

Какую долю калия в земле допускает эксперимент Борексино?

L.V. Bezrukov (INR, Moscow)

the work done with cooperation I.Karpikov, V.Sinev (INR, Moscow)

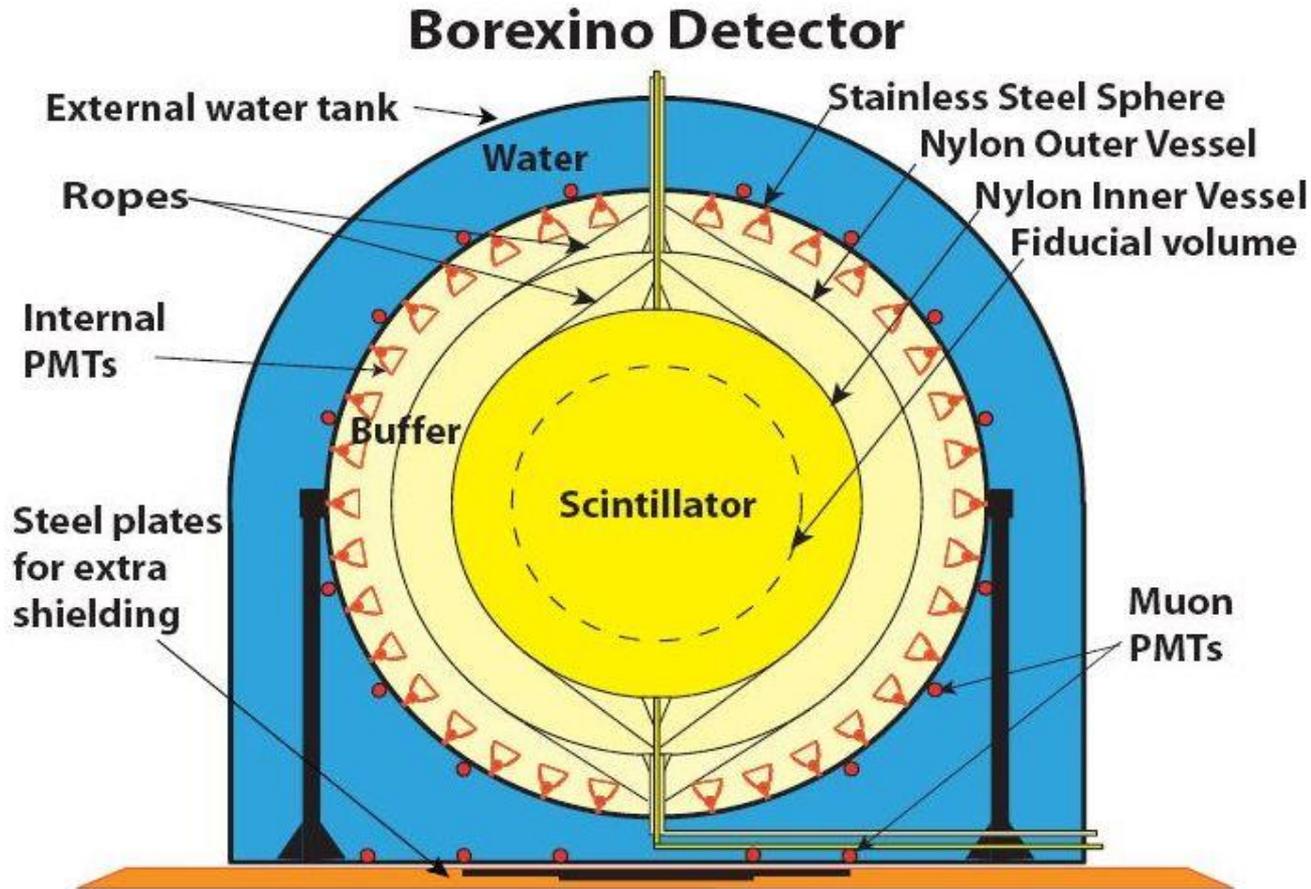
INR seminar 28 December 2022

Аннотация

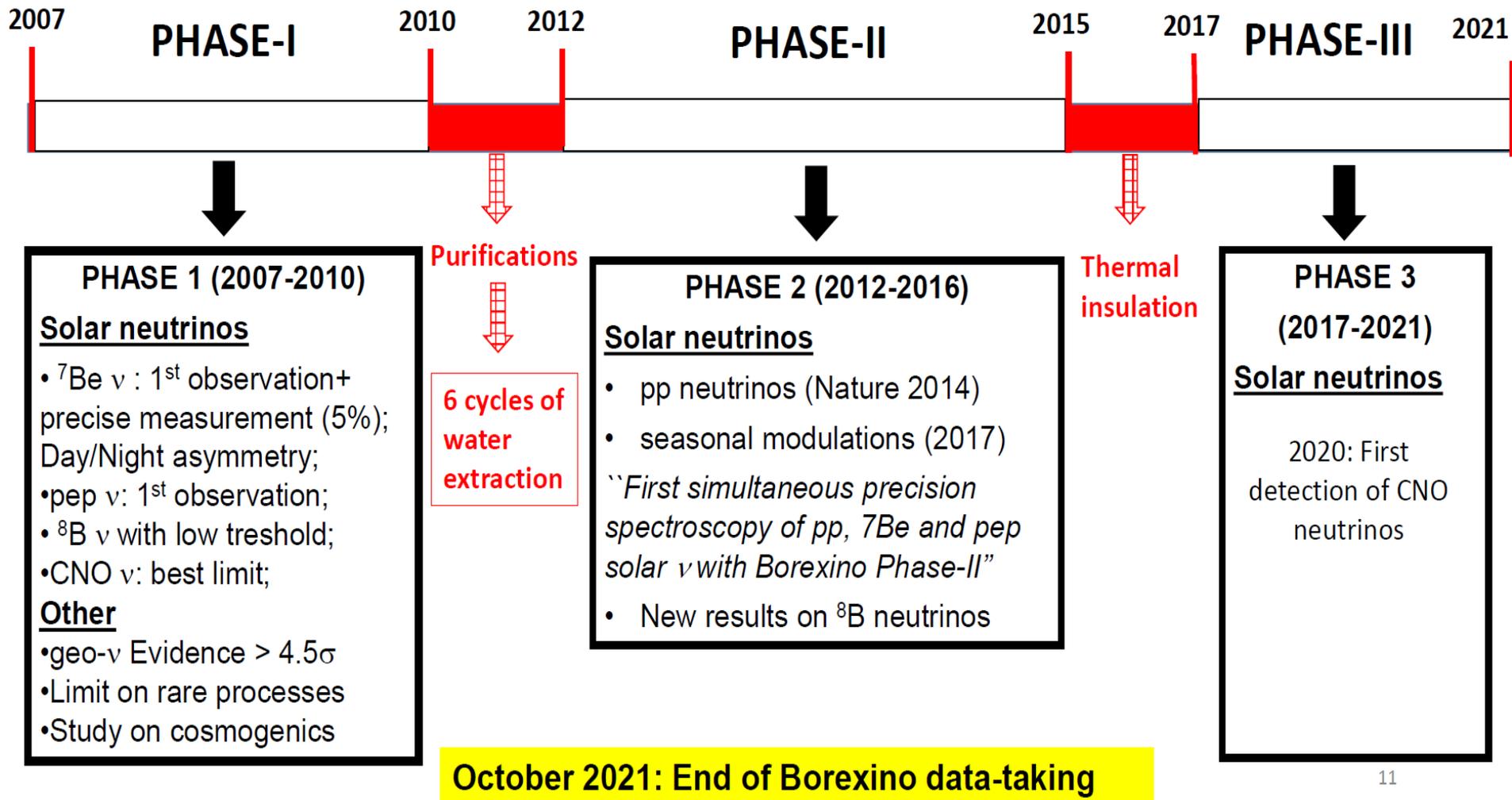
- Дана новая интерпретация данных эксперимента Борекстно.
- Получено доказательство справедливости модели Солнца с малой металличностью.
- Получено доказательство существования большого количества калия в Земле.

Borexino detector

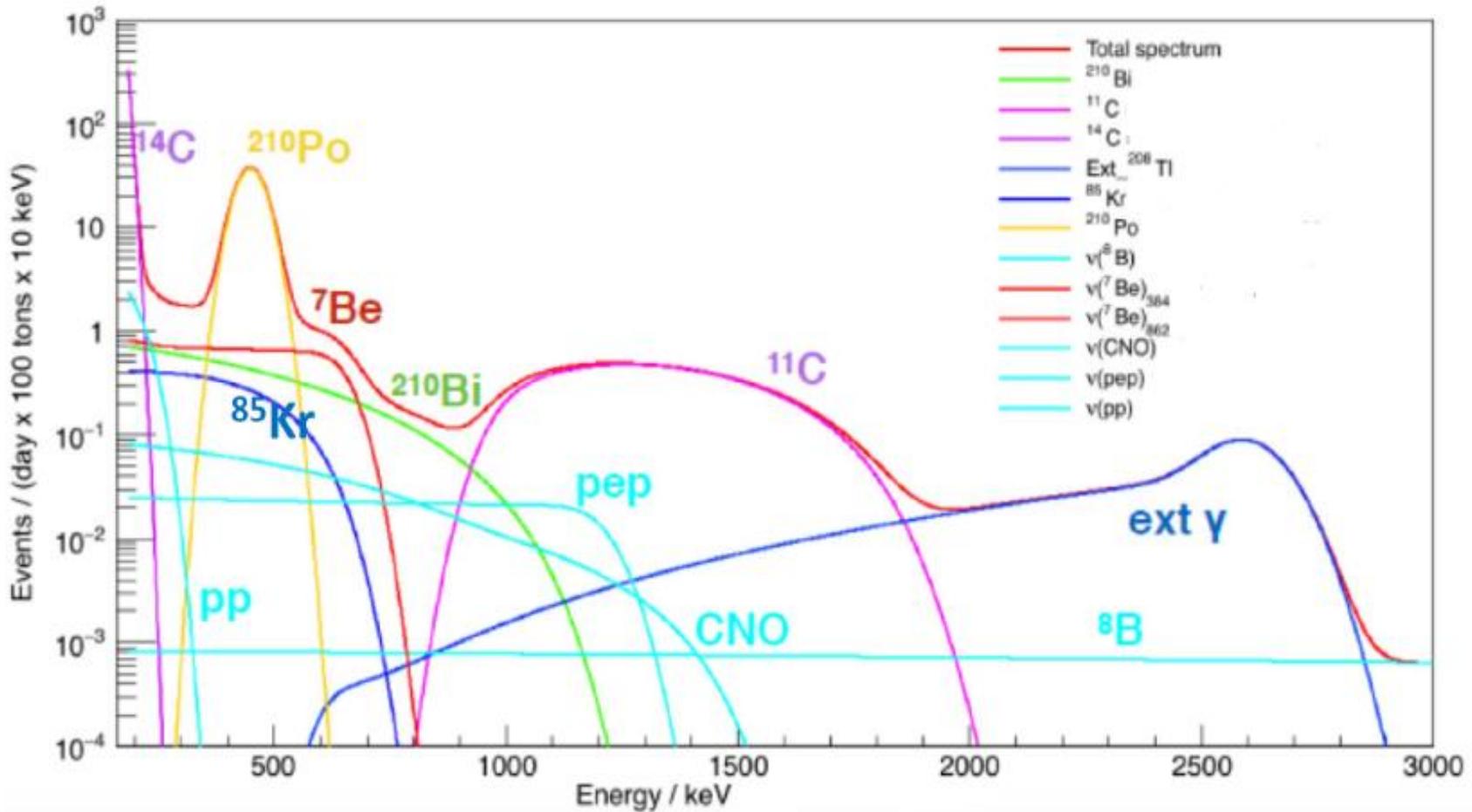
100 t fiducial volume.
Total target mass 300 t.



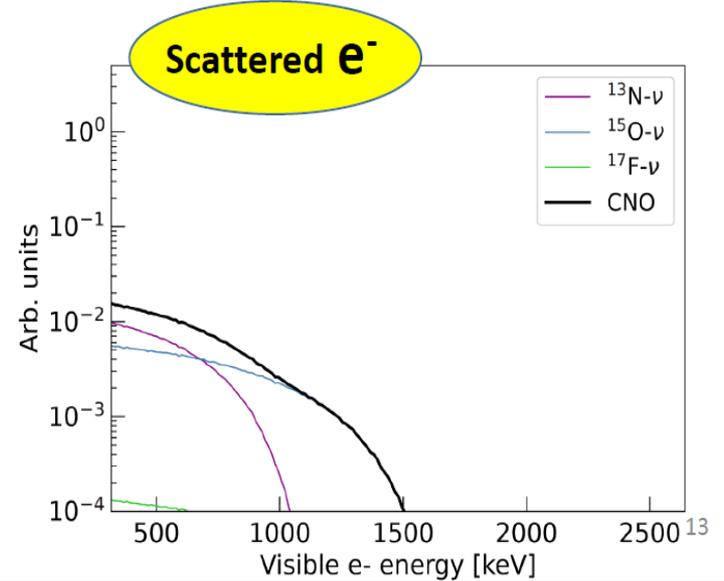
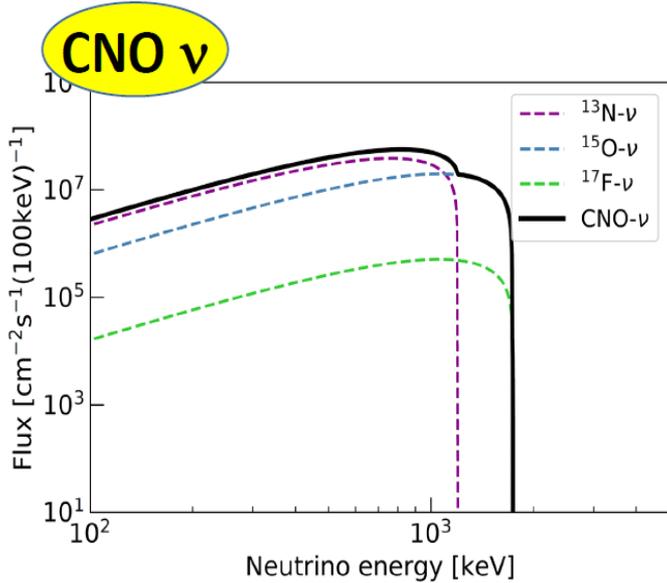
Borexino: the long story..



Источники одиночных событий в Борексине

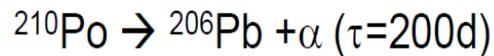
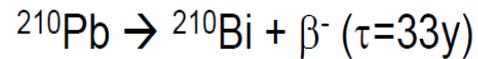


Borexino detects neutrinos through scattering on electrons



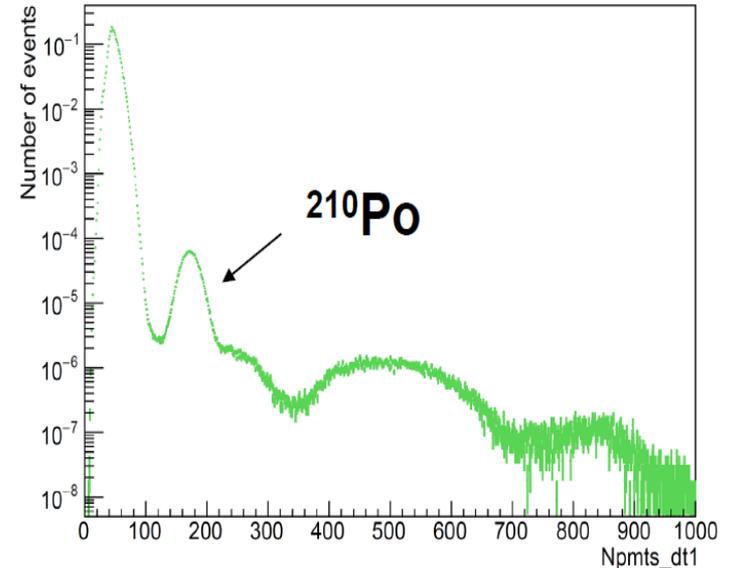
How can we measure the ^{210}Bi rate independently from the fit?

- ^{210}Bi comes from ^{210}Pb

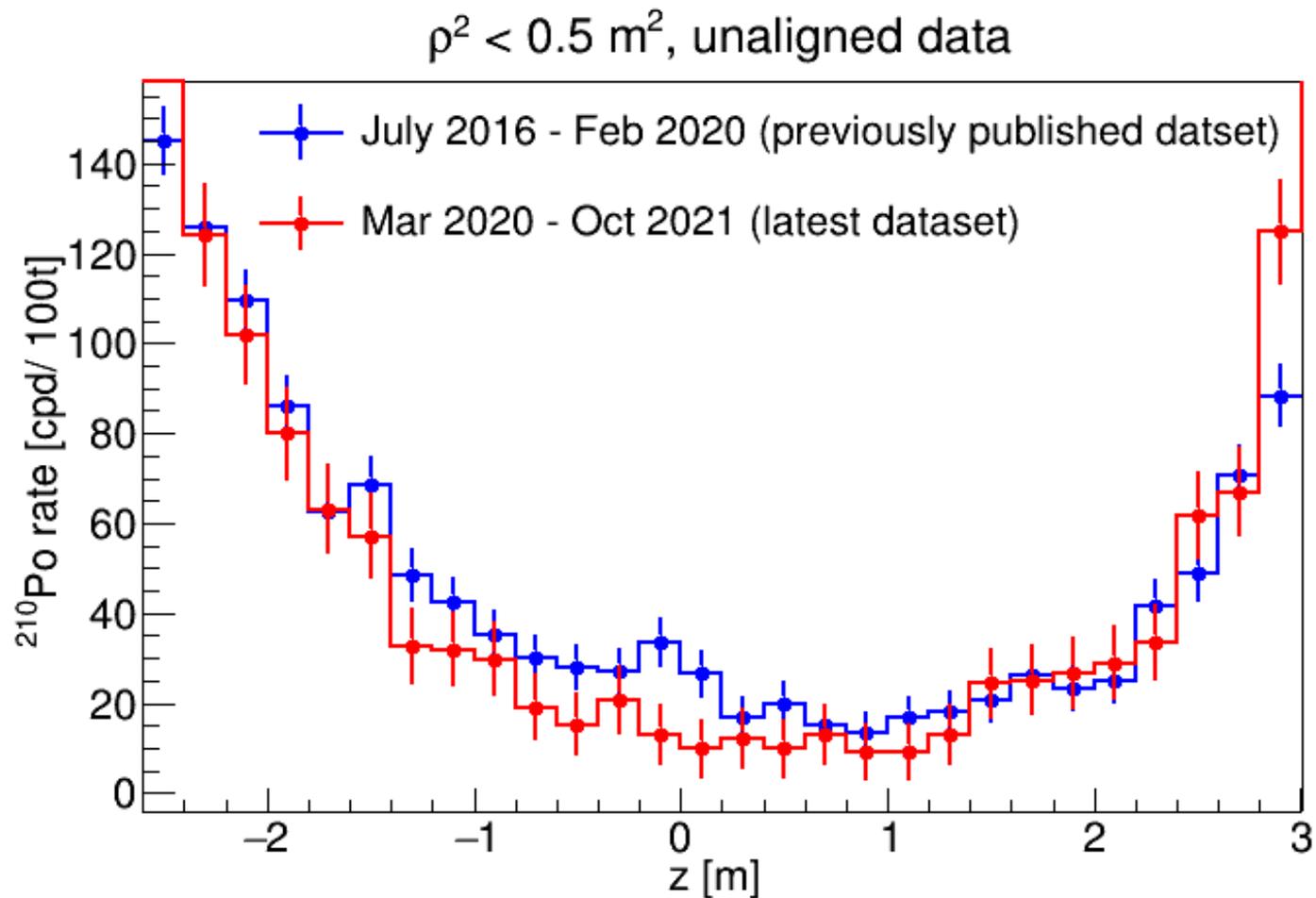


- At secular equilibrium, the rate of $\text{rate}(^{210}\text{Po}) = \text{rate}(^{210}\text{Bi})$;

- ^{210}Po is relatively easy to count since it is a peak and it is an alpha \rightarrow pulse-shape discrimination methods can be used;



Распределение скорости счёта ^{210}Po от расстояния от события до центра внутреннего нейлонового мешка.



Инструменты анализа данных

- Поиск мин. многомерной функции χ^2 .
Аргументами (параметрами) являются полные скорости счёта различных источников одиночных событий.
- Монте-Карло псевдо-эксперименты.
Вычисление вероятностей.

Simultaneous precision spectroscopy of pp , ${}^7\text{Be}$, and pep solar neutrinos with Borexino Phase-II

PHYSICAL REVIEW D **100**, 082004 (2019)

TABLE II. Borexino Phase-II results on pp , ${}^7\text{Be}$ (862 + 384 keV), pep , and CNO solar ν s: interaction rates and fluxes inferred assuming the MSW-LMA oscillation parameters [26]. The first error is the statistical derived by profiling the likelihood under Wilks' approximation. The interval extracted is consistent with the expectation from the MC sensitivity study. The second error is the systematic uncertainty. Different contributions to the systematic error are detailed in Table IV. The result on pep ν s depends on whether we assume HZ-SSM or LZ-SSM metallicity for CNO ν s. The remaining columns show the theoretical interaction rates and fluxes predicted by the standard solar model under the high and low metallicity assumptions [3].

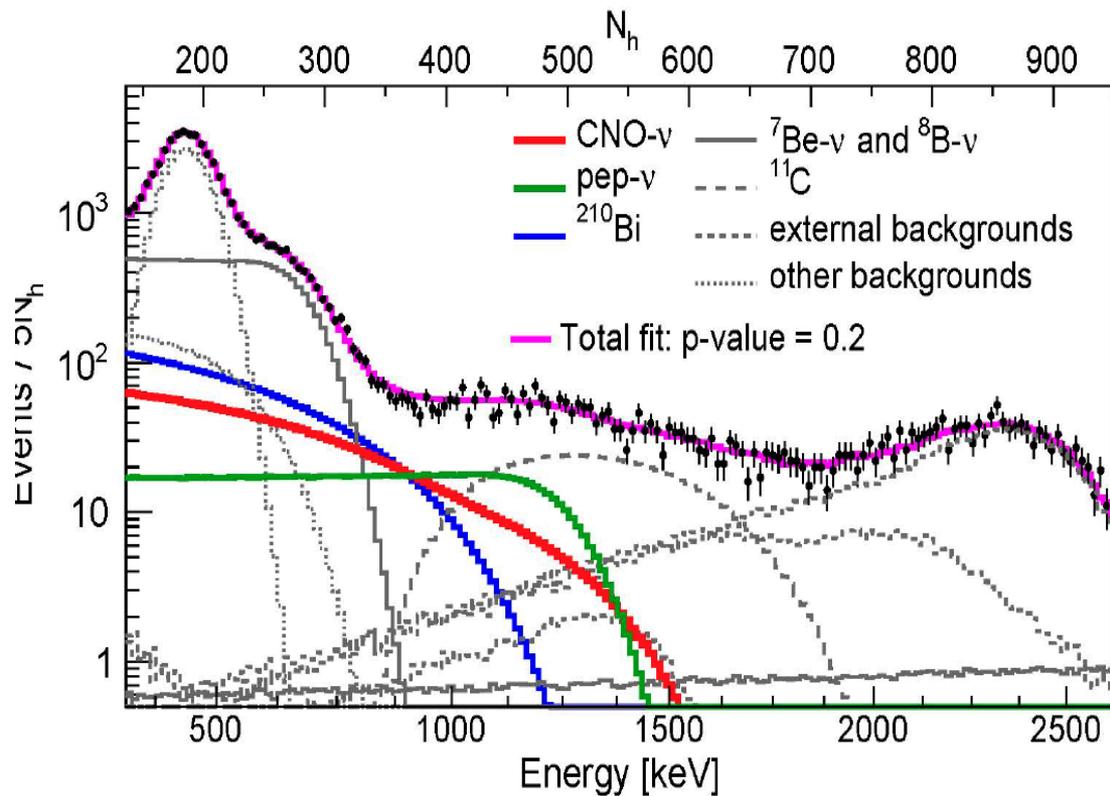
Solar ν	Borexino experimental results		B16(GS98) HZ		B16(AGSS09) LZ	
	Rate [cpd/100 ton]	Flux [$\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$]	Rate [cpd/100 ton]	Flux [$\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$]	Rate [cpd/100 ton]	Flux [$\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$]
pp	$134 \pm 10_{-10}^{+6}$	$(6.1 \pm 0.5_{-0.5}^{+0.3}) \times 10^{10}$	131.1 ± 1.4	$5.98(1 \pm 0.006) \times 10^{10}$	132.2 ± 1.4	$6.03(1 \pm 0.005) \times 10^{10}$
${}^7\text{Be}$	$48.3 \pm 1.1_{-0.7}^{+0.4}$	$(4.99 \pm 0.11_{-0.08}^{+0.06}) \times 10^9$	47.9 ± 2.8	$4.93(1 \pm 0.06) \times 10^9$	43.7 ± 2.5	$4.50(1 \pm 0.06) \times 10^9$
pep (HZ)	$2.43 \pm 0.36_{-0.22}^{+0.15}$	$(1.27 \pm 0.19_{-0.12}^{+0.08}) \times 10^8$	2.74 ± 0.04	$1.44(1 \pm 0.009) \times 10^8$	2.78 ± 0.04	$1.46(1 \pm 0.009) \times 10^8$
pep (LZ)	$2.65 \pm 0.36_{-0.24}^{+0.15}$	$(1.39 \pm 0.19_{-0.13}^{+0.08}) \times 10^8$	2.74 ± 0.04	$1.44(1 \pm 0.009) \times 10^8$	2.78 ± 0.04	$1.46(1 \pm 0.009) \times 10^8$
CNO	$<8.1(95\% \text{ C.L.})$	$<7.9 \times 10^8(95\% \text{ C.L.})$	4.92 ± 0.55	$4.88(1 \pm 0.11) \times 10^8$	3.52 ± 0.37	$3.51(1 \pm 0.10) \times 10^8$

$$48.3 - 43.7 = 4$$

$$8.1 - 3.52 = 4$$

следовательно мы можем отнести к 40К $4 + 4 = 8$ событий / сут. /100 т

New results on CNO neutrinos



Results (statistical errors only)

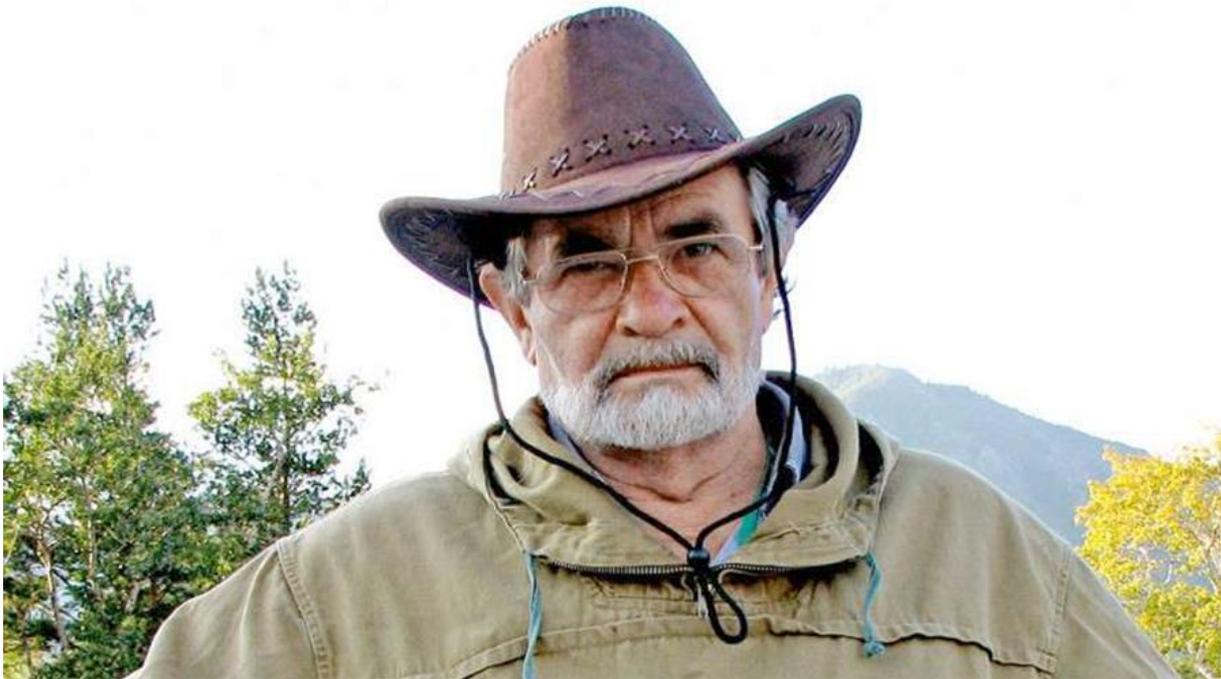
$$\text{Rate}(\text{CNO}) = 6.6^{+2.0}_{-0.7} \text{ cpd}/100\text{t}$$

Мы повторили этот результат

Владимир Николаевич Ларин

– создатель модели

«Изначально богатая водородом Земля» или «Гидридная модель Земли» (HE)



Он выступал в ИЯИ РАН.

Он завещал нам борьбу
за правильную модель
Земли.

Chemical Differentiation of Planets: A Core Issue.

Hervé Toulhoat and Viacheslav Zgonnik. The Astrophysical Journal, 924:83 (18pp),

2022 January 10

<https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac300b>

Prediction 2015, 2020: Borexino will observe
6 ÷ 9 cpd/100tons as CNO-ν events.

Expected from CNO-ν in SSM is 4.9 cpd/100tons

Geoneutrino and Hydridic Earth model. Version 2. [Leonid Bezrukov](#). INR Preprint: 1378/2014, January 2014, Moscow. [arXiv:1308.4163v2](#) [astro-ph.EP]

V.V.Sinev, L.B.Bezrukov, E.A.Litvinovich, I.N.Machulin, M.D.Skorokhvatov, S.V.Sukhotin. Looking for Antineutrino Flux from ^{40}K with Large Liquid Scintillator Detector, Physics of Particles and Nuclei.46 (2015) 186, doi:10.1134/S1063779615020173; arXiv:1405.3140 [physics.ins-det]. **1% (K) → 1,8 cpd/100t**

L.B.Bezrukov, I.S.Karpikov, A.S.Kurlovich, A.K.Mezhokh, S.V.Silaeva, V.V.Sinev, V.P.Zavarzina, On the contribution of the ^{40}K geo-antineutrino to single Borexino events. (2020) arXiv:2004.02533v2 [hep-ex]

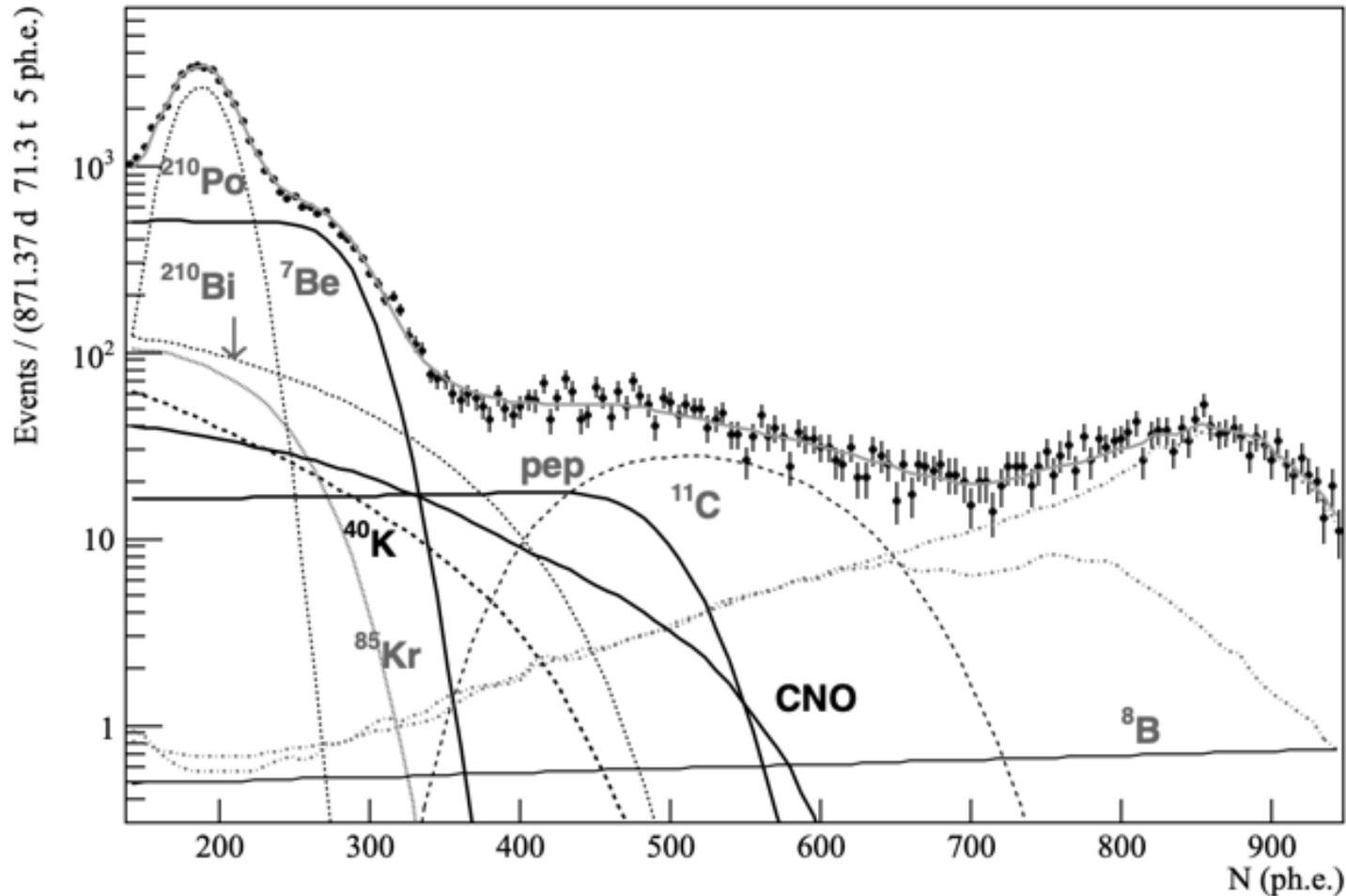
On first detection of solar CNO neutrinos. [arXiv:2007.07371v2](#) [hep-ex physics.ins-det] [L. B. Bezrukov](#), [I. S. Karpikov](#), [A. S. Kurlovich](#), [A. K. Mezhokh](#), [S. V. Silaeva](#), [V. V. Sinev](#), [V. P. Zavarzina](#). Интерпретация первой регистрации солнечных нейтрино CNO цикла детектором БОРЕКСИНО. Л. Б. Безруков, В. П. Заварзина, И. С. Карпиков, А. С. Курлович, А. К. Межох, С. В. Силаева, В. В. Синёв. Известия Российской Академии Наук, Серия физическая. № 4, том 85, с.566-569. 2021.

DOI: 10.3103/S1062873821040067

Энергетический спектр одиночных событий детектора Борексино.

Горизонтальная шкала дана в единицах: число зарегистрированных фотоэлектронов. Кривые – вклады различных источников событий и их сумма, полученные в результате подгонки к экспериментальным данным для $\chi^2 = 175.8$.

Чёрная пунктирная кривая – вклад от ^{40}K -geo- ν событий.



Строки 1 и 2 – полные скорости счёта одиночных событий от различных источников, полученные в результате подгонки к экспериментальному спектру Борексино, фаза III. Строки 1а и 2а – пределы возможного изменения полных скоростей счёта соответствующего источника, использованные при фитировании.

Величины даны в единицах $\text{cpd}/100\text{t}$.

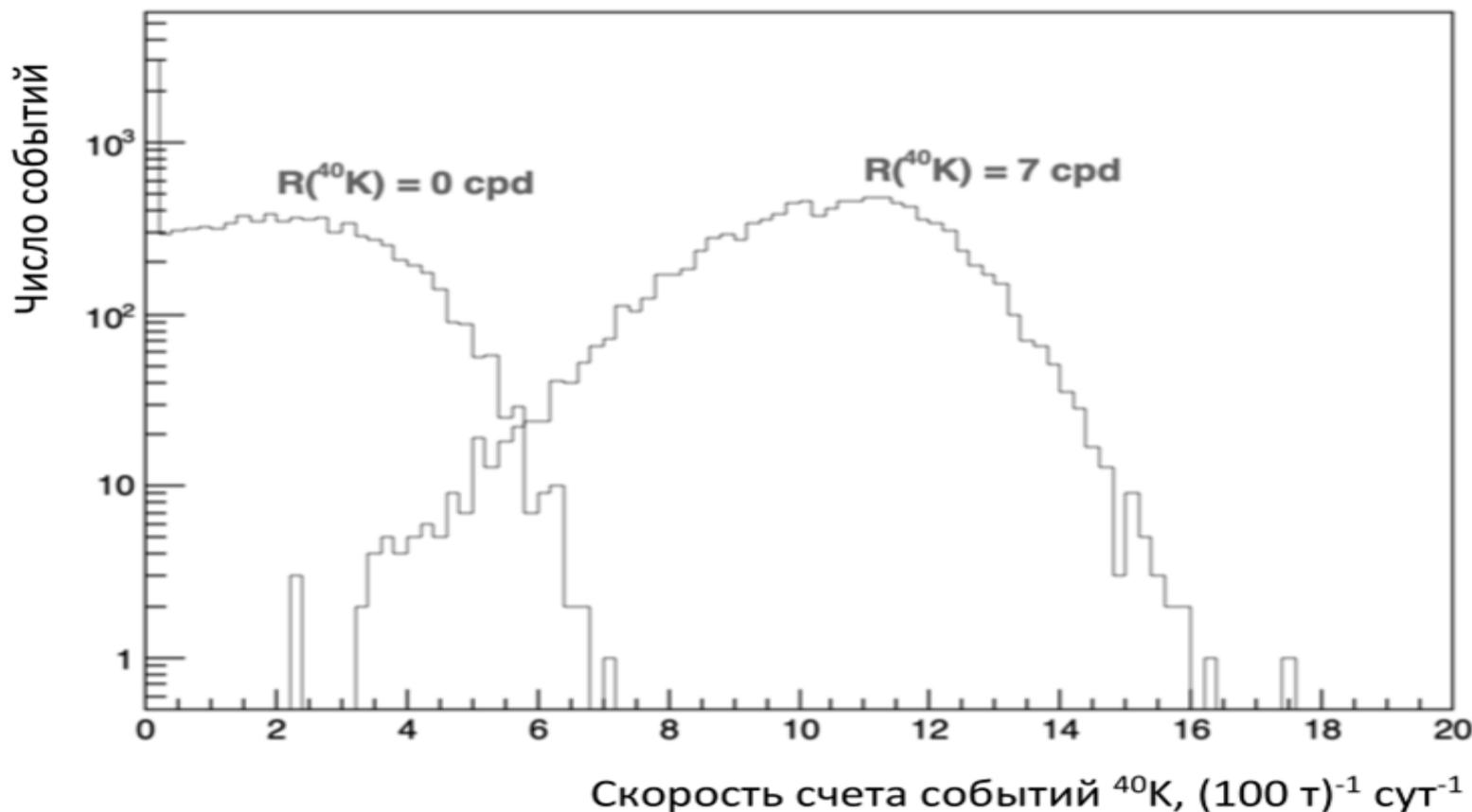
	${}^7\text{Be}$	пер	${}^{11}\text{C}$	${}^{210}\text{Po}$	${}^{210}\text{Bi}$	${}^{85}\text{Kr}$	CNO	${}^{208}\text{Tl},$ ${}^{214}\text{Bi}$	${}^{40}\text{K-}$ geo-v	χ^2
1	48.4 ± 0.9	2.7	1.7 ± 0.1	41.5 ± 0.4	11.8	8.5	6.5 ± 0.7	4.76 ± 0.2 1.8 ± 0.3	0.0	199.5
1a	46÷49	2.7	1.35÷2	40÷46	9.8÷11.8	3.5÷8.5	4.5÷8	4.3÷5 1.7÷2.0	0.0	
2	46 ± 0.84	2.78 ± 0.075	1.83 ± 0.07	41.1 ± 0.08	11.0 ± 0.23	8.5 ± 0.24	3.67 ± 0.73	4.76 1.79	11 ± 0.6	<u>173.5</u>
2a	42÷49	2.7÷ 2.78	1.4÷2	35÷45	10.7 ÷11	3.5÷8.5	3.5÷20	4.76 1.79	0÷11	

Количество экспериментальных точек - 162

Можно ли откинуть модель №1
(большая металличность + отсутствие калия)

- Пусть в природе реализуется модель №1.
- Вопрос: с какой вероятностью статистические флуктуации за время экспозиции в фазе III обеспечат при фитировании строку 2, т.е. будет получено значение $R(40K) > 7 \text{ cpd}/100t$?

Распределение числа событий с найденным значением скорости счёта $^{40}\text{K-geo-}\nu$ событий из смоделированных Монте-Карло энергетических спектров одиночных событий детектора Борексина для III фазы. Для кривой, помеченной $R(^{40}\text{K}) = 0$ cpd, при МК моделировании эксперимента использовался набор источников событий без учёта $^{40}\text{K-geo-}\nu$, а при анализе с учётом $^{40}\text{K-geo-}\nu$. Для кривой, помеченной $R(^{40}\text{K}) = 7$ cpd, при МК моделировании эксперимента использовался набор источников событий с $^{40}\text{K-geo-}\nu$ со средней скоростью появления событий $R(^{40}\text{K-geo-}\nu) = 7$ cpd/100t и при анализе с учётом $^{40}\text{K-geo-}\nu$.



Выводы

- Дана новая интерпретация данных эксперимента Борекстно.
- Получено доказательство справедливости модели Солнца с малой металличностью.
- Получено доказательство существования большого количества калия в Земле.

K-geo- ν . Выводы

- Полученная скорость счёта от ^{40}K -geo- ν соответствует 4% калия от массы Земли. Этого количества калия достаточно, чтобы обеспечить наблюдаемую скорость нагрева океана.
- Можно предложить детектор нового поколения, который сможет зарегистрировать поток калийных гео-antineutrino с высокой достоверностью. Это – детектор типа Борексино, но с очищенным от радиоактивности нейлоновым внутренним мешком. Это позволит измерить концентрацию ^{210}Bi в сцинтилляторе и увеличит статистику.
- Индиевый детектор солнечных нейтрино.