm 1) \cdot 10^{-3}$	$(5 \pm 1) \cdot 10^{-3}$	$3.7 \cdot 10^{-3}$	$3.5 \cdot 10^{-3}$			
$^{181}\text{Ta}(\gamma, 6n)^{175}\text{Ta}$	7/2+	$(1.4 \pm 0.3) \cdot 10^{-3}$	$(1.3 \pm 0.3) \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$			
$^{181}\text{Ta}(\gamma, 7n)^{174}\text{Ta}$	3+			$6 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$			
$^{181}\text{Ta}(\gamma, p)^{180\text{g.s.}}\text{Hf}$	0+			$7 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$			
$^{181}\text{Ta}(\gamma, p)^{180\text{m}}\text{Hf}$	8-	$(5 \pm 1) \cdot 10^{-4}$	$(5 \pm 1) \cdot 10^{-4}$		$3 \cdot 10^{-5}$			
$^{181}\text{Ta}(\gamma, pn)^{179\text{g.s.}}\text{Hf}$	9/2+			$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$			
$^{181}\text{Ta}(\gamma, pn)^{179\text{m}}\text{Hf}$	25/2-	$(4 \pm 3) \cdot 10^{-5}$						

49. Ишханов Б. С., Орлин В. Н. // ЯФ **74**. С. 21 (2011).

106. Koning A. J., Hilaire S., Duijvestijn M. C. in "Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, April 22-27, 2007", EDP Sciences, Nice, France, 2008, ed. By O.Bersillon, F.Gunsing, E.Bauge et al., P. 211.

68. Bramblett R. L., Caldwell J. T., Auchampaugh G. F., Fultz S. C. // Phys. Rev. **129**, P. 2723 (1963).

69. Bergere R., Beil H., Veyssiere A. // Nucl. Phys. A**121**, P. 463 (1968).

38. Варламов В. В., Песков Н. Н., Руденко Д. С., Степанов М. Е. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерные константы. № 1-2. С. 48 (2003).

# Выходы фотонуклонных реакций на золоте

Реакция Выход реакции (29.1 МэВ)	$(\gamma, 2n)^{195}\text{Au}$	$(\gamma, 3n)^{194}\text{Au}$	$(\gamma, 1n)^{196\text{m}2}\text{Au}$
наст. раб.	$0.17 \pm 0.03$	$(1.3 \pm 0.5) \cdot 10^{-3}$	$(5 \pm 1) \cdot 10^{-4}$
теор. КМ [49]	0.15	$2.0 \cdot 10^{-3}$	
эксп. [84]	0.12	$1.2 \cdot 10^{-3}$	
оцен. [78]	0.16	$1.1 \cdot 10^{-3}$	
эксп. [85]	0.18		
оцен. [78]	0.18		
эксп. [88, 89]			$5.0 \cdot 10^{-4}$
теор. [90]			$5 \cdot 10^{-4}$
эксп. [90]			$6 \cdot 10^{-4}$
эксп. [91]			$5.3 \cdot 10^{-4}$
эксп. [92]			$6.5 \cdot 10^{-4}$

49. Ишханов Б. С., Орлин В. Н. // ЯФ **74**. С. 21 (2011).

84. Veysiere A., Veil H., Bergere R., Carlos P., Lepretre A. // Nucl. Phys. **A159**, С. 561 (1970).

78. Варламов В. В., Ишханов Б.С., Орлин В. Н., Троцкий С. Ю. // Изв. РАН. Сер. физ. **74**, С. 874 (2010).

85. Fultz S. C., Bramblett R. L., Caldwell T. J., Kerr N. A. // Phys. Rev. **127**, С. 1273 (1962).

88. Сорокин Ю. И., Пономарев В. Н., в сб.: Тезисы докладов XXVI совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Наука, Москва, 1976), С. 449.

89. Сорокин Ю. И., Пономарев В. Н., в сб.: Тезисы докладов XXVIII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Наука, Москва, 1978), С. 258.

90. Гангрский Ю. П., Колесников Н. Н., Лукашик В. Г., Мельникова Л. М. // ЯФ **67**, С. 1 (2004).

91. Джилавыян Л. З., Лазарева Л. Е., Пономарев В. Н., Сорокин А.А. // ЯФ **33**, С. 1251 (1981).

92. Чжо Чжо Тун, Автореферат дисс. канд. физ.-мат. наук (КДУ, Москва, 2007).

# Выходы фотонуклонных реакций на ртути

Начальное ядро	Реакция	Конечное ядро	Спин, четность		Выход реакции					
			Нач. ядро	Конечное ядро		Эксперимент		Расчет КМ [49]		
				Осн. сост.	Изомер. сост.	$E^{\max} = 19.5$ МэВ	$E^{\max} = 29.1$ МэВ	$E^{\max} = 19.5$ МэВ	$E^{\max} = 29.1$ МэВ	
$^{204}\text{Hg}$	( $\gamma, n$ )	$^{203}\text{Hg}$	$0^+$	$5/2^-$			$1.22 \pm 0.24$	$1.16 \pm 0.23$	1.05	0.99
$^{200}\text{Hg}$	( $\gamma, n$ )	$^{199}\text{Hg}$	$0^+$	$1/2^-$					1.06	1.10
		$^{199m}\text{Hg}$			$13/2^+$	$0.087 \pm 0.018$	$0.085 \pm 0.017$			
$^{198}\text{Hg}$	( $\gamma, n$ )	$^{197}\text{Hg}$	$0^+$	$1/2^-$			$1.26 \pm 0.26$	$1.27 \pm 0.29$	1.02	1.01
		$^{197m}\text{Hg}$			$13/2^+$	$0.10 \pm 0.02$	$0.15 \pm 0.03$			
$^{196}\text{Hg}$	(γ, n)	$^{195}\text{Hg}$	$0^+$	$1/2^-$			<b><math>0.90 \pm 0.17</math></b>	<b><math>0.88 \pm 0.20</math></b>	1	1
		$^{195m}\text{Hg}$			$13/2^+$	<b><math>0.10 \pm 0.03</math></b>	<b><math>0.12 \pm 0.03</math></b>			
$^{202}\text{Hg}$	( $\gamma, p$ )	$^{201}\text{Au}$	$0^+$	$3/2^+$			$< 10^{-4}$	$(1.4 \pm 0.7)10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-4}$
$^{201}\text{Hg}$	(γ, p)	$^{200}\text{Au}$	$3/2^-$	$1(-)$			$(2.3 \pm 0.6)10^{-4}$	$(2.4 \pm 0.5)10^{-3}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$8.4 \cdot 10^{-4}$
		$^{200m}\text{Au}$			$12^-$	$< 4 \cdot 10^{-6}$	$< 10^{-5}$			
$^{200}\text{Hg}$	(γ, p)	$^{199}\text{Au}$	$0^+$	$3/2^+$			$(4.6 \pm 1)10^{-4}$	$(2.8 \pm 0.6)10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$
$^{199}\text{Hg}$	(γ, p)	$^{198}\text{Au}$	$1/2^-$	$2^-$			$(3.9 \pm 0.8)10^{-4}$	$(2.7 \pm 0.5)10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$
		$^{198m}\text{Au}$			$(12^-)$	$< 1 \cdot 10^{-6}$	$< 10^{-5}$			
$^{198}\text{Hg}$	(γ, n + p)	$^{196}\text{Au}$	$0^+$	$2^-$			$< 2 \cdot 10^{-6}$	$(6 \pm 2)10^{-5}$	$10^{-9}$	$7 \cdot 10^{-4}$

# Выходы фотонуклонных реакций на свинце

Изотоп, образующийся в результате фотонуклонных реакций	Суммарный выход, эксп. 67.7 МэВ	Суммарный выход [49]	Доля полного выхода, обусловленная реакцией на начальном стабильном изотопе (расчет [49])			
			<sup>204</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb
<sup>203</sup> Pb	1	1	0.68	0.19	0.07	0.05
<sup>201</sup> Pb	$3.9 \cdot 10^{-2}$	$3.9 \cdot 10^{-2}$	0.264	0.658	0.076	0.002
<sup>200</sup> Pb	$7.9 \cdot 10^{-3}$	$9.2 \cdot 10^{-3}$	0.535	0.458	0.007	<0.001
<sup>202</sup> Tl	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$0.57 \cdot 10^{-2}$	0.279	0.623	0.094	0.004
<sup>202m</sup> Pb	$6.9 \cdot 10^{-3}$					
<sup>204m</sup> Pb	$3.8 \cdot 10^{-2}$					

Ядро	Реакция	Рассчитанный выход [49]	Выход	Работа
<sup>206</sup> Pb	(γ, n)	0.97	0.84	[99]
<sup>207</sup> Pb		1	0.74	[99]
<sup>208</sup> Pb		1	1	[100]
<sup>206</sup> Pb	(γ, 2n)	0.13	0.10	[99]
<sup>207</sup> Pb		0.11	0.11	[99]
<sup>208</sup> Pb		0.15	0.13	[100]
<sup>208</sup> Pb	(γ, 3n)	0.015	0.02	[100]

<b>Pb 199</b> 12.2 m, 1.5 h ε, β <sup>+</sup> γ 367, 393, 1135, 2813	<b>Pb 200</b> 21,5 h ε, β <sup>+</sup> γ 148, 257, 236, 268...	<b>Pb 201</b> 61 s, 9,4 h ε, β <sup>+</sup> γ 331, 361, 490, 460, 390...	<b>Pb 202</b> 3,53 h, 5,25 · 10 <sup>4</sup> a ε, β <sup>+</sup> γ 331, 361, 490, 460, 390...	<b>Pb 203</b> 6,2 s, 51,9 h ε, β <sup>+</sup> γ 279, 491...	<b>Pb 204</b> 67,2 m, 1,4 ε, β <sup>+</sup> γ 898, 912, 375...	<b>Pb 205</b> 1,5 · 10 <sup>7</sup> a ε, β <sup>+</sup> γ 5	<b>Pb 206</b> 24,1 σ 0,030	<b>Pb 207</b> 22,1 σ 0,70	<b>Pb 208</b> 52,4 σ 0,00049
<b>Tl 198</b> 1,87 h, 5,3 h ε, β <sup>+</sup> γ 432, 587, 676, 637...	<b>Tl 199</b> 7,42 h ε, β <sup>+</sup> γ 455, 208, 247, 158...	<b>Tl 200</b> 26,1 h ε, β <sup>+</sup> γ 368, 1206, 579, 828...	<b>Tl 201</b> 73,1 h ε, β <sup>+</sup> γ 167, 135...	<b>Tl 202</b> 12,23 d ε, β <sup>+</sup> γ 440, (520...)	<b>Tl 203</b> 29,524 σ 11	<b>Tl 204</b> 3,78 a β <sup>-</sup> 0,8; ε по γ; g σ 22	<b>Tl 205</b> 70,476 σ 0,11	<b>Tl 206</b> 3,7 m, 4,20 m ε, β <sup>+</sup> γ 1021...	<b>Tl 207</b> 1,33 s, 4,77 m ε, β <sup>+</sup> γ 1000, 351, 1096...

49. Ишханов Б. С., Орлин В. Н. // ЯФ **74**. С. 21 (2011).

99. Harvey R. R., Caldwell J. T., Bramblett R. L., Fultz S. C. // Phys. Rev **136**, P. B126 (1964).

100. Veysiere A., Beil H., Bergere R., Carlos P., Lepretre A. // Nucl. Phys. A**159**. P. 561 (1970).

## Анализ результатов – реакции ( $\gamma$ , 2n)

- Измеренные выходы фотонуклонных реакций на изотопах  $^{181}\text{Ta}$  и  $^{197}\text{Au}$  позволяют оценить правильность измерения сечений реакций ( $\gamma$ , 2n) и правильность их оценки.
- Выходы, рассчитанные на основе данных Ливермора, оказываются больше, чем выходы, рассчитанные на основе данных Саклэ.
- Измеренные значения выходов реакций  $^{181}\text{Ta}(\gamma, 2n)$  и  $^{197}\text{Au}(\gamma, 2n)$  лежат между значениями выходов, рассчитанными на основе данных Саклэ и Ливермора.

Реакция	Выход				
	Наст. работа	Саклэ	Ливермор	Оценененный	КМ
$^{181}\text{Ta}(\gamma, 2n)^{179}\text{Ta}$	$0.34 \pm 0.07$	0.24	0.42	0.37 [38]	0.29
$^{197}\text{Au}(\gamma, 2n)^{195}\text{Au}$	$0.17 \pm 0.03$	0.12	0.18	0.17 [78]	0.15

38. Варламов В. В., Песков Н. Н., Руденко Д. С., Степанов М. Е. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерные константы. № 1-2. С. 48 (2003).

78. Варламов В. В., Ишханов Б.С., Орлин В. Н., Трощев С. Ю. // Изв. РАН. Сер. физ. **74**, С. 874 (2010).

## Анализ результатов – реакции ( $\gamma$ , 3n)

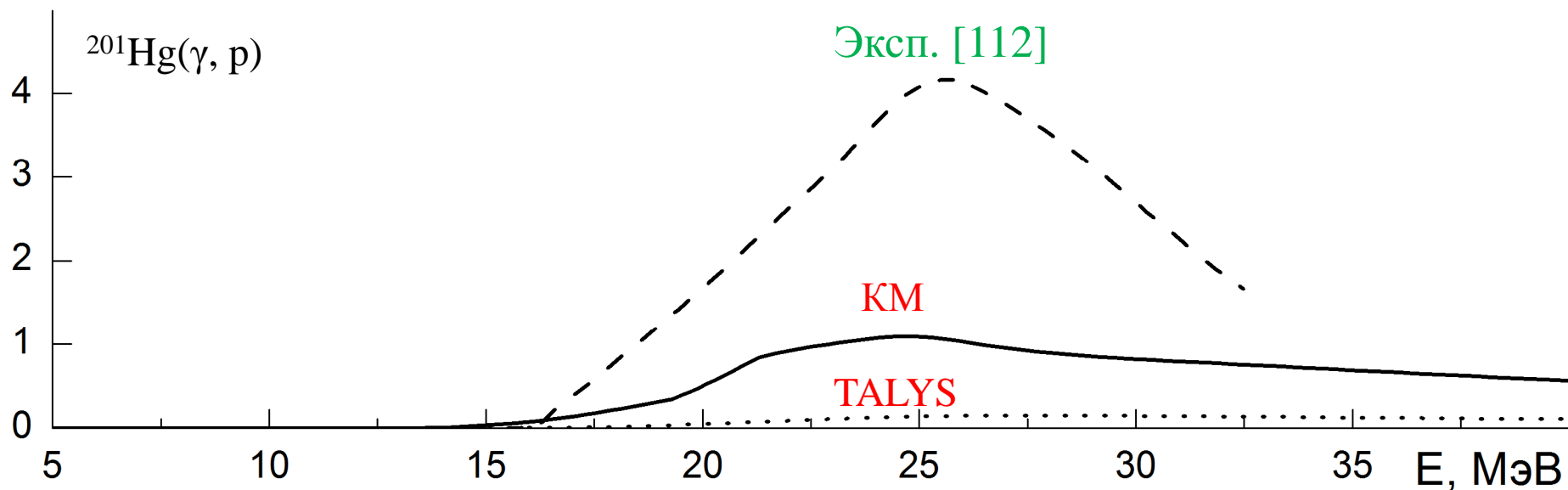
- Измеренные выходы реакций  $^{181}\text{Ta}(\gamma, 3n)$  (0.024) и  $^{197}\text{Au}(\gamma, 3n)$  (0.0013) в пределах погрешности совпадают с выходами, рассчитанными на основе данных Саклэ (0.02 и 0.0012 соответственно).

- Сечения реакции ( $\gamma$ , 3n) для исследуемых в настоящей работе ядер не были измерены в Ливерморе.

Реакция	Выход		
	Наст. работа	Саклэ	КМ
$^{181}\text{Ta}(\gamma, 3n)^{178}\text{Ta}$	$(2.4 \pm 0.4) \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2.4 \cdot 10^{-2}$
$^{197}\text{Au}(\gamma, 3n)^{194}\text{Au}$	$(1.3 \pm 0.5) \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$2.0 \cdot 10^{-3}$

## Анализ результатов – реакции ( $\gamma$ , p)

- Исследование протонного канала распада ДГР подтвердило решающую роль изоспинового расщепления для возможности наблюдения фотопротонных реакций в тяжелых ядрах.
- Расчет выходов фотопротонных реакций на изотопах ртути при максимальной энергии тормозного спектра 29.1 МэВ в комбинированной модели, учитывающей изоспиновое расщепление ДГР, предсказывает, что доля фотопротонного канала реакции составляет  $\sim 10^{-3}$ , что хорошо согласуется с экспериментально измеренными выходами.



112. Carver J. H., Peaslee D. C., Taylor R. B. // Phys. Rev **127**, P. 2198 (1962).



# Анализ результатов – реакции с образованием изомеров

- В настоящей работе наблюдалось образование одновременно основных и изомерных состояний ядер в четырех фотонуклонных реакциях:  
 $^{181}\text{Ta}(\gamma, 3n)$ ,  $^{197}\text{Au}(\gamma, n)$ ,  $^{198}\text{Hg}(\gamma, n)$ ,  $^{196}\text{Hg}(\gamma, n)$ .

Начальное ядро	Реакция	$E^{\max}$ , МэВ	Конечное ядро	$J_i^P$	$J_f^P$	Выход	Изомерное отношение
$^{181}\text{Ta}$	$(\gamma, 3n)$	67.7	$^{178\text{g.s.}}\text{Ta}$	$7/2^+$	$1^+$	0.018	0.28
			$^{178\text{m}}\text{Ta}$		$7^-$	0.005	
$^{197}\text{Au}$	$(\gamma, n)$	29.1	$^{196\text{g.s.}}\text{Au}$	$3/2^+$	$2^-$	$\approx 1$	0.0005
			$^{196\text{m}}\text{Au}$		$12^-$	0.0005	
$^{198}\text{Hg}$	$(\gamma, n)$	19.5	$^{197\text{g.s.}}\text{Hg}$	$0^+$	$1/2^-$	1.26	0.08
			$^{197\text{m}}\text{Hg}$		$13/2^+$	0.1	
$^{196}\text{Hg}$	$(\gamma, n)$	19.5	$^{195\text{g.s.}}\text{Hg}$	$0^+$	$1/2^-$	0.9	0.11
			$^{195\text{m}}\text{Hg}$		$13/2^+$	0.1	
$^{198}\text{Hg}$	$(\gamma, n)$	29.1	$^{197\text{g.s.}}\text{Hg}$	$0^+$	$1/2^-$	1.27	0.12
			$^{197\text{m}}\text{Hg}$		$13/2^+$	0.15	
$^{196}\text{Hg}$	$(\gamma, n)$	29.1	$^{195\text{g.s.}}\text{Hg}$	$0^+$	$1/2^-$	0.88	0.14
			$^{195\text{m}}\text{Hg}$		$13/2^+$	0.12	

## Итоги работы

- Впервые измерены спектры остаточной активности ядер, образующихся при облучении образцов:
  - Ta (67.7 МэВ);
  - $^{197}\text{Au}$  (29.1 МэВ);
  - Hg (19.5 и 29.1 МэВ);
  - Pb (67.7 МэВ).
- На основе измеренных спектров остаточной активности впервые получены выходы 28 фотоядерных реакций.
- Проведено сравнение полученных выходов с результатами других экспериментальных работ и теоретических расчетов.
- Исследование протонного канала распада ДГР подтвердило решающую роль изоспинового расщепления для возможности наблюдения фотопротонных реакций в тяжелых ядрах.
- В реакциях  $^{181}\text{Ta}(\gamma, 3n)$ ,  $^{197}\text{Au}(\gamma, n)$ ,  $^{198}\text{Hg}(\gamma, n)$ ,  $^{196}\text{Hg}(\gamma, n)$  наблюдалось образование ядер-продуктов и в основном, и в изомерном состояниях. Показана связь полученных изомерных отношений со спинами начальных ядер и ядер-продуктов.

**Спасибо за внимание!**