

Измерение времени жизни нейтрона на установке ПИЯФ в ИЛЛ, итоги и перспективы

А.К. Фомин

Руководитель проекта: А.П. Серебров

ПИЯФ НИЦ КИ, Гатчина, Россия

РНСИ-КС-2014
Санкт-Петербург, Старый Петергоф
27–31 октября 2014 г.

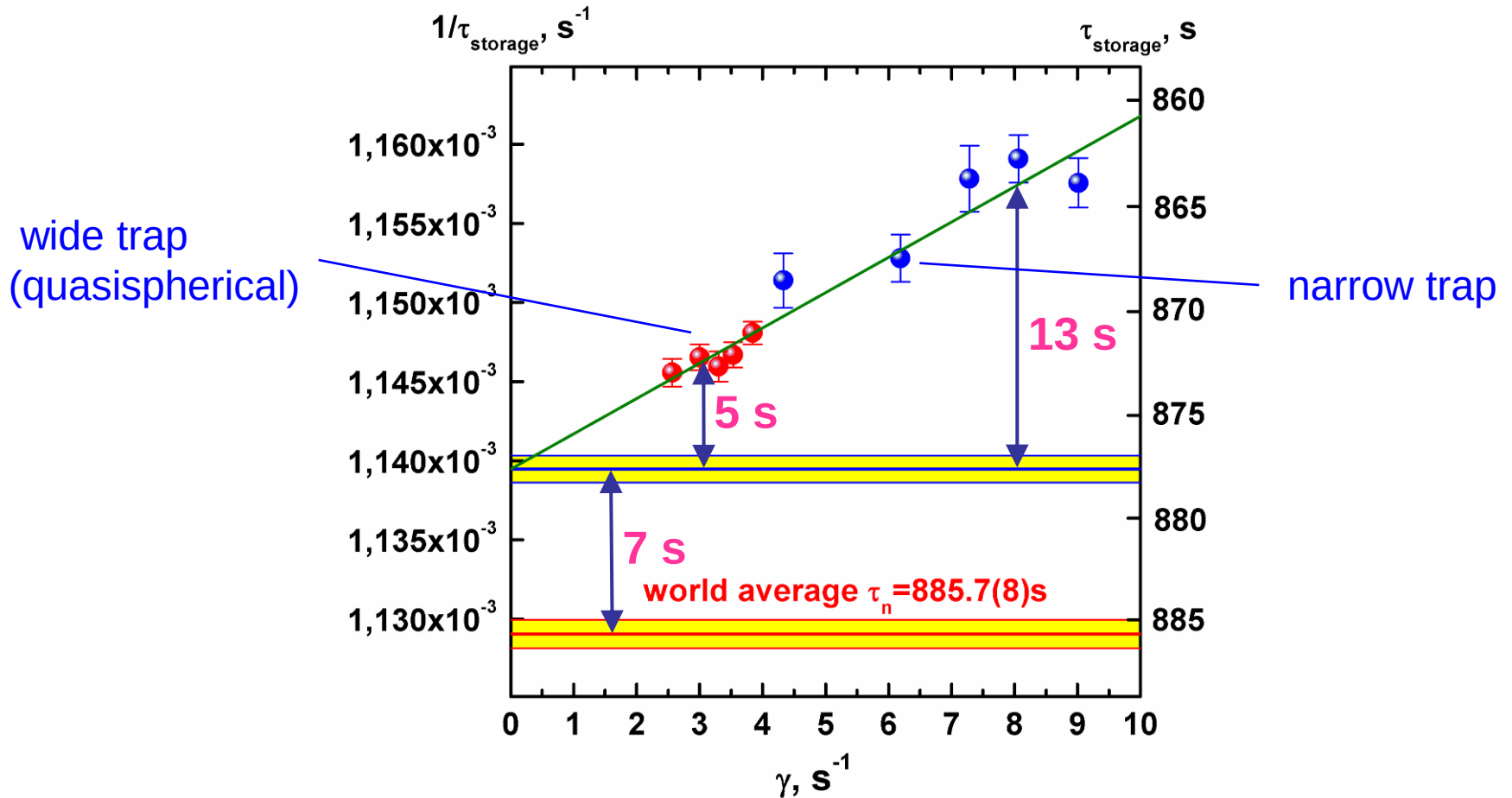
Эксперимент ПИЯФ с гравитационной ловушкой

A.Serebrov et al. , Phys Lett B 605, (2005) 72-78 : **878.5 ± 0.8 s**

2002-2004 (PNPI-JINR-ILL), ILL reactor, Grenoble

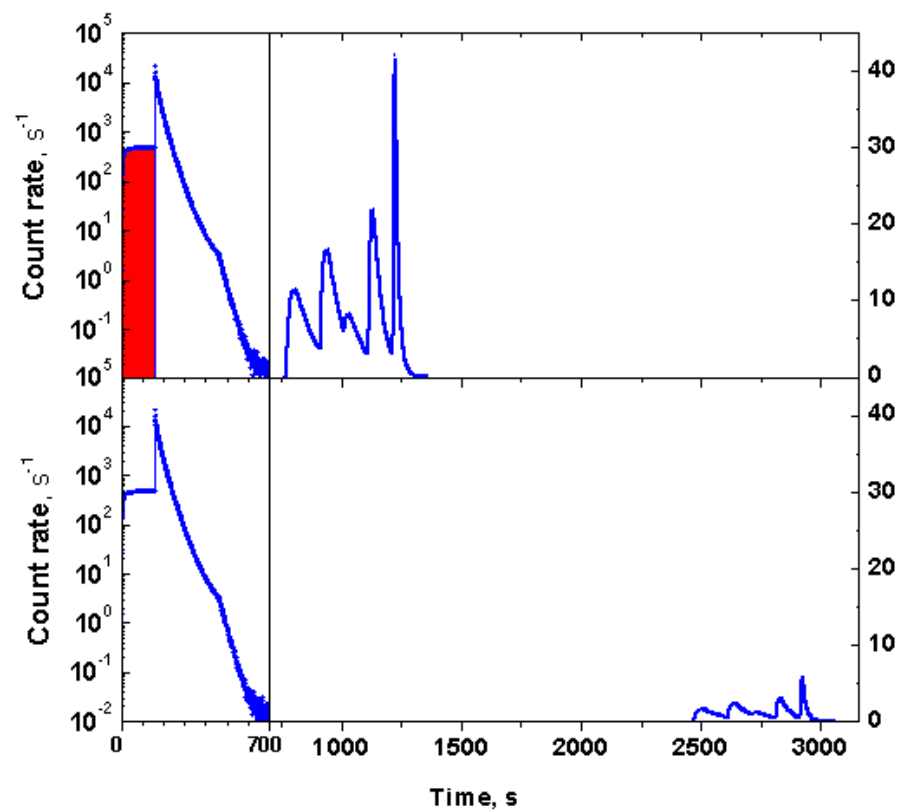
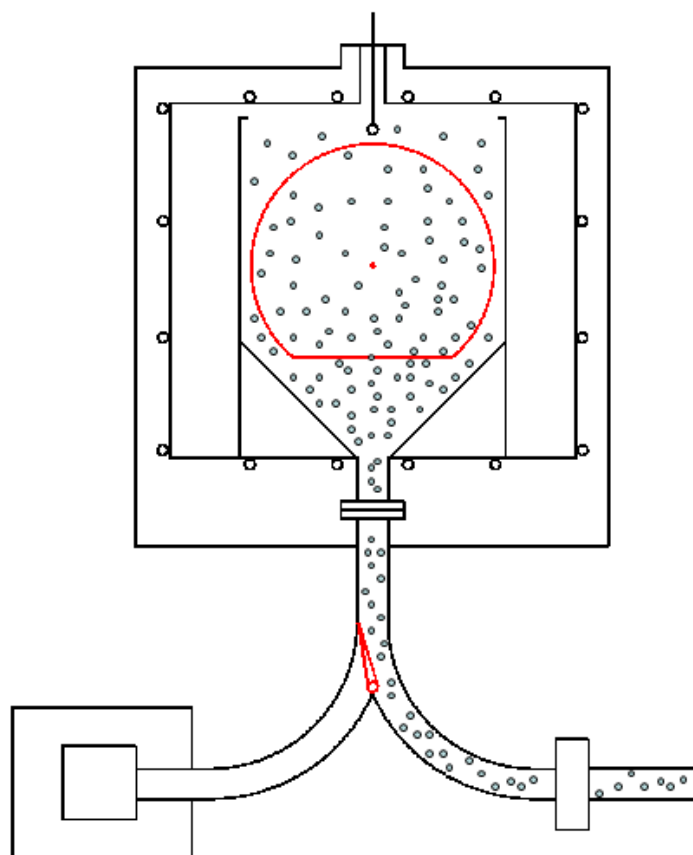


Экстраполяция ко времени жизни нейтрона



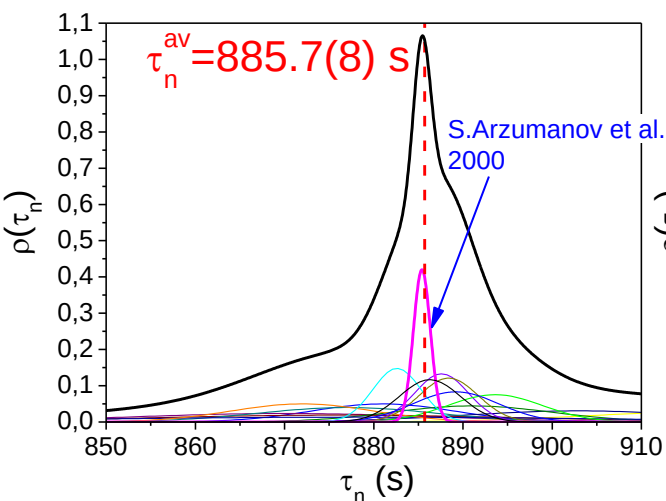
The most close extrapolation to neutron lifetime (5 s only) is reached in this experiment!

Метод измерений с гравитационной ловушкой УХН



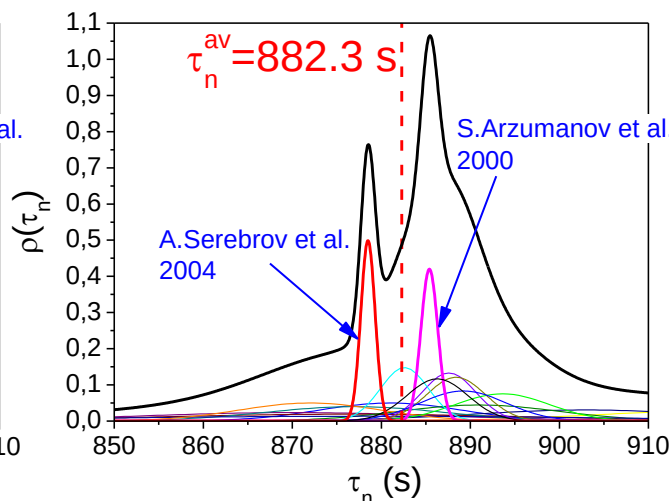
Filling of the trap with UCN: $\theta=180^\circ$.

Проблема измерений времени жизни нейтрона в 2004-2007



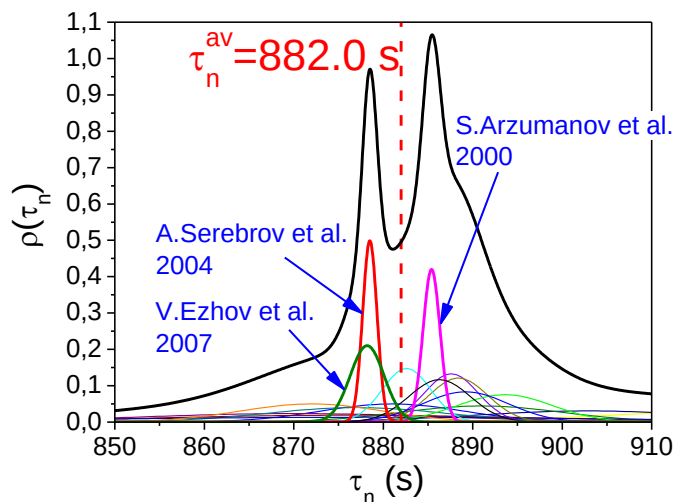
2003

до эксперимента
с гравитационной ловушкой



2004

после эксперимента
с гравитационной ловушкой



2007

после эксперимента
с магнитной ловушкой

Lifetime τ [s]	Ref./Year
878.2 ± 1.9	V. Ezhov et al. 2007
878.5 ± 0.8	A. Serebrov et al. 2004
886.3 ± 3.42	M.S. Dewey et al. 2003
885.4 ± 0.95	S. Arzumanov et al. 2000
889.2 ± 4.8	J. Byrne et al. 1996
882.6 ± 2.7	W. Mampe et al. 1993
$888.4 \pm 3.1 \pm 1.1$	V. Nesvizhevski et al. 1992
$893.6 \pm 3.8 \pm 3.7$	J. Byrne et al. 1990
887.6 ± 3.0	W. Mampe et al. 1989
872 ± 8	A. Kharitonov et al. 1989
$878 \pm 27 \pm 14$	R. Kossakowski et al. 1989
877 ± 10	W. Paul et al. 1989
891 ± 9	P. Spivac et al. 1988
$876 \pm 10 \pm 19$	J. Last et al. 1988
870 ± 17	M. Arnold et al. 1987
903 ± 13	Y.Y. Kosvintsev et al. 1986
937 ± 18	J. Byrne et al. 1980
881 ± 8	L. Bondarenko et al. 1978
918 ± 14	C.J. Christensen et al. 1972

Monte Carlo Simulation of Quasi-Elastic Scattering and Above-Barrier Neutrons in the Neutron Lifetime Experiment MAMBO I[†]

A. P. Serebrov and A. K. Fomin

Petersburg Nuclear Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Gatchina, Leningrad region, 188300 Russia

ISSN 0021-3640, JETP Letters, 2010, Vol. 92, No. 1, pp. 40–45. © Pleiades Publishing, Inc., 2010.

Detailed Analysis and Monte Carlo Simulation of the Neutron Lifetime Experiment[†]

A. K. Fomin and A. P. Serebrov

Petersburg Nuclear Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Gatchina, Leningrad region, 188300 Russia

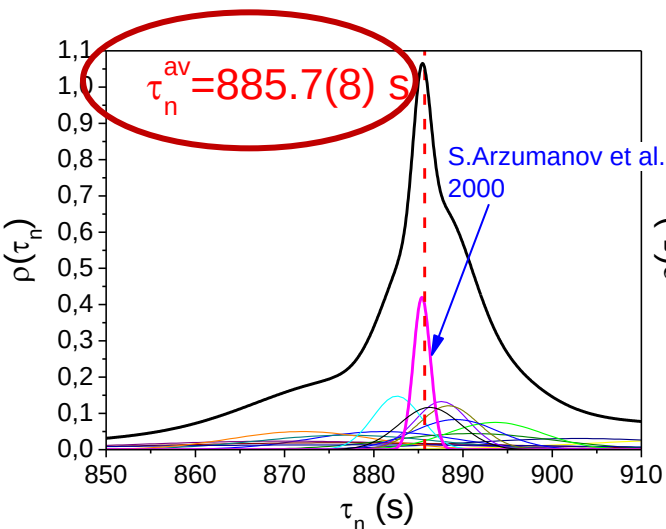
PHYSICAL REVIEW C **82**, 035501 (2010)

Neutron lifetime from a new evaluation of ultracold neutron storage experiments

A. P. Serebrov^{*} and A. K. Fomin

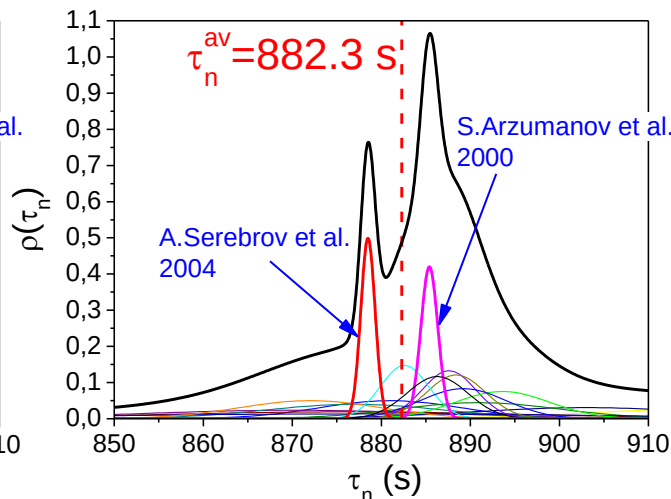
Petersburg Nuclear Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Gatchina, RU-188300 Leningrad, Russia

Проблема измерений времени жизни нейтрона в 2010



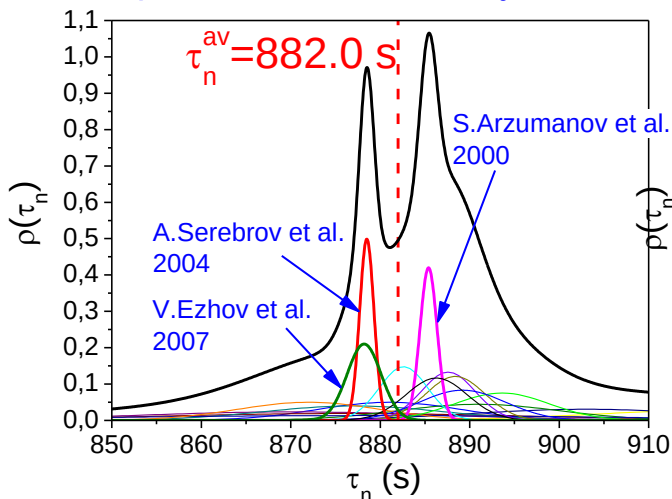
2003

до эксперимента
с гравитационной ловушкой



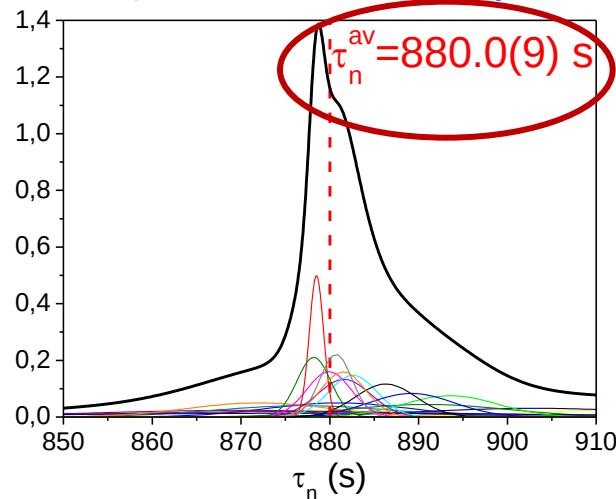
2004

после эксперимента
с гравитационной ловушкой



2007

после эксперимента
с магнитной ловушкой



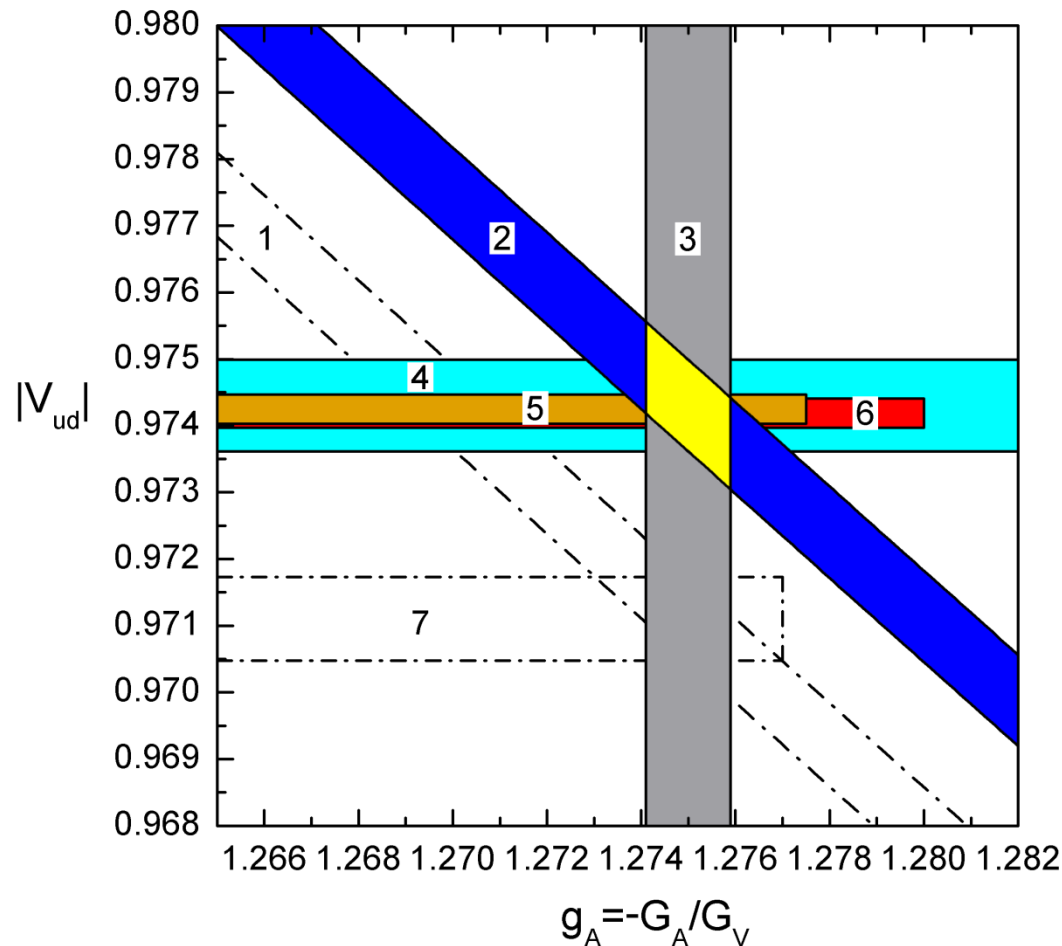
2010

новый анализ (Serebrov, Fomin PRC 82, 035501(2010)

Lifetime τ [s]	Ref./Year
878.2 ± 1.9	V. Ezhov et al. 2007
878.5 ± 0.8	A. Serebrov et al. 2004
886.3 ± 3.42	M.S. Dewey et al. 2003
885.4 ± 0.95 	S. Arzumanov et al. 2000
889.2 ± 4.8	J. Byrne et al. 1996
882.6 ± 2.7	W. Mampe et al. 1993
$888.4 \pm 3.1 \pm 1.1$	V. Nesvizhevski et al. 1992 
$893.6 \pm 3.8 \pm 3.7$	J. Byrne et al. 1990
887.6 ± 3.0 	W. Mampe et al. 1989
872 ± 8	A. Kharitonov et al. 1989
$878 \pm 27 \pm 14$	R. Kossakowski et al. 1989
877 ± 10	W. Paul et al. 1989
891 ± 9	P. Spivac et al. 1988
$876 \pm 10 \pm 19$	J. Last et al. 1988
870 ± 17	M. Arnold et al. 1987
903 ± 13	Y.Y. Kosvintsev et al. 1986
937 ± 18	J. Byrne et al. 1980
881 ± 8	L. Bondarenko et al. 1978
918 ± 14	C.J. Christensen et al. 1972

<i>VALUE (s)</i>	<i>DOCUMENT ID</i>	<i>TECN</i>	<i>COMMENT</i>
880.0± 0.9 OUR AVERAGE	Error includes scale factor of 1.4. See the ideogram below.		
881.6± 0.8± 1.9	¹¹ ARZUMANOV 12	CNTR	UCN double bottle
882.5± 1.4± 1.5	¹² STEYERL 12	CNTR	UCN material bottle
880.7± 1.3± 1.2	PICHLMAIER 10	CNTR	UCN material bottle
886.3± 1.2± 3.2	NICO 05	CNTR	In-beam <i>n</i> , trapped <i>p</i>
878.5± 0.7± 0.3	SEREBROV 05	CNTR	UCN gravitational trap
889.2± 3.0± 3.8	BYRNE 96	CNTR	Penning trap
882.6± 2.7	¹³ MAMPE 93	CNTR	UCN material bottle
● ● ● We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. ● ● ●			
886.8± 1.2± 3.2	DEWEY 03	CNTR	See NICO 05
885.4± 0.9± 0.4	ARZUMANOV 00	CNTR	See ARZUMANOV 12
888.4± 3.1± 1.1	¹⁴ NESVIZHEV... 92	CNTR	UCN material bottle
888.4± 2.9	ALFIMENKOV 90	CNTR	See NESVIZHEVSKII 92
893.6± 3.8± 3.7	BYRNE 90	CNTR	See BYRNE 96
878 ±27 ±14	KOSSAKOW... 89	TPC	Pulsed beam
887.6± 3.0	MAMPE 89	CNTR	See STEYERL 12
877 ±10	PAUL 89	CNTR	Magnetic storage ring
876 ±10 ±19	LAST 88	SPEC	Pulsed beam
891 ± 9	SPIVAK 88	CNTR	Beam
903 ±13	KOSVINTSEV 86	CNTR	UCN material bottle
937 ±18	¹⁵ BYRNE 80	CNTR	
875 ±95	KOSVINTSEV 80	CNTR	
881 ± 8	BONDAREN... 78	CNTR	See SPIVAK 88
918 ±14	CHRISTENSEN72	CNTR	

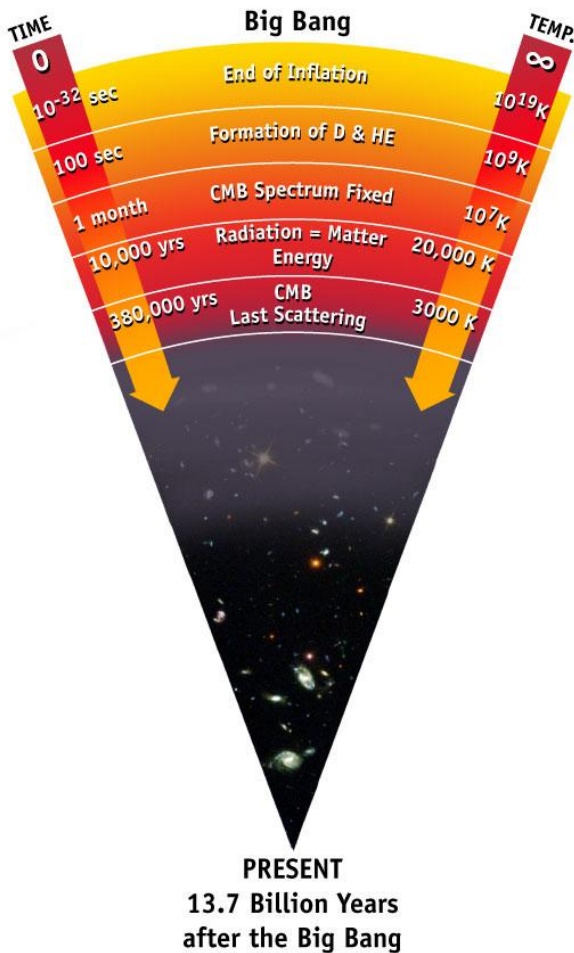
Новое среднемировое значение времени жизни нейтрона подтверждает справедливость Стандартной модели



Dependence of the CKM matrix element $|V_{ud}|$ on the values of the neutron lifetime and the axial coupling constant g_A . (1) neutron lifetime, PDG 2006; (2) neutron lifetime, this talk; (3) neutron β -asymmetry, Perkeo 2007; (4) neutron β -decay, this article + Perkeo 2007; (5) unitarity; (6) $0^+ \rightarrow 0^+$ nuclear transitions; (7) neutron β -decay, PDG 2006 + Perkeo 2007.

Новое среднемировое значение времени жизни нейтрона лучше для модели Большого взрыва

G. J. Mathews, T. Kajino, T. Shima, Phys. Rev. D 71, 021302(R) (2005)



$$(f\tau_n)^{-1} = \frac{G_F^2}{2\pi^3} (1 + 3g_A^2) m_e^5$$

$$\Gamma = (7/60)\pi(1 + 3g_A^2)G_F^2 T^5$$

$$H \approx [(8/3)\pi G \rho_\gamma]^{1/2}$$

$$\rho_\gamma = (\pi^2/30)g_* T^4$$

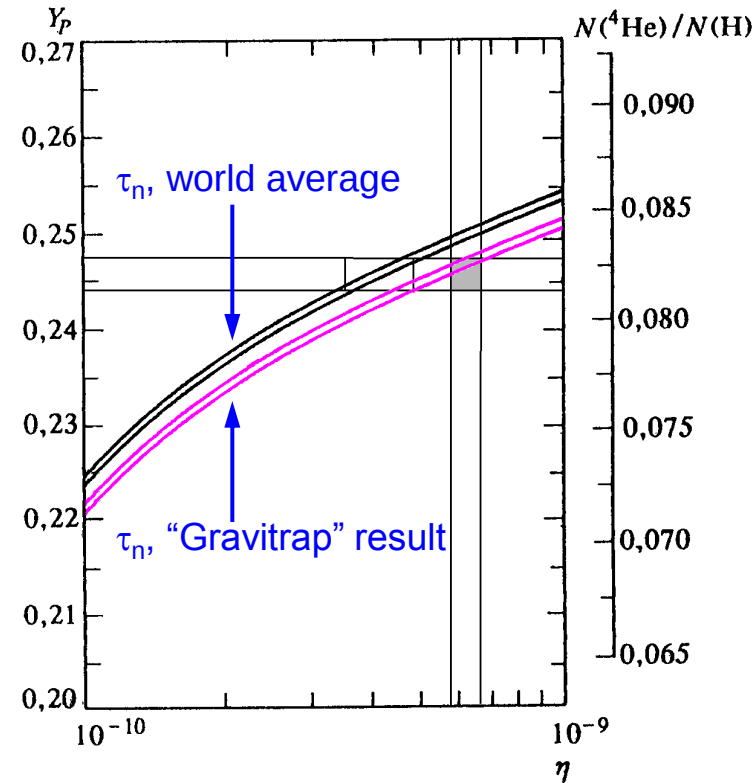
$$T_f \approx 1 \text{ MeV}$$

$$n/p = \exp\{-\Delta m/T_f\}$$

$$Y_p \approx 2n/(n + p) = 2(n/p)/(n/p + 1)$$

$$\Delta\tau_n = 1\% \rightarrow \Delta Y = 0.75\% (\pm 0.61\%)$$

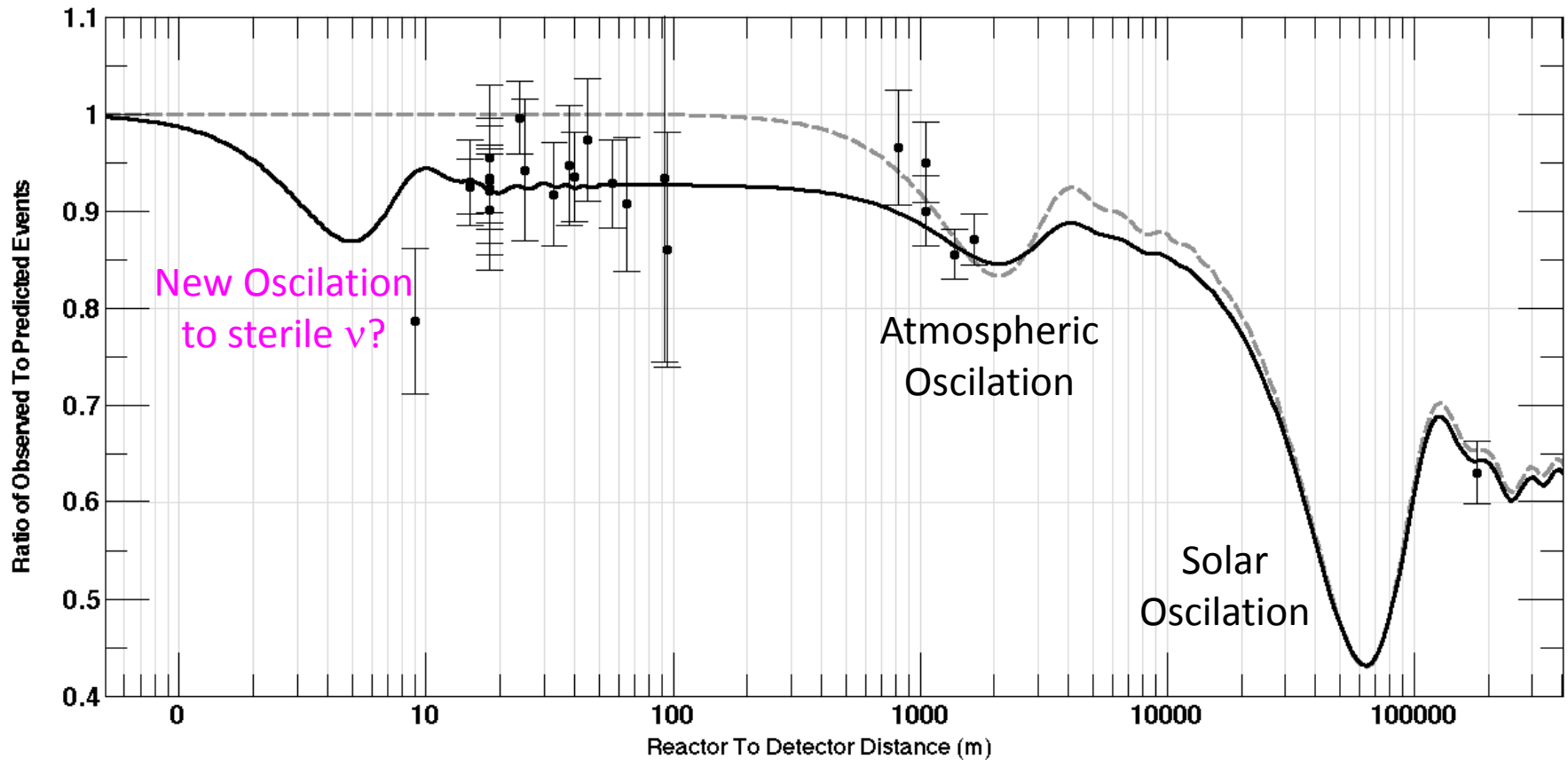
$$\Delta\tau_n = 1\% \rightarrow \Delta\eta = 17\% (\pm 3.3\%)$$



New $\tau_n = (878.5 \pm 0.8)$ s confirms n_b/n_γ from CMB.

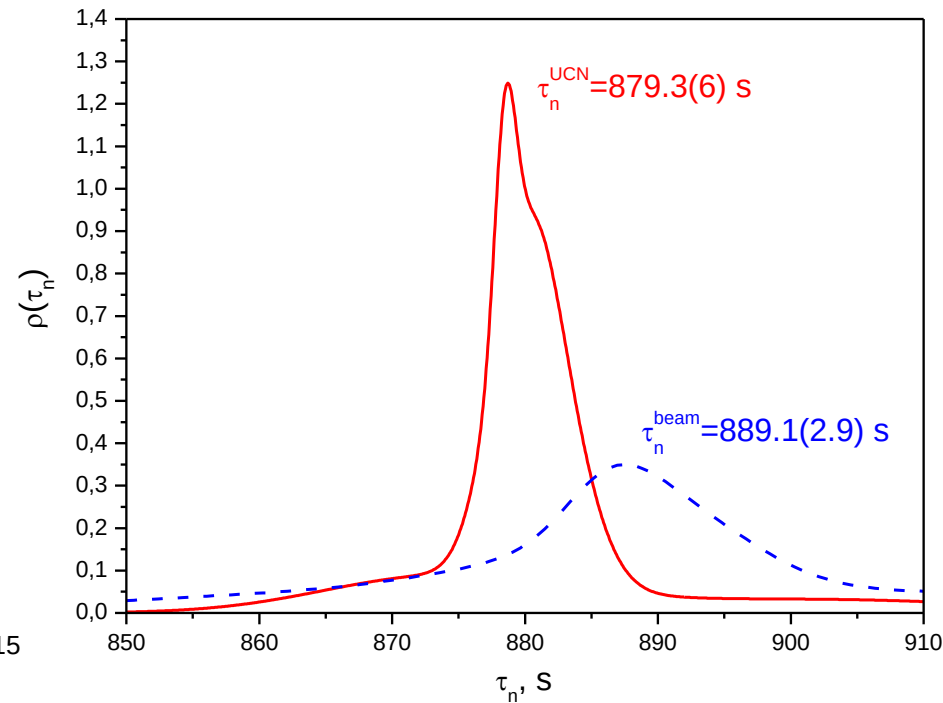
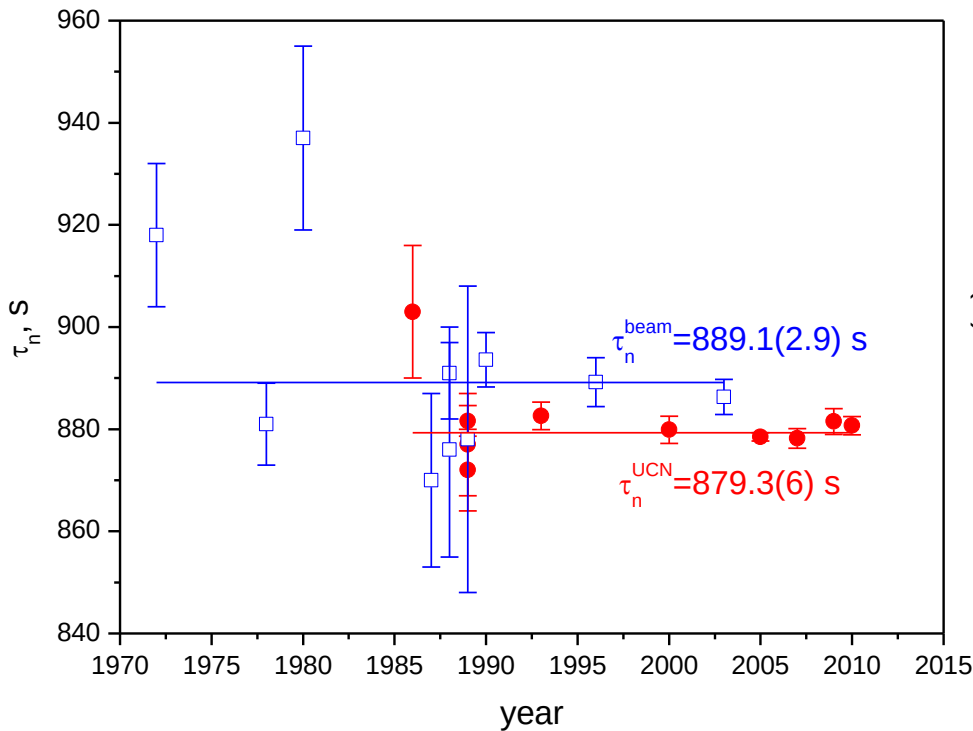
Реакторная антинейтринная аномалия

G. Mention et al., Phys. Rev. D83, 073006, 2011



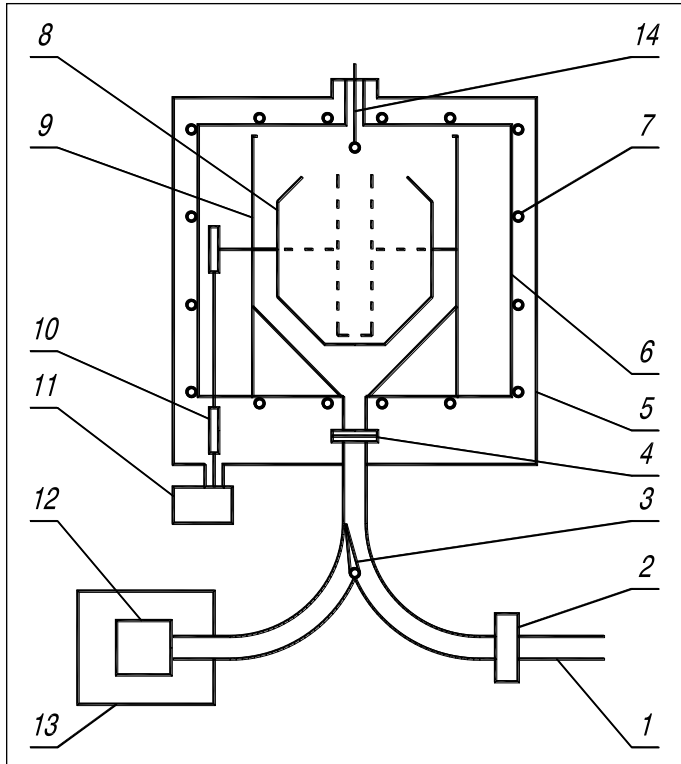
Расхождение результатов измерения времени жизни нейтрона в пучковых экспериментах и экспериментах с хранением

A.P. Serebrov and A.K. Fomin / *Physics Procedia* 17 (2011) 199–205



$$\Delta\tau_n = 9.8(2.96) \text{ s} \quad (3.3\sigma)$$

Gravitrap → Big Gravitrap



Increasing of “wide” trap volume is 5.3.
Increasing of “narrow” trap volume is 18.

1. Statistical accuracy $0.7 \text{ s} \rightarrow 0.2 \text{ s}$;
2. Vacuum correction $0.4 \text{ s} \rightarrow 0.04 \text{ s}$;
3. Measurement in two positions without disassembling;
4. Improvement of loss factor ? $2 \cdot 10^{-6} \rightarrow 10^{-6}$?
5. Expected accuracy: statistical $\sim 0.2 \text{ s}$
systematical $< 0.1 \text{ s}$

878.5 0.7_{stat} 0.3_{sys} s

Phys. Lett. B 605, 72 (2005)

Phys. Rev. C 78, 035505 (2008)

Русские традиции

Царь-колокол



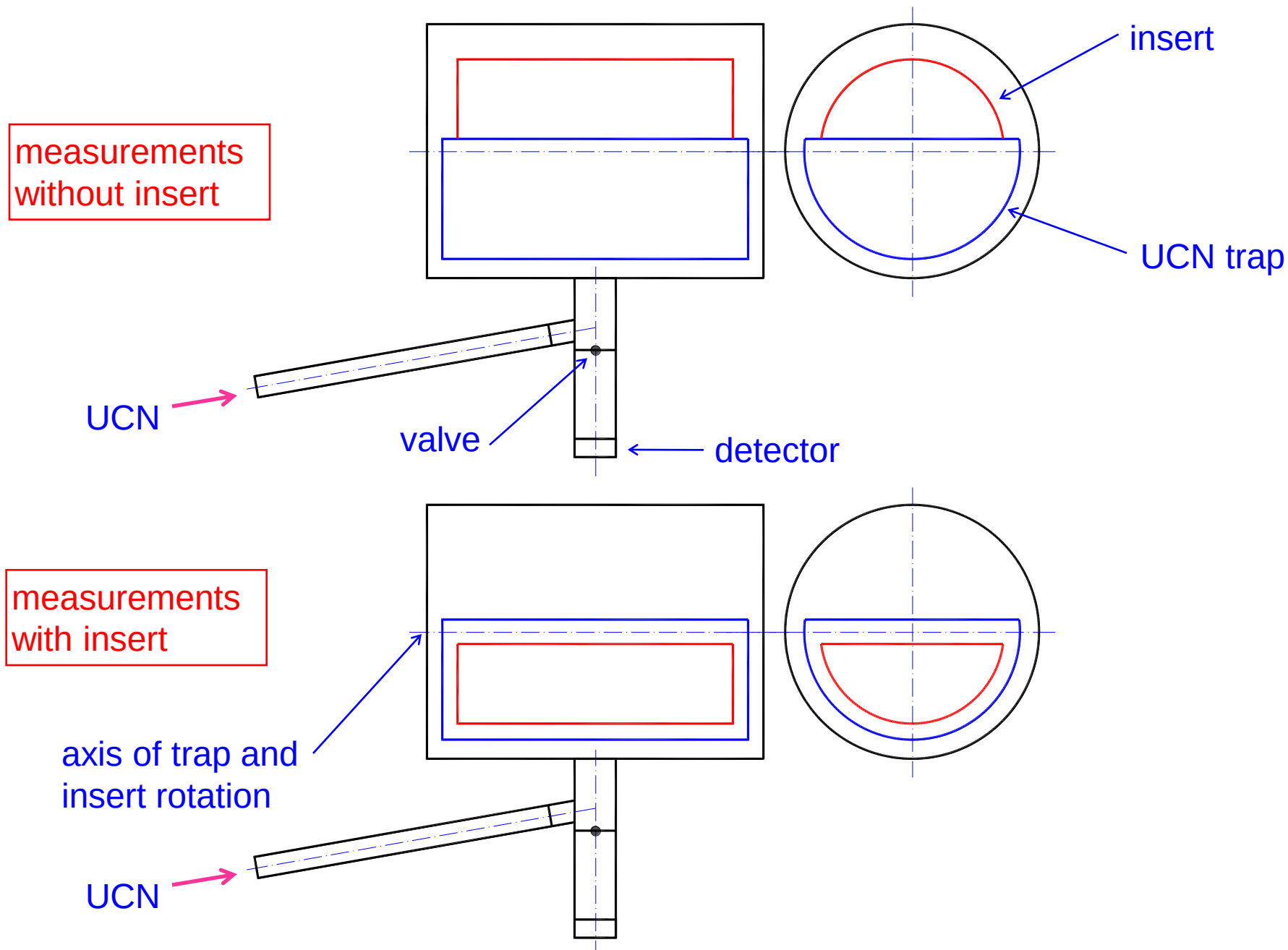
Царь-пушка



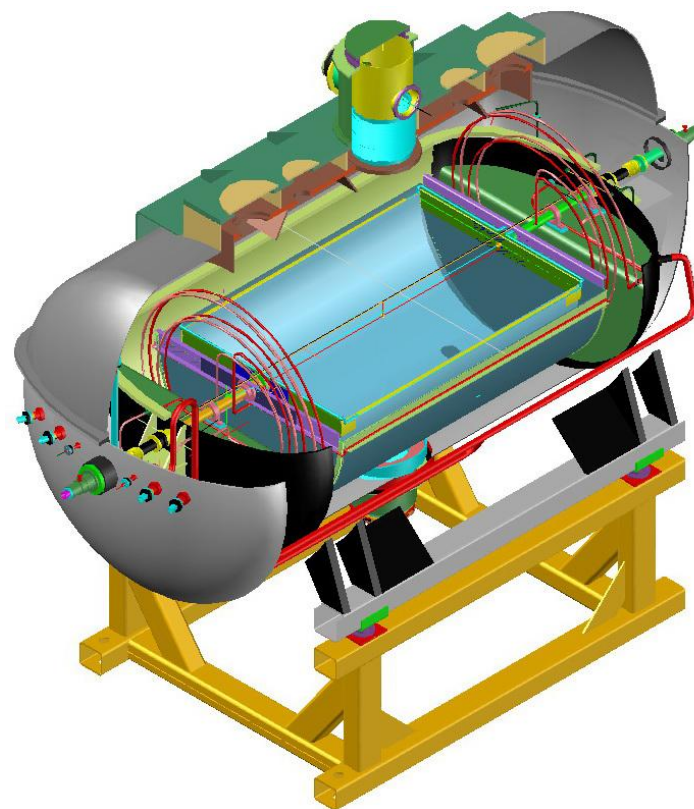
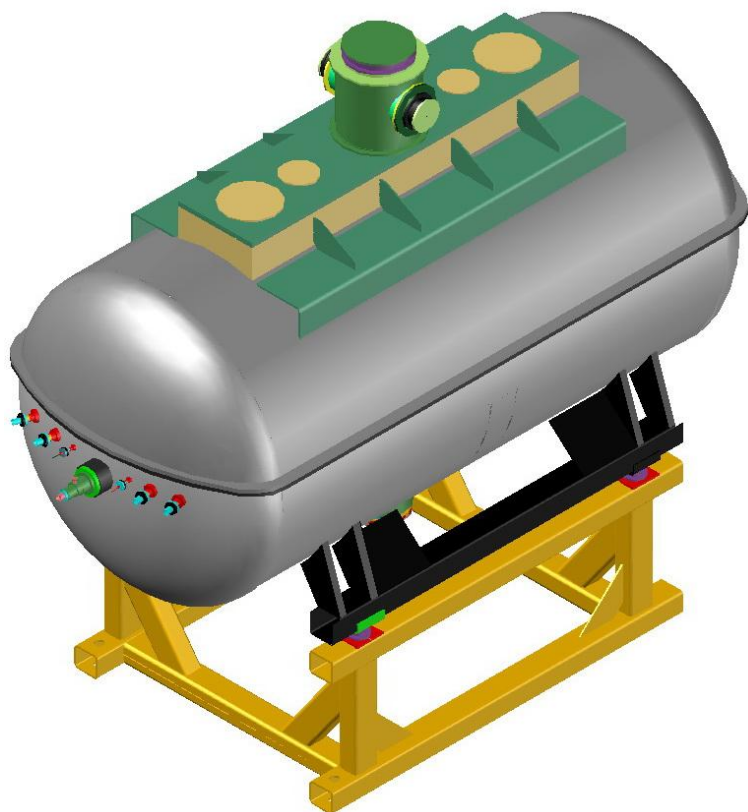
Царь-ловушка



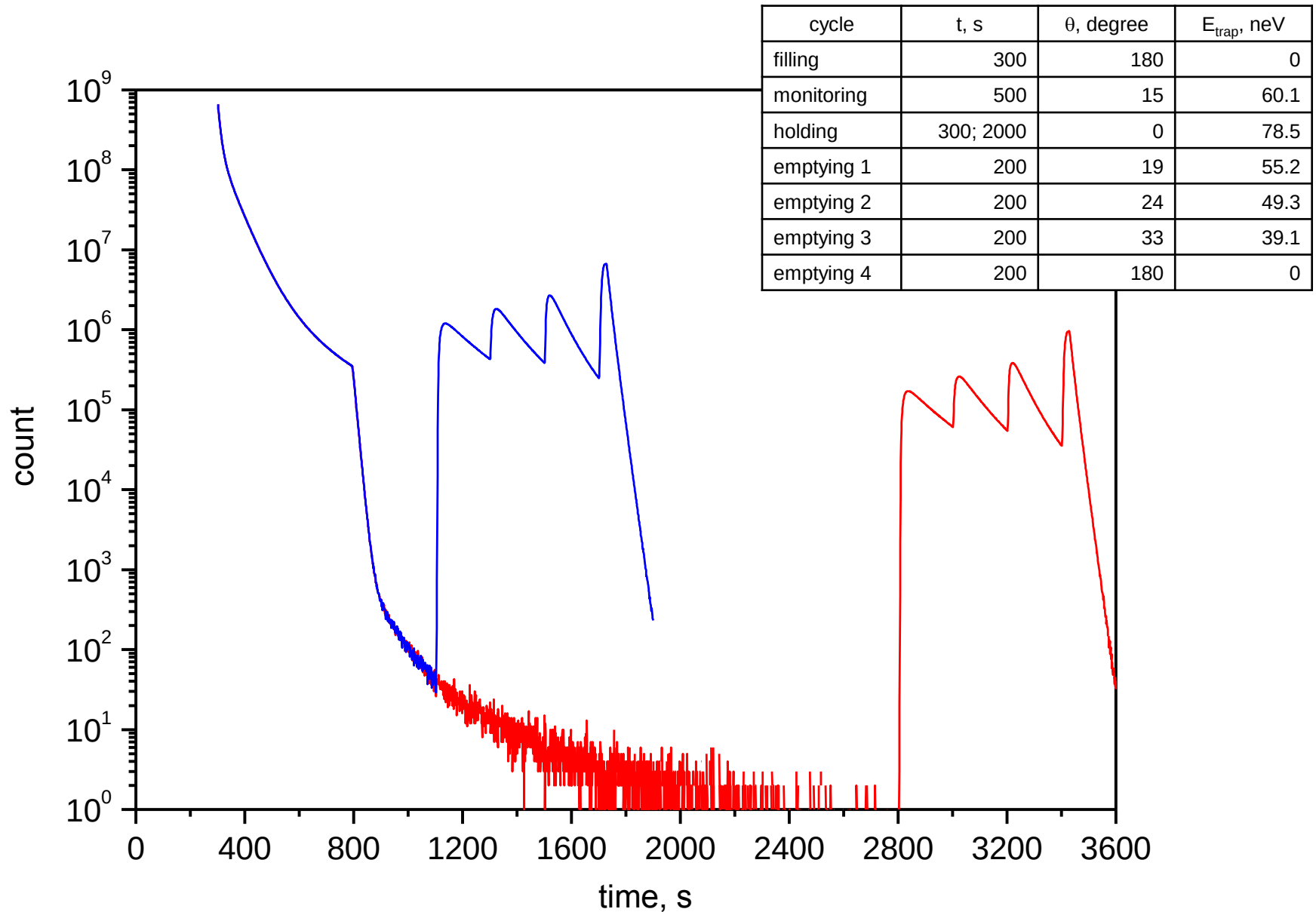
Схема установки с большой гравитационной ловушкой



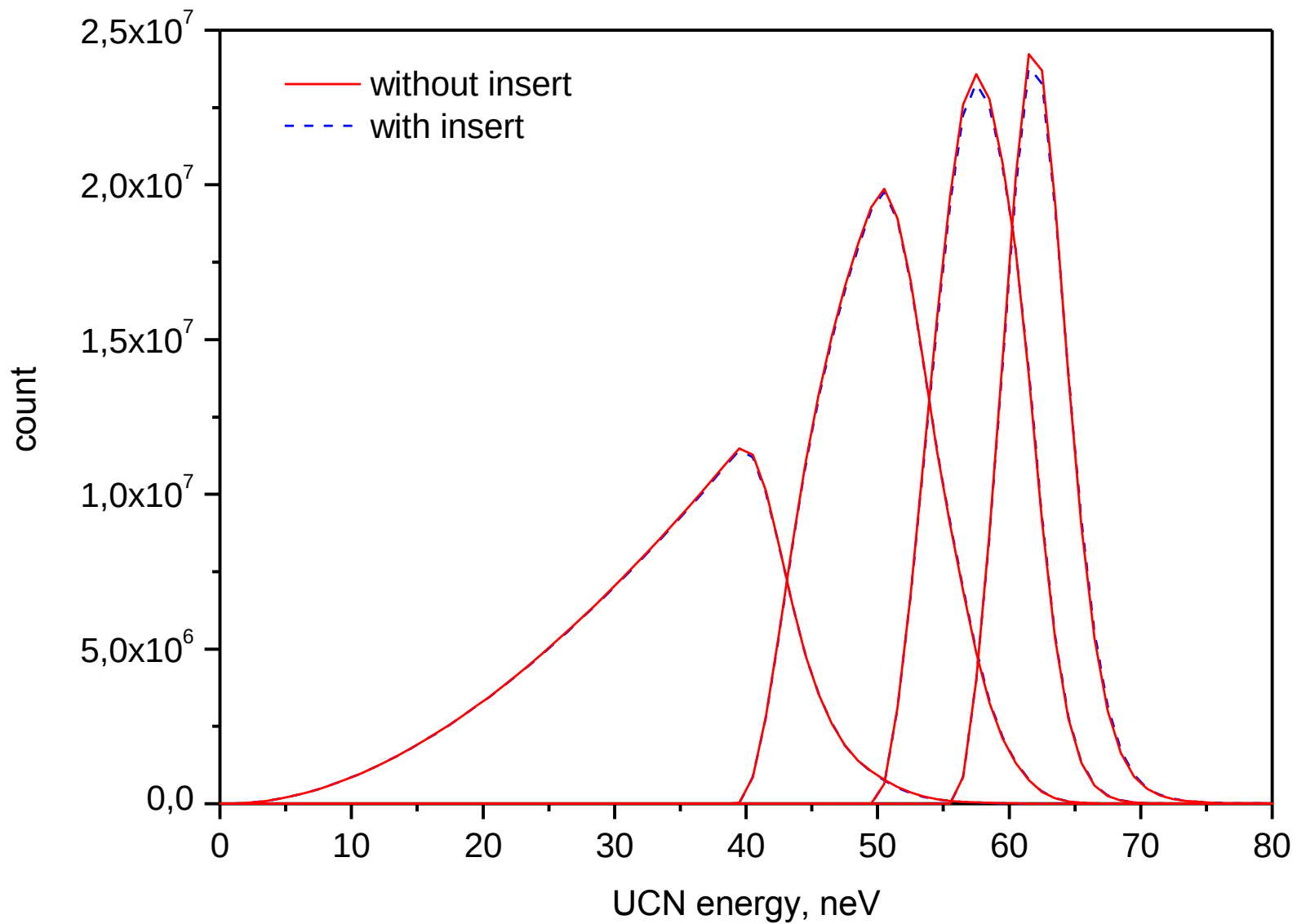
Дизайн установки с большой гравитационной ловушкой



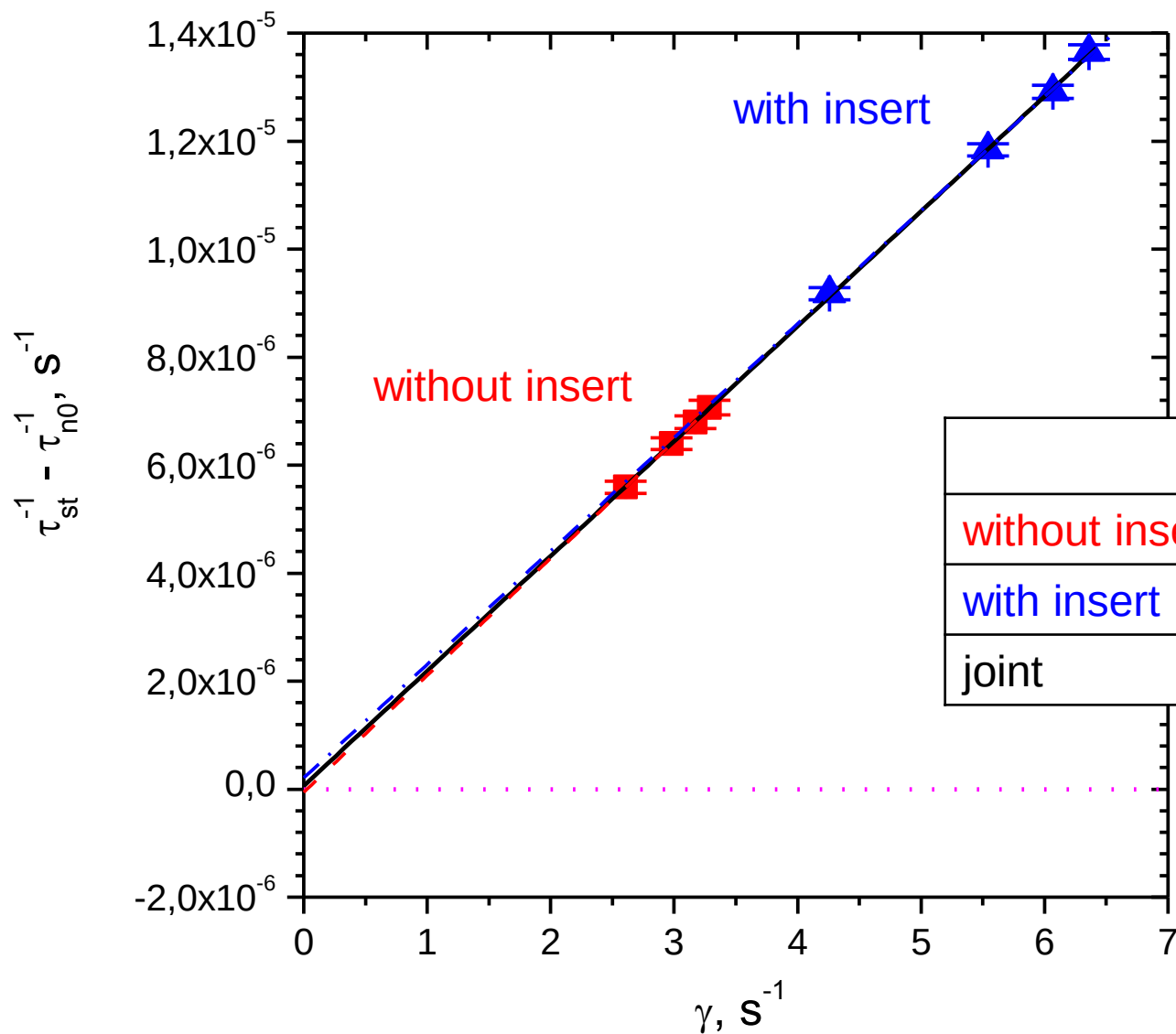
Временная диаграмма счета детектора



Спектры УХН при сливах



Экстраполяция ко времени жизни нейтрона



	$\tau_{nm} - \tau_{n0}, s$
without insert	0.05 ± 0.54
with insert	-0.16 ± 0.32
joint	-0.05 ± 0.10

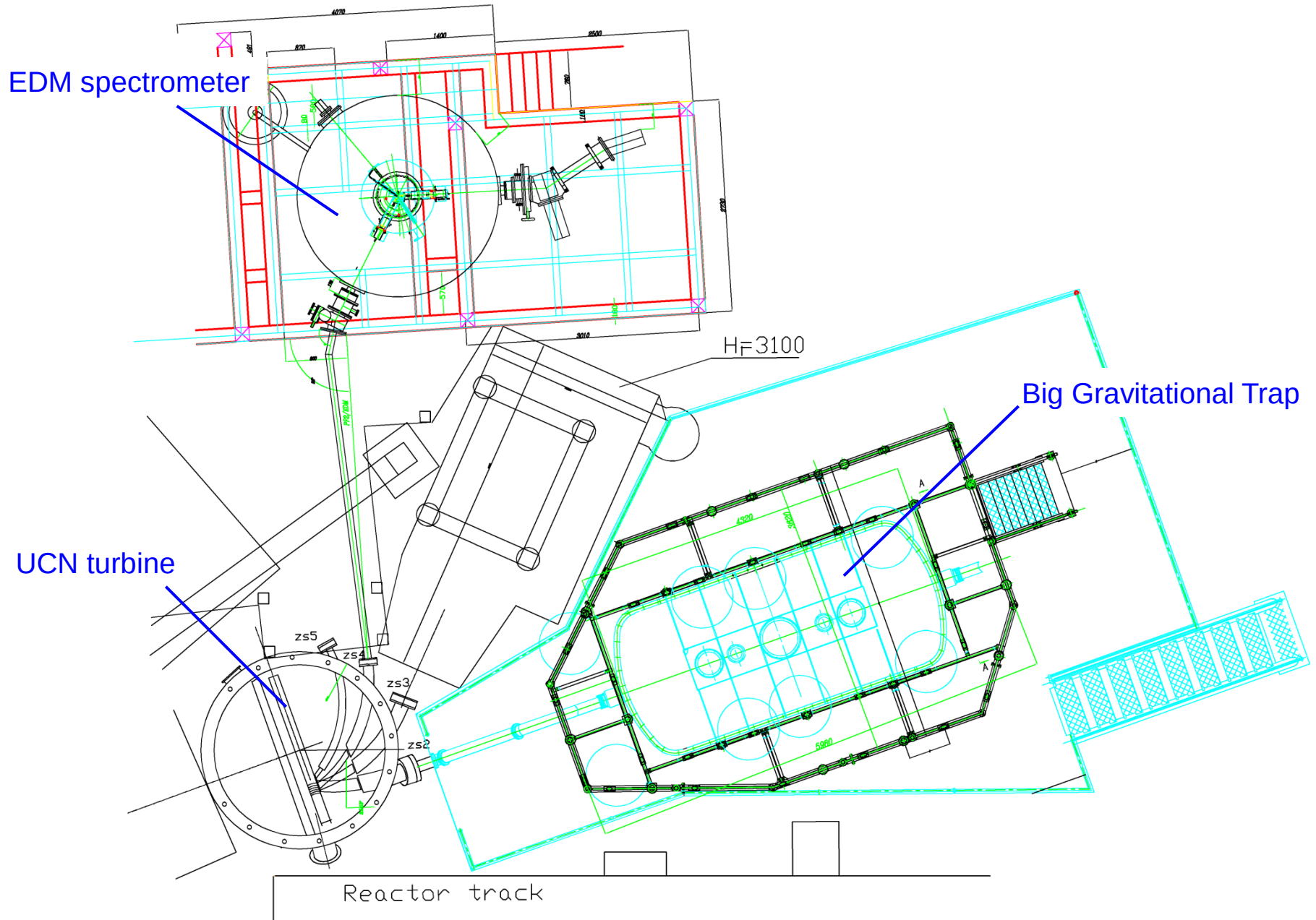
Изготовление установки в ПИЯФ



Изготовление установки в ПИЯФ



Расположение установки на пучке PF2 MAM в ILL



Монтаж установки в ИЛЛ



Монтаж установки в ИЛЛ



Монтаж установки в ИЛЛ



Монтаж установки в ИЛЛ



Заключение

1. Самое точное измерение времени жизни нейтрона произведено в эксперименте ПИЯФ с гравитационной ловушкой УХН 878.5 ± 0.8 с.
2. Произведено моделирование экспериментов MAMBO I и Курчатовского института. Получены поправки около -6 с в обоих экспериментах. В дальнейшем обе экспериментальные группы поправили свои результаты. Новое среднемировое значение PDG 2013 для времени жизни нейтрона определяется результатом ПИЯФ и составляет 880.0 ± 0.9 с.
3. Установка ПИЯФ с большой гравитационной ловушкой УХН изготовлена и установлена на пучке в ILL.