

Потоки солнечных нейтрино и калийных  
гео-антинейтрино из данных  
фазы III эксперимента Борексино.

Л.Безруков (ИЯИ РАН)

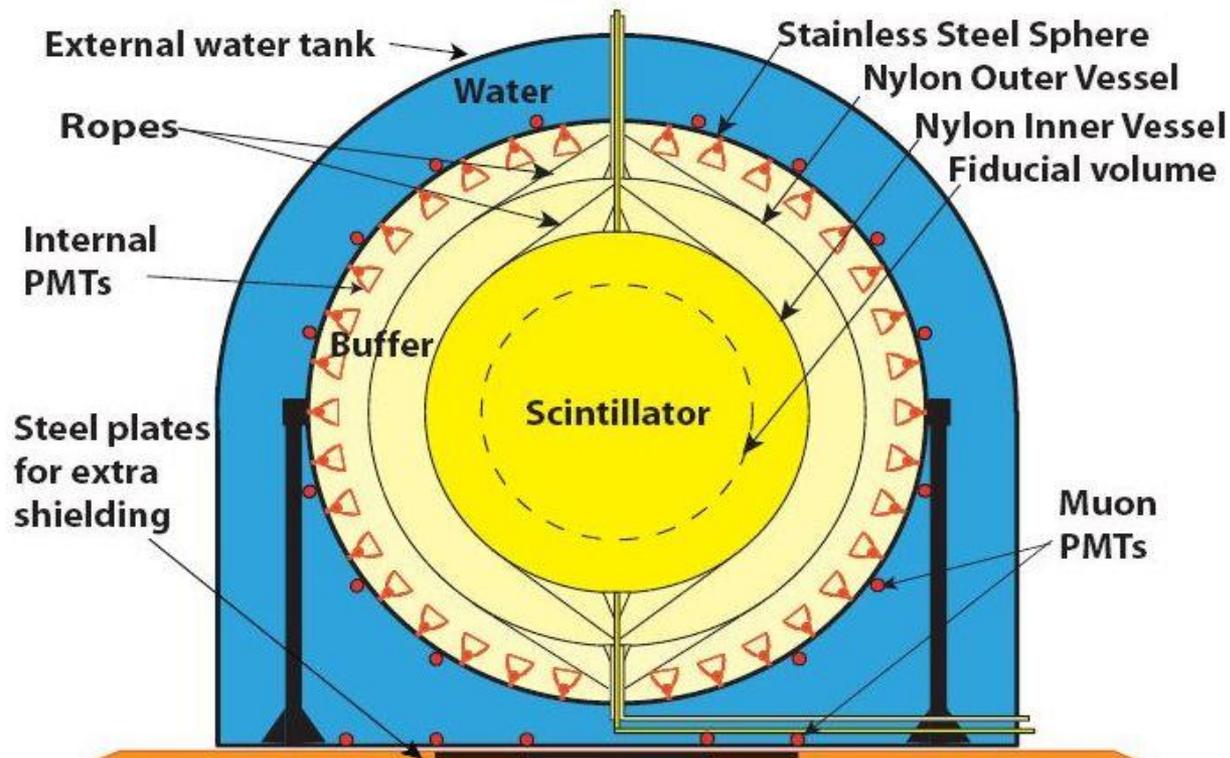
в кооперации с И.Карпиков и В.Синёв.

13 Зацепинские Чтения, 02 июня 2023

# Аннотация

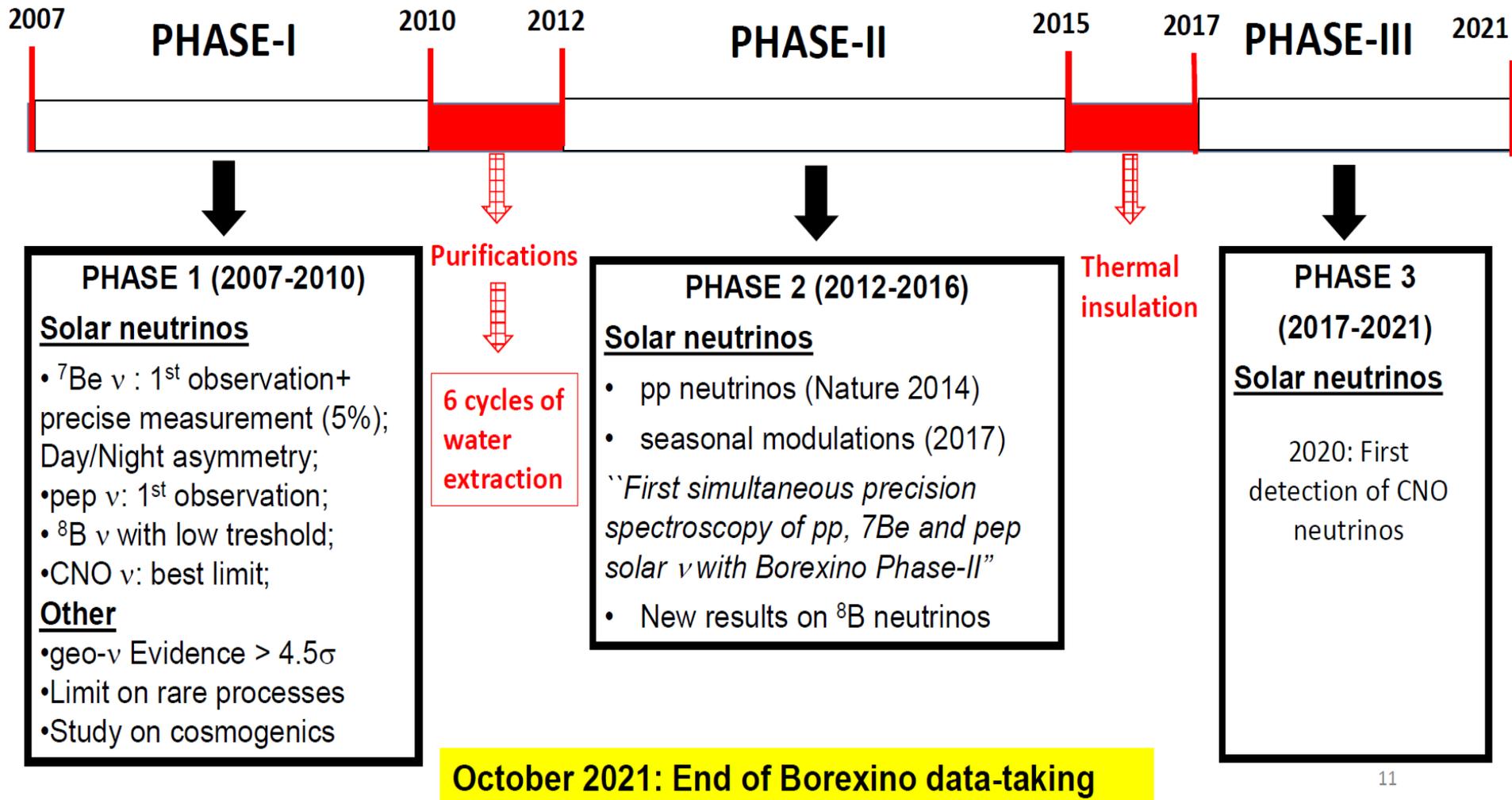
- Дана новая интерпретация данных эксперимента Борекстно.
- Получено доказательство справедливости модели Солнца с малой металличностью.
- Получено доказательство существования большого количества калия в Земле.

# Borexino Detector

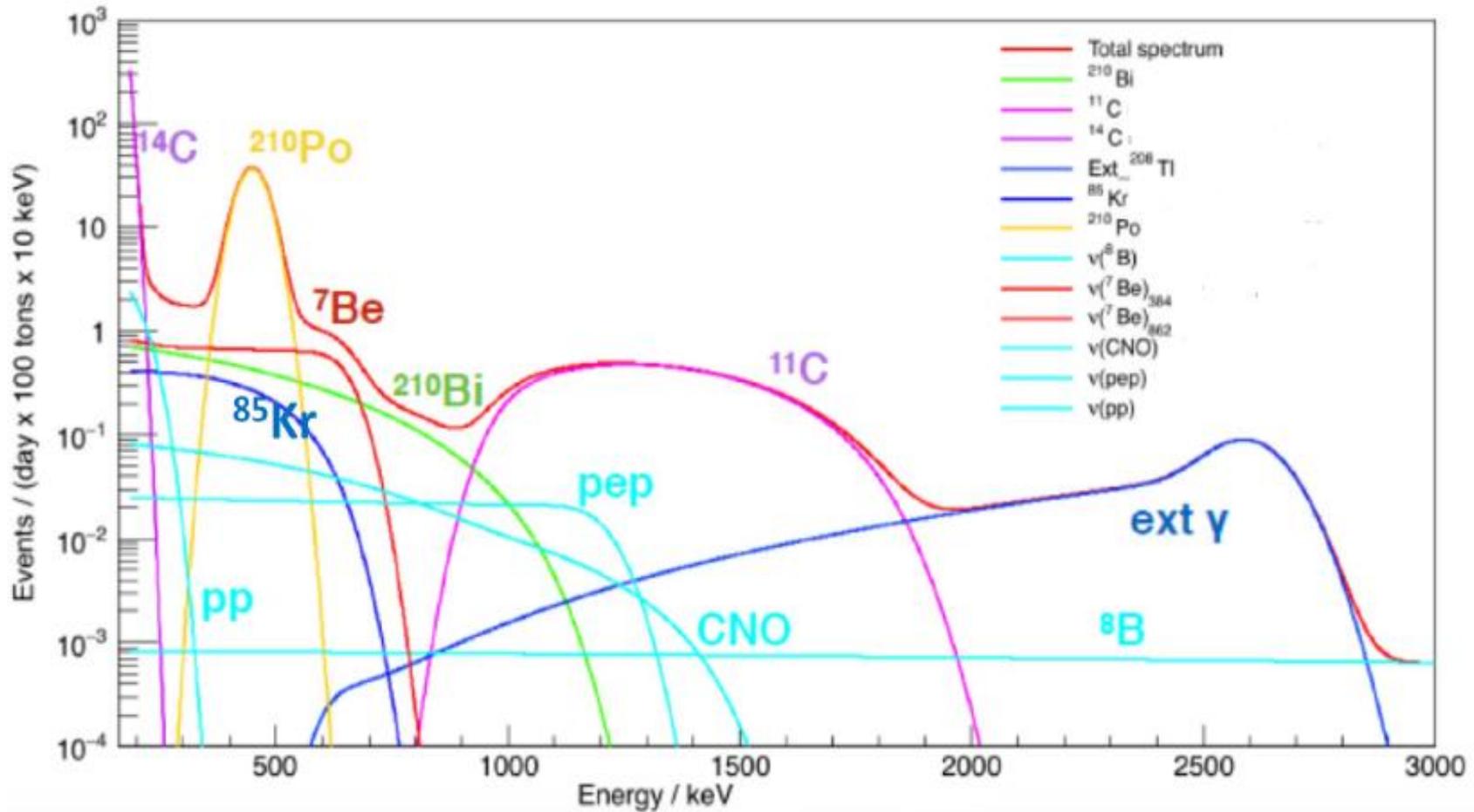


Location	<a href="#">Laboratori Nazionali del Gran Sasso</a>
Start of data-taking	2007
End of data-taking	2021
Detection technique	Elastic scattering on liquid scintillator( <a href="#">PC</a> + <a href="#">PPO</a> )
Height	16.9 m
Width	18 m
Active mass(volume)	278 tonnes (315 m <sup>3</sup> ) ≈100 tonnes fiducial

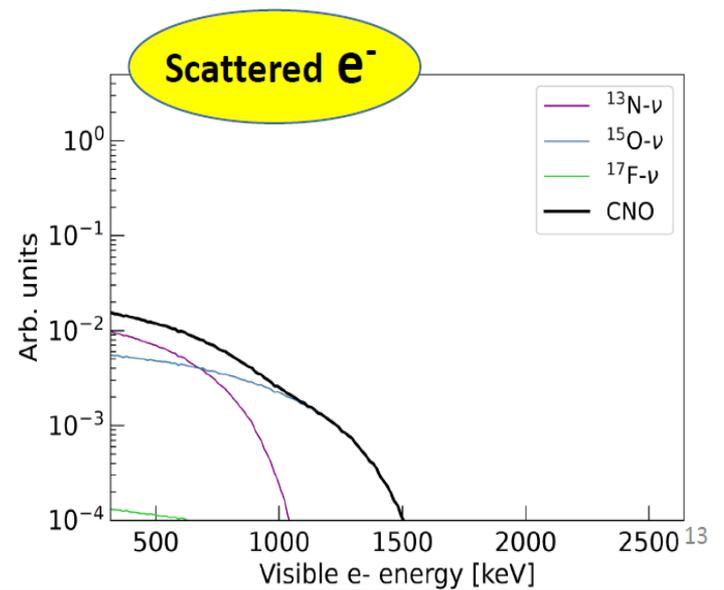
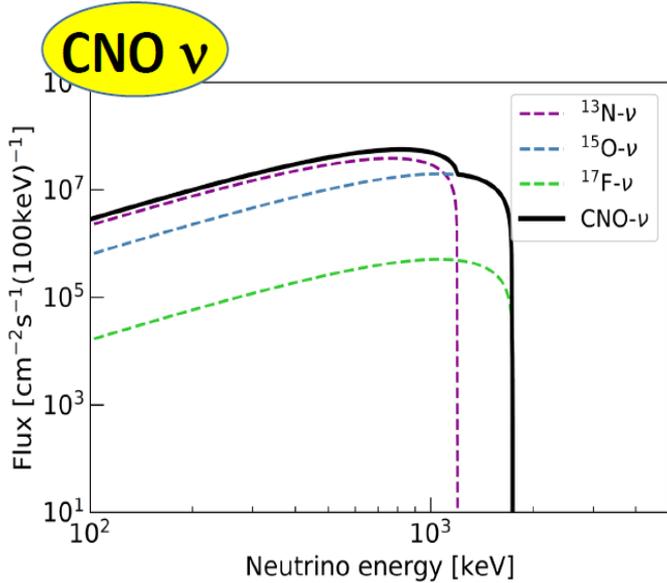
# Borexino: the long story..



# Источники одиночных событий в Борексине

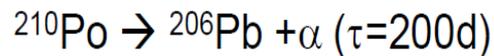
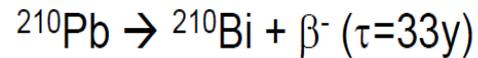


# Borexino detects neutrinos through scattering on electrons



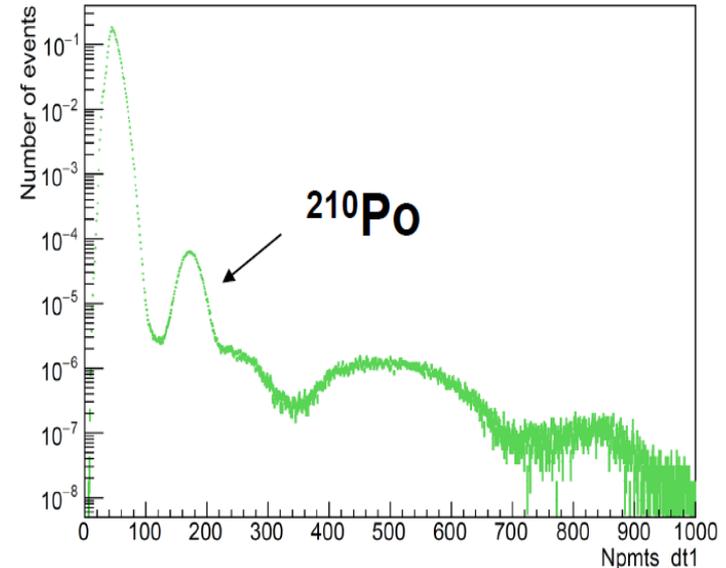
# How can we measure the $^{210}\text{Bi}$ rate independently from the fit?

- $^{210}\text{Bi}$  comes from  $^{210}\text{Pb}$

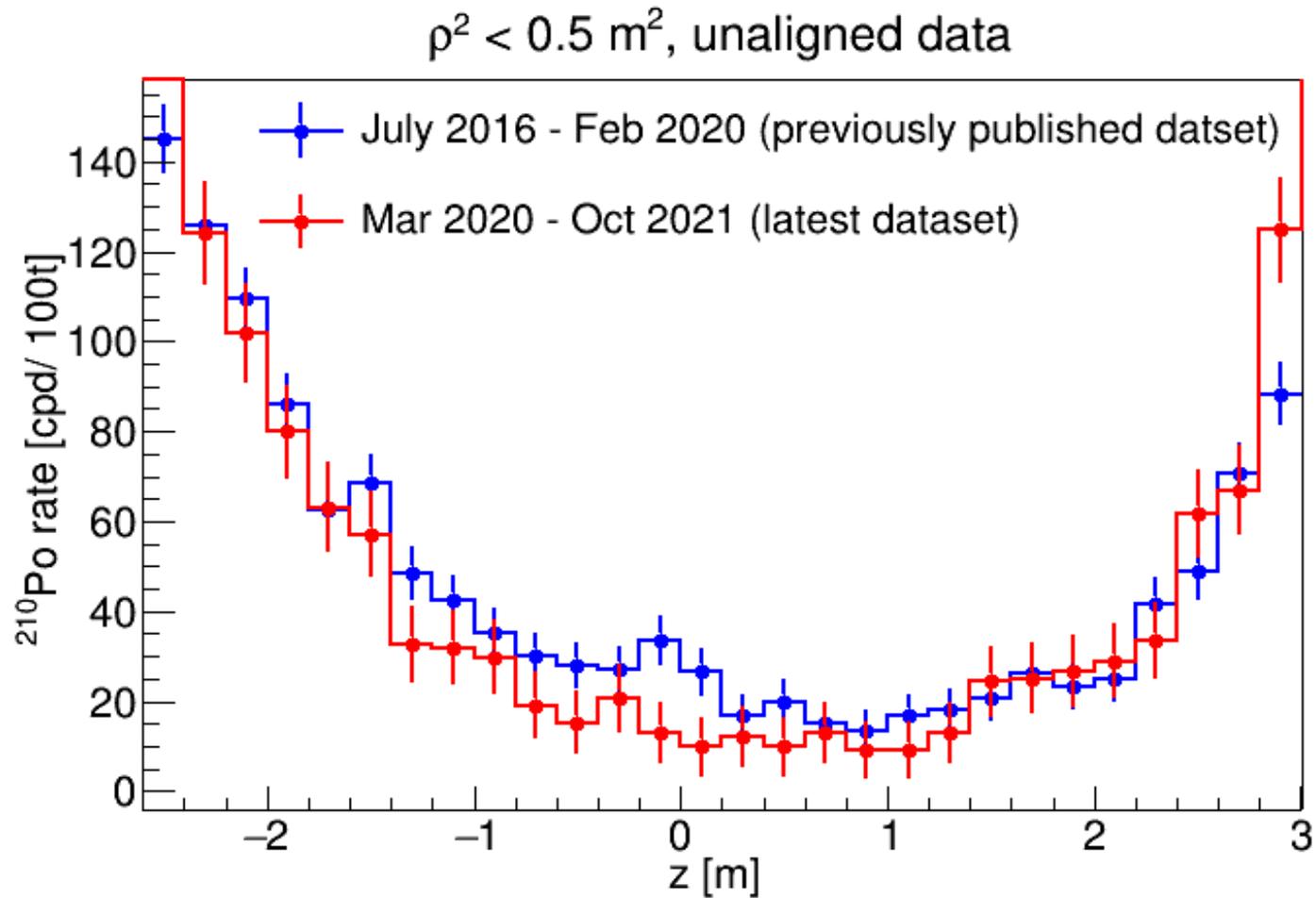


- At secular equilibrium, the rate of  $\text{rate}(^{210}\text{Po}) = \text{rate}(^{210}\text{Bi})$ ;

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



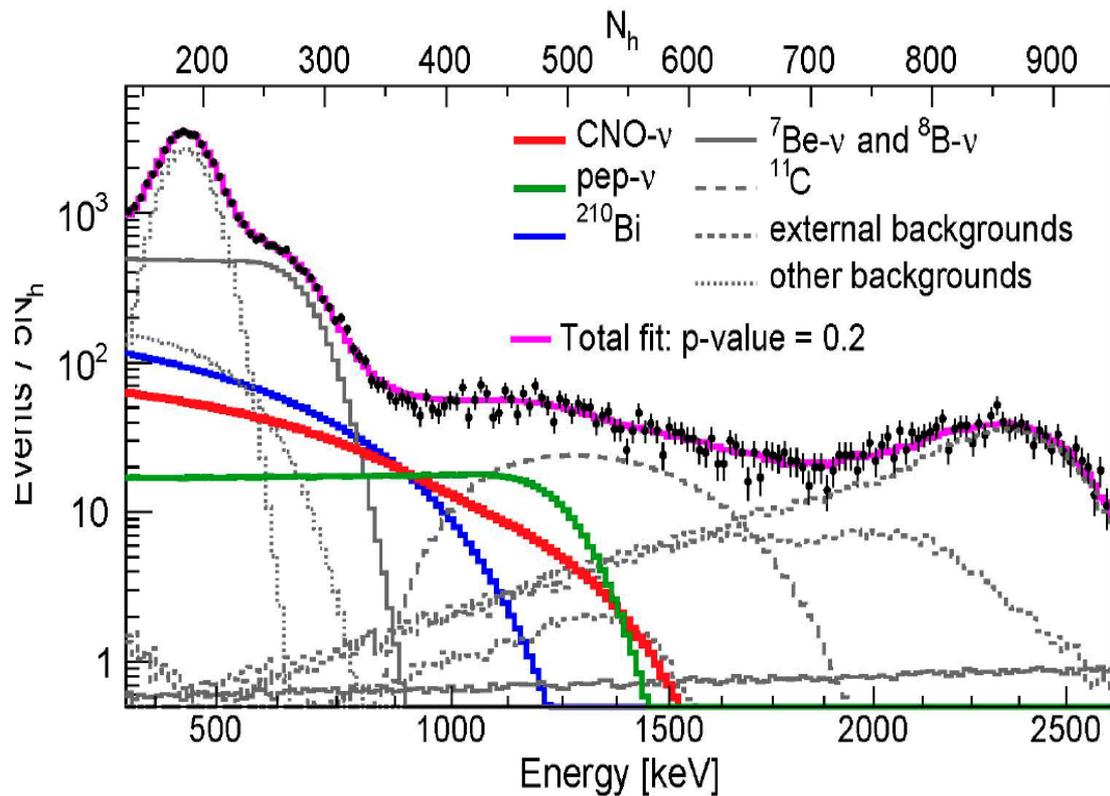
Распределение скорости счёта  $^{210}\text{Po}$  от расстояния от события до центра внутреннего нейлонового мешка.



## Инструменты анализа данных

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

# New results on CNO neutrinos



Results (statistical errors only)

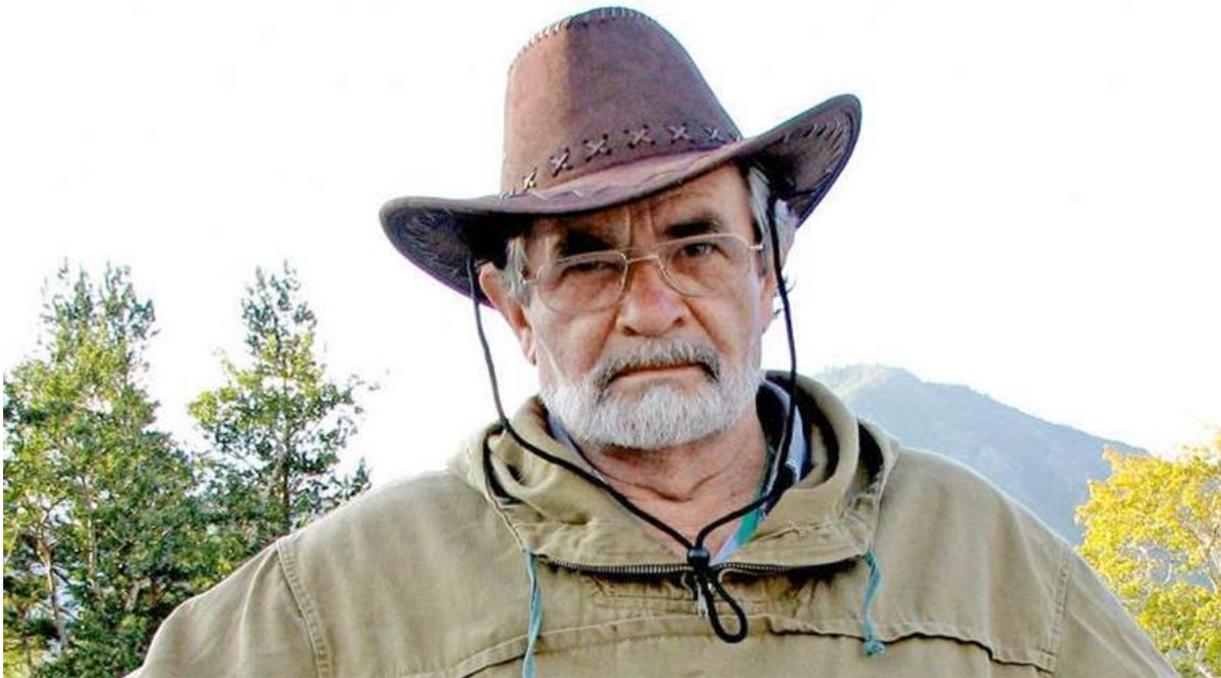
$$\text{Rate}(\text{CNO}) = 6.6^{+2.0}_{-0.7} \text{ cpd}/100\text{t}$$

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>

# Связь потоков гео-антинейтрино с внутренним теплом Земли.

- $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  decays in the Earth body are the source of heat and geoneutrinos.
- $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8\alpha + 6e + 6\tilde{\nu}_e + 51,7 \text{ MeV} (47,7)$
- $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + 6\alpha + 4e + 4\tilde{\nu}_e + 42,7 \text{ MeV} (40,4)$
- $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + e + \tilde{\nu}_e + 1.31 \text{ MeV} \quad \text{prob.} 0,893$   
 $\rightarrow ^{40}\text{Ar} + \gamma + \nu_e + 1.51 \text{ MeV} \quad \text{prob.} 0,1066$

**HE модель:  $H_U + H_{Th} \approx 40 \text{ TW}$ ,  $1\% \div 1.5\% \rightarrow H_K = 177 \div 265 \text{ TW}$ .**

**BSE модель:  $H_U + H_{Th} \approx 20 \text{ TW}$ ,  $H_K \approx 4 \text{ TW}$ .**

**В гео-науку внедрён результат усреднения измерения потока внутреннего тепла Земли:  $47 \pm 2 \text{ TW}$ .**

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 <sup>40</sup>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 <sup>40</sup>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

# публикации. 2023

[arXiv:2304.02747](https://arxiv.org/abs/2304.02747) [hep-ex, astro-ph.EP]

**The indication for 40K geo-antineutrino flux with Borexino phase-III data.**

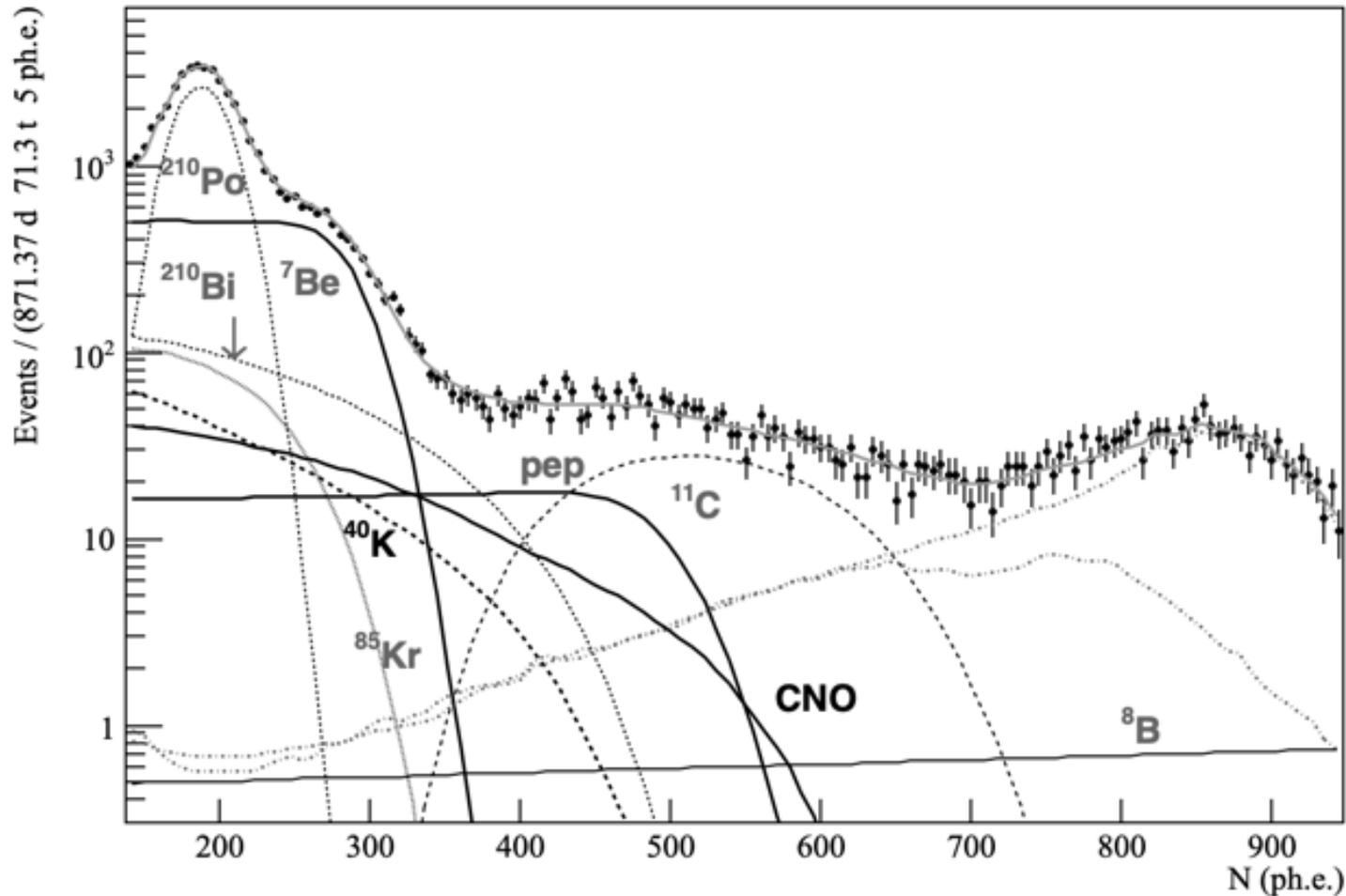
L.Bezrukov, [I.Karpikov](#), [V.Sinev](#)

Л. Б. Безруков, И. С. Карпиков, А. К. Межох, С. В. Силаева, В. В. Синёв. **Какую долю калия в Земле допускает эксперимент Борексино.** Известия РАН. Серия Физическая. 2023, том 87, №7, с.1047-1050.

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  $^{40}\text{K}$ -geo- $\nu$  событий.



## Скорости счёта в единицах *cpd/100t*.

Модель 1, exp. – результат Vorexino без калия.

Модель 2, exp. – наш результат с калием.

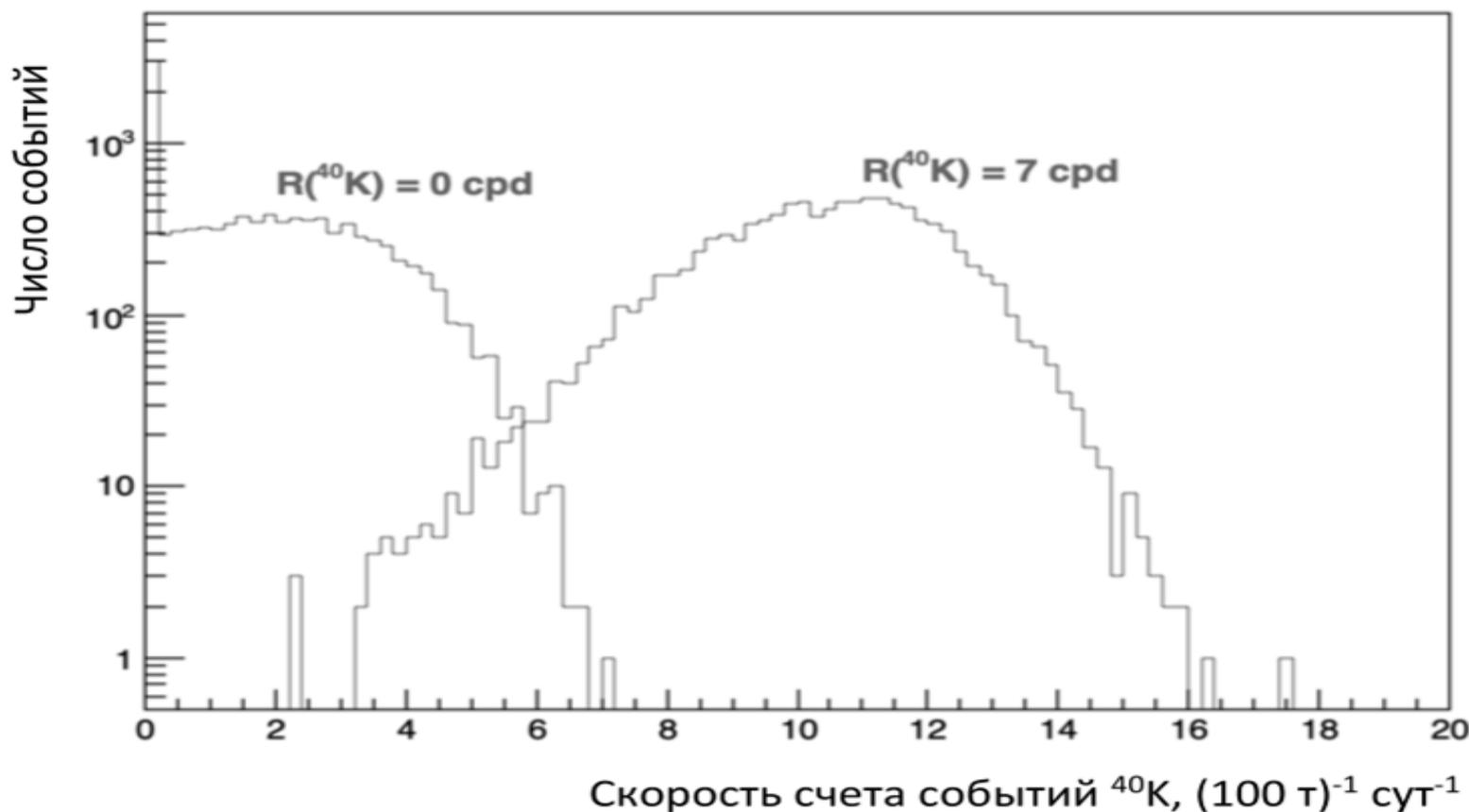
	Mod.1,exp.	Mod.2,exp.	B16CS98 HZ	B16AGSS09 LZ
	1	2	3	4
${}^7\text{Be}$	$48.4 \pm 0.9$	$46.0 \pm 0.84$	$47.9 \pm 2.8$	$43.7 \pm 2.5$
<i>per</i>	2.7	$2.78 \pm 0.05$	$2.74 \pm 0.04$	$2.78 \pm 0.04$
CNO	$6.5 \pm 0.7$	$3.67 \pm 0.73$	$4.92 \pm 0.55$	$3.52 \pm 0.37$
${}^{11}\text{C}$	1.7	$1.83 \pm 0.07$		
${}^{210}\text{Po}$	$41.5 \pm 0.4$	$41.1 \pm 0.08$		
${}^{210}\text{Bi}$	11.8	$11.0 \pm 0.23$		
${}^{85}\text{Kr}$	8.5	$8.5 \pm 0.24$		
${}^{40}\text{K}_{\text{geo}}$	0.0	$11 \pm 0.6$		
$\chi_1^2, \chi_2^2$	199.5	173.5		

Экспериментальных  
точек - 168

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  $^{40}\text{K-geo-v}$  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  $^{40}\text{K-geo-v}$ , а при анализе с учётом  $^{40}\text{K-geo-v}$ . Для кривой, помеченной  $R(^{40}\text{K}) = 7$  cpd, при МК моделировании эксперимента использовался набор источников событий с  $^{40}\text{K-geo-v}$  со средней скоростью появления событий  $R(^{40}\text{K-geo-v}) = 7$  cpd/100t и при анализе с учётом  $^{40}\text{K-geo-v}$ .



# Выводы

- Дана новая интерпретация данных эксперимента Борекстно.
- Получено доказательство справедливости модели Солнца с малой металличностью.

# Выводы

- Экспериментально подтверждено в эксперименте Vogehino предсказание модели «Богатая водородом Земля» о наличии в Земле калия в количестве  $3 \div 4\%$  от массы Земли.

# Выводы

- Можно предложить детектор нового поколения, который сможет зарегистрировать поток калийных гео-антинейтрино с высокой достоверностью. Это – детектор типа Борексина, но с очищенным от радиоактивности нейлоновым внутренним мешком. Это позволит измерить концентрацию  $^{210}\text{Bi}$  в сцинтилляторе и увеличит статистику.
- Индиевый детектор солнечных нейтрино.

# Связь потоков гео-антинейтрино с внутренним теплом Земли.

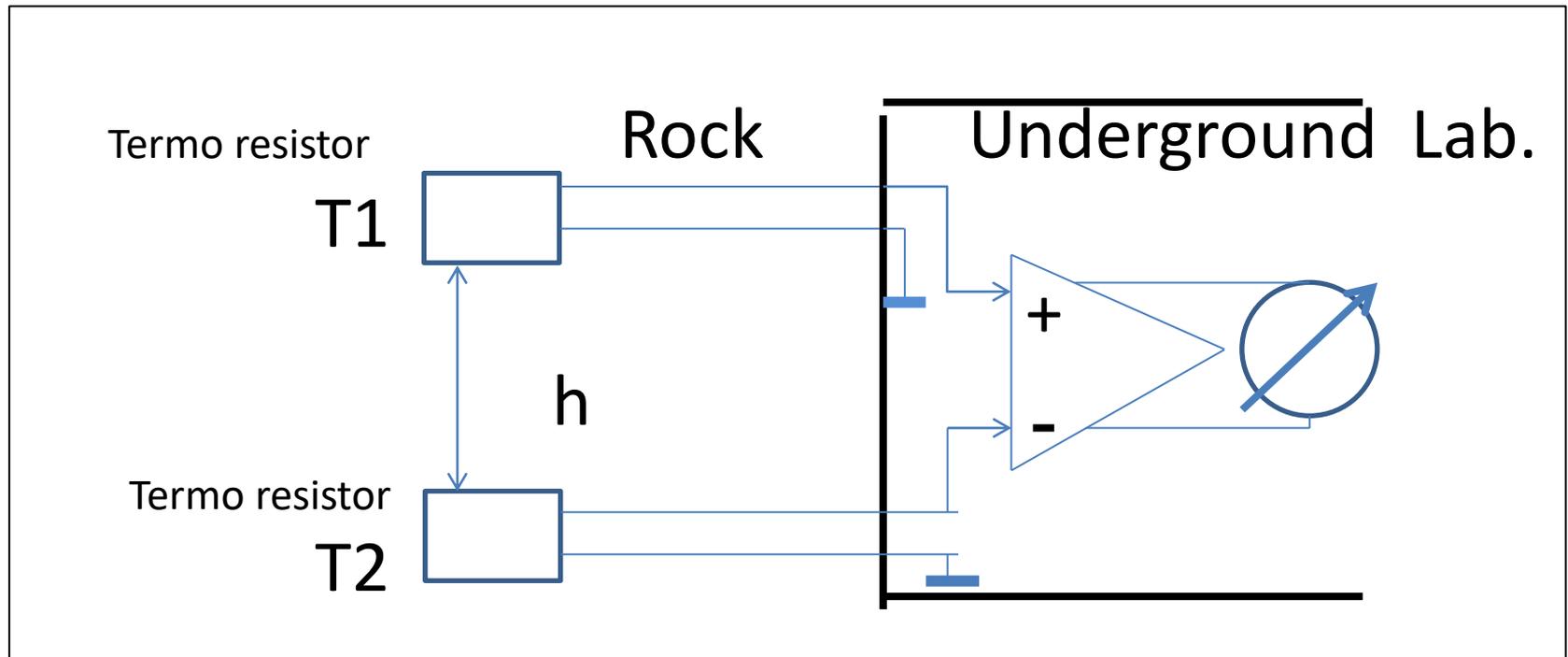
- $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  decays in the Earth body are the source of heat and geoneutrinos.
- $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8\alpha + 6e + 6\tilde{\nu}_e + 51,7 \text{ MeV} (47,7)$
- $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + 6\alpha + 4e + 4\tilde{\nu}_e + 42,7 \text{ MeV} (40,4)$
- $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + e + \tilde{\nu}_e + 1.31 \text{ MeV} \quad \text{prob.} 0,893$   
 $\rightarrow ^{40}\text{Ar} + \gamma + \nu_e + 1.51 \text{ MeV} \quad \text{prob.} 0,1066$

**HE модель:  $H_U + H_{Th} \approx 40 \text{ TW}$ ,  $1\% \div 1.5\% \rightarrow H_K = 177 \div 265 \text{ TW}$ .**

**BSE модель:  $H_U + H_{Th} \approx 20 \text{ TW}$ ,  $H_K \approx 4 \text{ TW}$ .**

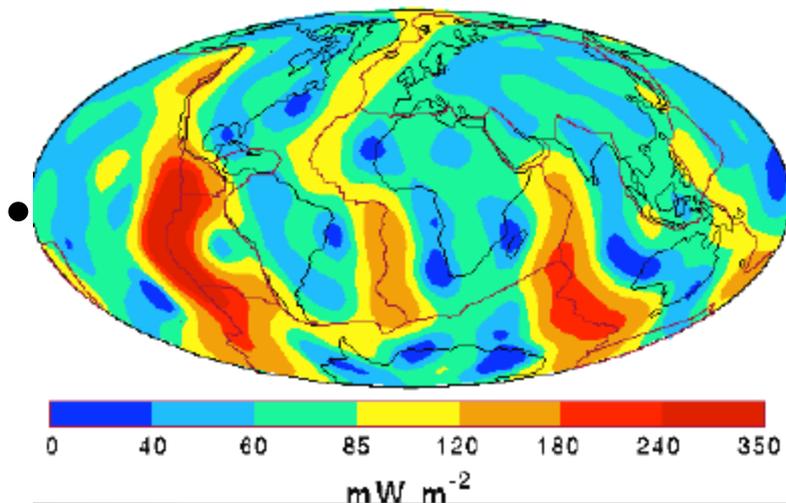
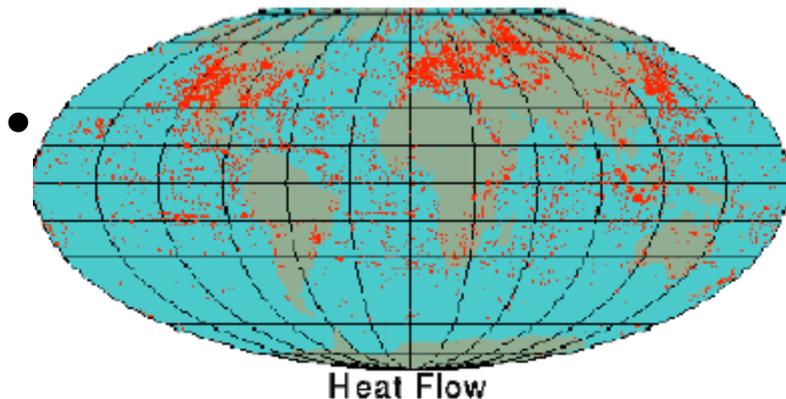
**В гео-науку внедрён результат усреднения измерения потока внутреннего тепла Земли:  $47 \pm 2 \text{ TW}$ .**

# Conductive Heat Flux: $F = \kappa \Delta T / h$



# Surface heat flux

## Bore-hole measurements



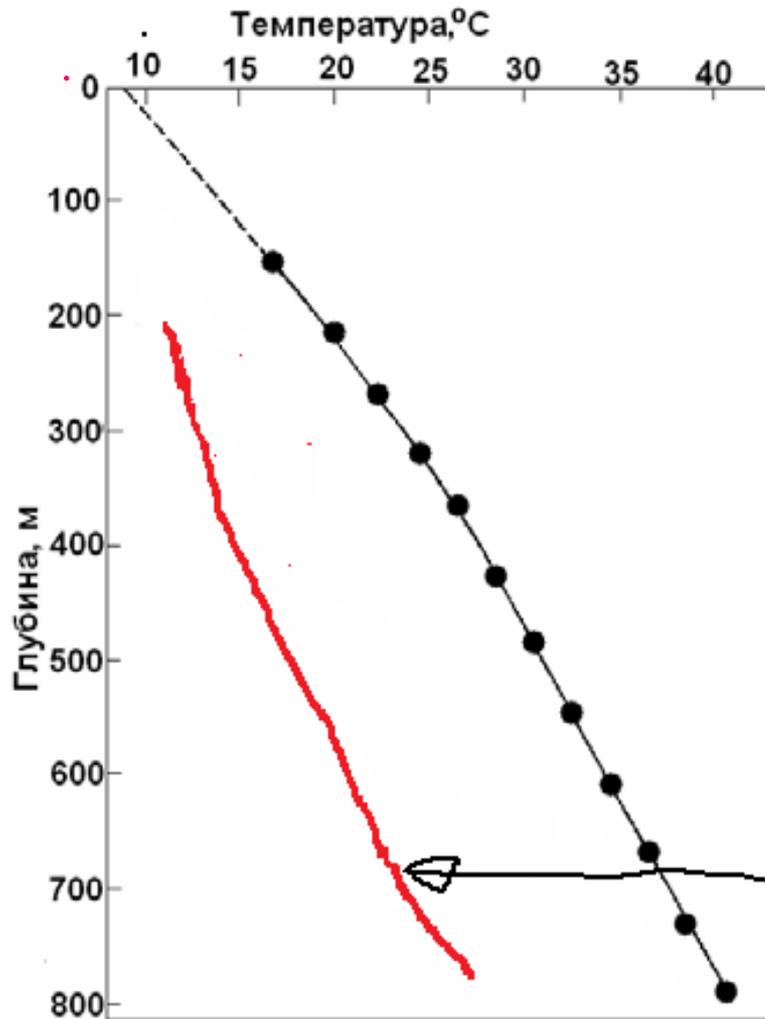
Global Heat Flow Data (Pollack *et al.*)

- Conductive heat flow from bore-hole temperature gradient;
- **Total surface heat flux:**
  - $31 \pm 1$  TW** (Hofmeister&Criss 2005)
  - $46 \pm 3$  TW** (Jaupart et al 2007)
  - $47 \pm 2$  TW** (Davis&Davies 2010)(same data, different analysis)

## SYSTEMATIC ERRORS

Different assumptions concerning the role of fluids in the zones of mid ocean ridges.

# Результаты измерения температуры в скважине «Рукхоуп» (Станоп, Северная Англия).



$$\frac{\partial}{\partial z} \left( \kappa \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -P(z)$$

$$P(z) = 0, \quad \kappa = \kappa_0 \frac{T_0}{T}$$

$$\frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial z} = \text{const}$$

$$T = e^{\text{const} \cdot z}$$

# The way of heat transfer in HE model: the gas carries up the binding energy

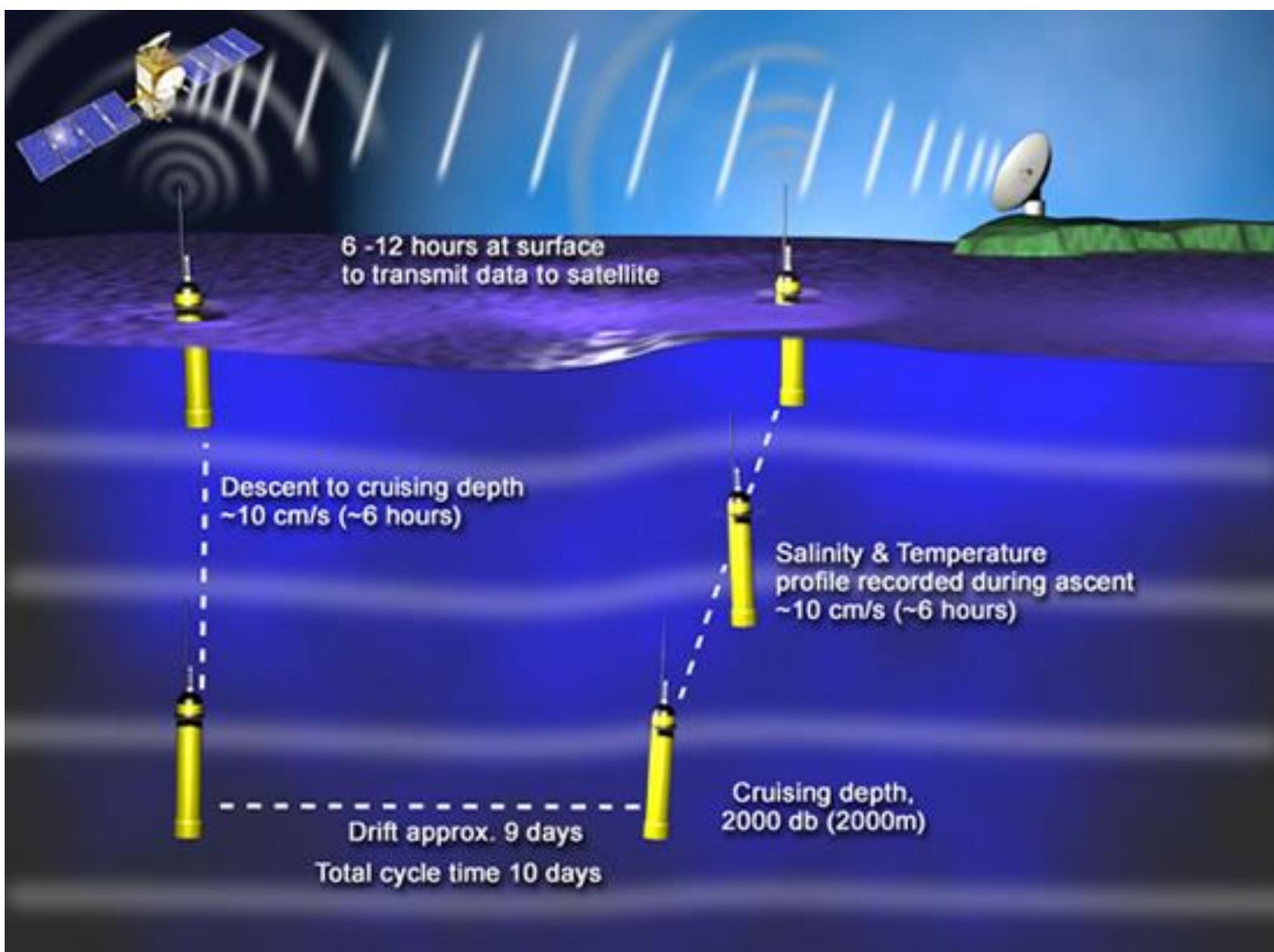
- Silane -  $\text{SiH}_4$  - gas from -112 to 450 °C



$\text{SiH}_4$  slowly dissolves in water and the decomposition reaction goes slowly under normal conditions – 20% per day.

ARGO PROJECT: Global array of free-drifting profiling floats that will measure the temperature of the upper 2000 m of the ocean in real-time





# Argo Project

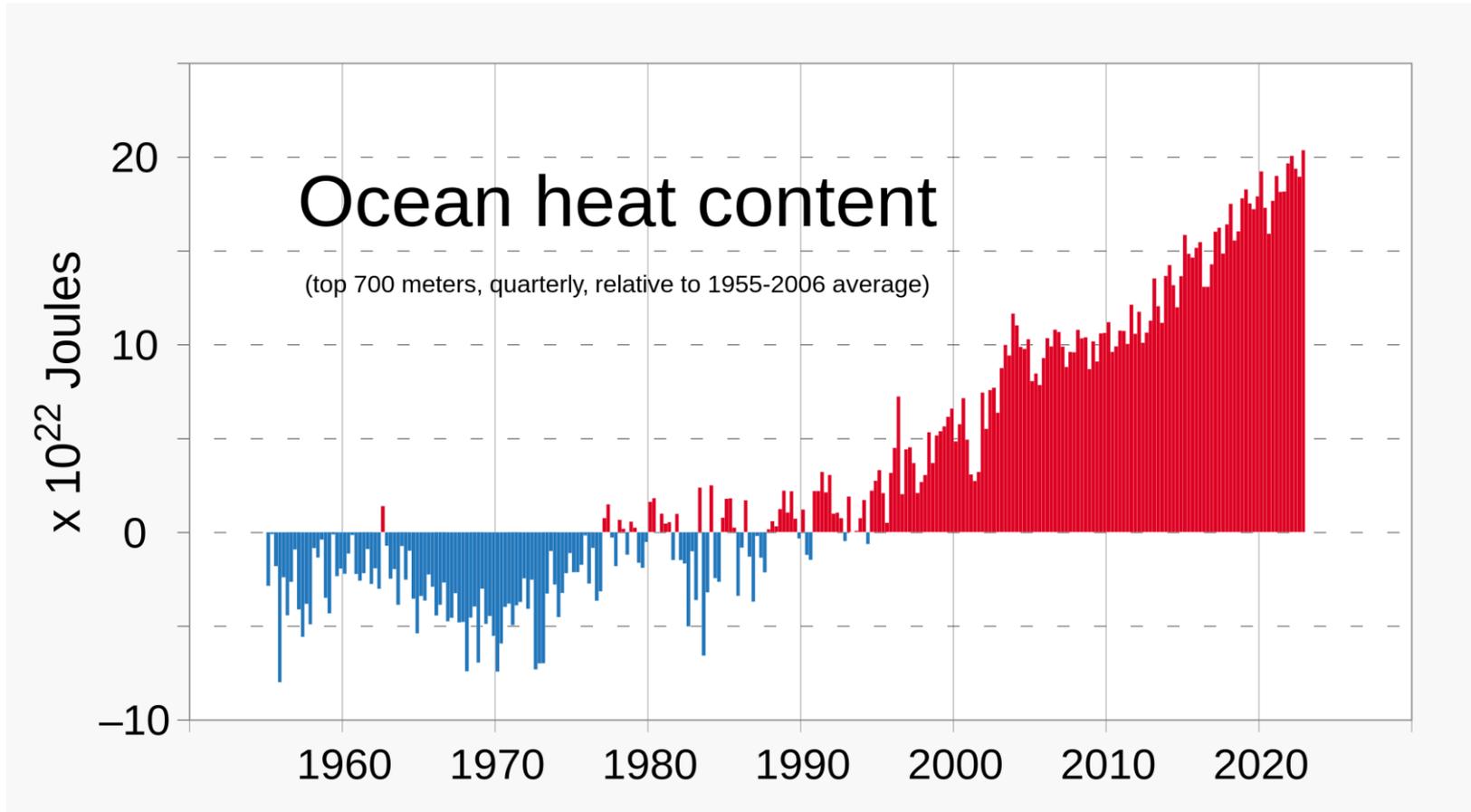


Positions of the floats that have delivered data within the last 30 days : 3476 Floats

<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-ocean-heat-content>

$$H = \rho c_p \int_{h_2}^{h_1} T(z) dz$$

$\rho$  - water density,  $c_p$  - sea water specific heat capacity,  $h_2$  - bottom depth,  $h_1$  - top depth,  $T(z)$  - temperature profile



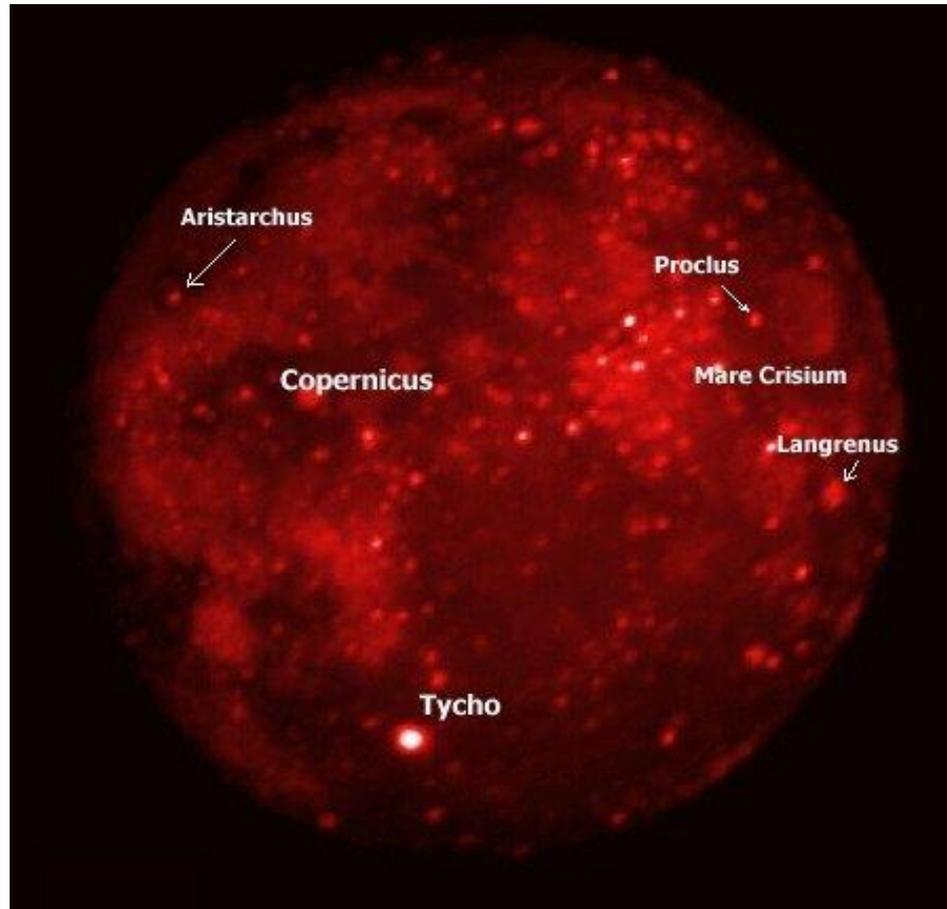
- $7 \text{ cpd}/100\text{t} : 2.18 = 3,2\%$  К от массы Земли
- $177 \text{ TW} \cdot 3,2\% = 566 \text{ TW}$
- $566 \text{ TW} \cdot 0,7 \cdot 3 \cdot 10^7 \text{ s} \cdot 30 \text{ y} = 3,5 \cdot 10^{23} \text{ Joules}$

# Выводы

- Наличие в Земле калия в количестве  $3 \div 4\%$  от массы Земли достаточно, чтобы объяснить наблюдаемый в эксперименте ARGON нагрев океана.
- Предложен способ передачи радиогенного тепла океану через образование газа силан на глубинах в 10 км в процессе выхода водорода из Земли.

# Infrared photo of the Moon during eclipse

The metal ball covered by old blanket with the holes

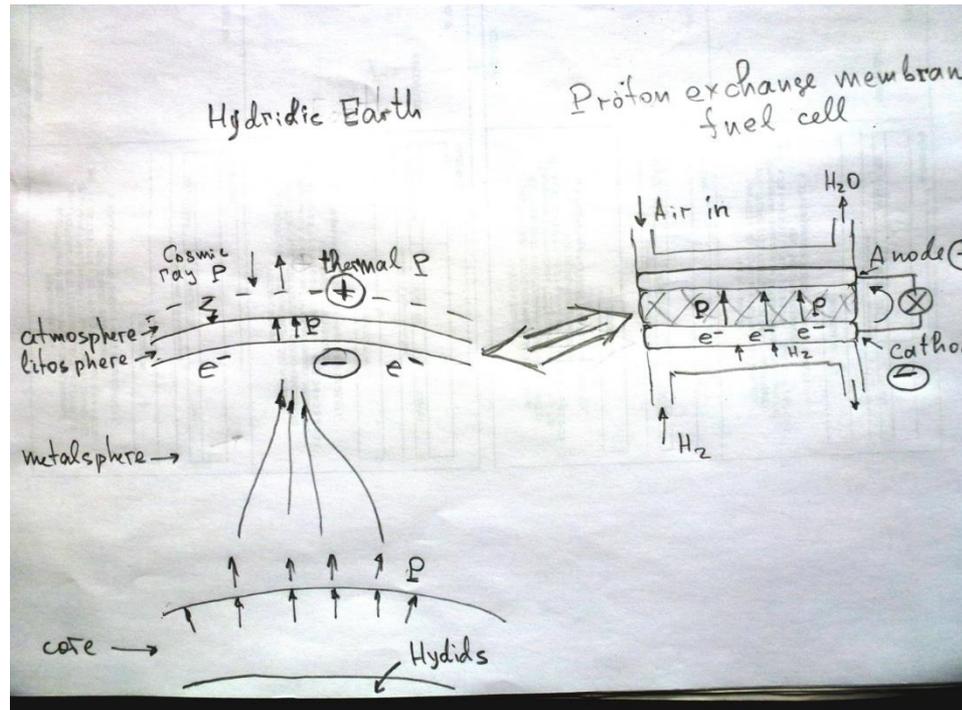




# Negative charge is under lithosphere. L.B.Bezrukov.

The International Astroparticle Physics Workshop

July 22 - 27, 2012. Ulan-Ude, Baikal, Russia

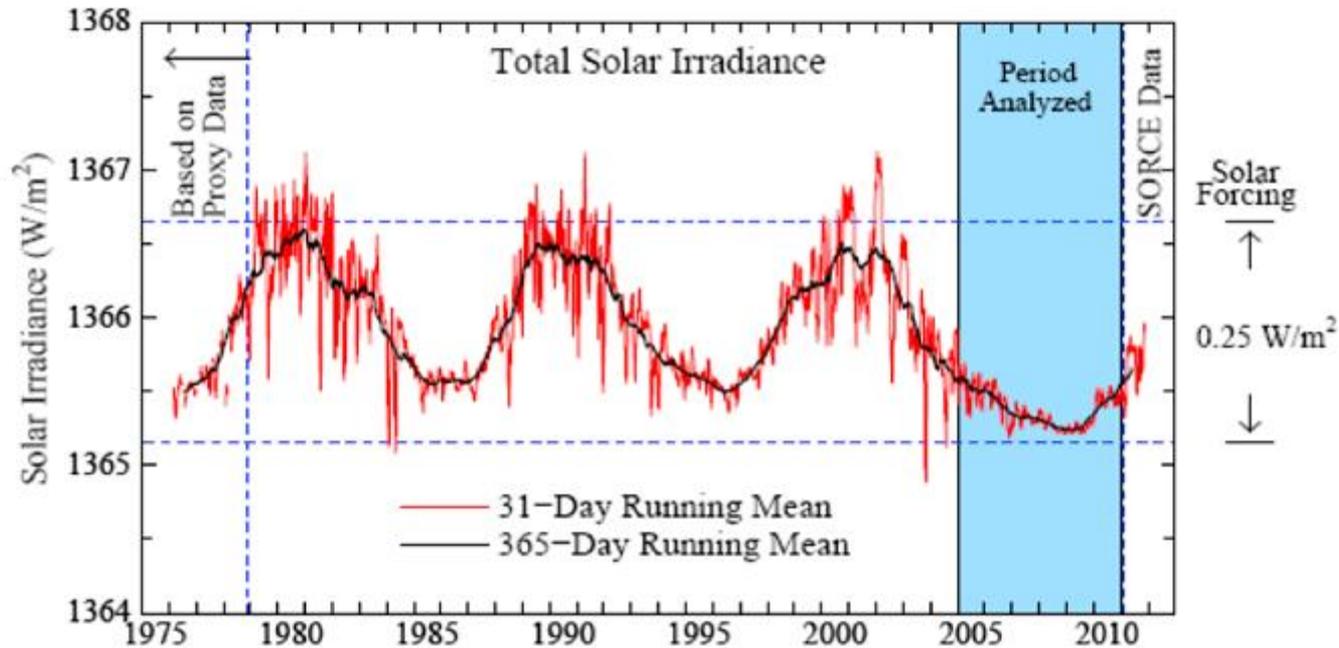


# Доклады Академии наук. 2018.

Л. Б. Безруков, В. П. Заварзина, А. С. Курлович, Б. К. Лубсандоржиев, А. К. Межох, В. П. Моргалюк, В. В. Синёв.

ОБ ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННОМ СЛОЕ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ // Доклады  
Академии наук. 2018. Т. 480. № 2. С. 155-157.

$$3 \cdot 10^{14} \text{ W} / 5 \cdot 10^{14} \text{ m}^2 = 0,6 \text{ W/m}^2$$



- ***A graph of the sun's total solar irradiance shows that in recent years irradiance dipped to the lowest levels recorded during the satellite era. The resulting reduction in the amount of solar energy available to affect Earth's climate was about .25 watts per square meter, less than half of Earth's total energy imbalance.***

# Парадокс слабого молодого Солнца

- наблюдаемое противоречие между [палеоклиматическими](#) данными и [астрофизическими](#) моделями эволюции [Солнца](#). Стандартная модель [эволюции звёзд](#) утверждает, что 4 млрд лет назад [Солнце](#) излучало приблизительно на 30 % меньше энергии, чем сейчас.
- На [Марсе](#) также установлены следы тёплого и влажного климата.