

# **THE POSSIBILITY OF LIMITATION BY JUNO DETECTOR OF $^{40}\text{K}$ ANTINEUTRINO AND NEUTRINO FLUX FOR OBTAINING ITS ABUNDANCE IN THE EARTH**

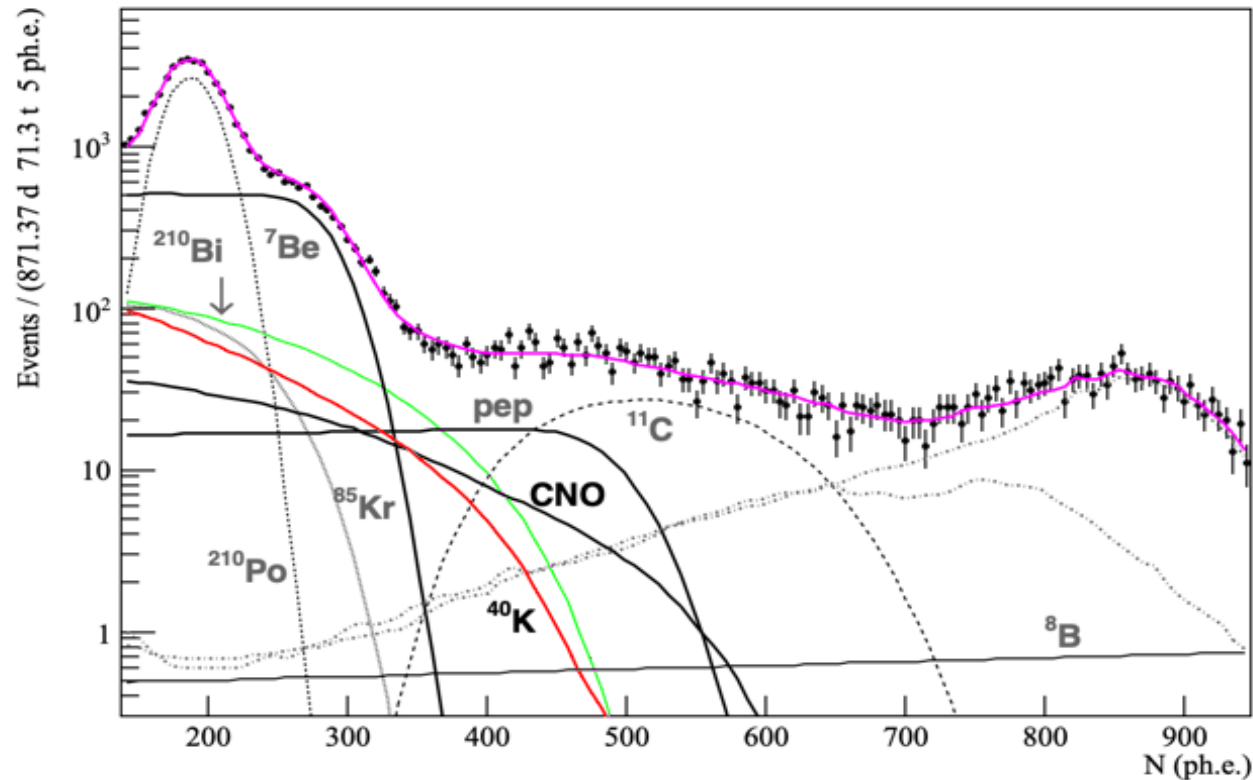
V.V. Sinev, L.B. Bezrukov and A.S. Bykovsky

Institute for Nuclear Research of Russian Academy of Sciences

# Motivation

1. There are two alternative Earth models predicting different potassium abundance.
2. Neutrinos can make a test which model is correct.
3.  $\chi^2$  method is a criterium what really can exist in Nature.

# Our previous analysis finds sufficient amount of $^{40}\text{K}$ antineutrinos



Energy spectrum of single events in Borexino and its components.

If to add  $^{40}\text{K}$ ,  $\chi^2$  becomes better and all solar neutrino fluxes satisfy to LZ

LZ model  $\chi^2 = 156/152$

$R_{\text{CNO}} = 3$  events per day/100 t

$R_{^{40}\text{K}} = 10\text{-}13$  events per day/100 t

We have reproduced Borexino result in phases II and III.  
(At conditions: HZ and not taking into account  $^{40}\text{K}$ )

Phase II. Potassium abundance in the Earth and Borexino data, L. Bezrukov, A. Gromtseva, I. Karpikov, A. Kurlovich, A. Mezhokh, P. Naumov, Ya. Nikitenko, S. Silaeva, V. Sinev, V. Zavarzina [arXiv:2202.08531](https://arxiv.org/abs/2202.08531) [physics.ins-det].

Phase III. L.B. Bezrukov, I.S. Karpikov, V.V. Sinev, The indication for  $^{40}\text{K}$  geo-antineutrino flux with Borexino phase-III data, [arXiv:2304.02747](https://arxiv.org/abs/2304.02747)[hep-ex].

# Our proposal to Borexino and JUNO (or other new generation detector)

To perform the analysis of events up and down going.

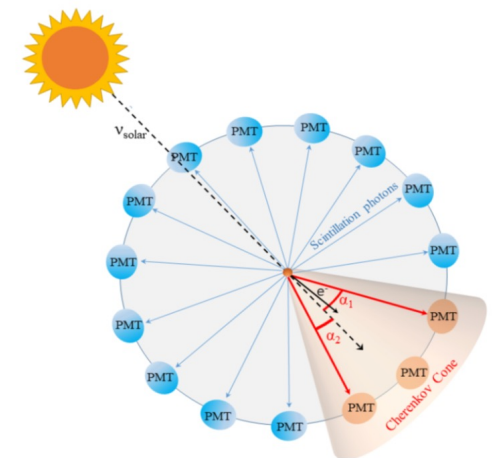
Prediction: If  $^{40}\text{K}$  flux is sufficient upgoing events will prevail.

Similar analysis could be done if to use solar position. At night number of upgoing events should exceed down going number at day time.

Final results of Borexino on CNO solar neutrinos

D. Basilico, et al. (Borexino collaboration) PHYSICAL REVIEW

D 108, 102005 (2023)

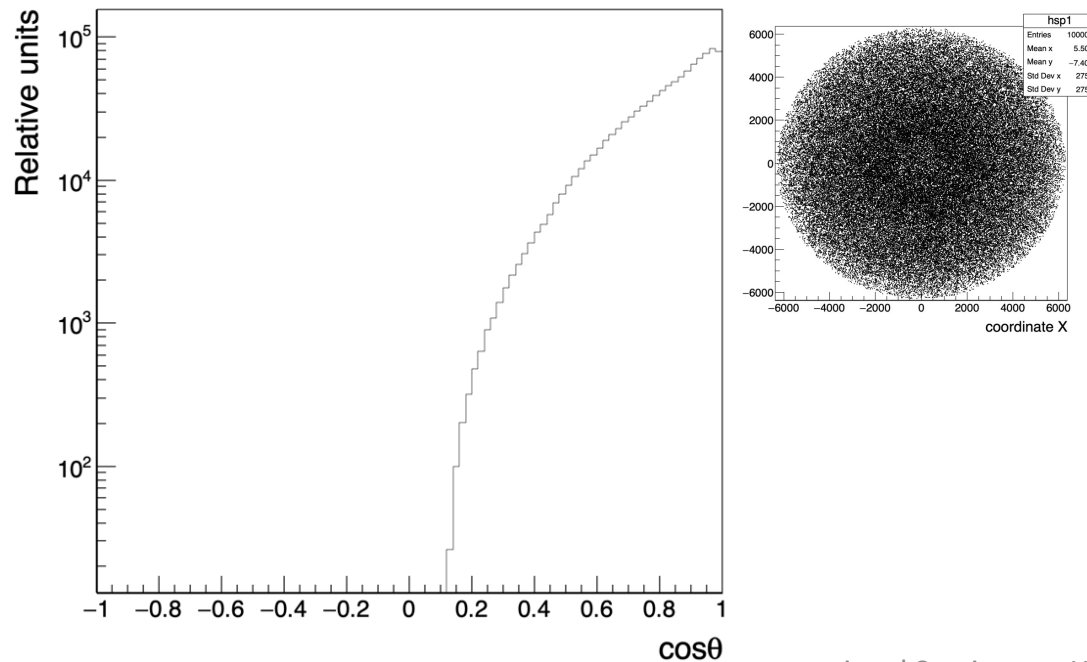


# Different distribution of potassium inside the Earth gives different angle distribution of neutrino flux

Uniform distribution of K abundance  
~1% on weight

$H = 204 \text{ TW}$ ,

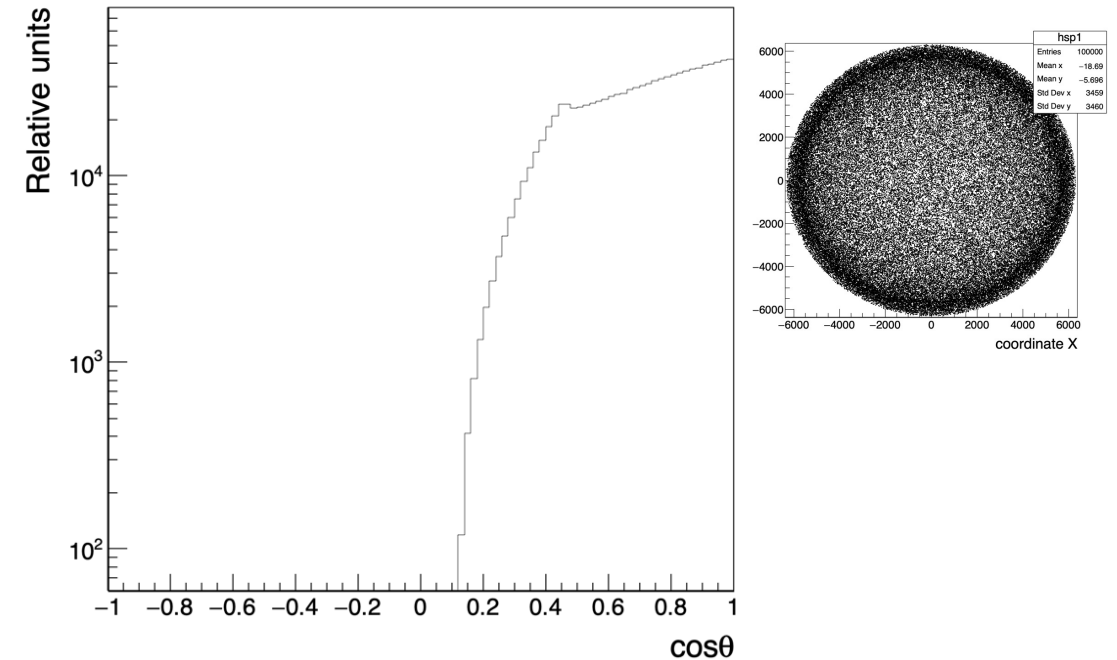
$F = 3.7 \cdot 10^8 \text{ neutrino/cm}^2/\text{s}$



K abundance ~2% in crust only

$H = 5.8 \text{ TW}$ ,

$F = 1.0 \cdot 10^7 \text{ neutrino/cm}^2/\text{s}$



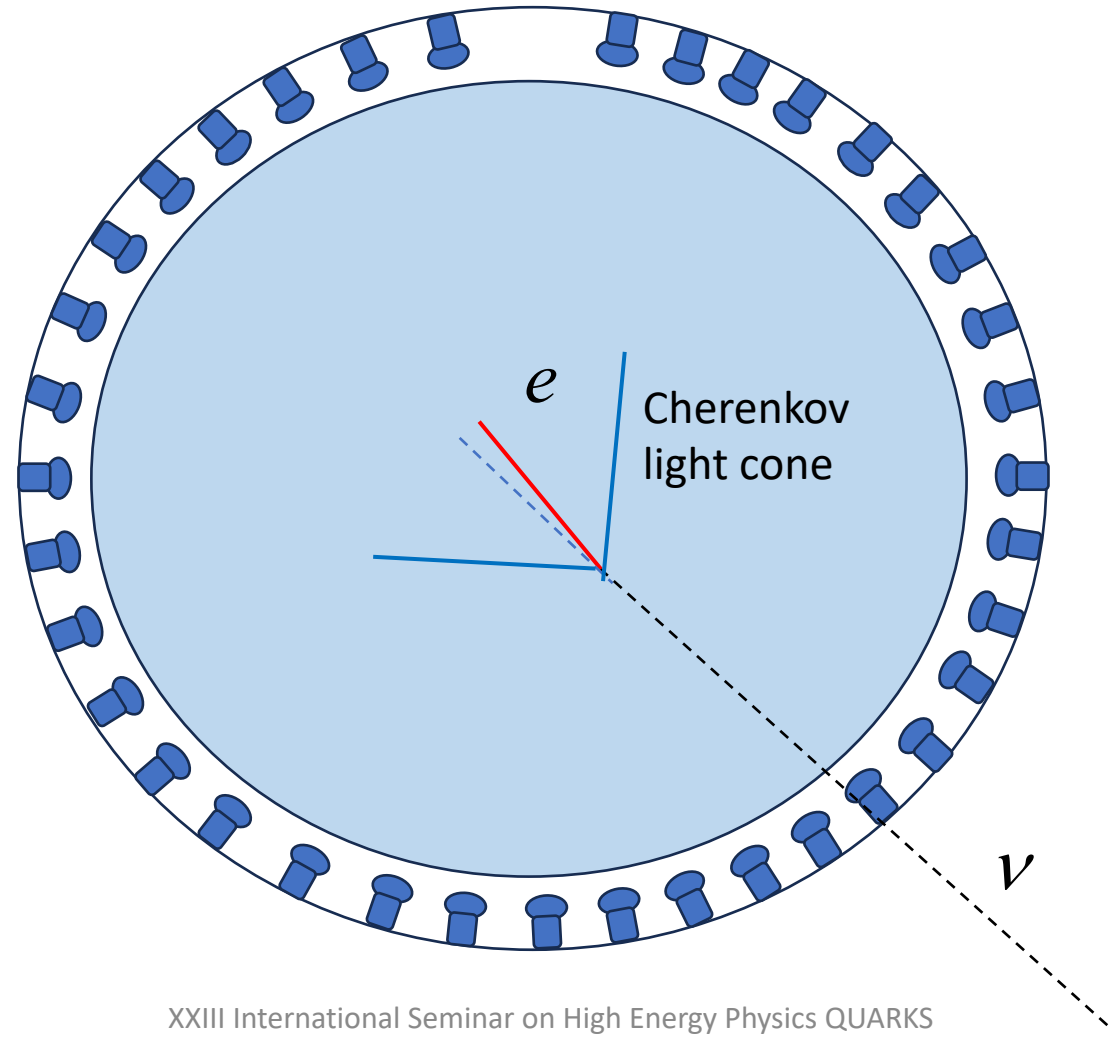
# Detector for measuring angle distribution of upgoing events

Mass 100-200 t

Pure scintillator

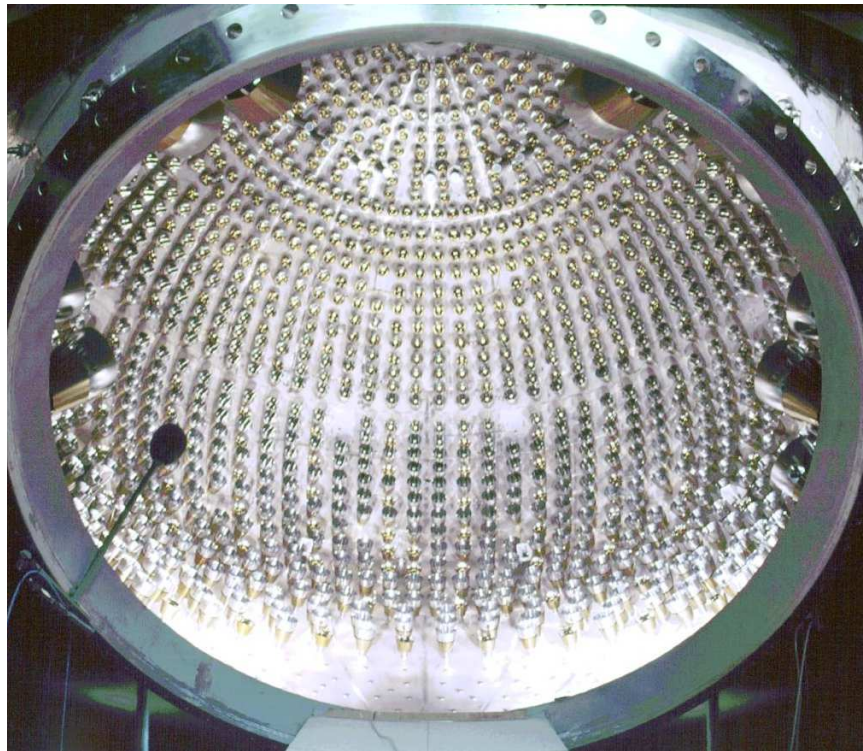
Large surface coverage  
with PMTs

Good time resolution



# Lets take as base the Borexino detector

2212 PMTs 8"  
coverage 48%



16000 PMTs 3"  
coverage 49%

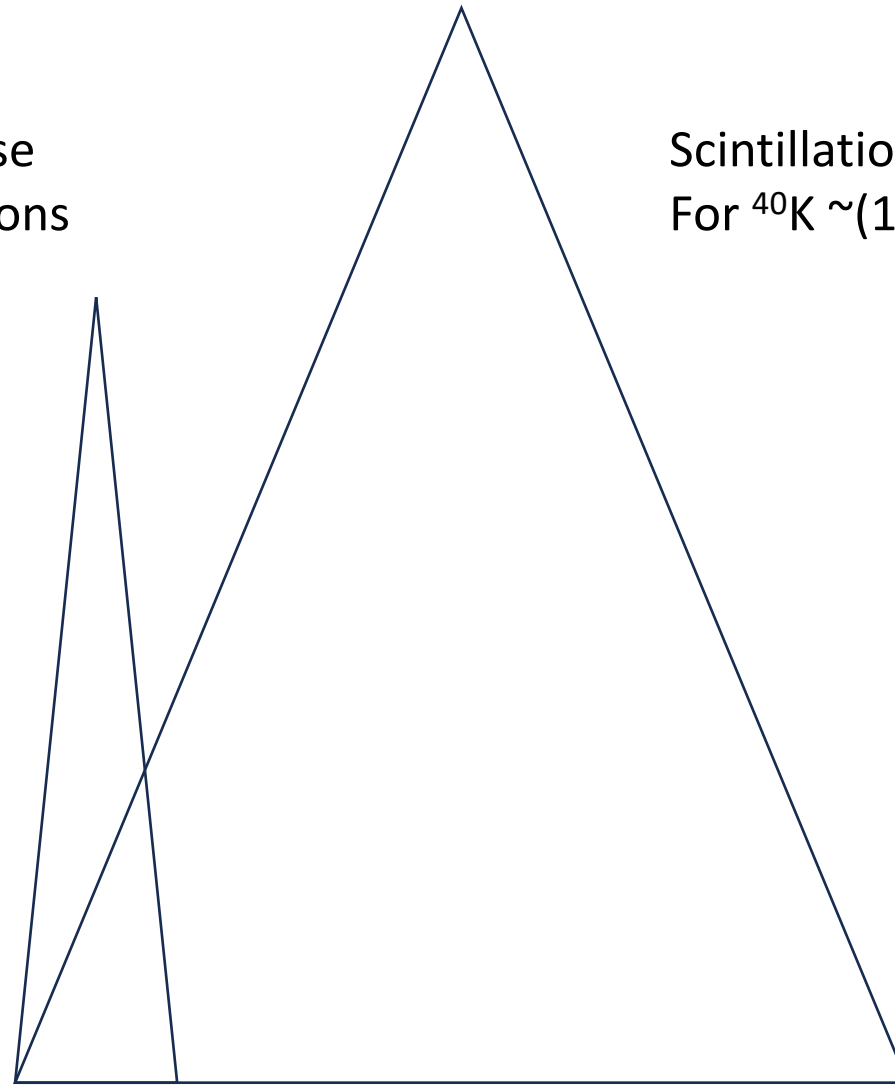


jitter  $\sim 3$  ns

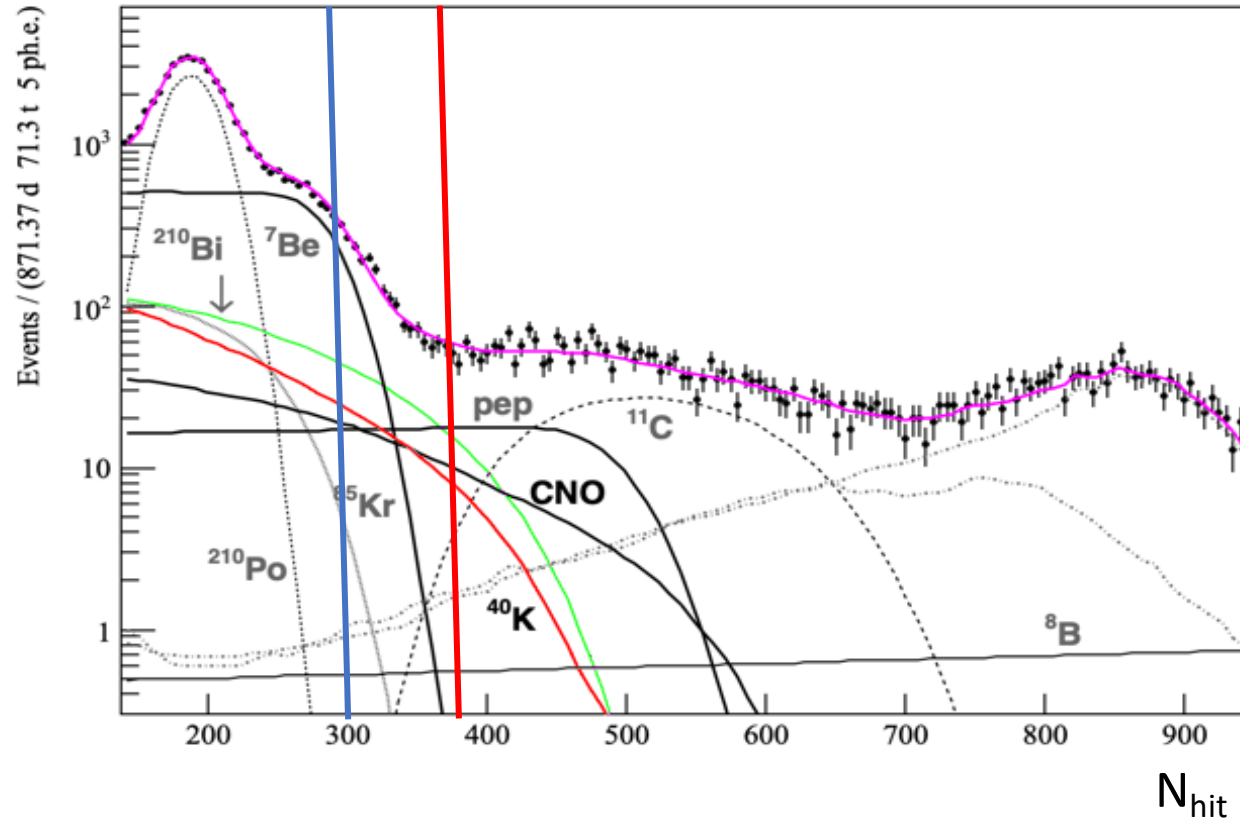
# Estimation of probability to register Cherenkov light

Cherenkov light pulse  
For  $^{40}\text{K}$   $\sim 30\text{-}40$  photons

Scintillation light pulse  
For  $^{40}\text{K}$   $\sim (14\text{-}16) \cdot 10^3$  photons



# Energy limit for the Cherenkov light

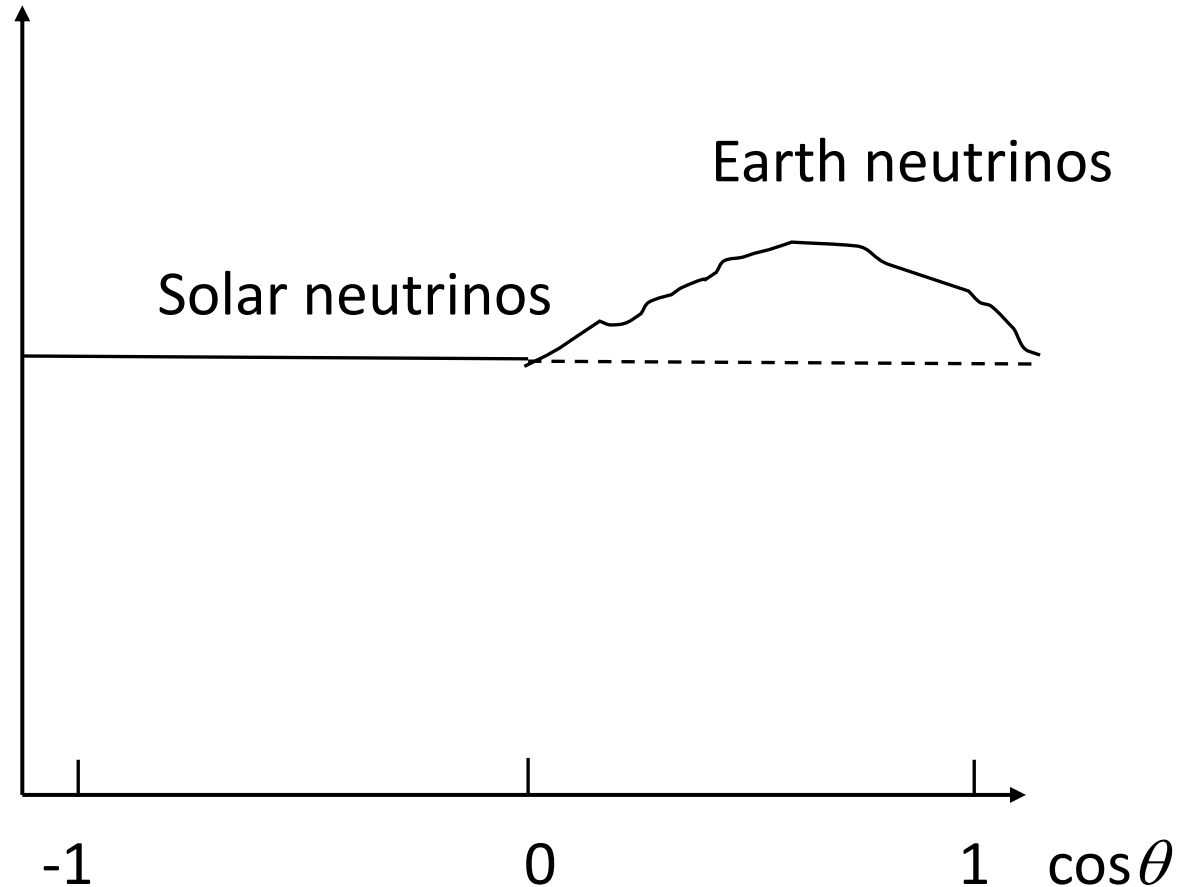


Number of events will become less due to the fact that only electrons with energy more than 360 keV can give Cherenkov light.

Solar neutrinos give the same counting rate for up going and down going events. Backgrounds placing inside the detector will be sufficiently or completely ( $^{85}\text{Kr}$ ) suppressed.

# What will be observed in a detector if potassium flux is comparable with CNO flux

If we have  $\sim 10$  events from  $^{40}\text{K}$  per 100 t per day, approximately 36500 events will be collected for 10 years. This means 0.5% statistical uncertainty.



# Conclusion

Borexino demonstrated the possibility to get neutrino direction through the Cherenkov light from energetic recoil electrons detection.

To solve the problem of potassium abundance in the Earth we propose a detector that detects Cherenkov light as well as scintillation from ionization.

The detector should distinguish the difference in time between Cherenkov and scintillation light and detect event direction and vertical one.

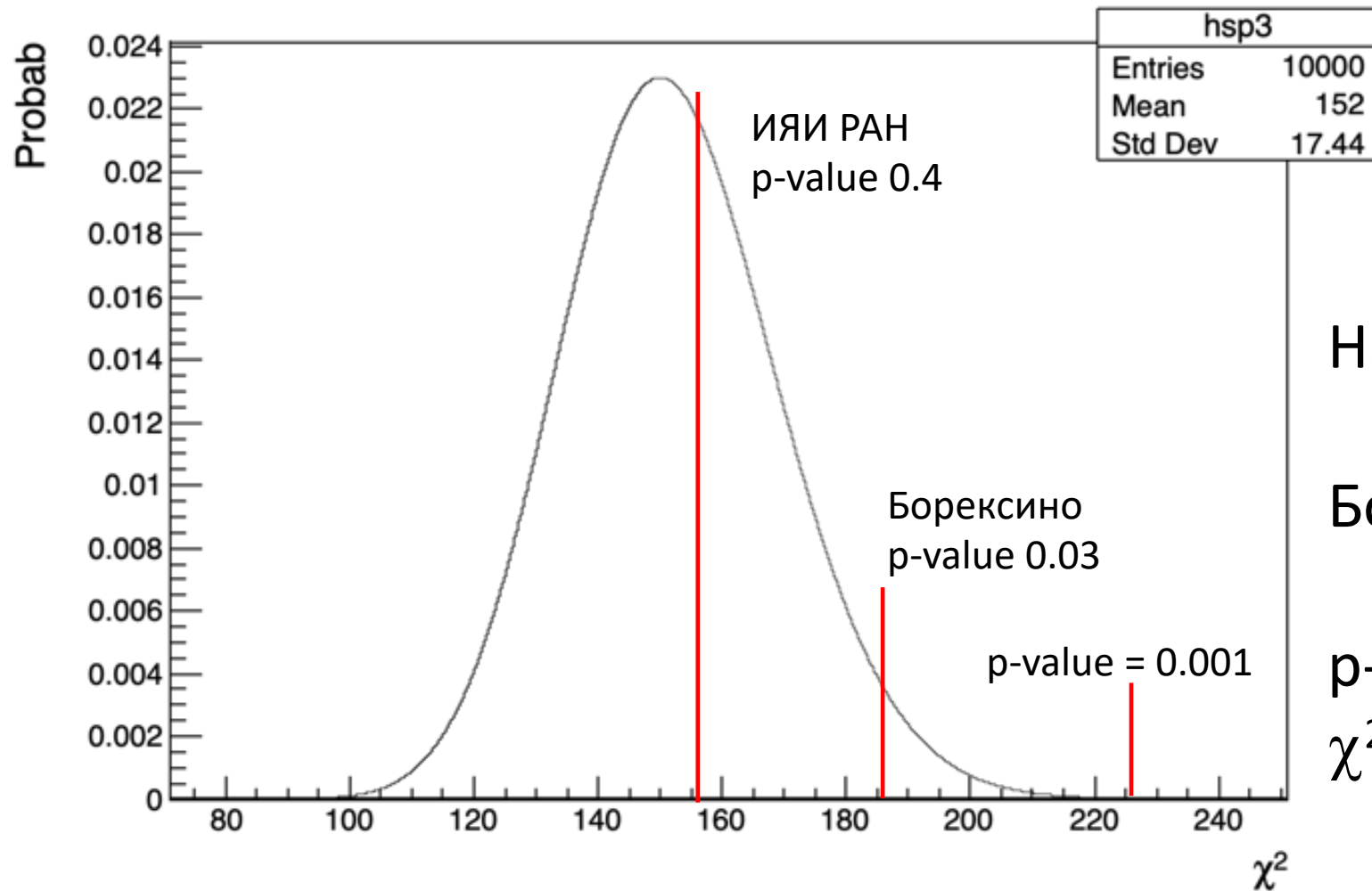
The detector should have volume comparable with Borexino detector (~100-200 t) to collect enough statistics.

Our preliminary estimation to detect neutrinos from the Earth is 100 t detector working during 10 years.

**Thank you for the attention!**

# Extra slides

# р-value для нашего анализа и Борексино



Наш  $\chi^2 = 156/152$

Борексино  $\chi^2 = 186/152$

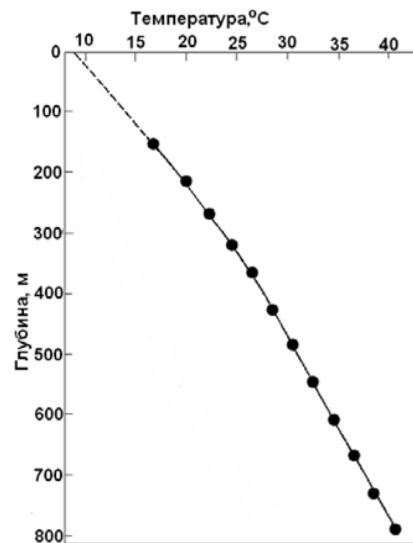
p-value = 0.001 при  
 $\chi^2 = 225$

2. Ранее проведенный нами анализ данных второй фазы Borexino ограничивает гипотетический поток калиевых антинейтрино на уровне, соответствующем 200 ТВт на 90% УД, что также прямо указывает на ошибки в интерпретации данных третьей фазы. Этот анализ не публиковался, поскольку **полный** измеренный поток тепла от Земли составляет **~50 ТВт**.

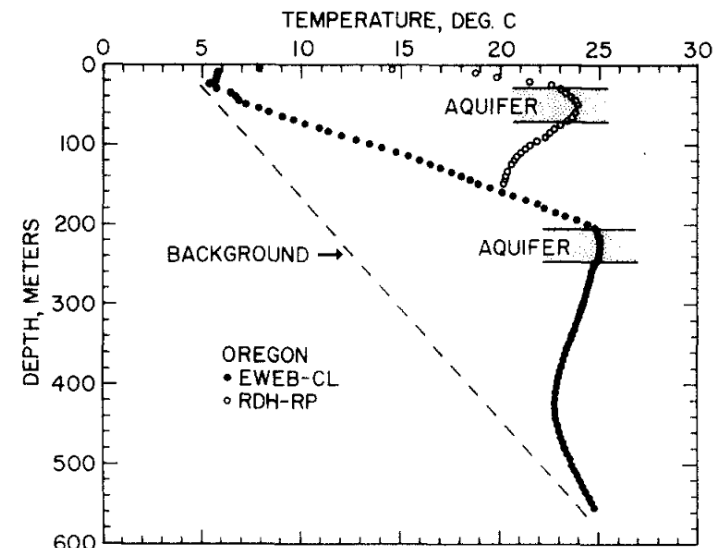
**Полный** измеренный поток тепла от Земли составляет  $\sim 50$  ТВт (?)

Этот измеренный поток ( $47 \pm 2$  ТВт ) НЕ полный, так как не рассматривает другие возможные пути передачи тепла, кроме теплопроводности.

Эту величину можно рассматривать только, как нижнюю границу теплового потока. При потеплении мирового океана на 0.7 К за 100 лет требуется поток тепла снизу **1300 ТВт**.



Температурный  
профиль шахты  
Rukhoup (Северная  
Англия)



Температурный  
профиль шахты в  
Орегоне (США)

## По поводу выделения направления на Солнце

Действительно, хаотично направленные электроны от бета-распадов, альфа-частицы от  $^{210}\text{Po}$  и энергосвечение от обратного Комптоновского рассеяния гамма-квантов  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{208}\text{Tl}$  эффективно подавляются. Однако, если есть поток от нейтрино  $^{40}\text{K}$ , то он подавляется только в два-три раза, потому что половину суток Солнце находится с другой стороны Земли.

Чтобы исключить поток от  $^{40}\text{K}$  при таком анализе надо анализировать только события, полученные в дневное время, когда нейтрино от Солнца идут сверху, а от калия снизу.

Тогда точно в анализе останутся только нейтрино от Солнца и можно проверить, будет ли поток CNO тот же самый, что и при обычном анализе Борексино (или в ночное время).

# Калий в природе

Три изотопа:

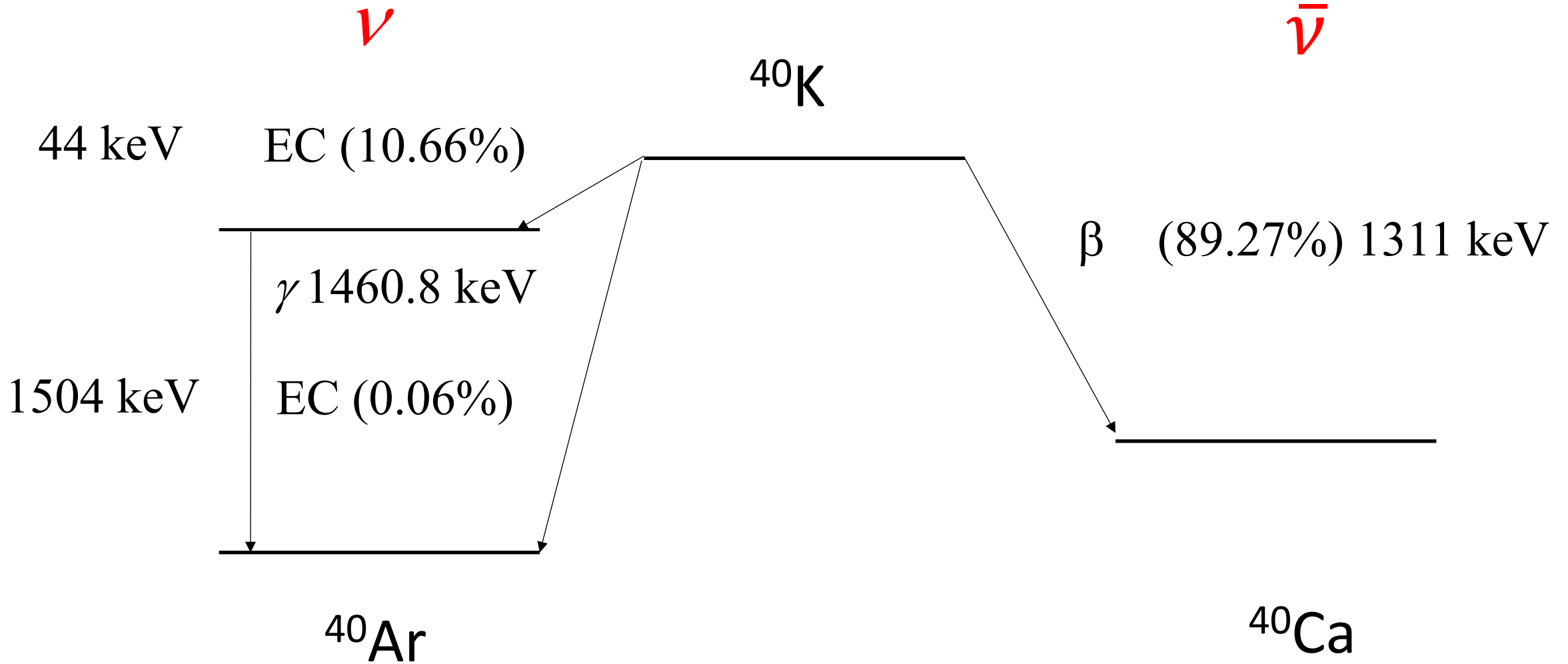
два стабильных ( $^{39}\text{K}$  – 93.2581%,  $^{41}\text{K}$  – 6.7302%)

и один нестабильный  $^{40}\text{K}$  – 0.0117%

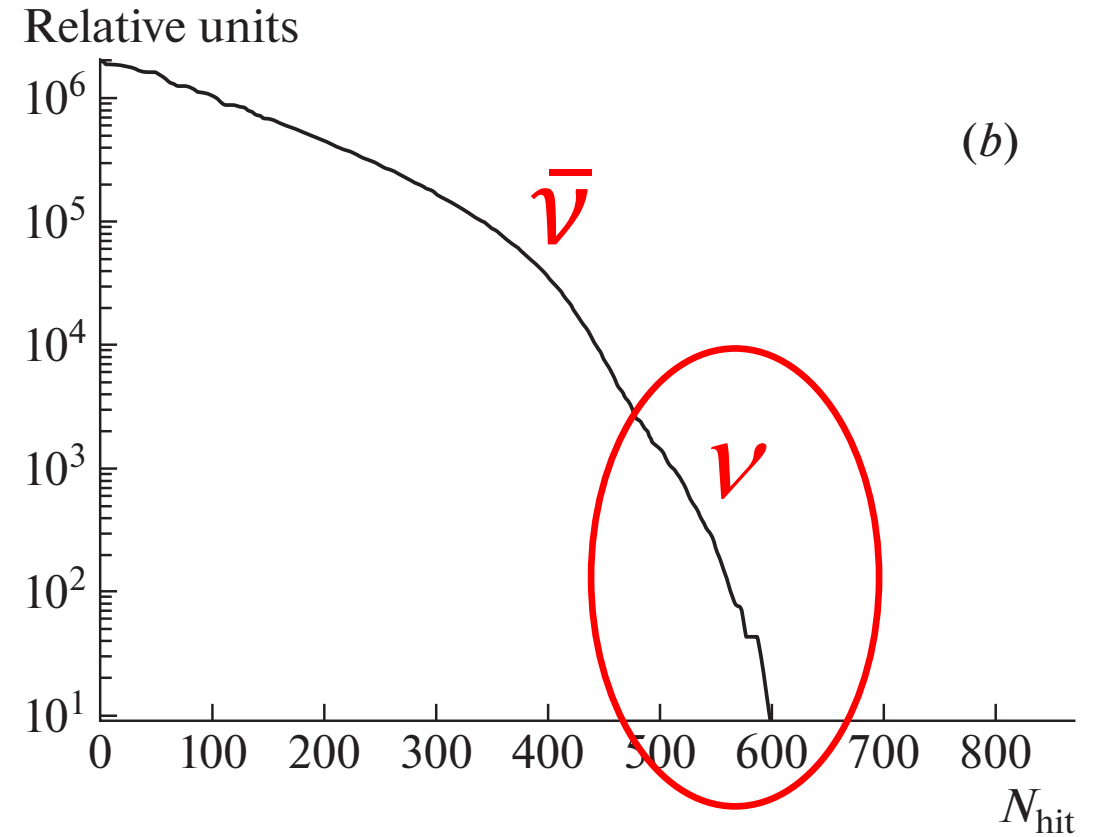
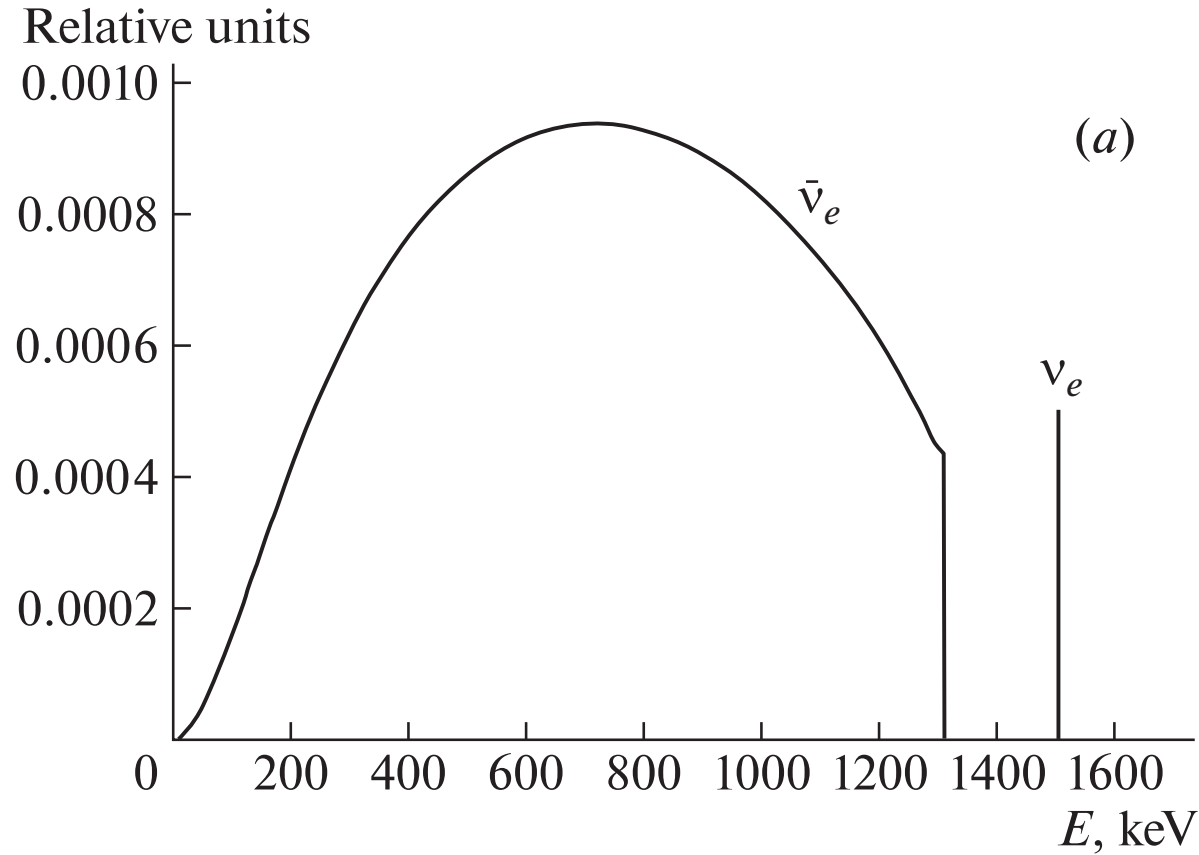
В земной коре содержится от 1.5 до 2.5% калия

Сколько всего в Земле?

# Схема распада $^{40}\text{K}$



# Спектры антинейтрино и нейтрино $^{40}\text{K}$ и его pdf



# ДИСКУССИЯ

Оказывается, что **оба анализа**, Борексино и наш, дают **правильный** результат: но у Борексино **неправильная** интерпретация.

Наш анализ показывает, что мы предсказываем результат Борексино: если модель земли Hydride Earth и много калия, но калием пренебрегаем в анализе, то скорость счета CNO оказывается, как в анализе Борексино. При этом события потока калия увеличивают CNO по сравнению с LZ. Но значение  $\chi^2$  оказывается большим (200).

Если бы реализовывалась модель Борексино, то у нас бы оказалось **большое** значение  $\chi^2$ , а у них оно было бы нормальным (180).

Много тепла из Земли (~600 ТВт и возможно более).

Не согласуется с измерением  $W = 47 \pm 2$  ТВт (более, чем в 12 раз)!!!

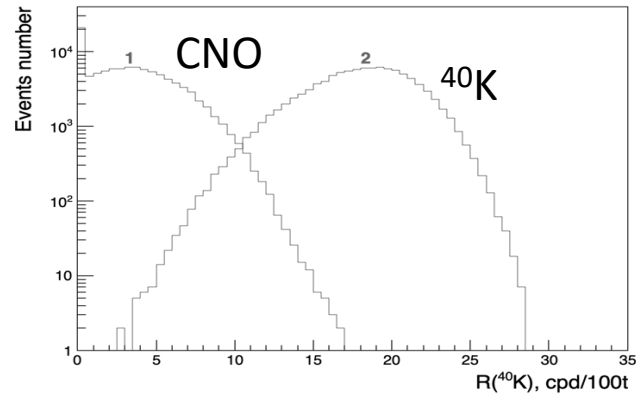
Куда девается тепло? Почему мы его не видим?

Сейчас оно идет на нагрев океана (~600 ТВт), атмосферы и излучение в космос.

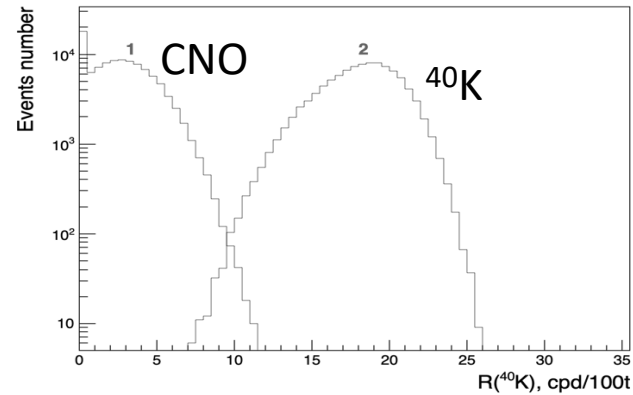
# С калием

4. РАЗЫГРАНО: 40K – **14**, CNO – **3.5**, пер – **2.9**, 7Be - **46** по модели LZ

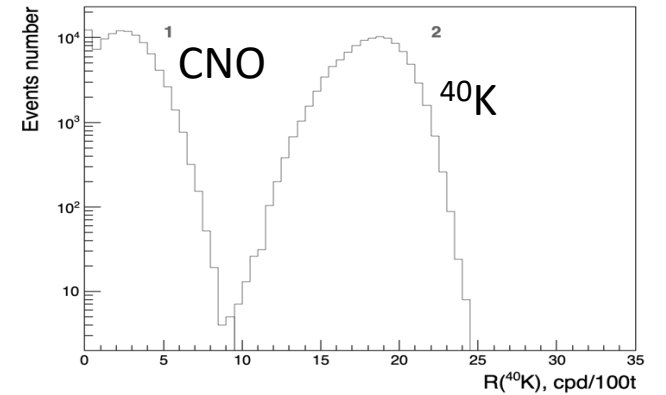
Ищется: пер (пределы 2.5-3.2), 7Be (44-50), CNO, 40K



Время измерения 871 день



Время измерения 2x871 день



Время измерения 4x871 день

## Анализ по направлению на Солнце

Это модельный анализ

При выборе направления уменьшается эффективность регистрации нейтрино наряду с уменьшением фонов.

В другом эксперименте (SAGE) была проведена калибровка детектора и оказалось, что сечение на 20% меньше, чем дает расчет. Это говорит о том, что CNO меньше, что совпадает с нашим анализом.