

SHIPTRAP в 2012 г.

ГСИ (Дармштадт)

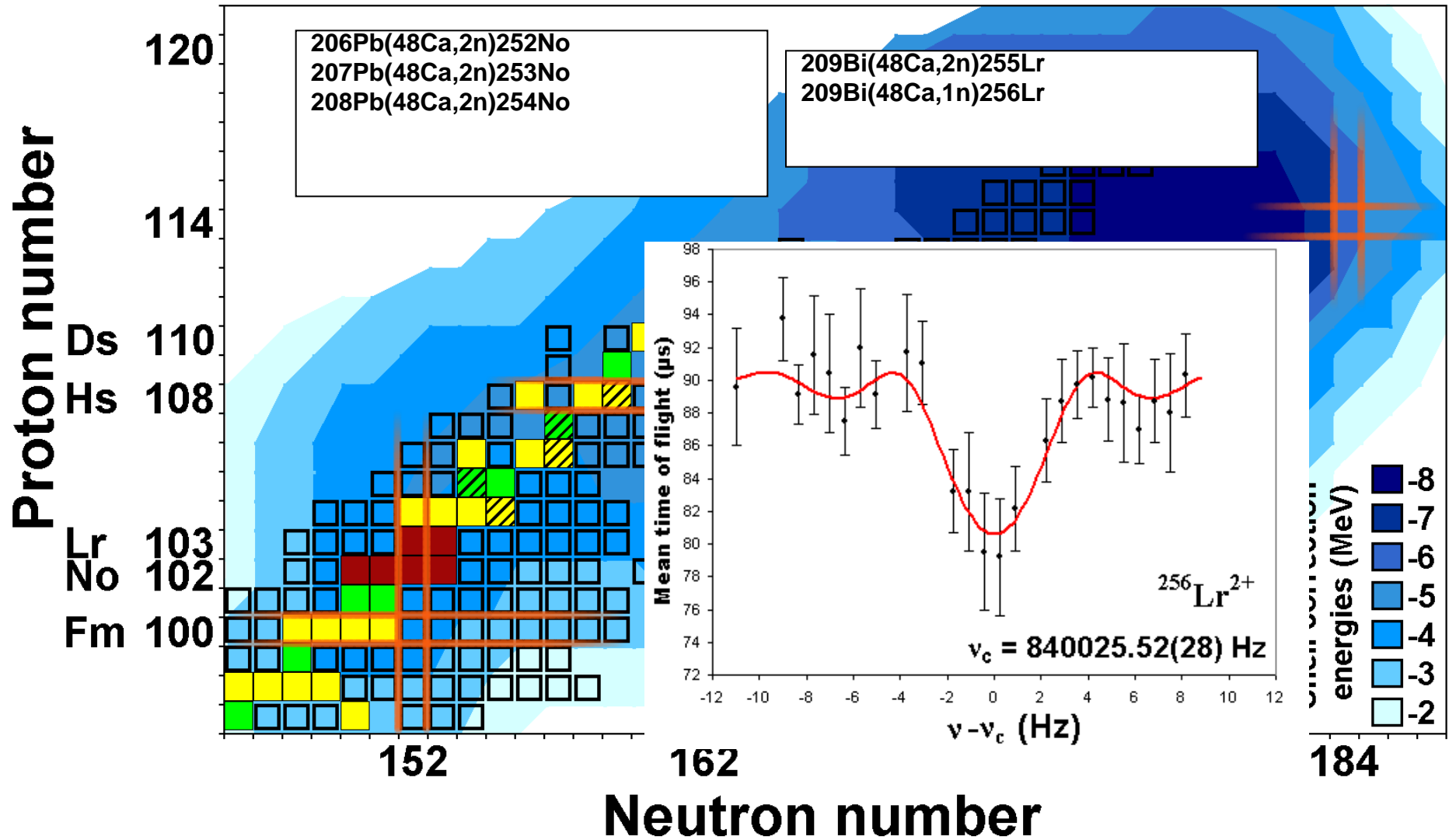
Ю. Новиков

(ПИЯФ)

Сессия Ученого Совета ОФВЭ ПИЯФ

24 декабря 2012 г.

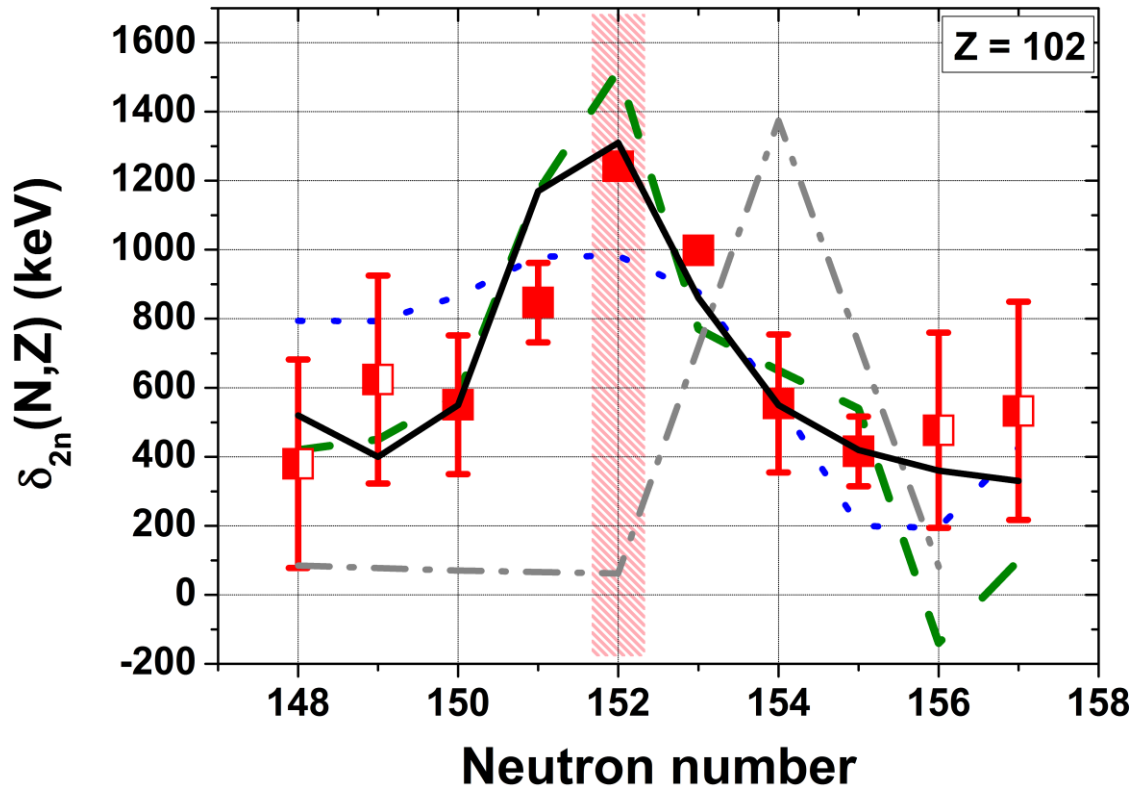
1. Прямые измерения масс сверхтяжёлых элементов



M. Block et al., *Nature* 463, 785 (2010), M. Dworschak et al., *Phys. Rev. C* 81, 064312 (2010)
 E. Minaya Ramirez et al., *Science* 337, 1183 (2012)

$$\delta_{2n}(N,Z) = 2B(N,Z) - B(N-2,Z) - B(N+2,Z)$$

A



Experiment

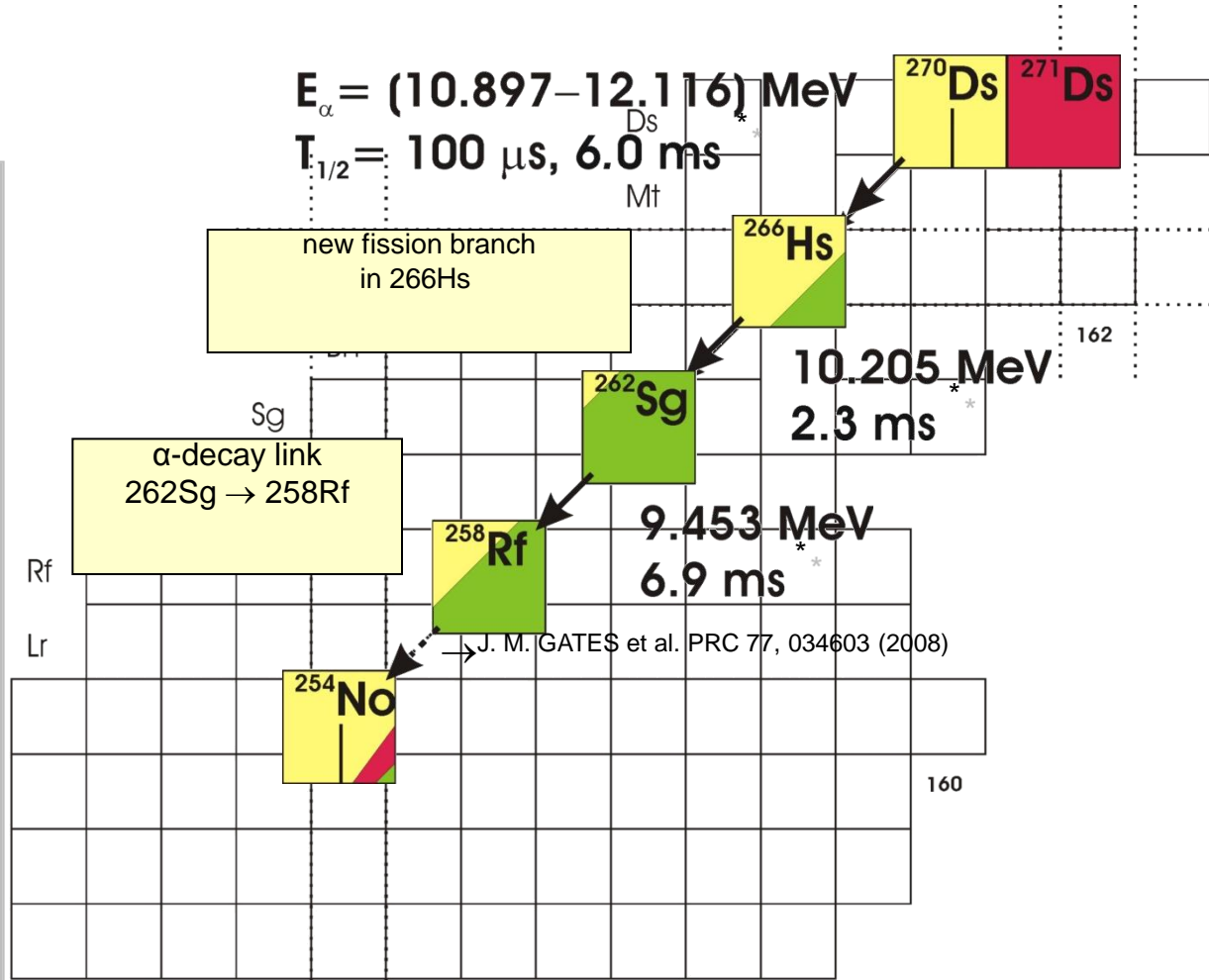
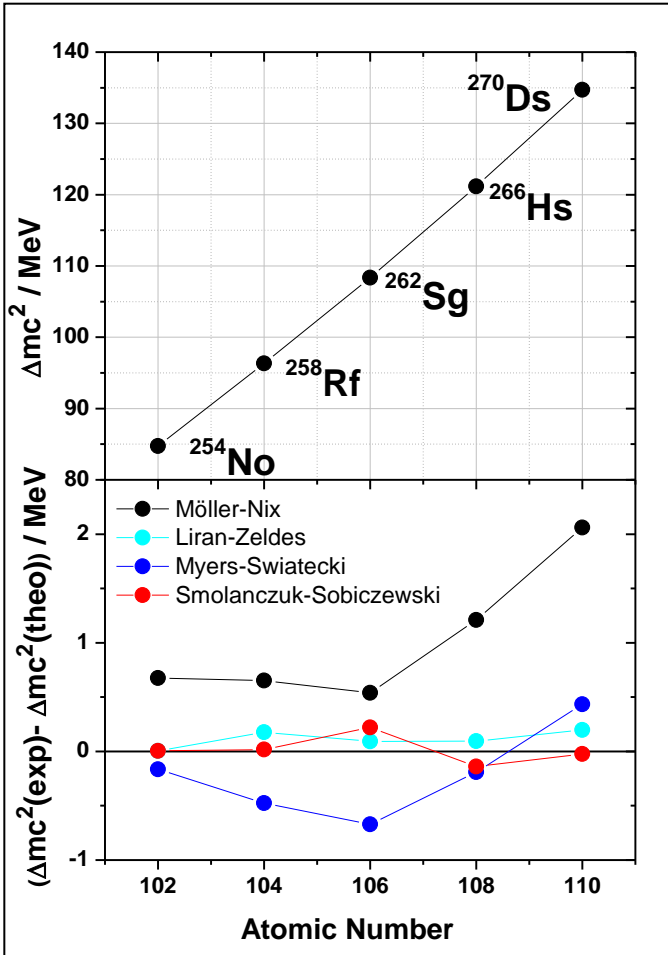
Moeller et al.

Sobiczewski et al.

SkM*

Typel et al.

- 26 decay chains (270Ds: 25, 271Ds:1)
- new spectroscopic data



* $T_{1/2}$ from S. Hofmann et al., Eur. Phys. J. A 10, 5 (2001)

D. Ackermann et al.

courtesy of M. Block

Результат:

Экспериментально идентифицировано
новое магическое число нейтронов

$$N = 152$$

Ряд магических чисел:

2, 8, 20, 28, (40), 50, 126, (152)

E. Minaya Ramirez,...S.A. Eliseev, D.A. Nesterenko, Yu.N. Novikov et al. *Direct Mapping of Nuclear Shell Effects in the Heaviest Elements*. **Science** 337 (2012) pp.1207-1210.

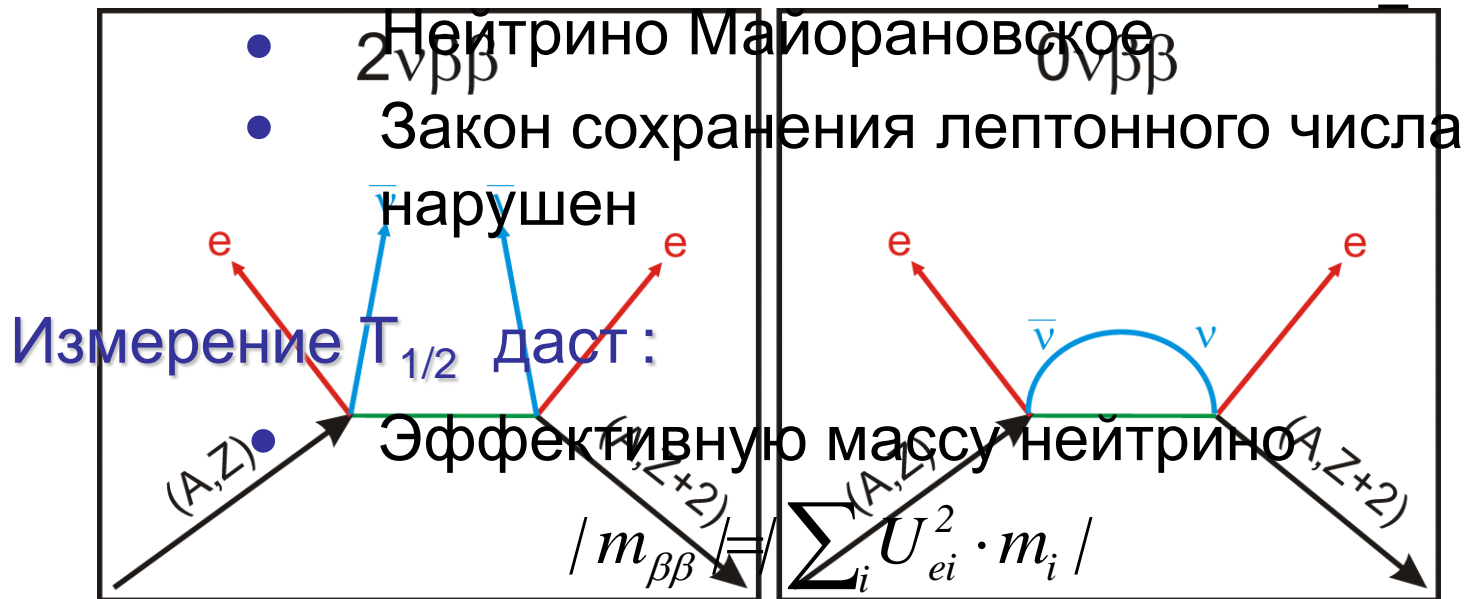
2. Безнейтринный двойной захват электронов ядром

Безнейтринные бета-превращения

Двойной β^- распад ($\beta\beta$)

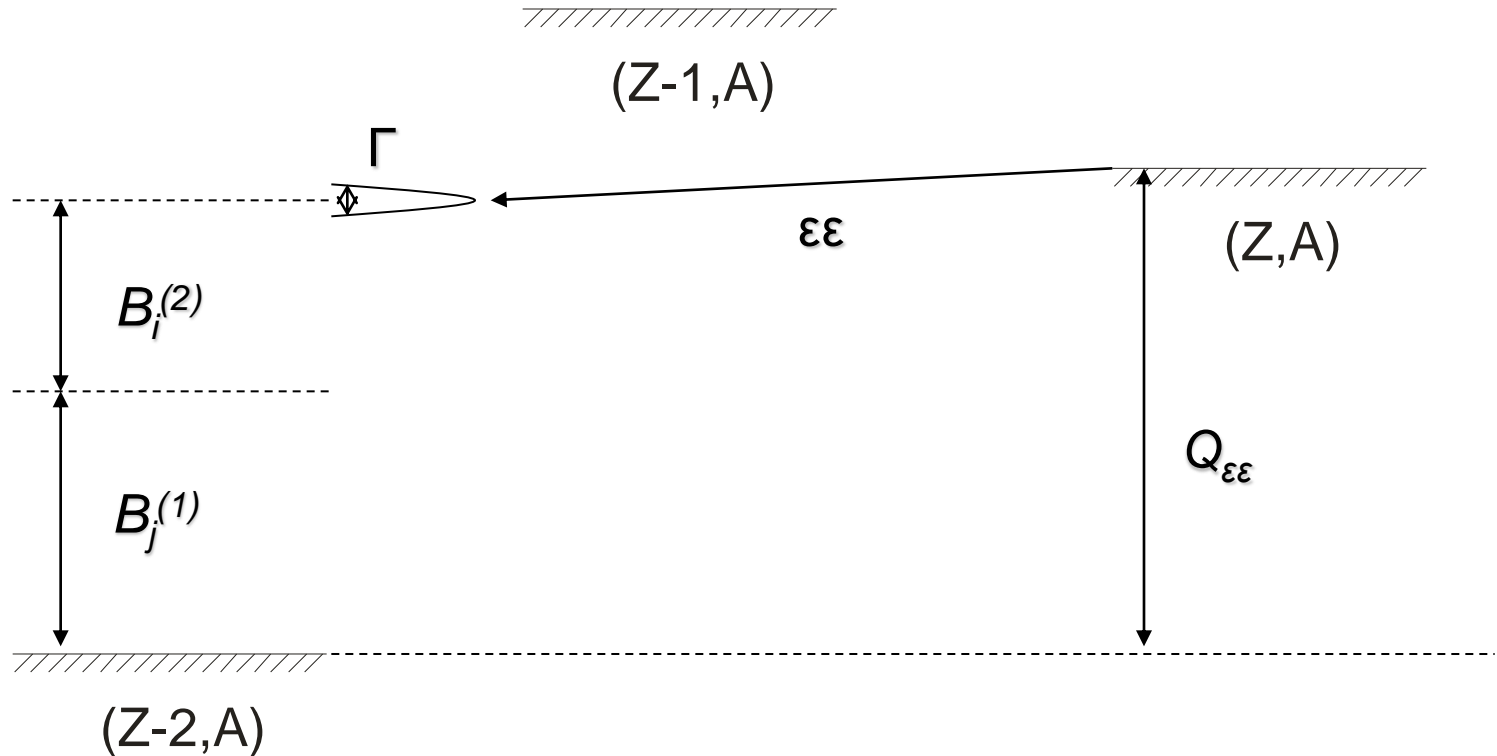
Двойной e-захват (2EC)

Наблюдение безнейтринного процесса покажет, что:



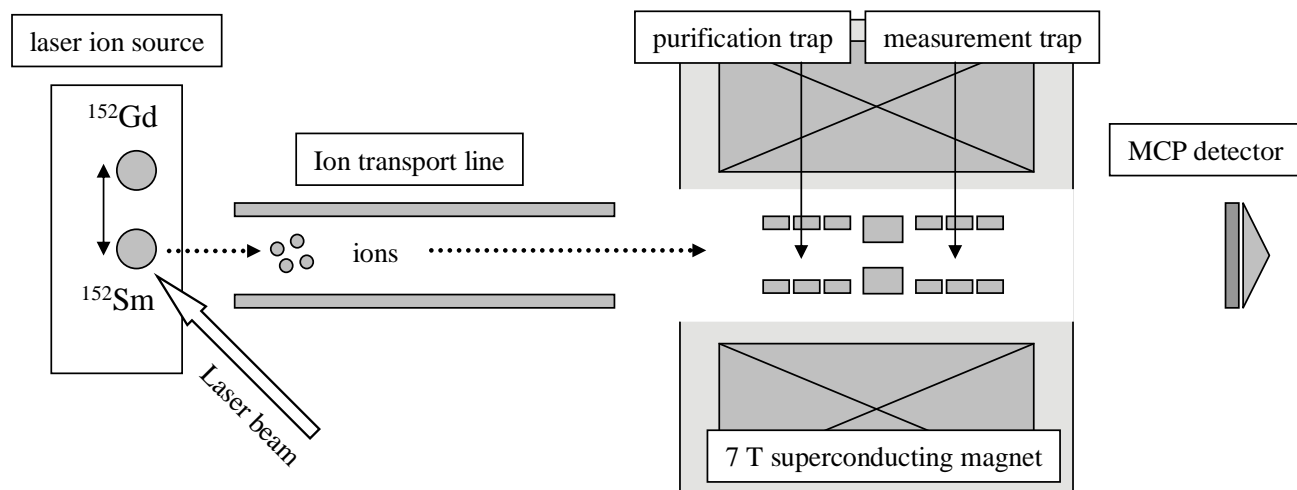
- Иерархию масс нейтрино

Резонансный безнейтринный $\varepsilon\varepsilon$ -захват



$$\lambda_{00\varepsilon\varepsilon}^{res} = c \cdot |M|^2 \cdot |\psi_{1e}(0) \cdot \psi_{2e}(0)|^2 m_\nu^2 \frac{\Gamma}{\left(Q_{\varepsilon\varepsilon} - B_i^{(1)} - B_j^{(2)}\right)^2 + \frac{1}{4}\Gamma^2}$$

Схема экспериментальной установки на базе ионной ловушки SHIPTRAP (эксперимент С. Елисеева и др.)



0⁺ → 0⁺ переходы между основными состояниями ядер

<i>2EC-переход</i>	<i>Q (эксп.), keV</i>	<i>Δ (эксп), keV</i>	<i>T_{1/2} · m_{2EC} ², лет</i>	
¹⁵² Gd → ¹⁵² Sm	55.7(0.2)	0.91(0.18)	неск. единиц · 10 ²⁶ PRL 106, 052504 (2011)	0 ⁺ → 0 ⁺
¹⁶⁴ Er → ¹⁶⁴ Dy	25.07(0.12)	6.81(0.12)	10 ³⁰ PRL 107, 152501 (2011)	0 ⁺ → 0 ⁺
¹⁸⁰ W → ¹⁸⁰ Hf	143.1(0.2)	12.4(0.2)	неск. Единиц 10 ²⁷ Nucl. Phys., A 875, 1 (2012)	0 ⁺ → 0 ⁺

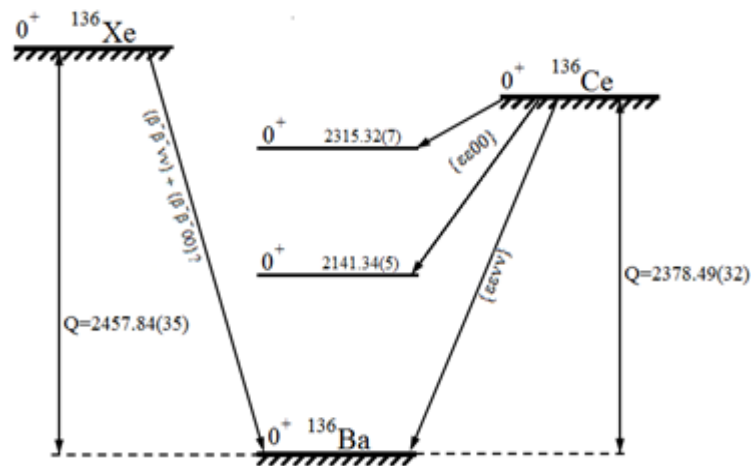
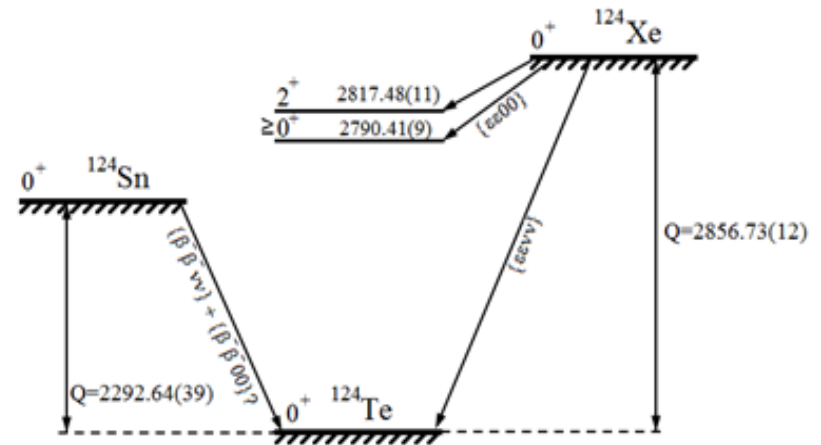
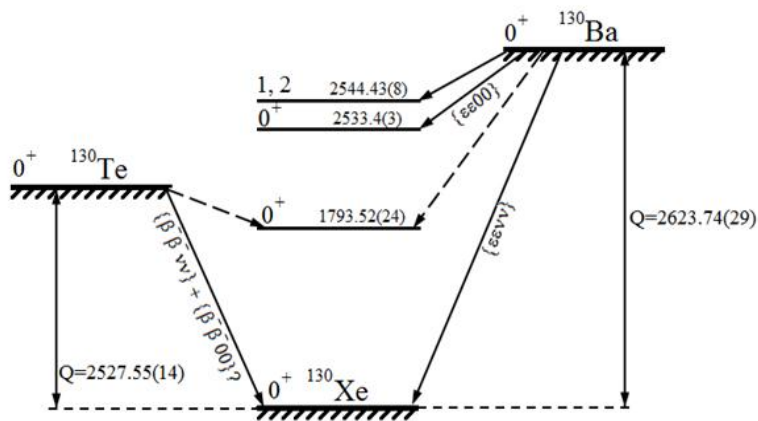
Ю.Новиков-УС ОФВЭ-24.12.12

Двойной захват на возбуждённые состояния ядра

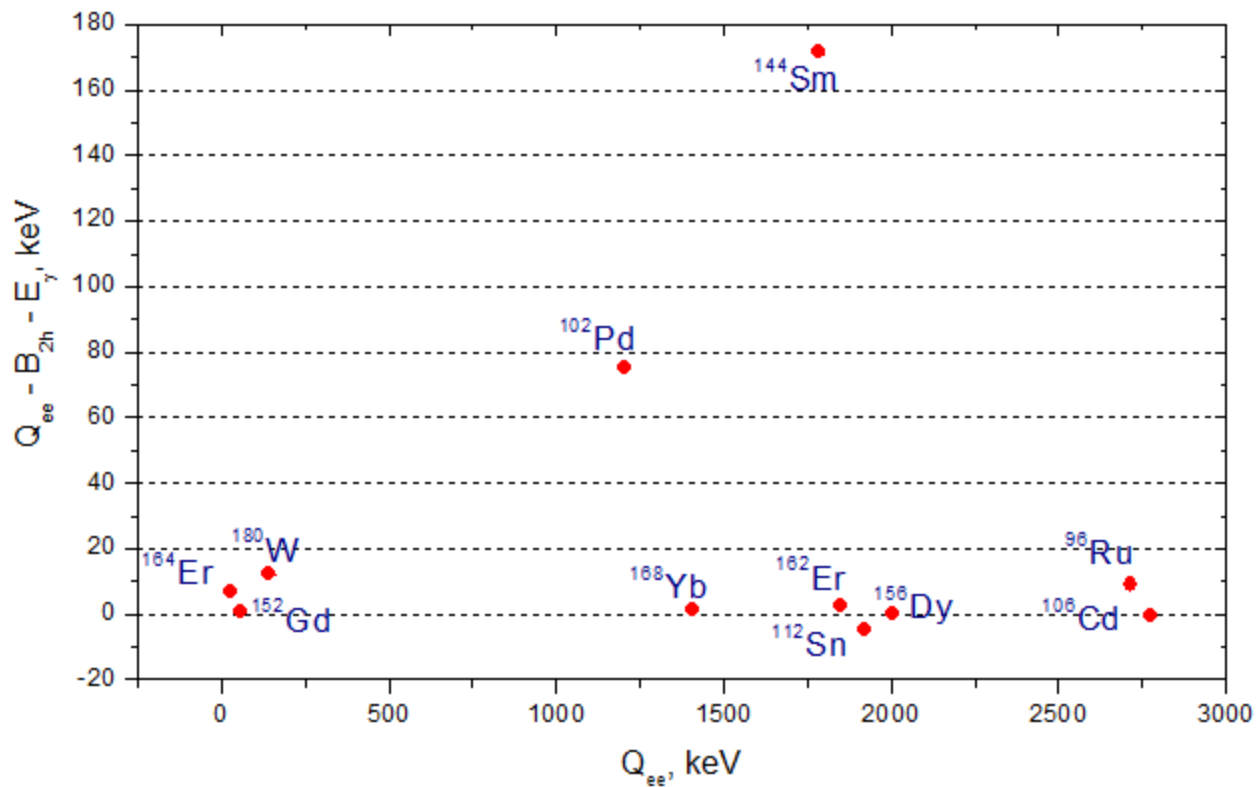
Table 2. Transitions to nuclear excited states

transition	E_{\square} /keV	I_{\square}^{\square}	electron orbitals	Q_{\square} /keV	\square /keV
$^{96}\text{Ru} \rightarrow ^{96}\text{Mo}$	2700.21(6)	2^+	L_2L_2	2714.51(13)	9.05(14)
$^{74}\text{Se} \rightarrow ^{74}\text{Ge}$	1204.205(7)	2^+	L_2L_3	1209.169(49) 1209.240(7)	2.50(5) 2.57(1)
$^{106}\text{Cd} \rightarrow ^{106}\text{Pd}$	2748.2(4)	$(2,3)^-$	KL_3	2775.39(10)	-0.33(41)
$^{112}\text{Sn} \rightarrow ^{112}\text{Cd}$	1871.00(19)	0^+	KK	1919.82(16)	-4.50(25)
$^{124}\text{Xe} \rightarrow ^{124}\text{Te}$	2790.41(9)	$(0^+ - 4^+)$	KK	2856.82(13)	1.96(16)
$^{130}\text{Ba} \rightarrow ^{130}\text{Xe}$	2544.43(8)	$[0^+]$	KK	2623.71(26)	10.15(26)
$^{136}\text{Ce} \rightarrow ^{136}\text{Ba}$	2315.32(7)	0^+	KK	2378.53(27)	-11.67(28)
$^{156}\text{Dy} \rightarrow ^{156}\text{Gd}$	1946.375(6) 1952.385(7) 1988.5(2) 2003.749(5)	1^- 0^- 0^+ 2^+	KL_1 KM_1 L_1L_1 M_1N_3	2005.95(10)	0.75(10) 1.37(10) 0.54(24) 0.04(10)
$^{162}\text{Er} \rightarrow ^{162}\text{Dy}$	1782.68(9)	2^+	KL_3	1846.95(30)	2.69(30)
$^{168}\text{Yb} \rightarrow ^{168}\text{Er}$	1403.7357(23)	$(2)^-$	M_2M_2	1409.27(25)	1.52(25)
$^{184}\text{Os} \rightarrow ^{184}\text{W}$	1322.152(22)	0^+	KK	1453.68(58)	-8.89(58)

Изобарные цепочки с $\beta\beta$ и $\epsilon\epsilon$ -процессами

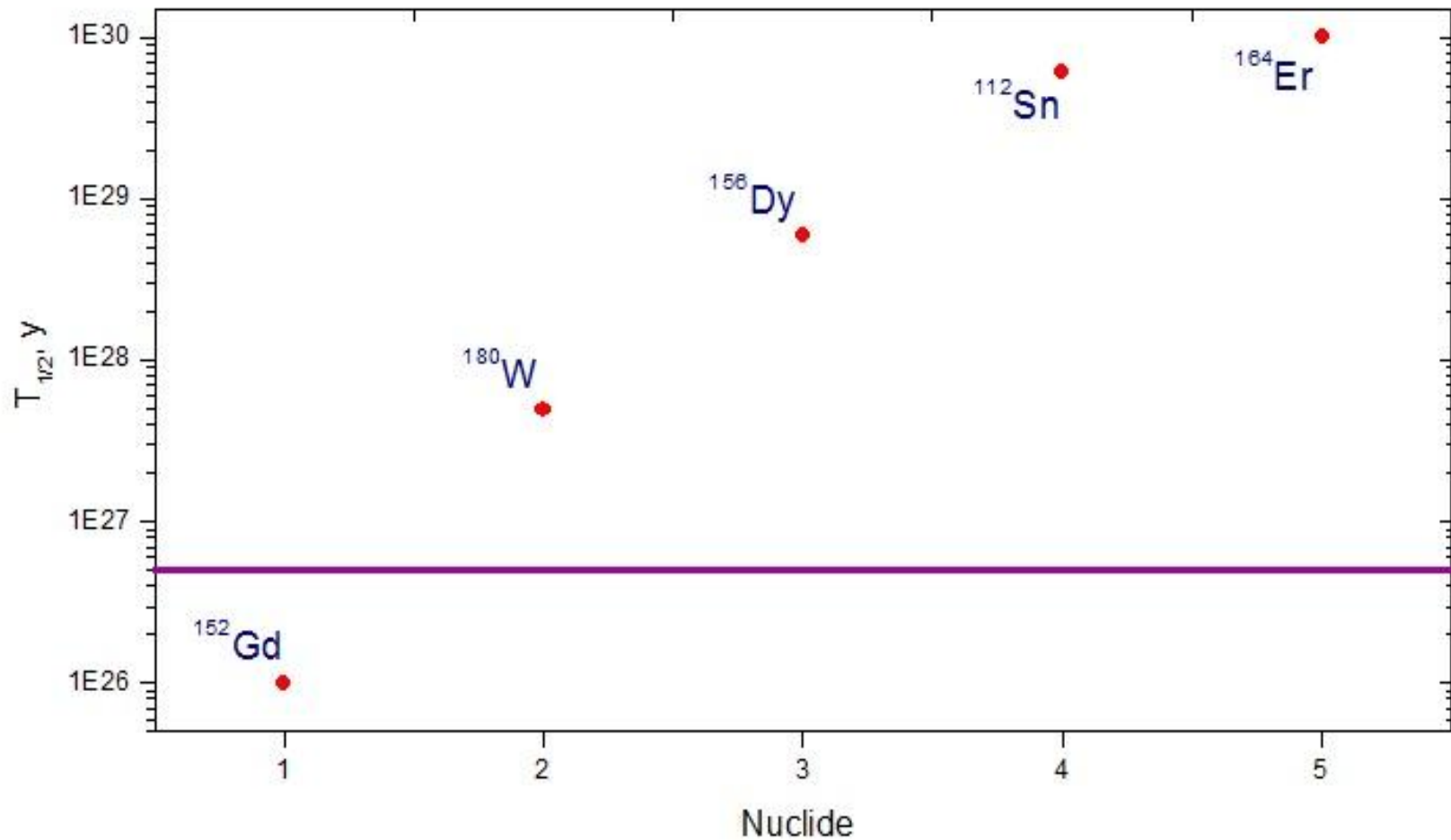


Значения энергетической щели Δ для измеренных нуклидов на SHIPTRAP



Периоды полураспада безнейтринного двойного захвата ($m_\nu=1\text{eV}$)

Горизонтальная линия- предел чувствительности действующих установок



Участники работы

**S.A. Eliseev,^{1,6} K. Blaum,^{1, 2} M. Block,³ M.V. Goncharov, ^{1,8}
C.Droese,⁴ F. Herfurth,³ H.-J. Kluge,^{2, 3} M.I. Krivoruchenko,⁵
D.A. Nesterenko,^{6,8} Yu.N. Novikov,⁶ E. Minaya Ramirez,^{3, 7}
C. Roux,¹ V.M. Shabaev,⁸ F. Šimkovic,^{9, 10} L. Schweikhard,⁴
M. V. Smirnov, ^{6,8} I.I. Tupitsyn,⁸ K. Zuber,¹¹ and N.A. Zubova⁸**

1 *Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, 69117 Heidelberg, Germany*

2 *Physikalisches Institut, Ruprecht-Karls-Universität, 69120 Heidelberg, Germany*

3 *GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Planckstraße 1, 64291 Darmstadt, Germany*

4 *Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität, 17487 Greifswald, Germany*

5 *Institute for Theoretical and Experimental Physics, Moscow, Russia*

6 *PNPI, Gatchina, 188300 St. Petersburg, Russia*

7 *Helmholtz-Institut Mainz, Johannes Gutenberg-Universität, 55099 Mainz, Germany*

8 *Department of Physics, St. Petersburg State University, 198504 St. Petersburg, Russia*

9 *Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia*

10 *Department of Nuclear Physics and Biophysics, Comenius University, Bratislava, Slovakia*

11 *Institut für Kern- und Teilchenphysik, Technische Universität, 01069 Dresden, Germany*

Thanks to K.. Blaum (MPIK) and M. Block (GSI) for collaboration, support and hospitality

Публикации по проекту “SHIPTRAP” за 2012 г.

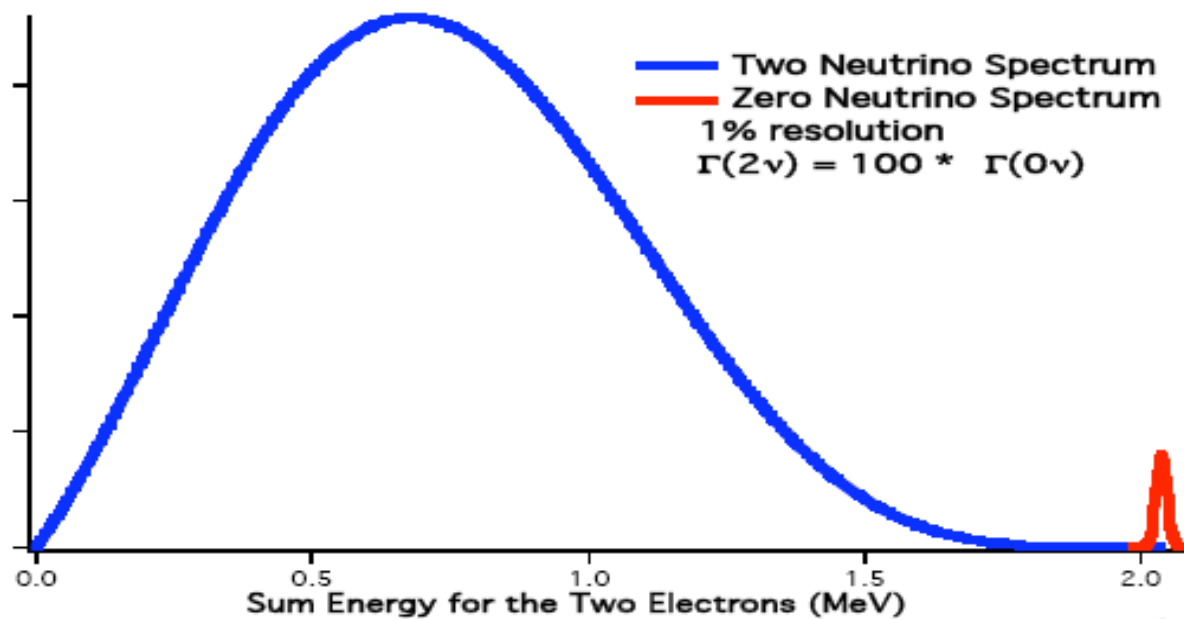
(в числе авторов указаны только сотрудники ПИЯФ,

Only the PNPI-co-authors indicated)

1. S.A. Eliseev, Yu.N. Novikov et al. *Probing the nuclide ^{180}W for neutrinoless double-electron capture exploration.* **Nucl. Phys. A** **875** (2012) pp. 1-7.
2. S.A. Eliseev, Yu.N. Novikov et al. *Search for resonant enhancement of neutrinoless double-electron capture by high-precision Penning-trap mass spectrometry.* **J.Phys. G** **39**, 124003 (2012).
3. D.A. Nesterenko, S.A. Eliseev, Yu.N. Novikov et al. *Double-beta transformations in isobaric triplets with mass numbers $A=124, 130$ and 136 .* **Phys. Rev. C** **86**, 044313 (2012).
4. S.A. Eliseev, D.A. Nesterenko, Yu.N. Novikov et al. *Direct Mapping of Nuclear Shell Effects in the Heaviest Elements.* **Science** **337** (2012) pp.1207-1210.
5. S.A. Eliseev, D.A. Nesterenko, Yu.N. Novikov. *High-precision mass measurements of $^{203-207}\text{Rn}$ and ^{213}Ra with SHIPTRAP.* **Eur. Phys. J. A** (2012).

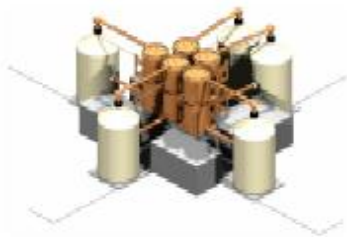
- Back ups

Energy Spectrum for the 2 e⁻



**Endpoint
Energy**

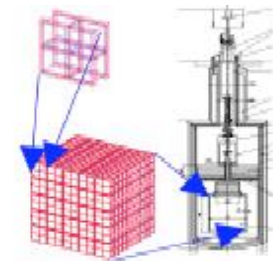
Проекты поиска безнейтринного двойного бета-распада с чувствительностью $\approx 10^{26}$ лет



Majorana

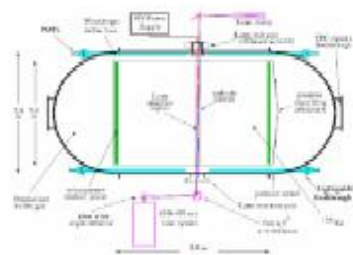
EXO

CUORE	TeO₂ Crystal bolometers
EXO	Liquid Xe TPC, daughter tag
GERDA	Bare Ge detectors in $\overline{\text{LN}}$ LAr
Majorana	Ge det. in traditional cryostat
MOON	Scint. sandwiching Mo foils
SuperNEMO	Foils, tracking and scint.



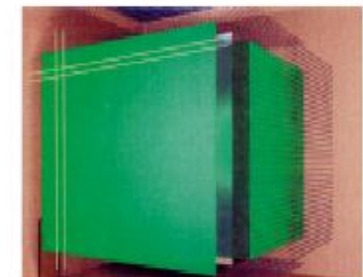
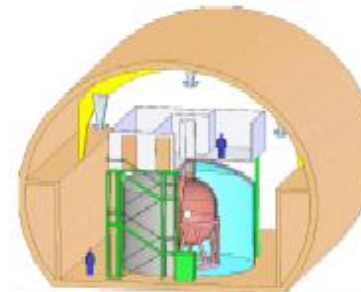
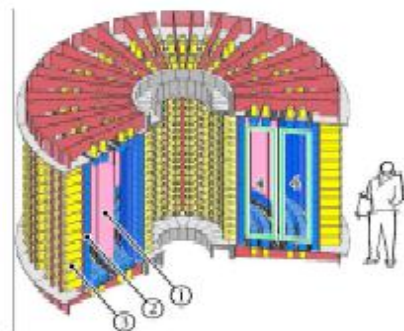
CUORE

MOON

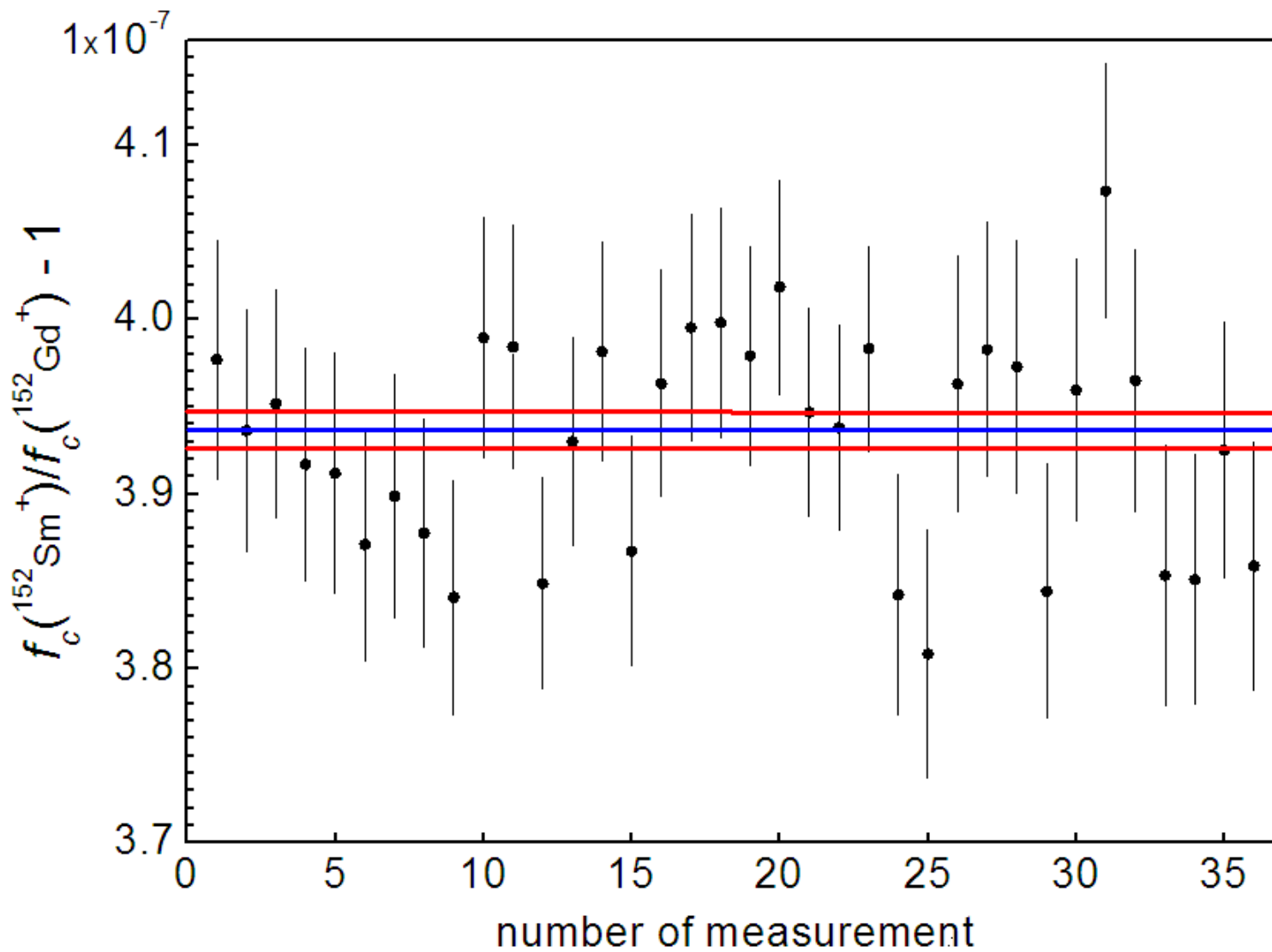


NEMO

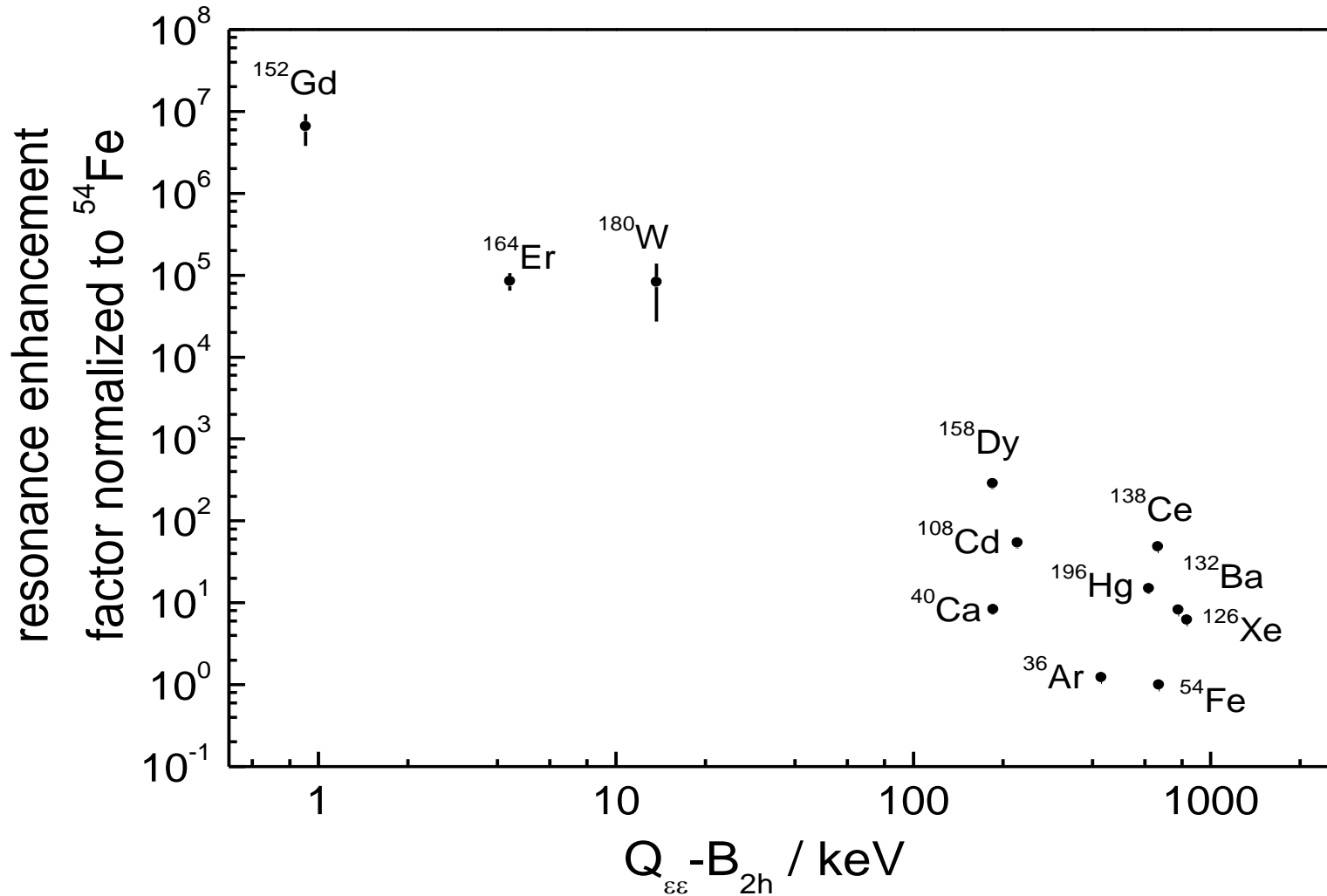
GERDA



Courtesy of P. Vogel



Факторы резонансного усиления $\epsilon\epsilon$ -захвата



Полученные значения энергии захвата в ^{152}Gd ($Q_{2\text{EC}}$), энергии двойной дырки (B_{2h}) и ширины двойной дырки (Γ_{2h}) в дочернем ядре ^{152}Sm

$Q_{2\text{EC}}, \text{ keV}$	55.70(18)
$B_{2h}, \text{ keV}$	54.794(9)
$\Delta = Q - B, \text{ keV}$	0.91(18)
$\Gamma_{2\text{EC}}, \text{ eV}$	24.8(2.5)
T (half-life), years	$10^{26}/m_\nu^2$

$$\lambda_{00\varepsilon\varepsilon}^{res} = c \cdot |M|^2 \cdot |\psi_{1e}(0) \cdot \psi_{2e}(0)|^2 m_\nu^2 \frac{\Gamma}{(Q_{\varepsilon\varepsilon} - B_{2h})^2 + \frac{1}{4}\Gamma^2}$$

Явление множественного безнейтринного резонанса

