

**Почему я сомневаюсь
в существовании
изомерного уровня в ^{229}Th .
Соображения спектроскописта**

И.А.Митропольский

"Есть два главных человеческих греха, из которых вытекают все прочие: нетерпение и небрежность. Из-за нетерпения люди изгнаны из рая, из-за небрежности они не возвращаются туда".

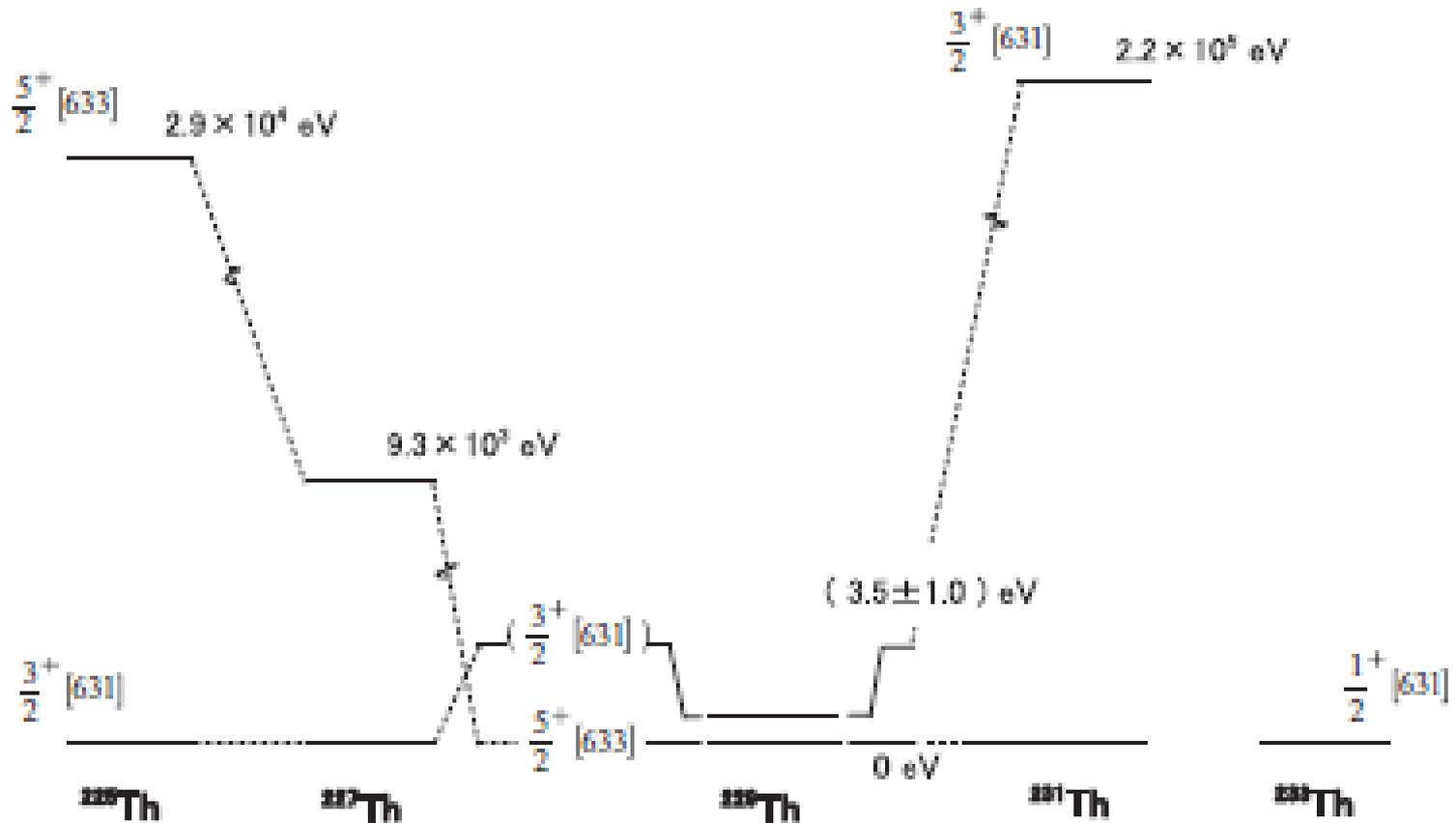
Ф.Кафка

Низколежащие возбуждения

Нуклид	Энергия кэВ	Спин, чётность	Время жизни, с
235U	0.0768(5) (0)	1/2+ (7/2-)	1500 (2.22E+22)
229Pa	0.16(10) (0)	5/2- (5/2+)	4.2E-7 (1.3E+5)
110Ag	1.113 (0)	2- (1+)	6.6E-7 (24.6)
193Pt	1.642 (0)	3/2- (1/2-)	9.7E-9 (1.58E+9)

22 нуклида с $E_1 < 10$ кэВ

Систематика низколежащих состояний в нечётных изотопах Th



Типичная картина пересечения нейтронных орбиталей $3/2[631]$ и $5/2[633]$

История и литература

Более 50 оригинальных работ:

1994. Helmer, Reich.	3.5 эВ
2003. Barci et al.	
2005. Guimaraes-Filho et al.	
2007. Beck et al.	7.6 эВ
2008. Hayes et al.	
2008. Burke et al.	
2010. Сахаров.	
2012. Sonnenschein et al.	
2013. Das et al.	
2014. Beloy	
2014. Varga et al.	
2017. Seiferle et al.	7 us

Энергия ионизации атома $^{229}\text{Th} \approx 6$ эВ

Энергия изомерного состояния.

История открытия

Метод: анализ энергий и интенсивностей γ -переходов в ^{229}Th после α -распада ^{233}U

Idaho National Engineering Laboratory

1976 $E_{\text{is}} < 100 \text{ eV}$ *L.A. Kroger and C.V. Reich*. Nucl. Phys. A259, 29 (1976)

1990 $E_{\text{is}} < 5 \text{ eV}$ *C.V. Reich and R.G. Helmer*. Phys. Rev. Lett. 64, 271 (1990)

1994 $E_{\text{is}} = 3.5 \pm 1.0 \text{ eV}$ *R.G. Helmer and C.V. Reich*. Phys. Rev. C 49, 1845 (1994)

[resolution $\sim 17 \text{ eV/channel}$]

Lawrence Livermore National Laboratory and Los Alamos National Laboratory

2007 $E_{\text{is}} = 7.8 \pm 0.5 \text{ eV}$ *B.R. Beck et al.* Phys. Rev. Lett. 98, 142501 (2007)

[energy resolution $\sim 26 \text{ eV (FWHM)}$]

+ еще около 10-15 экспериментальных работ, в которых впоследствии были выявлены грубые ошибки.

Метод: детектирование электронов конверсии

Germany: Ludwig-Maximilians-Universitat Munchen, GSI Darmstadt, Helmholtz-Institut Mainz, Johannes Gutenberg-Universitat Mainz

2016 $6.3 < E_{\text{is}} < 18.3 \text{ eV}$ *L. von der Wense et al.* Nature 533, 47 (2016)

Метод: ядерные реакции (измерение спектра t в реакции $^{230}\text{Th}(d,t)^{229}\text{Th}$ при $E_d = 17 \text{ MeV}$)

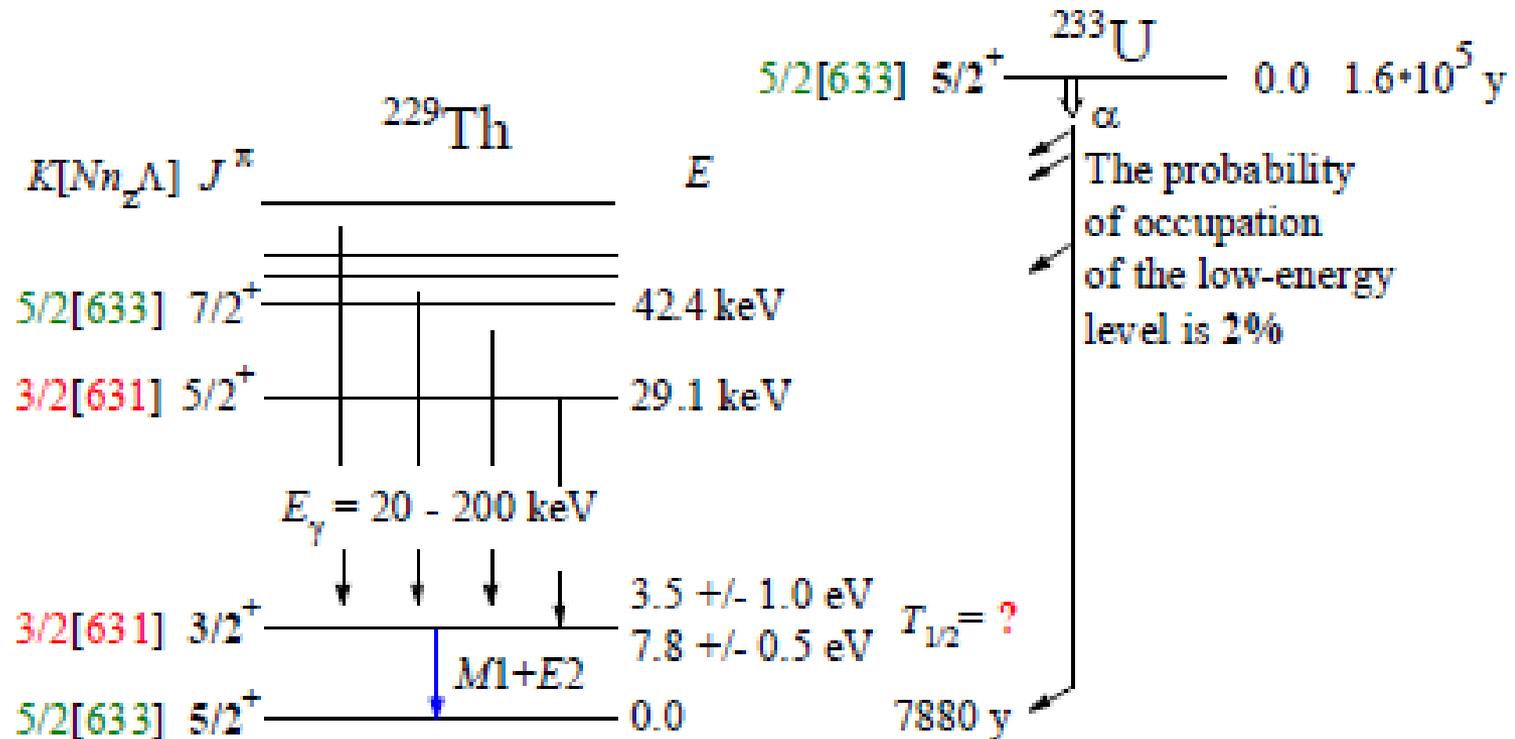
Canada, McMaster University Tandem Accelerator [resolution $\sim 6\text{-}7 \text{ keV}$ in 1990]

1990 $E_{\text{is}} < 6 \text{ keV}$ *D.G. Burke et al.* Phys. Rev. C 42, R499 (1990).

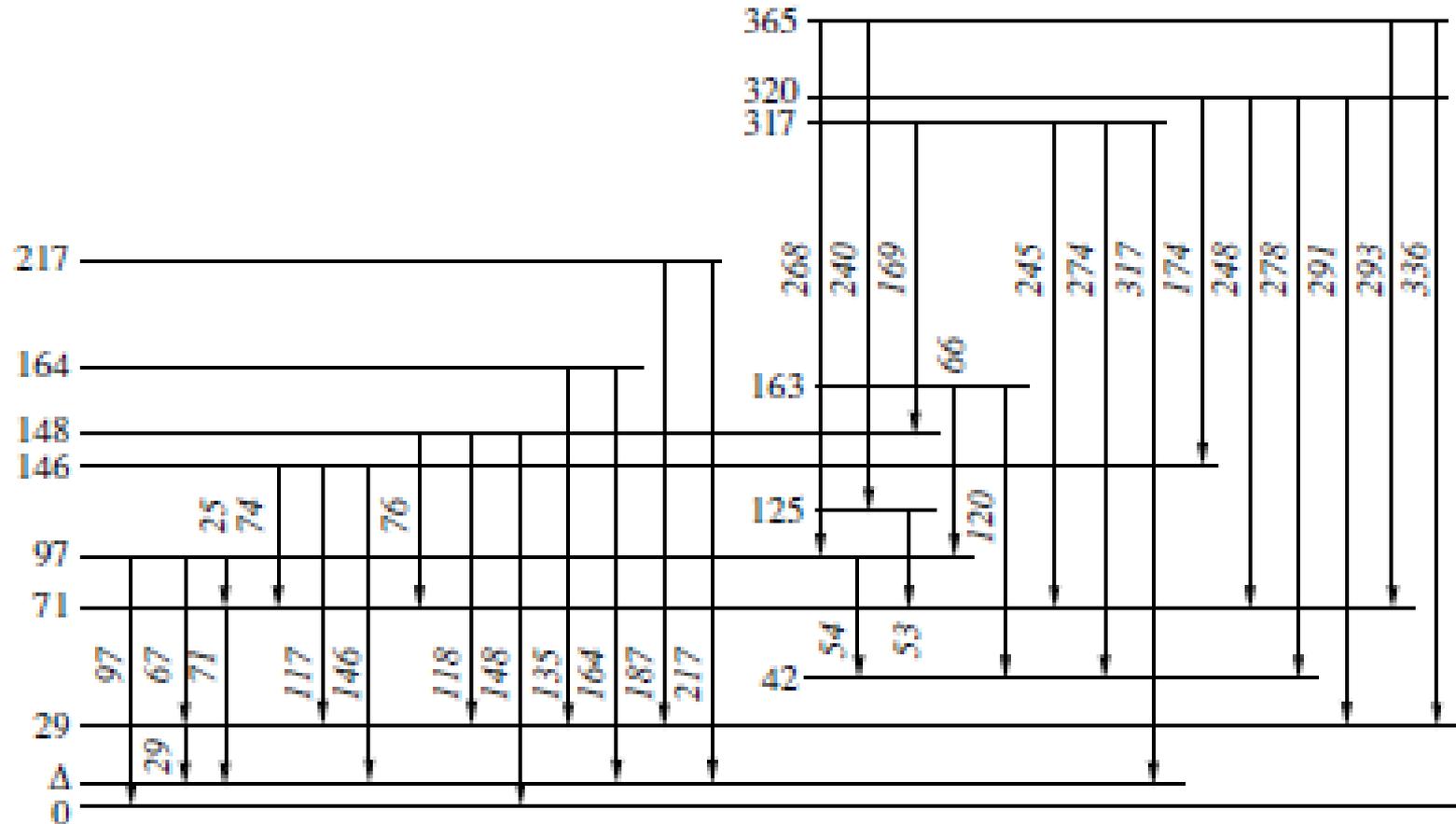
2008 $E_{\text{is}} \sim 0.1 \text{ keV}$ *D.G. Burke et al.* Nucl. Phys. A 809, 129 (2008).

Е.В.Ткаля (НИИЯФ МГУ)

Заселение уровней ^{229}Th в α -распаде



Схемы ядерных уровней. Размещения переходов.



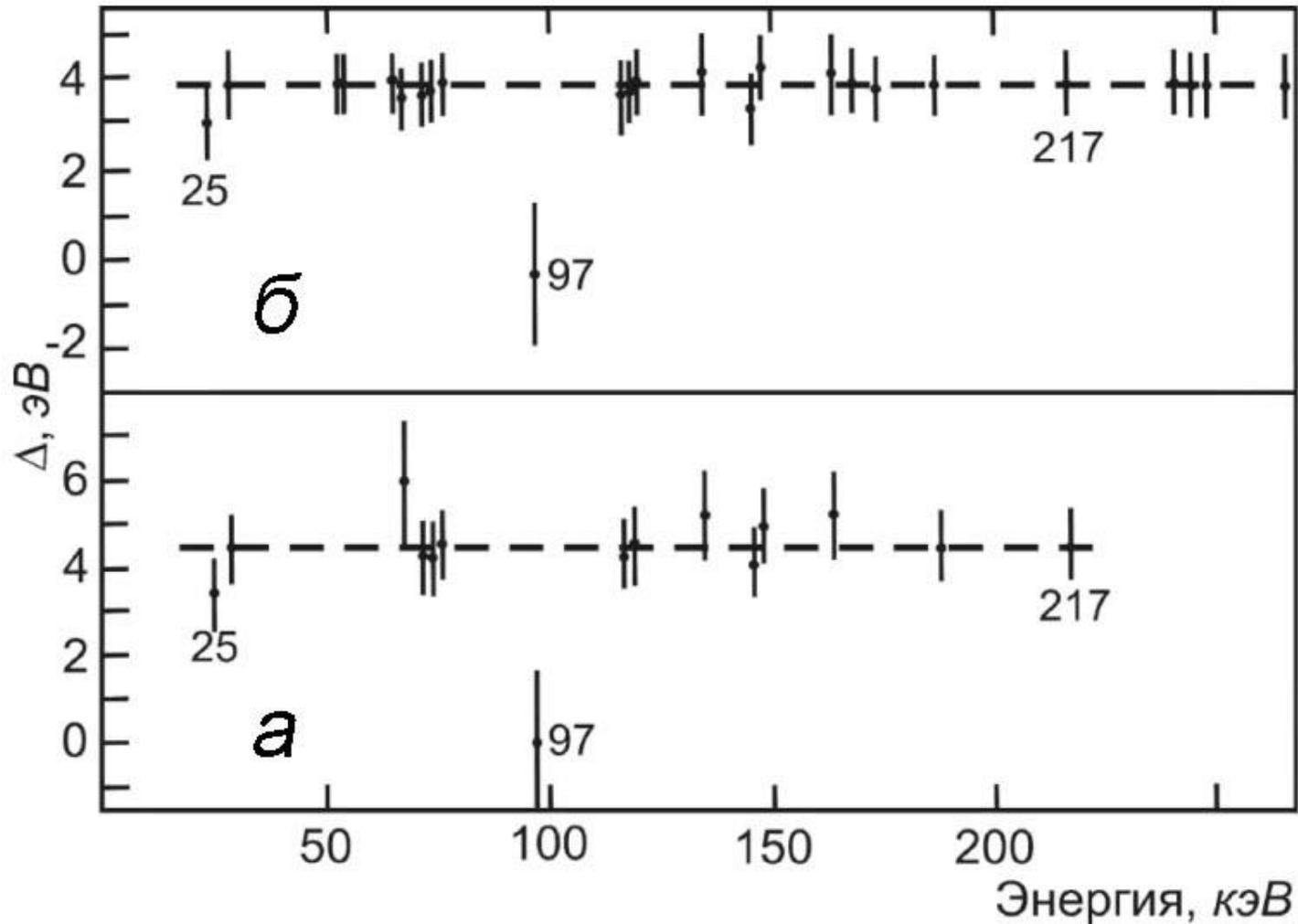
$$\Delta = 97 - 25 - 71$$

$$\Delta = 97 - 69 - 29$$

$$\Delta = (149 - 146) - (118 - 117)$$

$$\Delta = (148 - 146) - (76 - 74)$$

«Чувствительность» схемы к точности определения переходов



Энергия изомерного состояния ^{229}Th

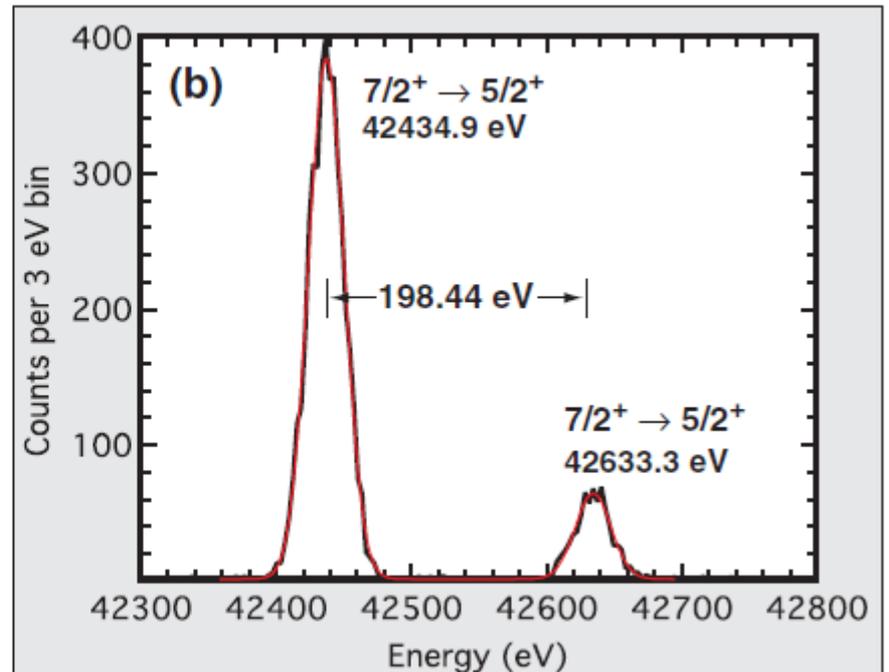
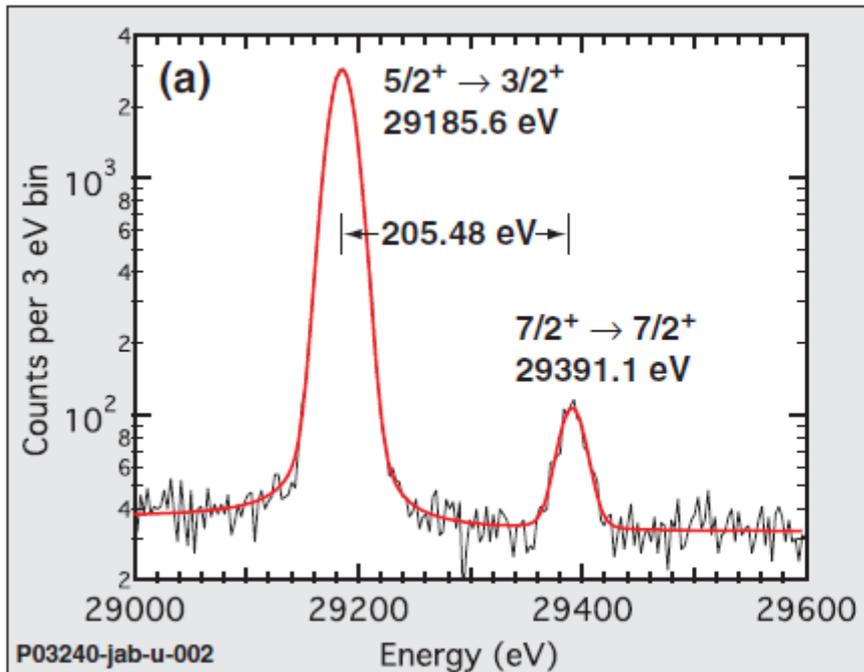
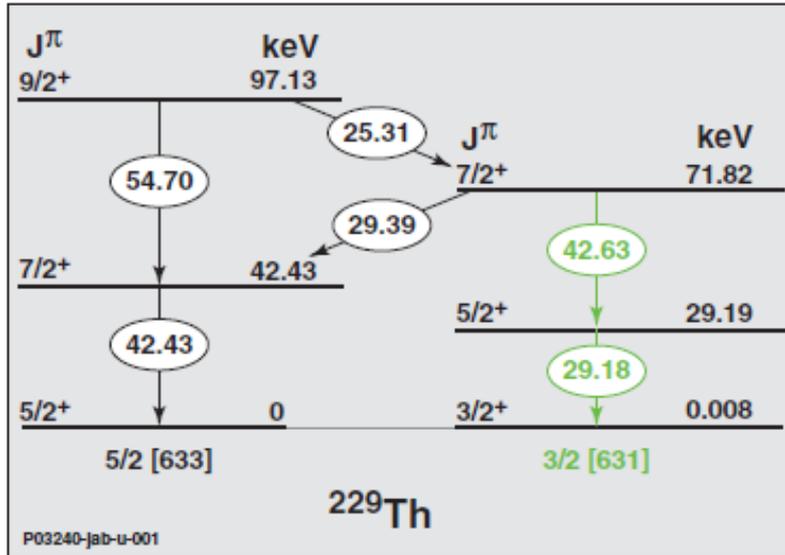
	Энергия, эВ	Схема уровней		
Helmer 1994	3.5(10)	8L+15G 4.4(19)	8L+14G-97 0.0(17)	14L+30G-97 -0.4(17)
Barci 2003	3.4(18)	46L+185G 3.8(18)	46L+184G-71 12.2(30)	
Guimaraes 2005	2.9(21)	16L+33G 3.0(20)		
Helene	3.7(7)	16L+40G		
Beck	7.6(5)	B=0.25 9.3(6)	B=0.50 14.0(10)	

Энергии переходов одни и те же!

Beck et al. 2007

Ion trap X-ray microcalorimeter spectrometer, 26 eV resolution

$$E = 7.6(5) \text{ } \epsilon\text{B}$$



Angular distribution for (d, t) cross section of some ^{229}Th levels.

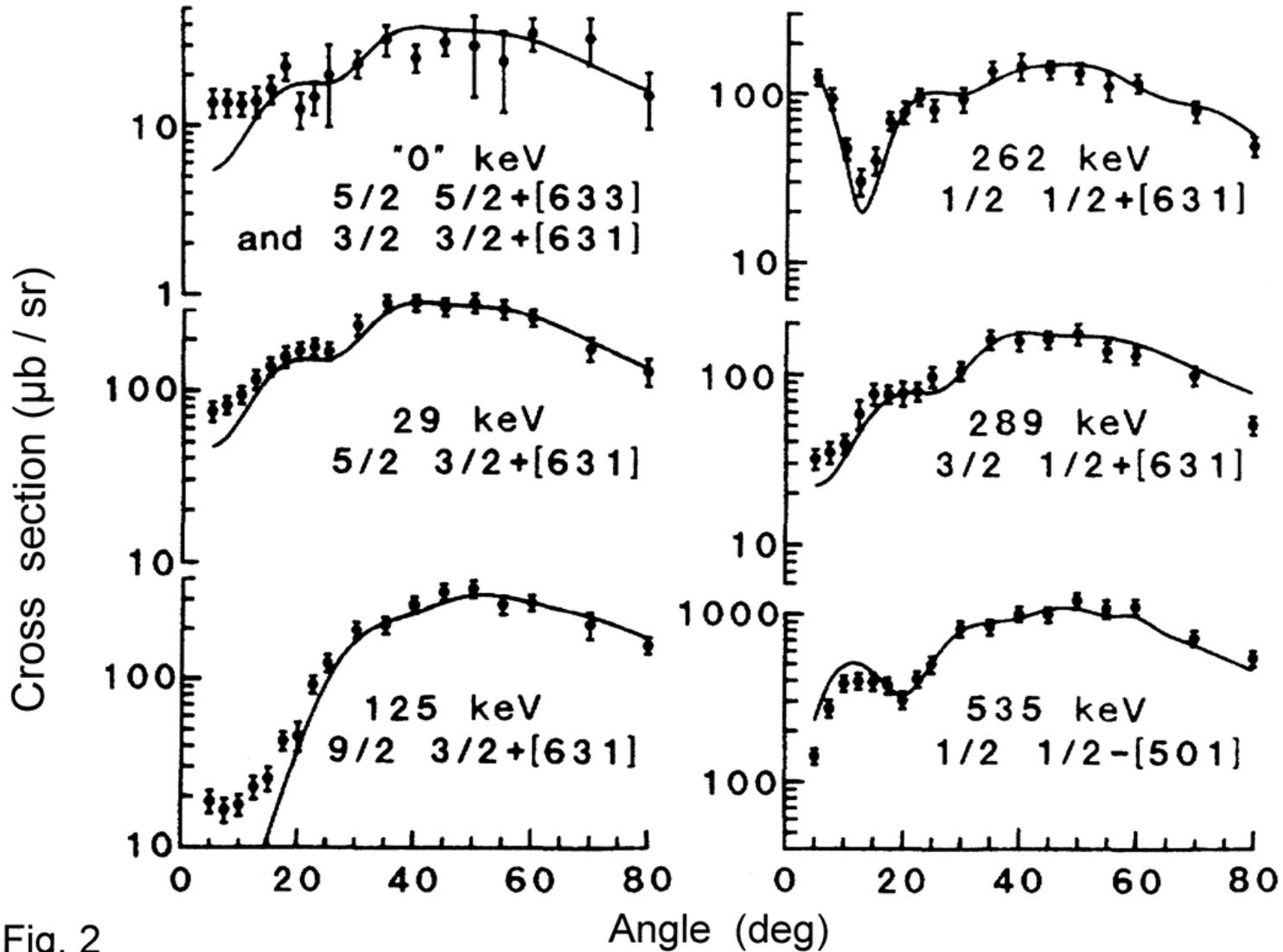


Fig. 2

Эксперимент ПИЯФ+РИ, 2003

Двухкристальный гамма-спектрометр с разрешением 1 эВ на линии 100 кэВ.

Источник $S=100 \text{ см}^2$, 20 г ^{233}U даст 3.4 имп/час для перехода 97 кэВ и 14 имп/час для перехода 42 кэВ при 100% эффективности регистрации и телесном угле 10^{-9} .

Спасибо за внимание!

229 – простое число

229th простое число = 1447

Mitropolsky_IA@pnpi.nrcki.ru