

# Детритизация электростатического спектрометра установки «Троицк Нью-Масс»

Иванов Борис

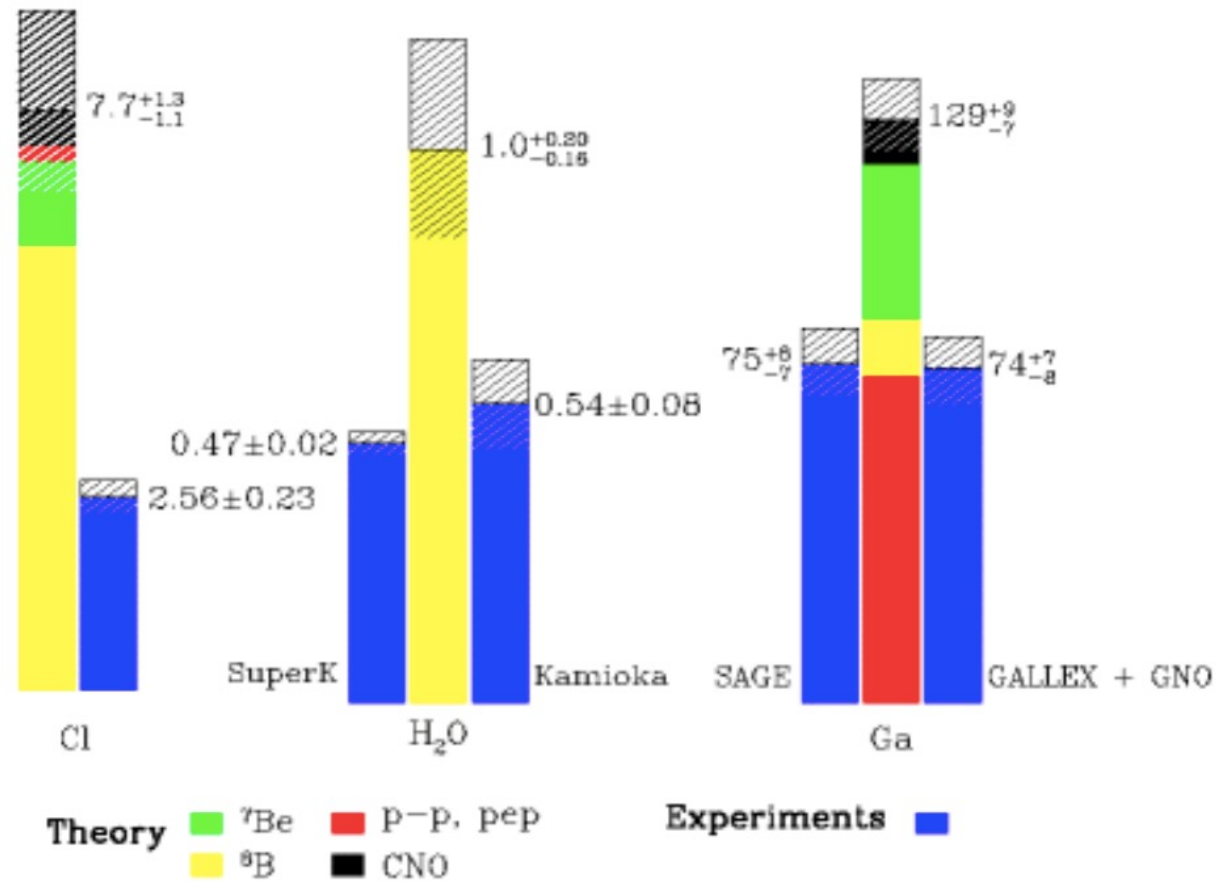
*м.н.с. НИЦ «Курчатовский институт»*

*karjicohh@gmail.com*

Букин А.Н., Пантуев В.С., Семенов А.А., Беляков М.И., Белесев

А.И., Гераскин Е.В., Ионов Н.А., Парфенов В.И.

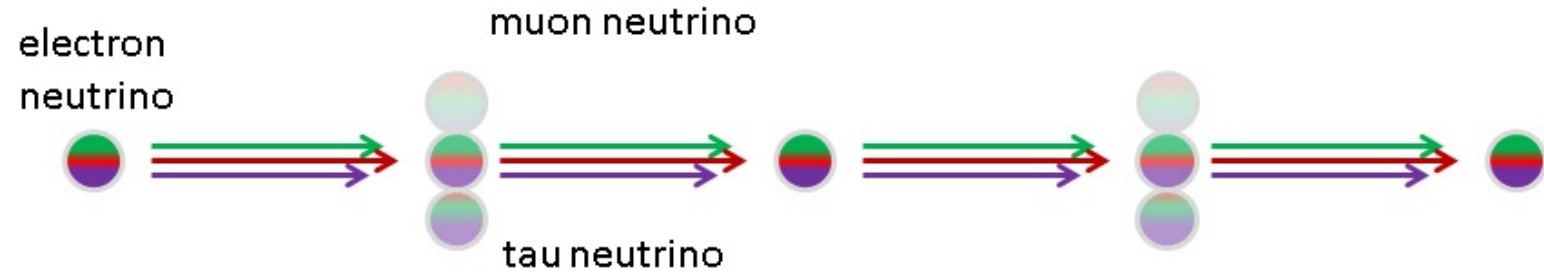
Total Rates: Standard Model vs. Experiment  
Bahcall-Pinsonneault 2000



Масса  
нейтрино

Проблема солнечных нейтрино:  
в конце 60х годов был обнаружен дефицит регистрируемых солнечных нейтрино

# Нейтринные осцилляции



M. Strassler 2011

Масса  
нейтрино

**Upper Bound of 0.28eV on the Neutrino Masses from the Largest Photometric Redshift Survey**

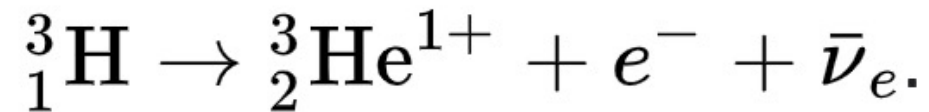
Shaun A. Thomas,<sup>1</sup> Filipe B. Abdalla,<sup>1</sup> and Ofer Lahav<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics and Astronomy, University College London, Gower Street, London, WC1E 6BT, UK

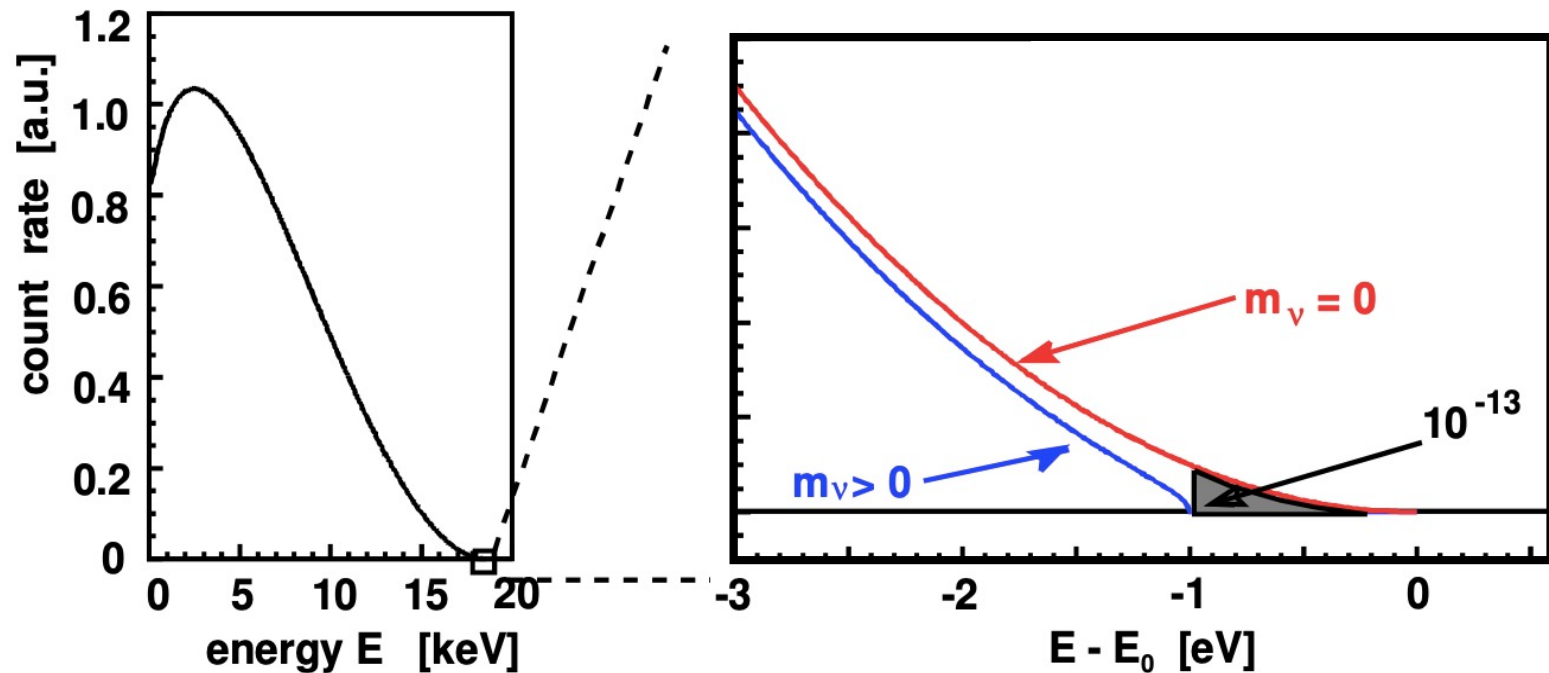
Однако! Возможно определение массы электронного  
нейтрино прямым измерением

...имея в виду ... непрерывный  $\beta$ -спектр, я предпринял отчаянную попытку спасти «обменную статистику» и закон сохранения энергии. Именно, имеется возможность того, что в ядрах существуют электрически нейтральные частицы, которые я буду называть «нейтронами» и которые обладают спином  $\frac{1}{2}$ ... Масса «нейтрона» по порядку величины должна быть сравнимой с массой электрона и во всяком случае не более 0,01 массы протона. Непрерывный  $\beta$ -спектр тогда стал бы понятным, если предположить, что при  $\beta$ -распаде вместе с электроном испускается ещё и «нейтрон», таким образом, что сумма энергий «нейтрона» и электрона остаётся постоянной.

Вольфганг Паули, 1930 г.



«Троицк Нью-Масс»



# The $\beta$ -Spectrum of $H^3$

G. C. HANNA AND B. PONTECORVO

*Chalk River Laboratory, National Research Council of Canada,  
Chalk River, Ontario, Canada*

January 28, 1949

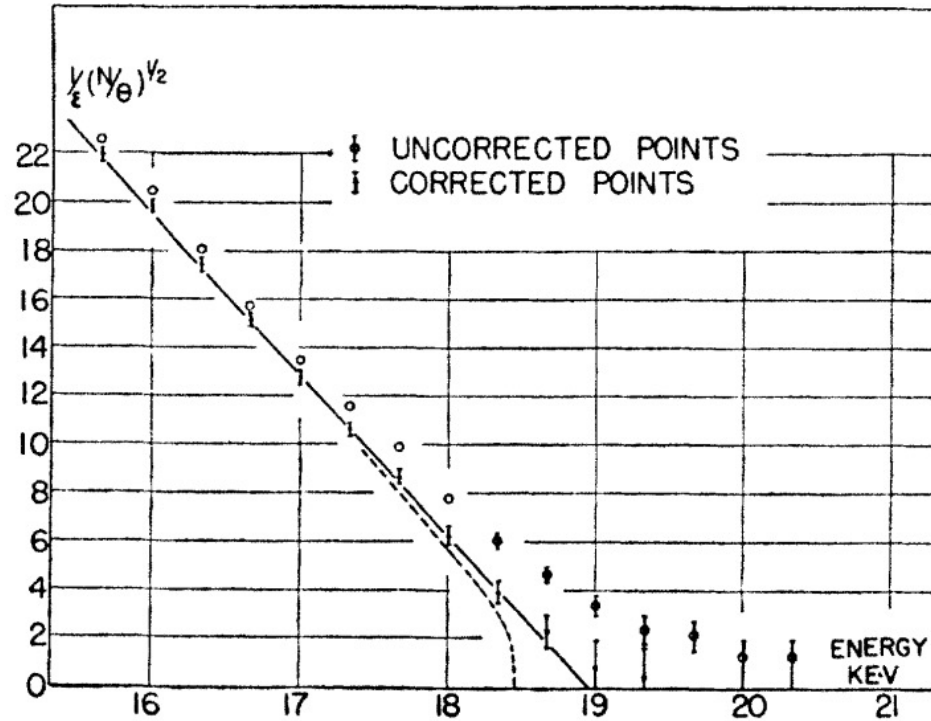


FIG. 2. "Kurie" plot of the end of the  $H^3$  spectrum. The theoretical curve (shown dotted) corresponding to a finite neutrino mass of 500 ev (or 1 kev —see text) has been included for comparison.

«Троицк Нью-Масс»

«Троицк Нью-  
Масс»

## **A METHOD FOR MEASURING THE ELECTRON ANTINEUTRINO REST MASS**

**V.M. LOBASHEV**

*Institute for Nuclear Research of the Academy of Sciences of the USSR, Profsoyuznaya 7a, Moscow, USSR*

**P.E. SPIVAK**

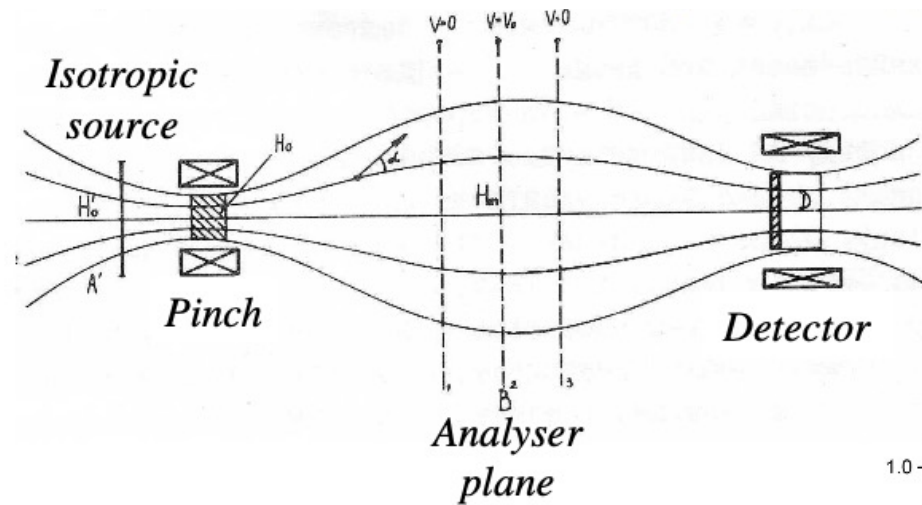
*I.V. Kurchatov Institute of Atomic Energy, Ploshchad' Kurchatova 46, Moscow 123182, USSR*

Received 13 June 1984 and in revised form 6 May 1985

A method is proposed for measuring the tritium beta spectrum in order to determine the electron antineutrino rest mass. This method includes an electrostatic integral spectrometer with adiabatic collimation. The use of a source in the form of atomic polarized tritium in a strong magnetic field or of a gaseous molecular source is considered.

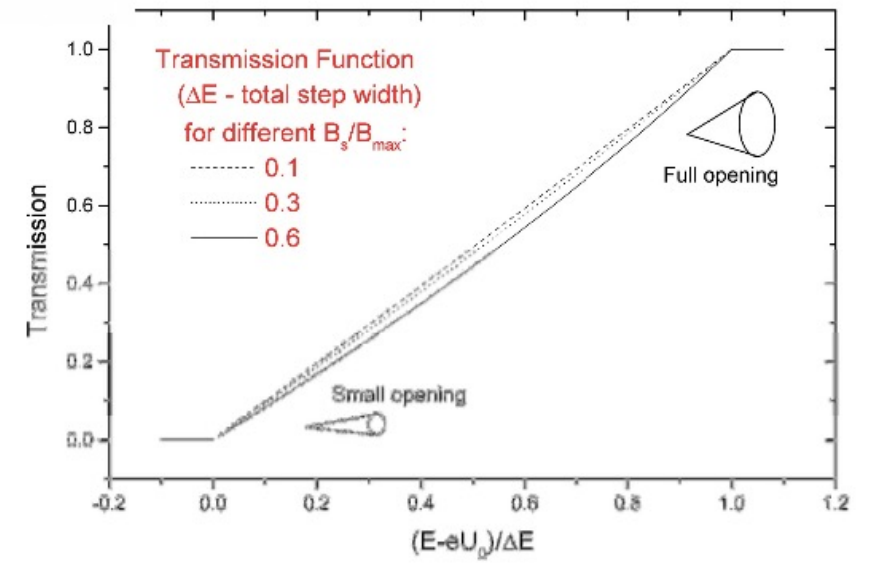
В 1984 году был предложен метод для измерения спектра электронов с помощью электростатического спектрометра с магнитной адиабатической коллимацией

«Троицк Нью-Масс»



$$\Delta E = |eU_0| \frac{B_{analyser}}{B_{pinch}}$$

Разрешение не зависит от размера источника !





ELSEVIER

Nuclear Physics A719 (2003) 153c–160c

NUCLEAR  
PHYSICS A

[www.elsevier.com/locate/npe](http://www.elsevier.com/locate/npe)

## «Троицк Нью-Масс»

The search for the neutrino mass by direct method in the tritium beta-decay and perspectives of study it in the project KATRIN

V.M. Lobashev<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences 60th October Anniv. prospect 7a, 117312 Moscow, Russia

The updated results of the search for neutrino mass in the tritium beta-decay on the Troitsk nu-mass and Neutrino Mainz set-ups are presented. Both groups give an upper limit for the neutrino mass at 95%  $m_\nu < 2.05 \text{ eV}/c^2$  in Troitsk and  $m_\nu < 2.2 \text{ eV}/c^2$  in Mainz. Further improvement is limited both by statistic and systematic errors. In order to enter in the cosmologically important sub-electronvolt area the collaboration of groups from Karlsruhe Forschungszentrum, Mainz, Troitsk et al. proposed a new advanced project KATRIN. The status of the project is presented.



«Троицк Нью-  
Масс»





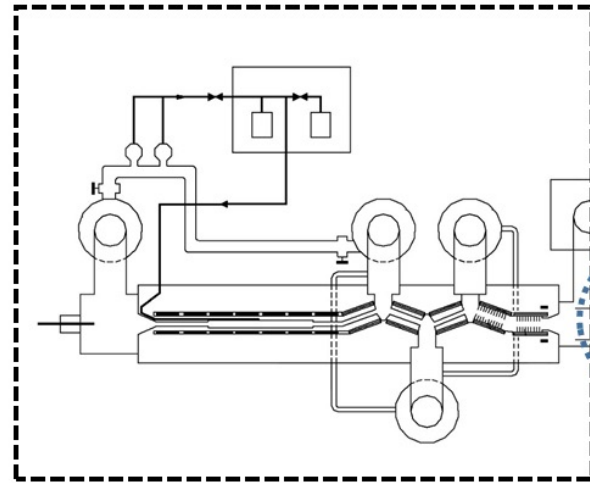
# KATRIN



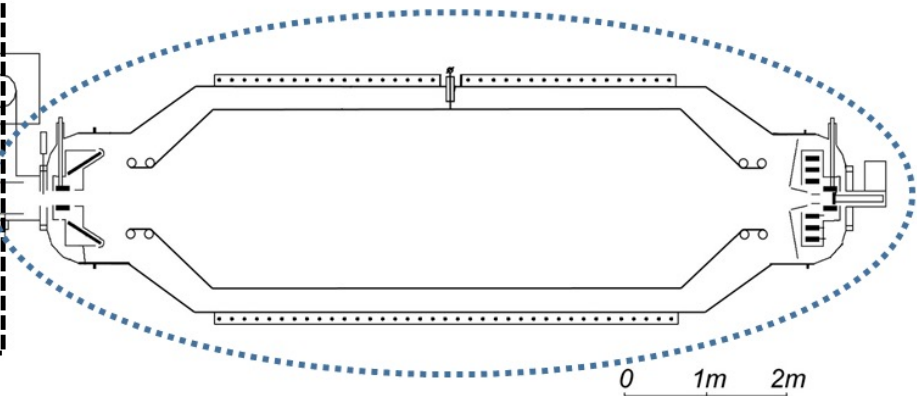
Верхняя граница массы электронного нейтрино равной  $1,1 \text{ эВ}/c^2$  (2019 г.)  
Для достижения целевой чувствительности  $0,2 \text{ эВ}/c^2$  требуется 1000 дней измерений.

## Состав установки

Тритиевый безоконный источник



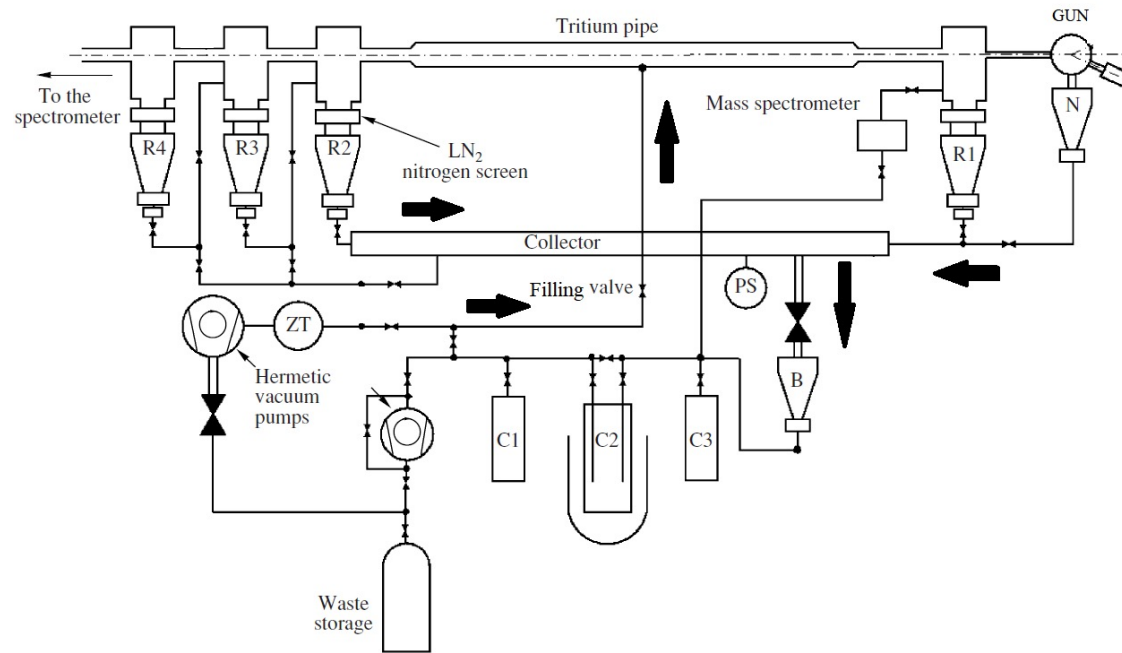
Спектрометр



Основные узлы установки:

- безоконный тритиевый источник
- электростатический спектрометр с магнитной коллимацией
- криогенное оборудование

## «Троицк Нью-Масс»

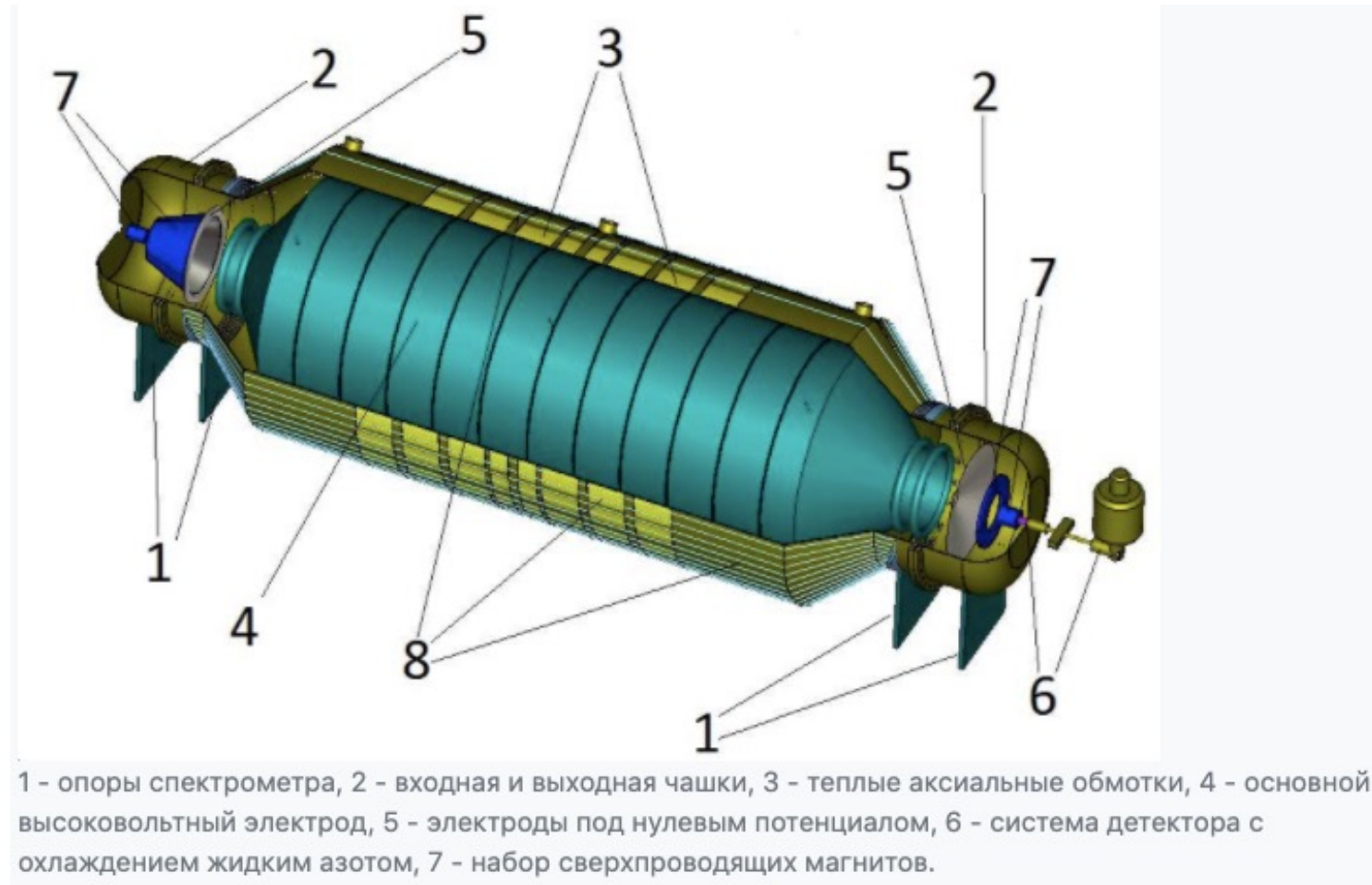


Безоконный тритиевый источник предназначен для создания газовой тритиевой мишени и транспортировки электронов распада в спектрометр. Тритий подают в центральную часть источника и откачивают с торцов, дополнительно установлены поглощающие газы криопанели.

В совокупности, коэффициент подавления трития и других газов до входа в спектрометр не хуже  $10^{10}$ . При этом не создается препятствий для попадания электронов в спектрометр.



## «Троицк Нью-Масс»



Общая длина спектрометра около **10 метров** и внутренний свободный объемом приблизительно **40 м<sup>3</sup>**



## Цель работы

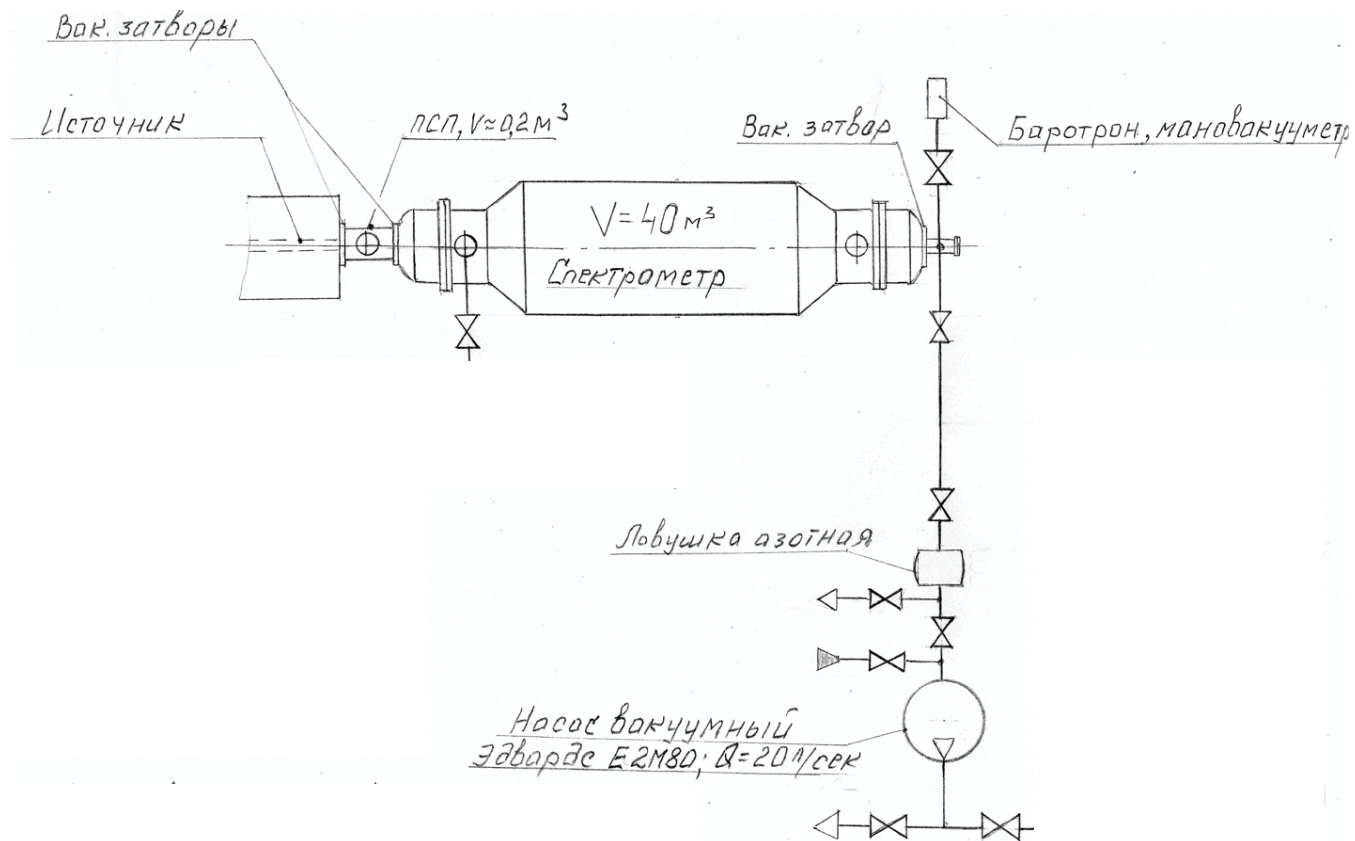
В результате сбоя в работе вакуумного оборудования спектрометр установки был загрязнен тритием. Фоновый счет на основном детекторе электронов, расположенном в конечной части спектрометра, **возрос в 100 раз** относительно предыдущих значений и составил более **18 000 имп/с**

**Целью** настоящей работы была **детритизация спектрометра** и других узлов установки «Троицк Нью-масс»

### **Ограничения:**

давление в спектрометре – не более 2 мБар;  
температура прогрева внешнего корпуса не более 110 °С;  
невозможно использовать аммиак и другие реагенты.

## Процедура детритизации



Для детритизации применяли методы **вакуумной экстракции, промывки водородом, промывки водяным паром.**

Контроль хода детритизации осуществляли измерением **фона основного детектора спектрометра** и измерением **активности собранной тритированной воды**

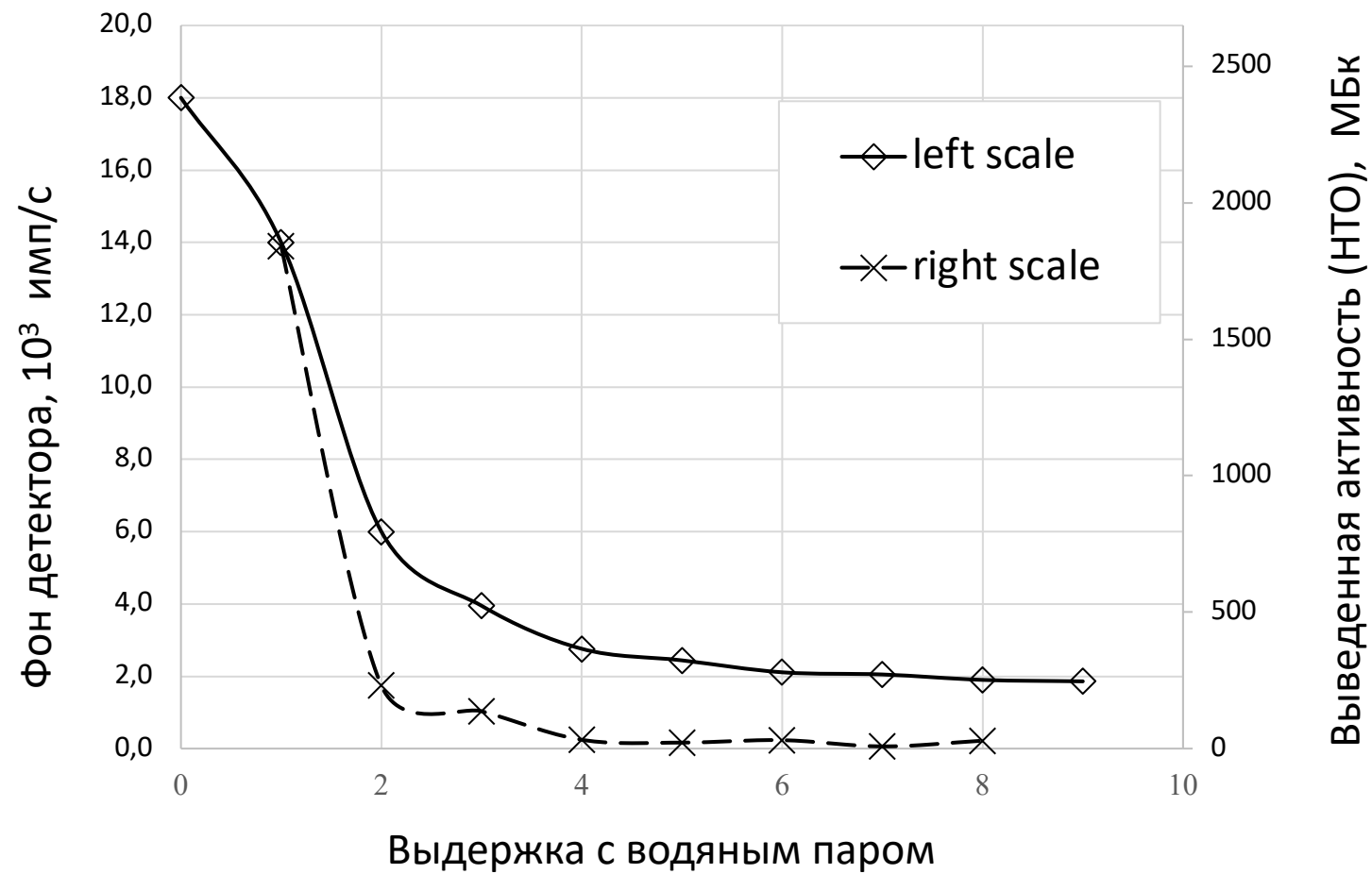
Результаты  
детритизации

№	Время выдержки, дни	Время прогрева, часы	Фон детектора, кГц	Выведенная активность, Мбк	Реагенты
0	30	-	18	-	H <sub>2</sub> , 10 <sup>-2</sup> мбар, Начальный фон.
1	30	80	14	1840	20 мл H <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub>
2	8	28	6.0	231	60 мл H <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub>
3	8	72	3.95	137	20 мл H <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub>
4	4	24	2.76	32	20 мл H <sub>2</sub> O
5	5	24	2.44	22	20 мл (97%H <sub>2</sub> O + 3%H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )
6	12	87	2.11	31	20 мл H <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub>
7	3	12	2.05	8	20 мл (90%H <sub>2</sub> O + 3%H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )
8	6	48	1.9	29	20 мл H <sub>2</sub> O + D <sub>2</sub>
9	-	-	1.86	-	Остаточный фон

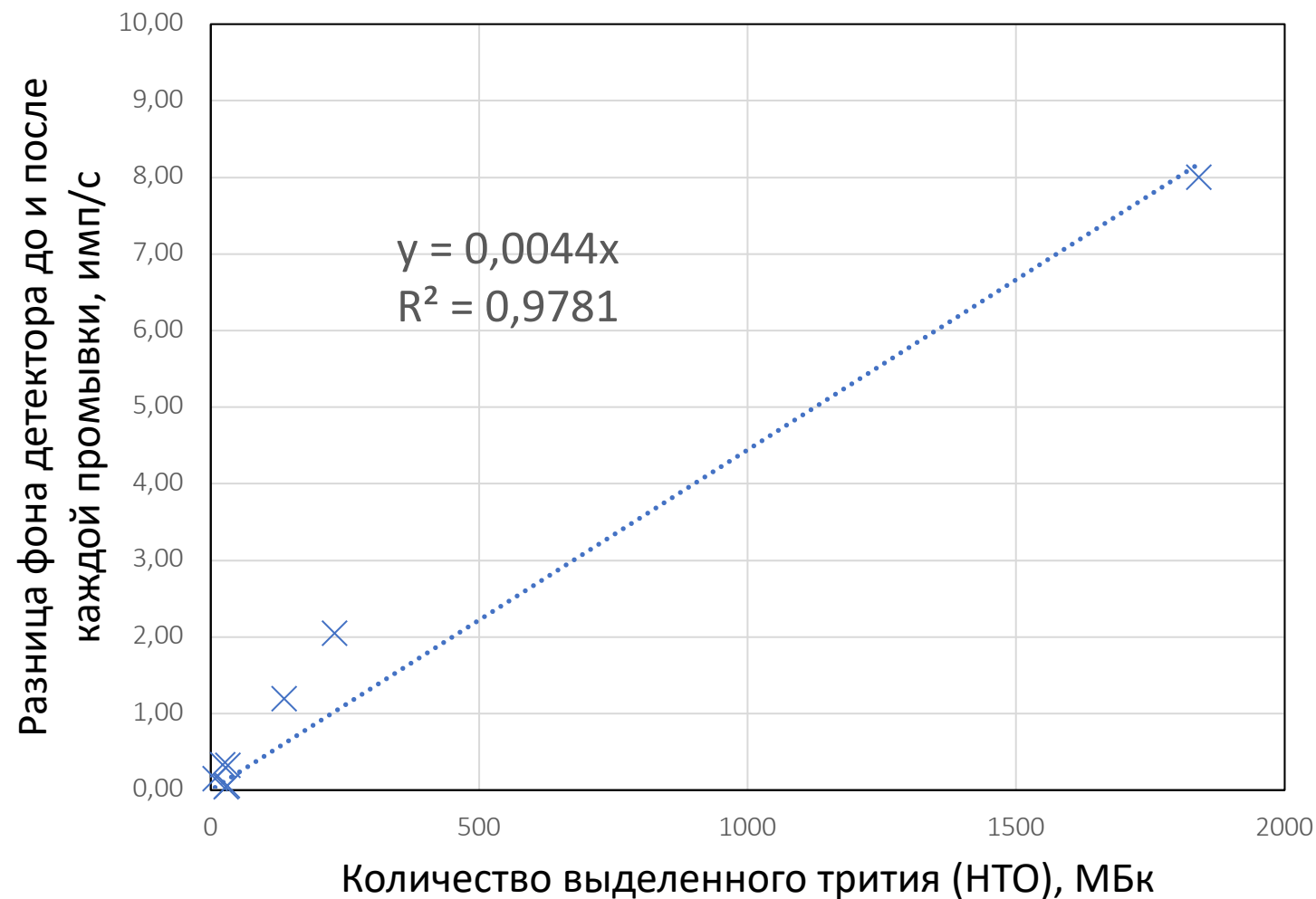
При первой промывке водяным паром значительно снизился фон кремниевого детектора спектрометра. В дальнейшем эффективность промывок снизилась. Уровень фона фактически стабилизировался, а количество выведенной активности значительно снизилось, начиная с пробы 5.



# Результаты детритизации




## Начальное загрязнение



Начальное количество трития в спектрометре было оценено в  **$(5,1_8 \pm 0,9_2)$  ГБк**

Остаточное количество трития —  **$(0,4_2 \pm 0,07_5)$  ГБк,**

что соответствует поверхностной активности —  **$(250 \pm 47)$  Бк/см<sup>2</sup>**



Эффективность  
методов

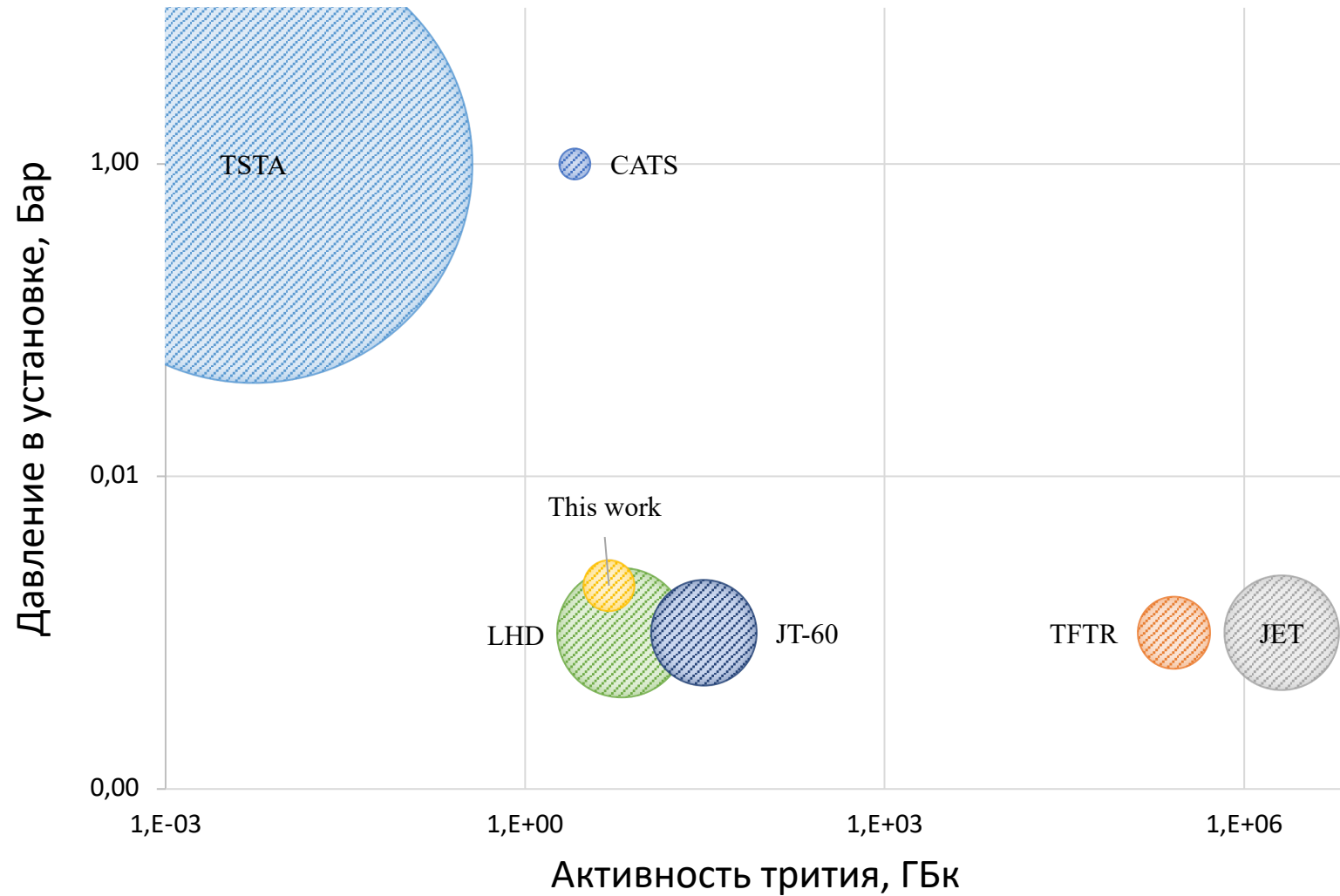
**Вакуумная экстракция.** Не принесла значимого результата. Откачка спектрометра и поддержание вакуума на уровне  $1 \times 10^{-5}$  мБар **не привело к снижению фона детектора.**

**Промывки водородом.** Степень разбавления начальной атмосферы внутри спектрометра составила **не менее 6000 раз.** Фон детектора уменьшился только на **~ 20%** . Метод **низко эффективен**

**Промывки водным паром.** В результате первой промывки выведено 79% трития, собранного в виде воды, и 45% от общего количества трития согласно приведенной выше оценке. Благодаря промывкам водяным паром было удалено **~ 70% трития** (по показаниям кремниевого детектора), что говорит о **высокой эффективности метода.**

Механизм: изотопный обмен или разбавление?

Существующий  
ОПЫТ



Установка «Троицк Нью-масс» занимает промежуточное положение между двумя группами экспериментов по детритизации оборудования

# CATS

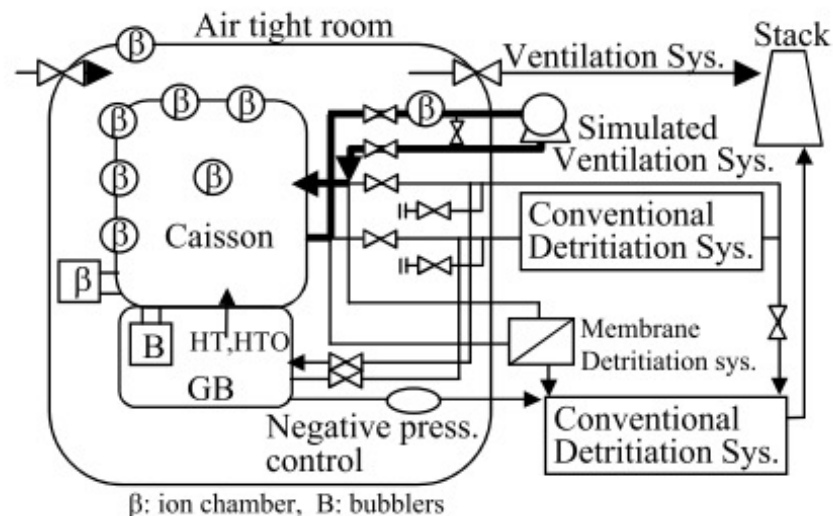


Figure 1 Conceptual layout of CATS in TPL/JAEA

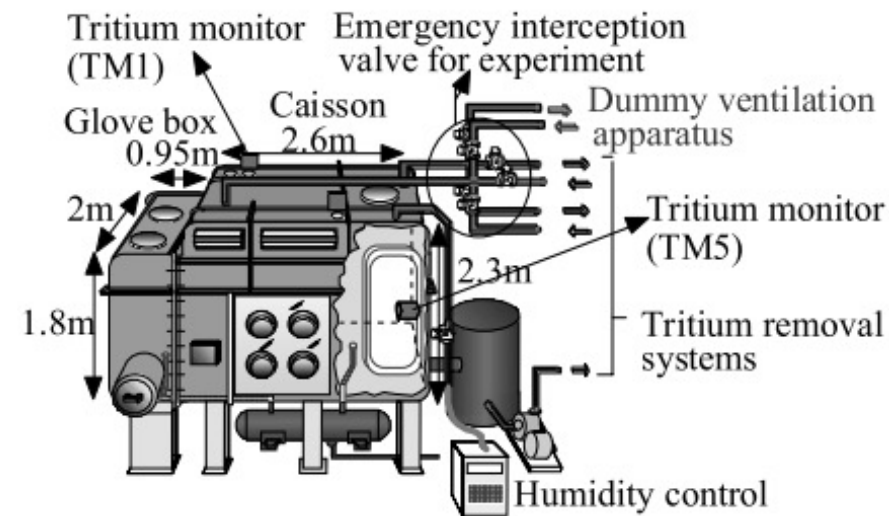


Figure 2 Schematic drawing of CATS

- В бокс напускали 2,6 ГБк трития в молекулярной форме или с примесью 3% тритиевой воды. В качестве газа вытеснителя использовали сухой азот
- Тритий выдерживали в боксе от нескольких часов до нескольких дней
- Затем тритий удаляли путем вентиляции бокса при потоке воздуха 50 м<sup>3</sup>/час с контролируемой влажностью
- Из вентиляции воздух попадал в систему очистки на основе каталитического реактора окисления трития и адсорбера (молекулярные сита) для улавливания тритированной воды



Молекулярный тритий

$$\frac{dW_i}{dt} = -W_i \frac{F}{V}$$

Тритий + НТО

$$\frac{dW_j}{dt} = -W_j \frac{F}{V} - k_a A \frac{W_j}{\sum_{j=1}^3 W_j} \left( \sum_{j=1}^3 C_j \right)^{0.53} + k_d q_j$$

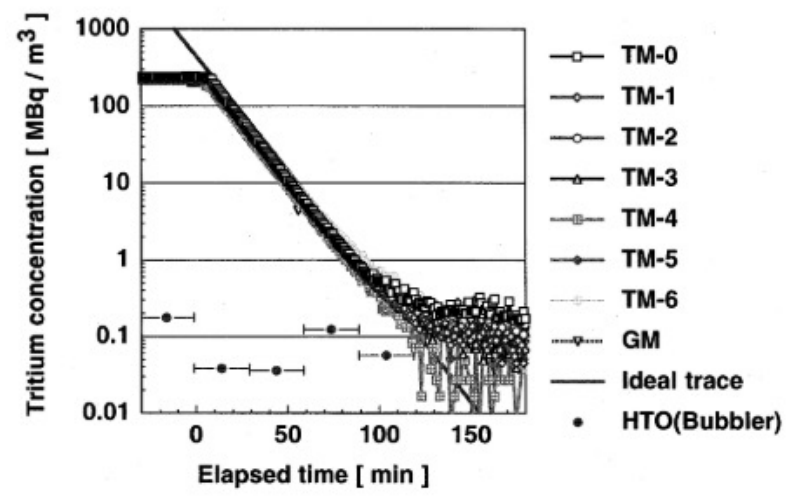


Fig. 2. Typical tritium removal behavior in the dry air atmosphere (humidity: 12 ppm) by 50 m<sup>3</sup>/h of detritiation.

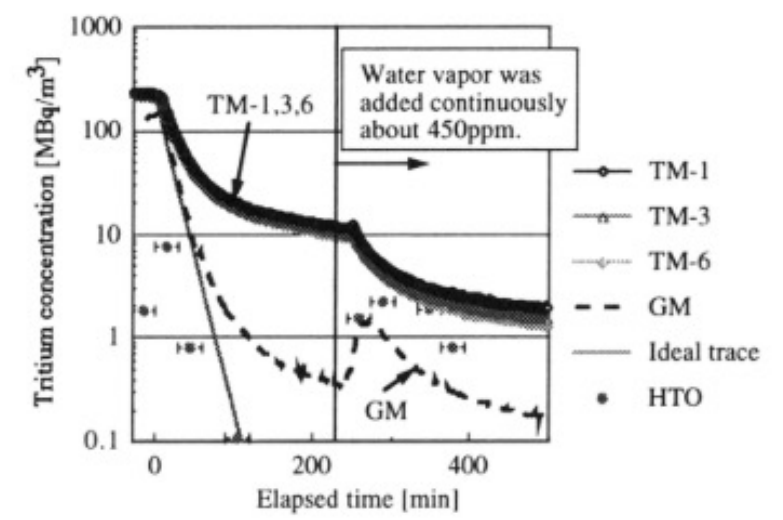


Fig. 5 Tritium removal behavior in the dry air atmosphere (humidity:27 ppm) by 50 m<sup>3</sup>/h of the detritiation system.

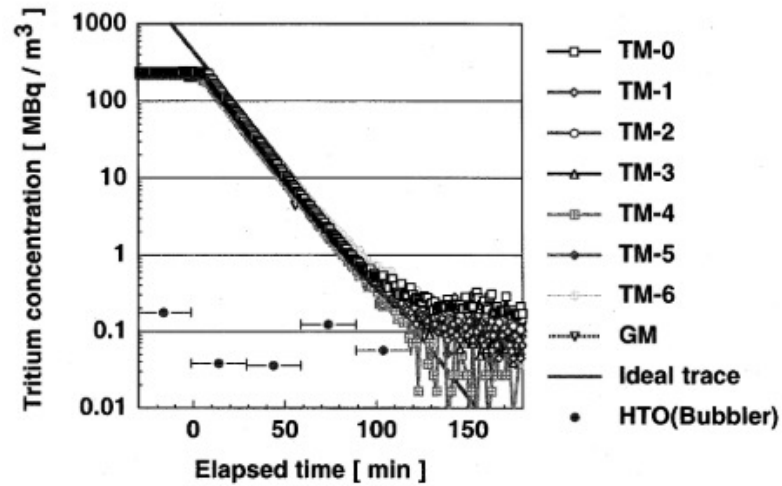


Fig. 2. Typical tritium removal behavior in the dry air atmosphere (humidity: 12 ppm) by 50 m<sup>3</sup>/h of detritiation.

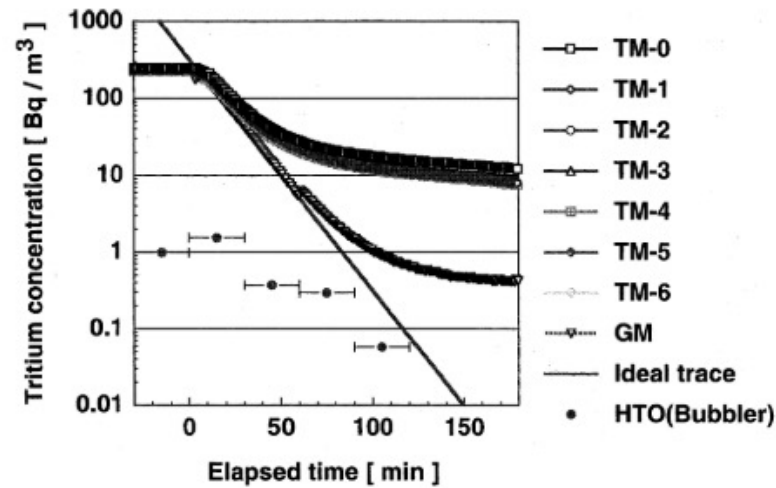


Fig. 4. Tritium removal behavior in the dry air atmosphere (humidity: 1 ppm) by 50 m<sup>3</sup>/h of detritiation (HTO in the released tritium: 0.4–1.0%).

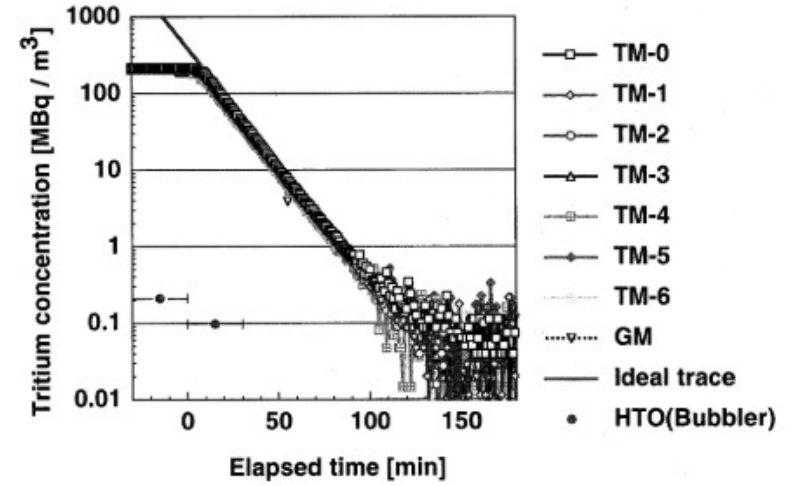


Fig. 3. Tritium removal behavior in the dry air atmosphere (humidity: 10 ppm) by 50 m<sup>3</sup>/h of detritiation (residence time: 1 week).

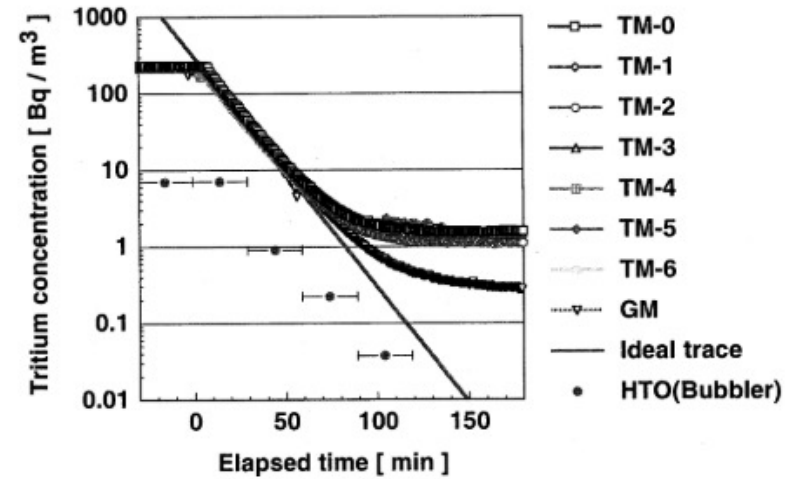


Fig. 5. Tritium removal behavior in the humid air atmosphere (humidity: 582 ppm) by 50 m<sup>3</sup>/h of detritiation (HTO in the released tritium: 3.0%).

## Выдержка в воздухе контролируемой влажности

JT-60

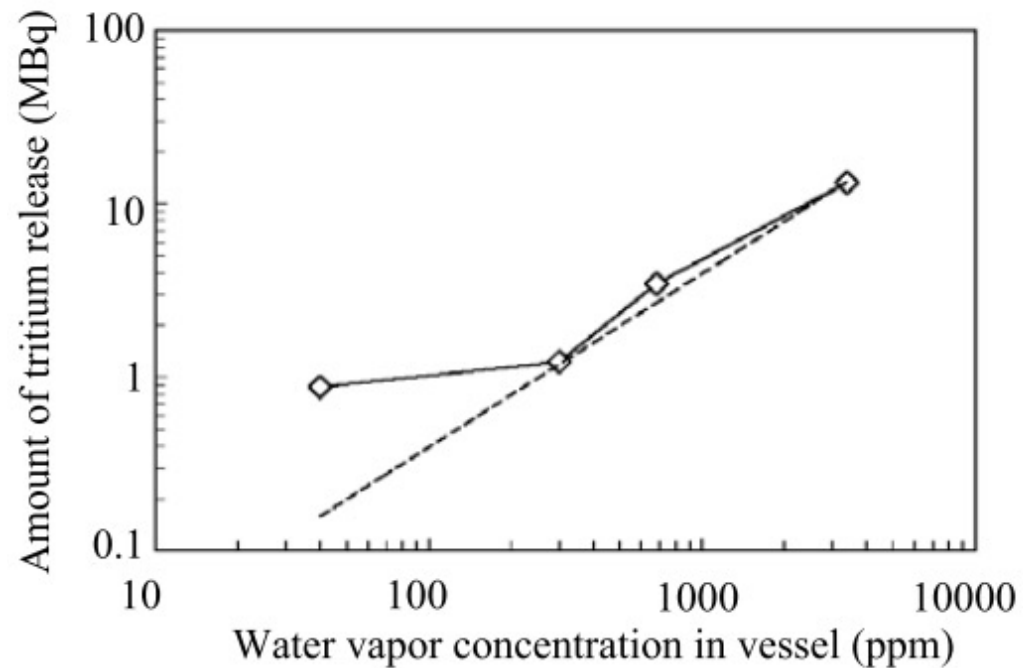


Fig. 3. Dependence of released tritium on water vapor concentration in vacuum vessel

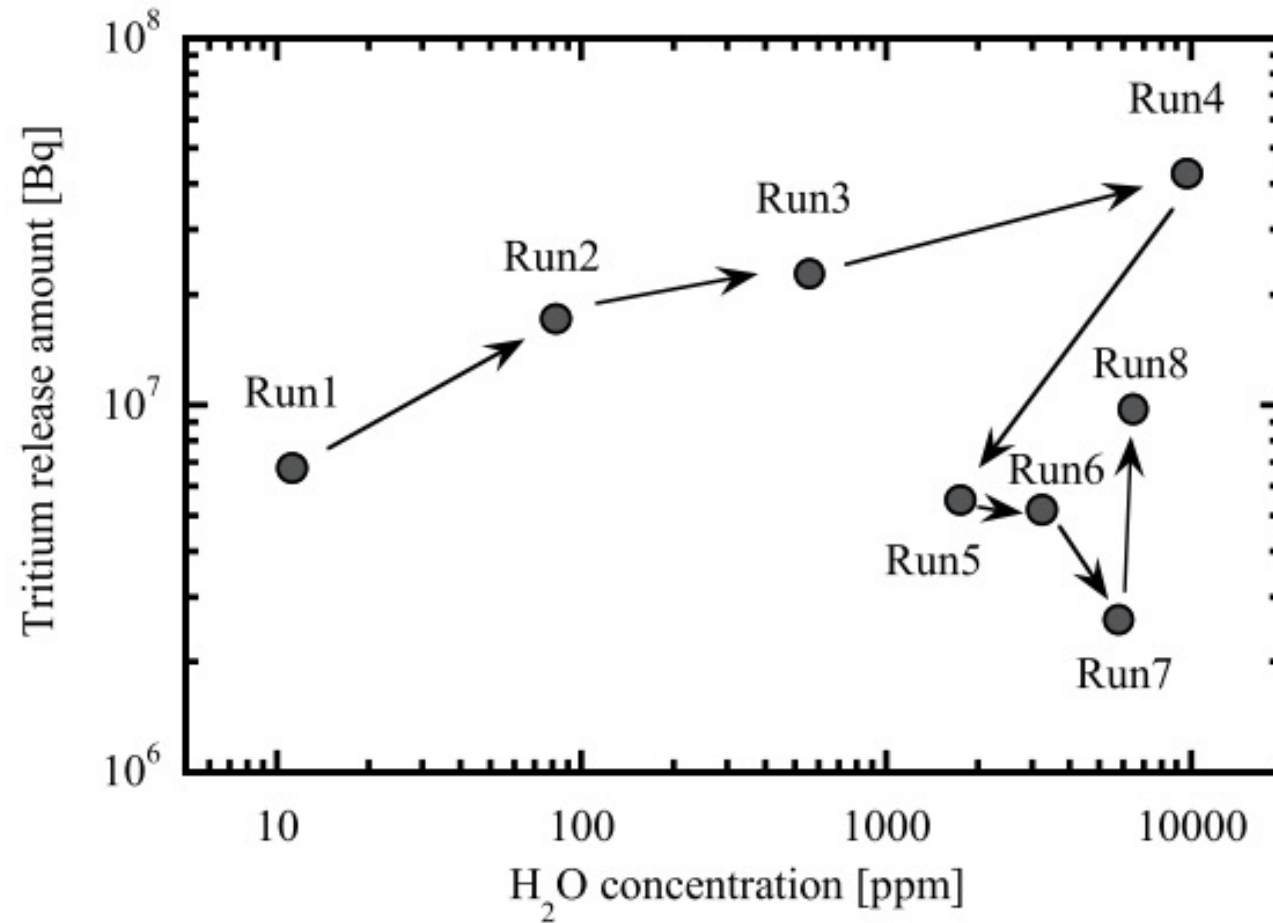
Продувку осуществляли  $H_2$ , He и Ar при постоянном давлении 0.05, 0.1 or 0.3 Па при температурах 293, 423 и 523 К.

При использовании He и Ar увеличение концентрации трития было сопоставимым. Авторы указывают на то, что изотопный обмен с  $H_2$  не эффективен для удаления  $T_2$ .





Выдержка в воздухе контролируемой влажности



Также была обнаружена зависимость от влажности воздуха при долговременной продувке камеры стелларатора

## Выводы

- Проведена детритизация спектрометра и преспектрометра установки «Троицк НьюМасс».
- Оценено количество трития  $(5,1_8 \pm 0,9_2)$  ГБк. Остаточное содержание трития в спектрометре -  $(0,4_2 \pm 0,07_5)$  ГБк.
- Оценена эффективность детритизации различными методами.
- Описан наиболее вероятный механизм детритизации спектрометра.



## Заключение

Для обеспечения работоспособности спектрометра в сложившейся ситуации с остаточным тритием было решено увеличить **магнитное поле в центре спектрометра** с помощью дополнительной соленоидной обмотки поверх корпуса спектрометра.

В результате был получен положительный результат: после проведенной очистки и включением дополнительного поля, общий фон детектора установки с открытым газовым тритиевым источником (без наполнения тритием) оказался **в 3-4 раза больше**, чем ранее, но на **приемлемом для измерений уровне**.

Спасибо