



Прямой поиск кэВ-ных стерильных нейтрино на установке «Троицк ню-масс». Текущий статус.

В.С. Пантуев, ОЭФ

# Первоначальная фаза измерения массы электронного антинейтрино закончена



В.М. Лобашев

Citation: J. Beringer *et al.* (Particle Data Group), PR **D86**, 010001 (2012) and 2013 partial update for the 2014 edition (URL: <http://pdg.lbl.gov>)

## Neutrino Properties

A REVIEW GOES HERE – Check our WWW List of Reviews

### $\bar{\nu}$ MASS (electron based)

Those limits given below are for the square root of  $m_{\nu_e}^{2(\text{eff})} \equiv \sum_i |U_{ei}|^2 m_{\nu_i}^2$ . Limits that come from the kinematics of  ${}^3\text{H}\beta^{-}\bar{\nu}$  decay are the square roots of the limits for  $m_{\nu_e}^{2(\text{eff})}$ . Obtained from the measurements reported in the Listings for “ $\bar{\nu}$  Mass Squared,” below.

VALUE (eV)	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
<b>&lt; 2</b>				<b>OUR EVALUATION</b>
<b>&lt; 2.05</b>	95	<sup>1</sup> ASEEV	11	SPEC ${}^3\text{H}\beta$ decay
< 2.3	95	<sup>2</sup> KRAUS	05	SPEC ${}^3\text{H}\beta$ decay

Particle Data Group

# Почему стерильные нейтрино?

## Расширение Стандартной модели

### Standard Model

2.4 MeV $\frac{2}{3}$ u Left up Right	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ c Left charm Right	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ t Left top Right	0 0 g gluon
4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ d Left down Right	104 MeV $-\frac{1}{3}$ s Left strange Right	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ b Left bottom Right	0 0 $\gamma$ photon
0 eV 0 $\nu_e$ electron neutrino	0 eV 0 $\nu_\mu$ muon neutrino	0 eV 0 $\nu_\tau$ tau neutrino	91.2 GeV 0 Z <sup>0</sup> weak force
0.511 MeV -1 e Left electron Right	105.7 MeV -1 $\mu$ Left muon Right	1.777 GeV -1 $\tau$ Left tau Right	80.4 GeV $\pm 1$ W <sup>±</sup> weak force

$>114$  GeV  
0  
0  
H  
Higgs boson  
spin 0

### Extension with $\nu_R$

Three Generations of Matter (Fermions) spin  $\frac{1}{2}$

	I	II	III	
mass - charge - name -	2.4 MeV $\frac{2}{3}$ u Left up Right	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ c Left charm Right	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ t Left top Right	0 0 g gluon
Quarks	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ d Left down Right	104 MeV $-\frac{1}{3}$ s Left strange Right	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ b Left bottom Right	0 0 $\gamma$ photon
	$<0.0001$ eV 0 $\nu_e$ electron neutrino	$\sim 10$ keV 0 $\nu_\mu$ muon neutrino	$\sim 0.01$ eV 0 $\nu_\tau$ tau neutrino	91.2 GeV 0 Z <sup>0</sup> weak force
Leptons	0.511 MeV -1 e Left electron Right	105.7 MeV -1 $\mu$ Left muon Right	1.777 GeV -1 $\tau$ Left tau Right	80.4 GeV $\pm 1$ W <sup>±</sup> weak force

$>114$  GeV  
0  
0  
H  
Higgs boson  
spin 0

$>114$  GeV  
0  
0  
H  
Higgs boson  
spin 0

Key question - mass of  $\nu_R$

Consider Standard Model with minimal extension to include right handed neutrinos  $N_j$ ,  $j = 1, 2, 3$

After that we can explain:

- Dark matter, if  $M_1 \gtrsim \text{keV}$

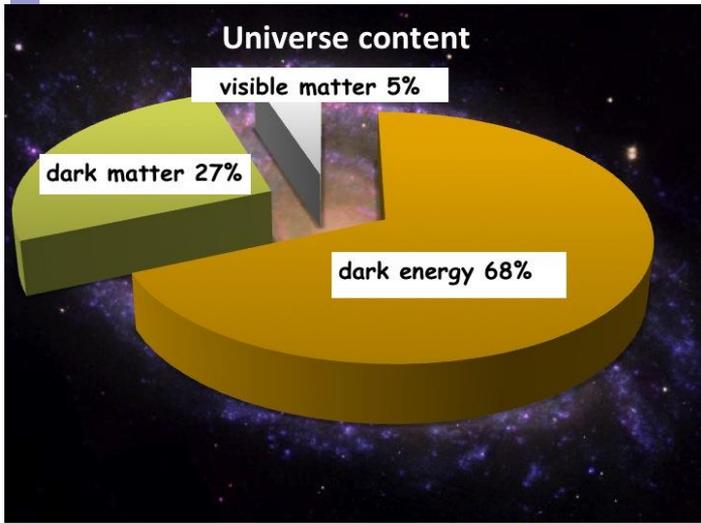
*Dodelson & Widrow (94)*

- Dark matter and Baryon asymmetry, if  $M_1 \gtrsim \text{keV}$  and  $M_2, M_3 \sim \text{GeV}$

*Akhmedov, Rubakov & Smirnov (98)*

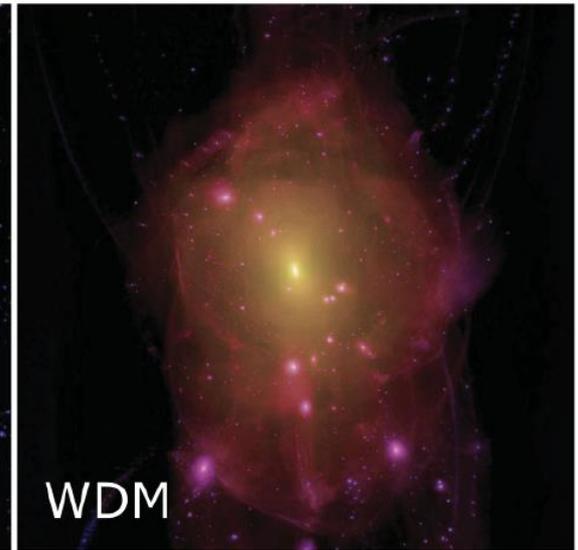
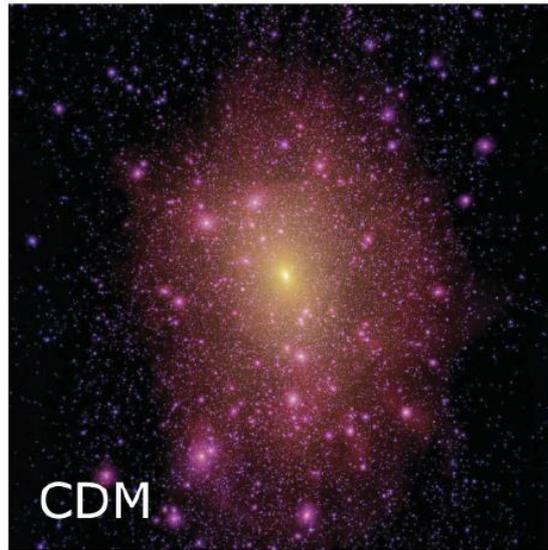
*Asaka & Shaposhnikov (05)*

- Laboratory
  - $M_1 \lesssim 100 \text{ eV}$ : oscillation experiments - **BEST**
  - $10 \text{ eV} \lesssim M_1 \lesssim \text{MeV}$ : radioactive decay - **Troitsk nu-mass**
  - $\text{MeV} \lesssim M_1 \lesssim \text{GeV}$ : leptonic decays of mesons
  - $\text{MeV} \lesssim M_1 \lesssim 100 \text{ GeV}$ : decays of sterile neutrino in "beam-dump" experiments.
- Astrophysical and cosmological



# Мотивирование из Космологии

Холодная, тёплая или горячая?



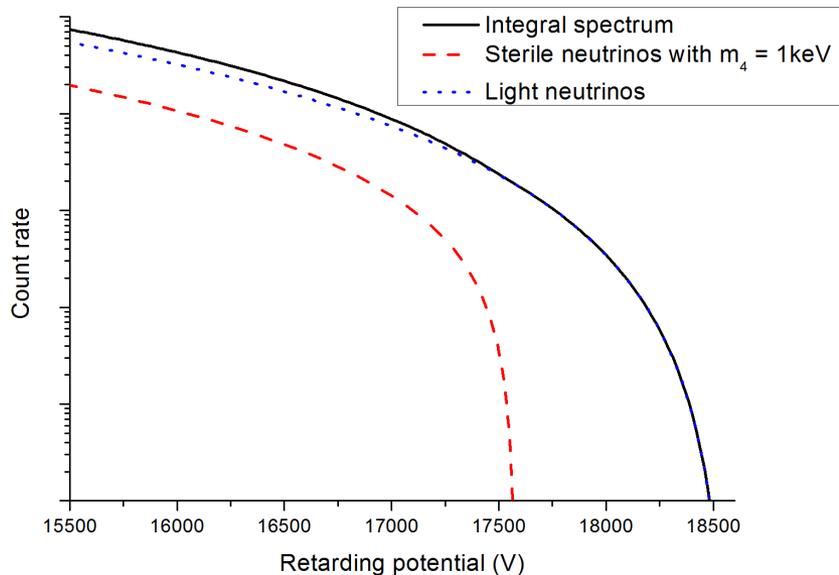
Heavy particles

1-10 keV particles

Simulations **favor Warm Dark Matter**

# Как искать?

## Сдвинуться далеко влево в $\beta$ -спектре



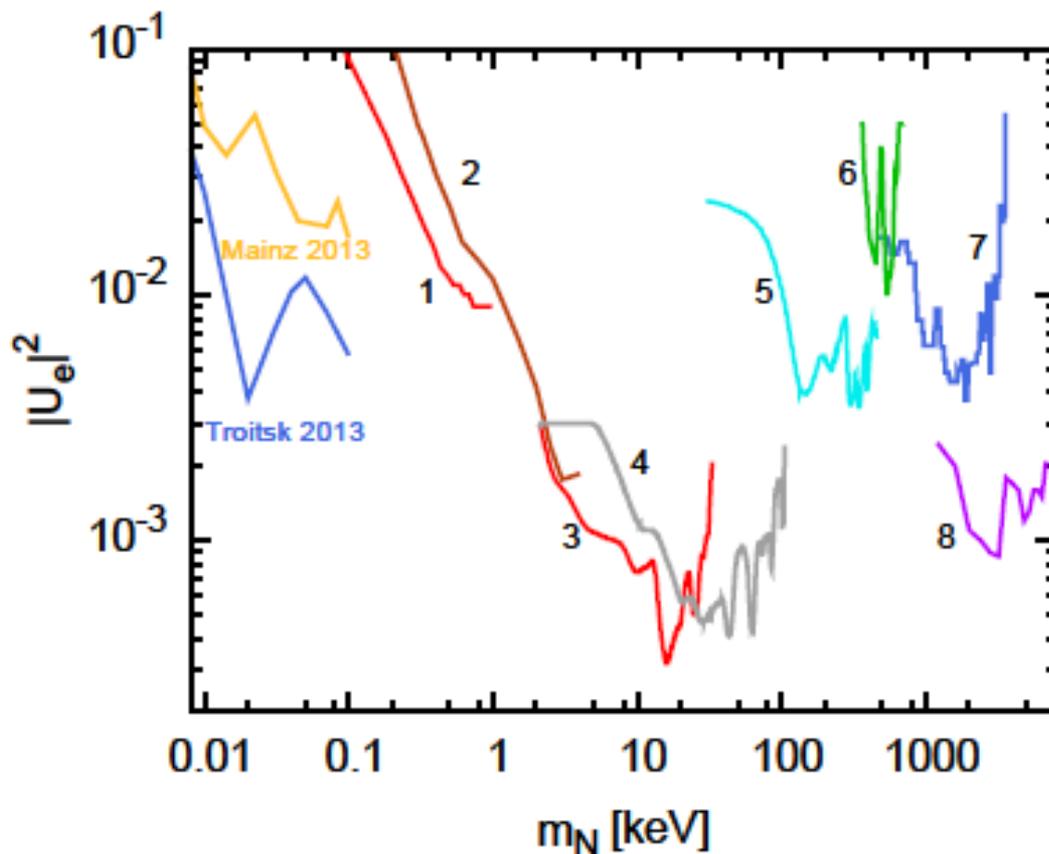
Промерить  $\beta$ -спектр  
в широком  
диапазоне, по  
крайней мере в  
интервале 13-19 keV

Искать искажения в  
спектре

Спектр можно разделить на две компоненты с  $m=0$   
и с  $m_4$  в несколько кэВ

$$S(E) = U_{ex}^2 S(E, m_x) + (1 - U_{ex}^2) S(E, 0)$$

В первую очередь мы обработали по новому  
старые данные:

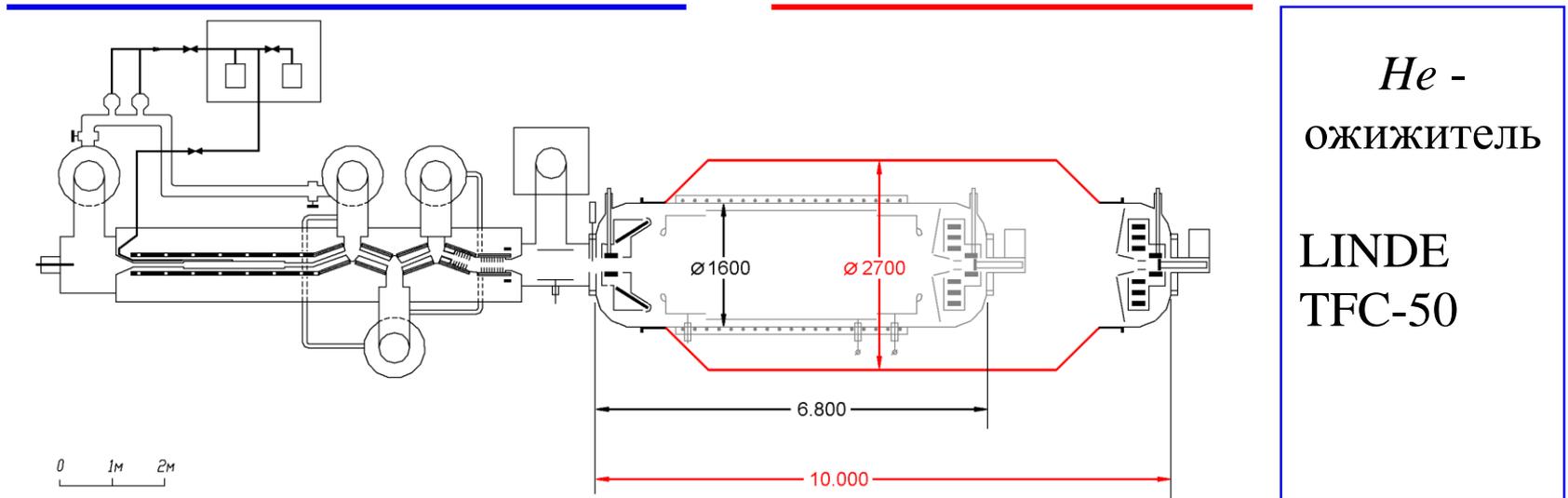


Картинка из **White paper for keV sterile neutrino**

# Как выглядит установка сейчас?

Старый безоконный газовый  
источник

Новый спектрометр



+ модернизация отдельных  
элементов

Функция пропускания 1.5 эВ,  
Разрешение +/- 0.3 эВ

See also *Lett. of Intent*, [arxiv:1504.00544](https://arxiv.org/abs/1504.00544)

JINST 10 (2015) no.10, T10005

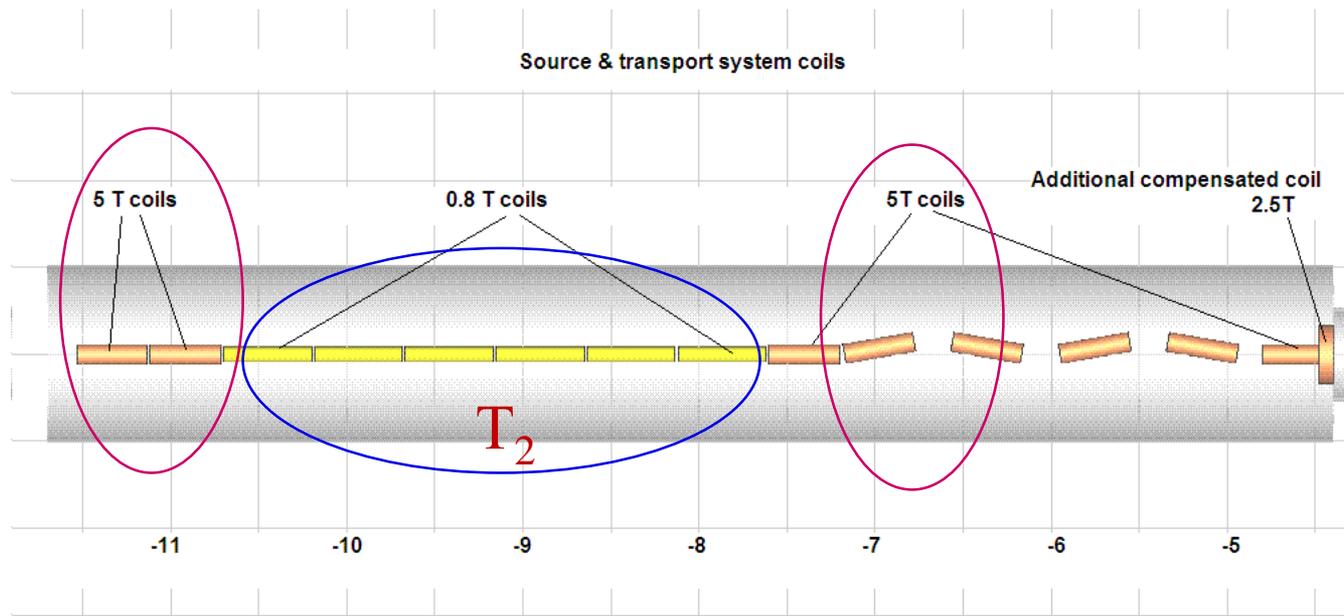
# Дьявол в деталях – систематические эффекты

Основные:

- Эффект магнитной пробки для электронов в источнике
- Нестабильность в источнике
- Обратное рассеяние электронов на детекторе и последующее отражение на магнитном и электростатическом зеркалах
- Оценка подпороговых событий при регистрации

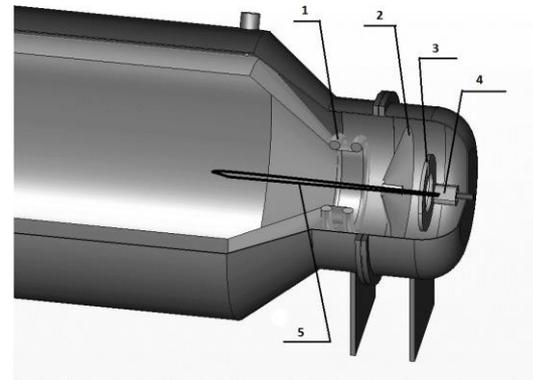
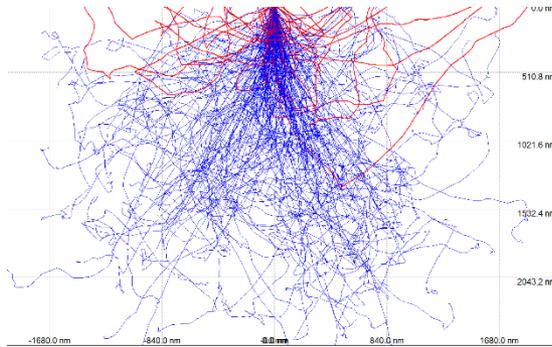
Как решать? Калибровки, модернизация элементов установки, измерения с электронной пушкой, моделирование

# Field configuration in tritium source forms a bottle – magnetic Trap



Trapped electrons can run back and forth up to  
thousand times passing few kilometers

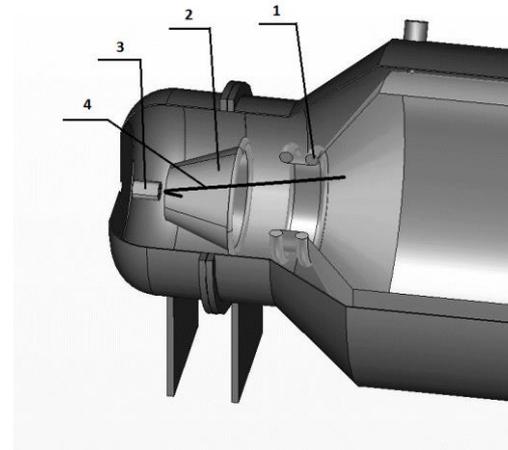
# Problem with electron scattering from detector in MAC-E filter like our spectrometer



Electrostatic mirror

Up to 20% electrons scatter  
back from Si-detector.  
*CASINO simulation*

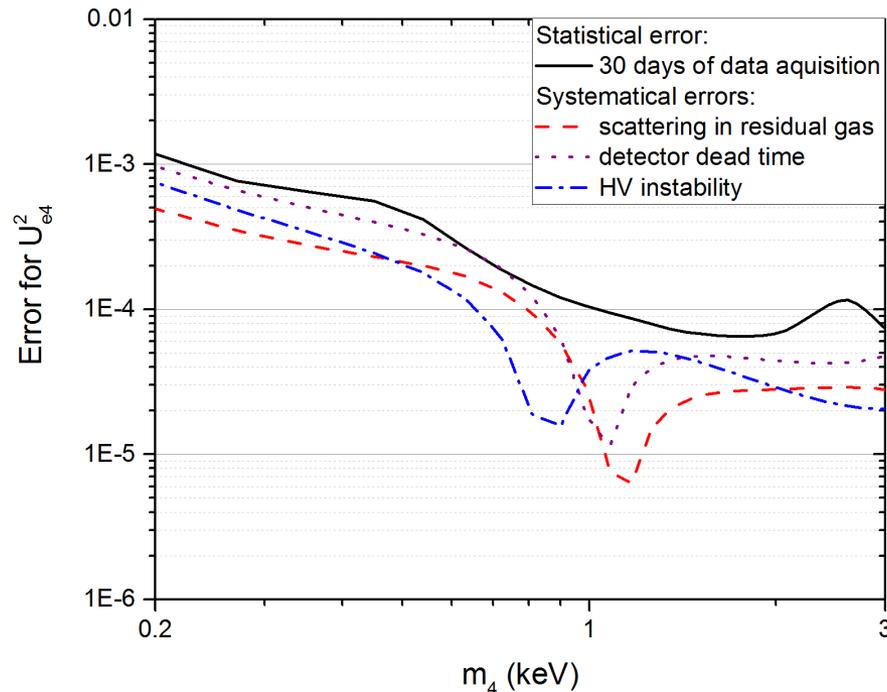
[NIM A832 \(2016\) 15](#)  
[arXiv:1511.06129](#)



Magnetic mirror

*It changes transmission function and induces non-trivial time correlations*

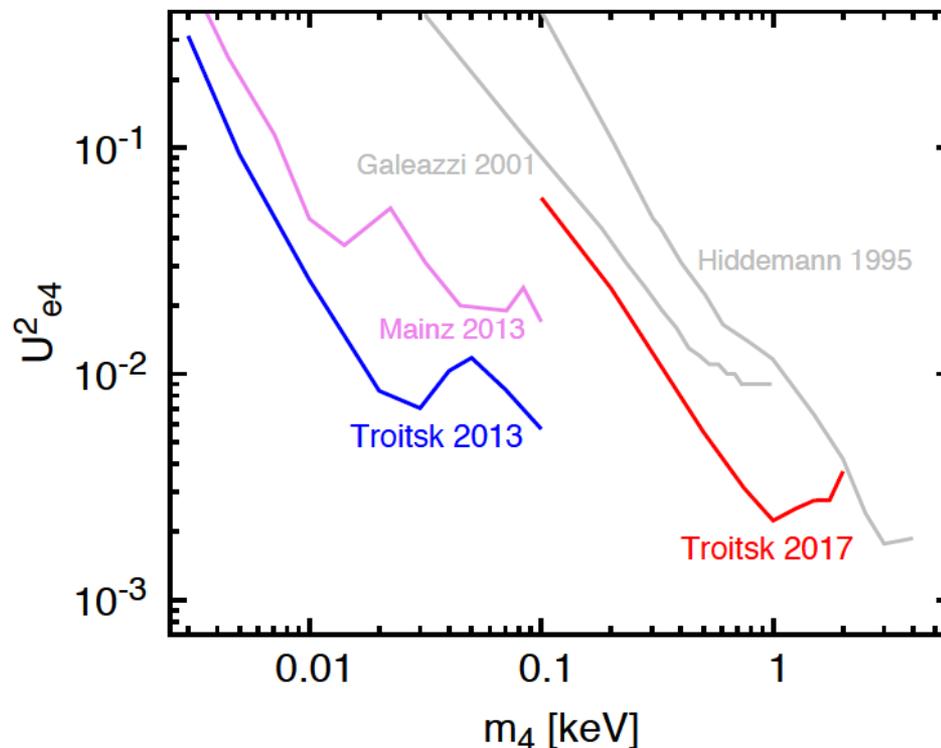
# Systematic limits on matrix element with the current setup



- Statistics for about 30 days of measurement including trapping error
- Energy loss in the source (current precision)
- ~~Detector dead time and pile-up uncertainty (minor upgrade needed)~~
- HV instability (current precision)

*New data acquisition and time analysis*

Результаты по части данных были опубликованы в 2017 году.  
Данные обрабатываются.



JETP Lett. 105 (2017) no.12, 753-757.

arXiv:1703.10779

Вошло в лучшие Достижения РАН

*PDG уже запросили  
эти данные*



Max-Planck-Institut für Physik  
(Werner-Heisenberg-Institut)

Для **развития установки** и для решения некоторых существующих проблем было заключено **Соглашение о сотрудничестве между группой TRISTAN (Мюнхен) в составе KATRIN и «Троицк ню-масс»**

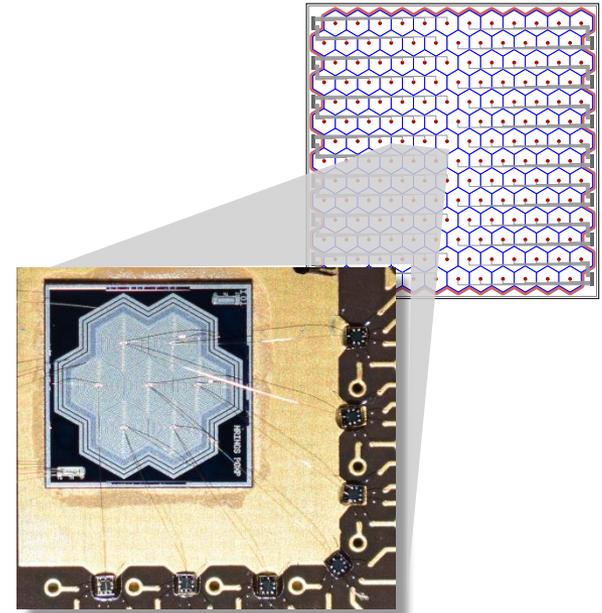
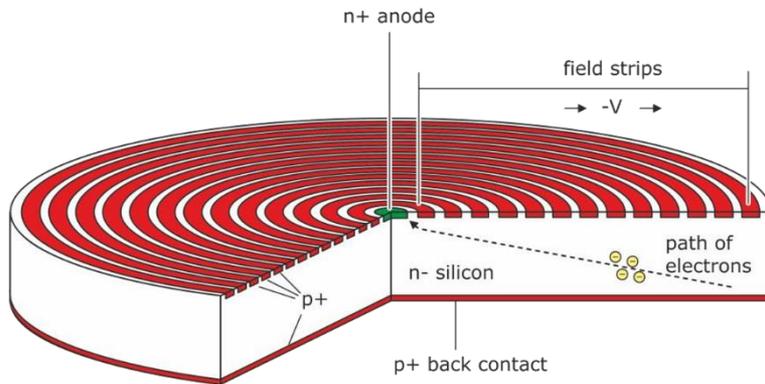


Пункты сотрудничества:

- Троицк предоставляет имеющееся оборудование и источники электронов (пушка, тритий, электроны со стенок) для тестовых испытаний нового типа Si детектора электронов
- Мюнхенская группа берет на себя все затраты на разработку и изготовление 166-канального Si детектора (Мюнхен), а также регистрирующей электроники (Милан), стоимость более 100 кEuro
- Мы проводим совместные физические измерения с новым детектором в Троицке
- По завершению основной программы KATRIN переключаемся на поиск стерильных нейтрино в Германии с детектором 3000 каналов

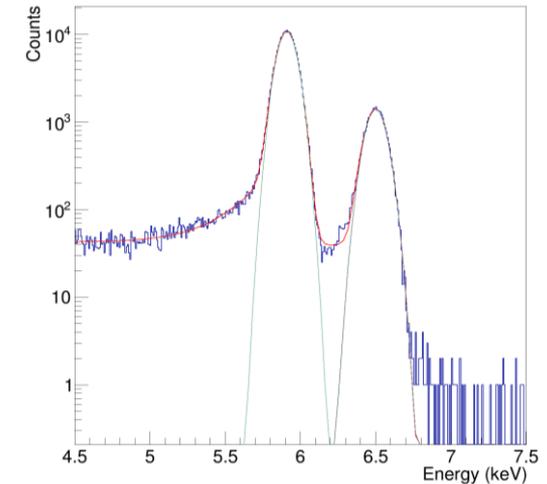
# TRISTAN Detector R&D

- Silicon drift detector design
- **Novelty:** extremely thin entrance window ( $< 100$  nm)
- Final system:  $\sim 4000$  pixels (21 x **166** pixel modules)
- Prototype: 7 pixel

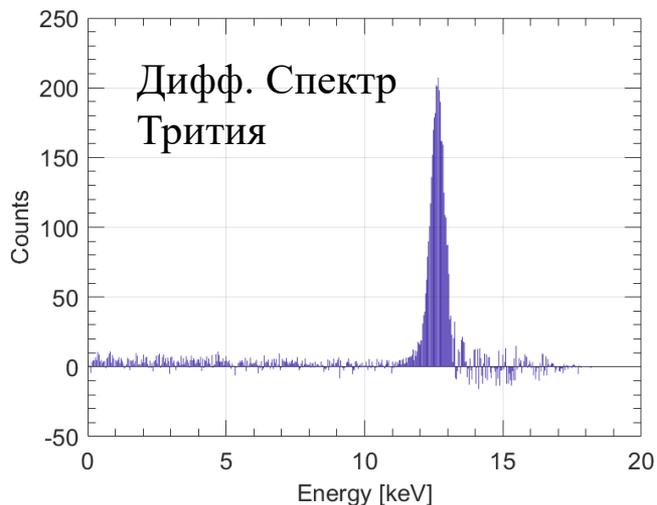
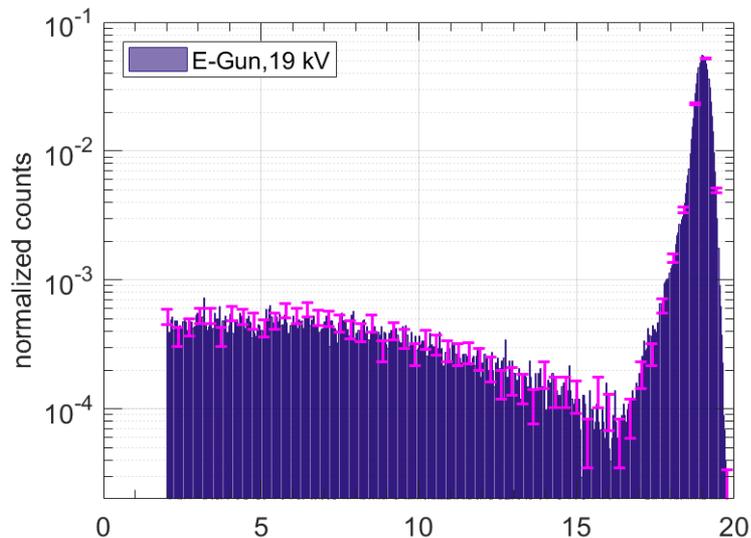


Чрезвычайно малая ёмкость, уровень десятков фемто-фарад  
Чрезвычайно низкий уровень шумов – FWHM порядка 150 эВ  
Численный трапецеидальный метом подавления шумов  
Контролируемое «живое» время набора

Fe-55 line 139 eV  
(FWHM) @ 5.9 keV



# Первые измерения в Троицке 7-пиксельного детектора в 2017 году



В 2017 году проведено 2 сеанса.

В настоящий момент начат новый полноценный сеанс, 9-27 апреля, где для измерения спектра трития будет использован 7-пиксельный детектор из 2 мм гексагональных областей

# Финансирование и кадры - 1

- Гранты РФФИ по программам *офи\_м* 2012-2013, 2014-2016 и по инициативным проектам (*\_а*) с 2011 по 2018
- По линии программ Президиума РАН ежегодно около 1.1-1.2 млн (чистыми) в год (половина на зарплаты – **все равно крохи**)
- Дважды РФФИ гранты не получили
- Подана заявка на 2019 год по линии DFG (Германия) – РФФИ
- **Требуется финансирование на техническое обслуживание по срокам для крио-системы: масла, фильтры, абсорберы и проч. Оценочно надо 20к евро**

**Состав группы:** 6 научных работников, 3 инженера, 1 техник, 1 аспирант

- Катастрофически мало криогенных специалистов – 5 человек (средний возраст 68) едва перекрывают 24-часовые дежурства
- Для развития не хватает по крайней мере двух аспирантов – или надо «заманивать» жильем, или зарплатой не менее 40 тыс. руб., чтобы была возможность снимать жильё в Троицке

## Финансирование и кадры - 2

- Планируется подписание соглашения с МФТИ о входе в коллаборацию TRISTAN-Troitsk, что может частично решить проблемы с кадрами.

НО:

- Все равно нужно жилье и/или деньги для того, чтобы люди работали в Троицке.
- МФТИ не готовит криогенных специалистов.

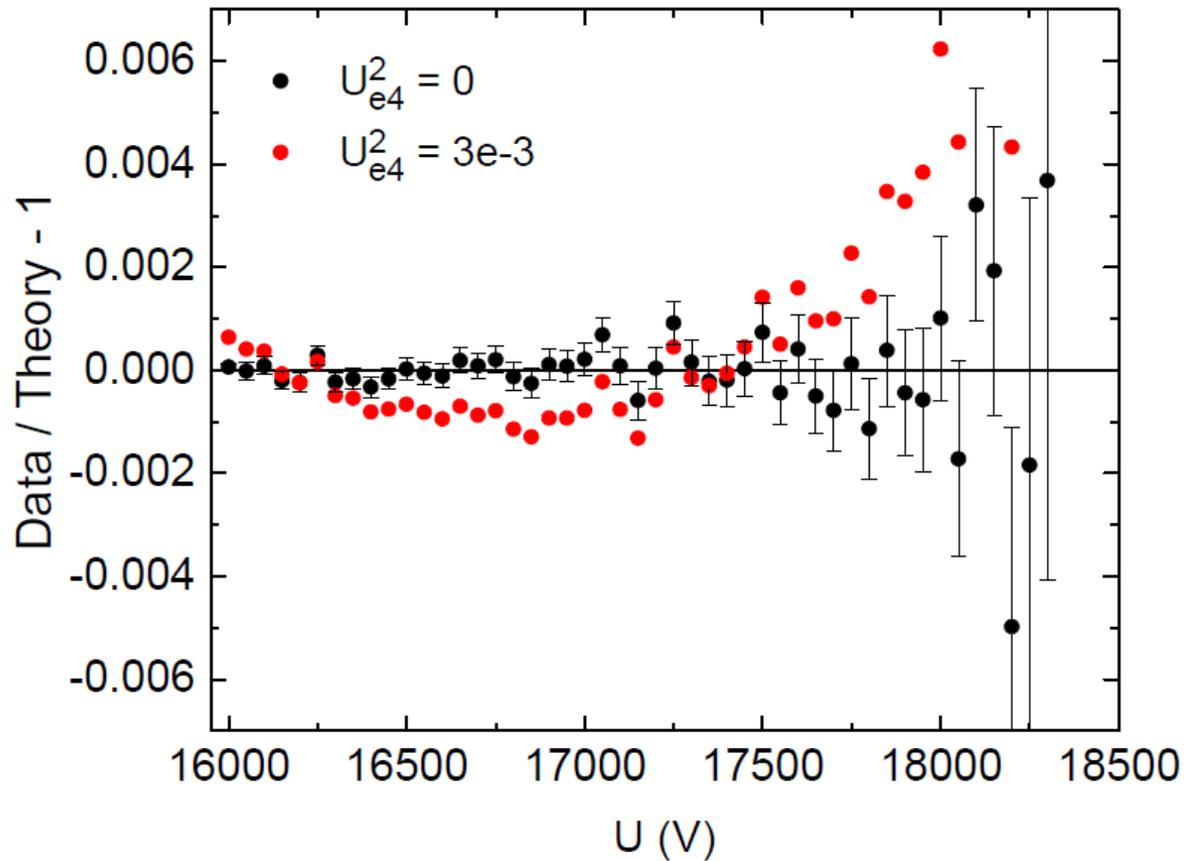
# TRISTAN in Troitsk





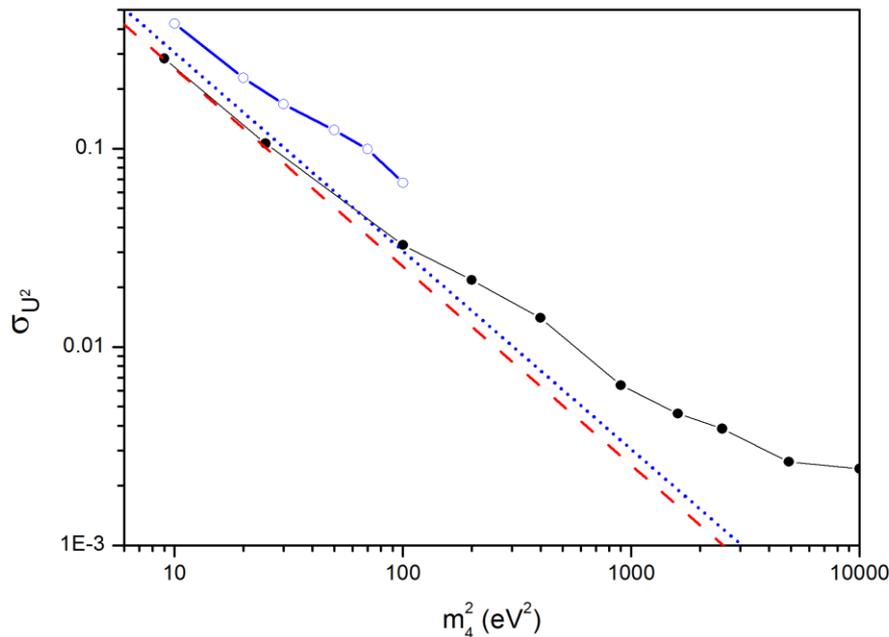
backup

# Измерения начаты. Пример как выглядит разностный спектр в зависимости от $U_{sp}$



Recent precision measurements at Troitsk in a wider energy interval

# Comparison of errors for heavy neutrinos between Troitsk and Mainz experiments



Comparison of errors for heavy neutrino mass obtained by the analysis, black symbols connected by solid lines, and approximate estimation  $\sigma(U_{e4}^2) = 2.53/m_\nu^2$  based on the result for the electron antineutrino mass [V. N. Aseev et al., Phys. Rev. D84, 112003 \(2011\)](#), red dashed line.

The blue dotted line corresponds to the estimation  $\sigma(U_{e4}^2) = 3.04/m_\nu^2$  for the total error from [C. Kraus, et al., Eur. Phys. J. C 40, 447 \(2005\)](#)

*Solid black* - Troitsk 2013: A. Belesev et al., J. Phys. G41 (2014)015001  
*Solid blue* - Mainz 2013: C. Kraus et al., Eur. Phys. J C73 (2013) 2323

КАТРИН. Все установлено, протестировано. Первый тритий в середине мая 2018 на 10 дней. В последующем, 60-ти дневные сеансы измерений

