National Research Centre «Kurchatov Institute»
PETERSBERG NUCLEAR PHYSICS INSTITUTE

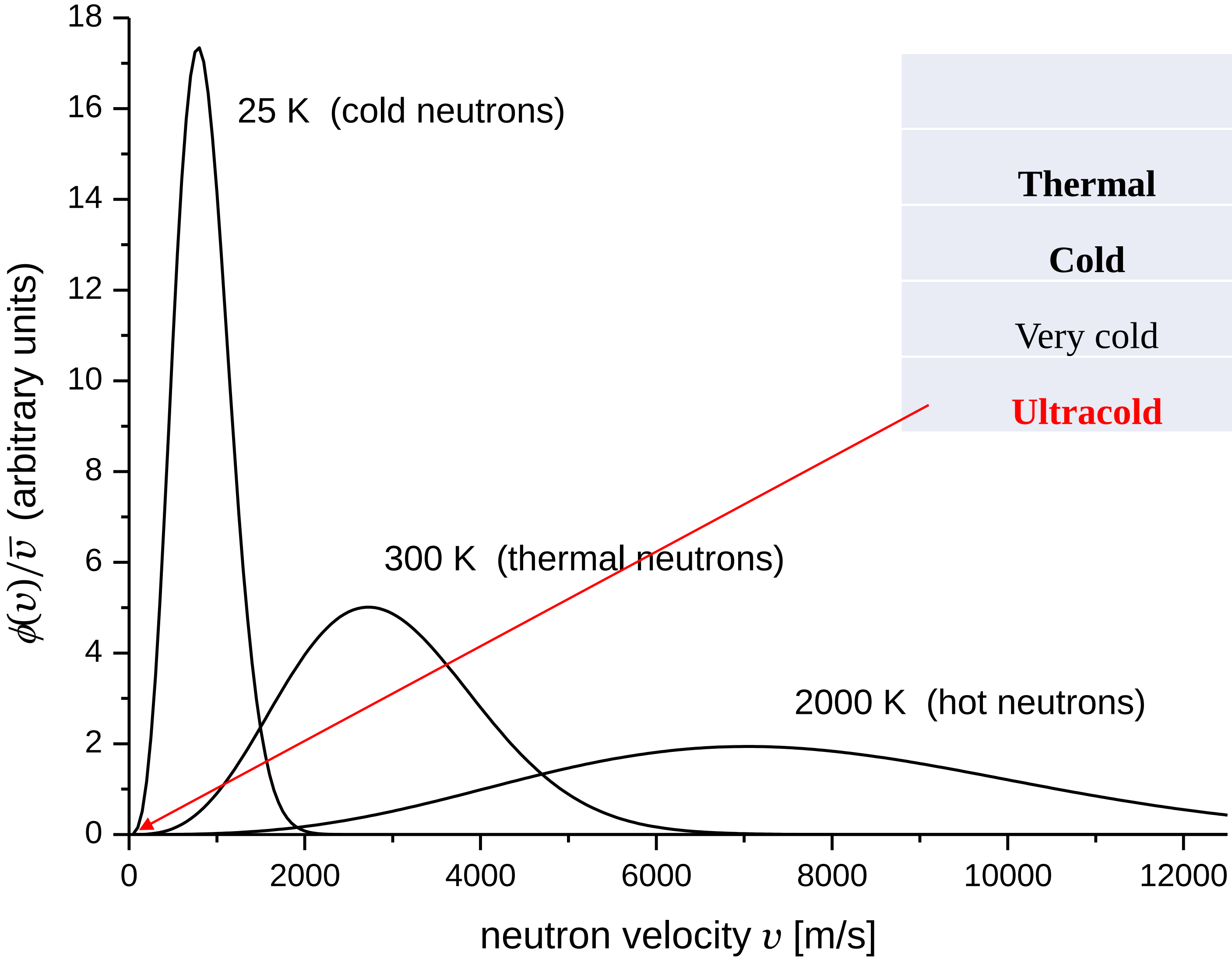
ULTRACOLD NEUTRON SOURCE AT NRC KI-PNPI FOR THE STUDY OF FUNDAMENTAL INTERACTIONS

Lyamkin Vitaliy Alexandrovich

Group leader:
Serebrov Anatolii Pavlovich

The 6th international conference on particle physics and astrophysics

ULTRACOLD NEUTRONS

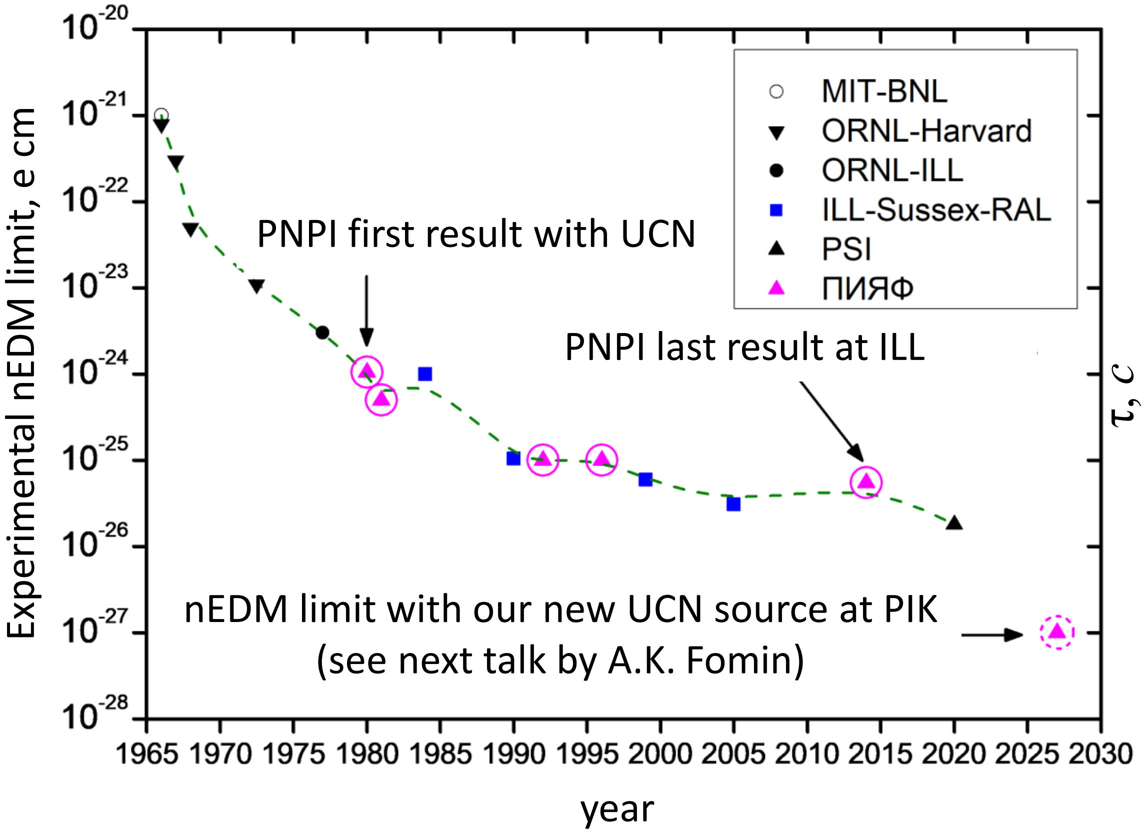


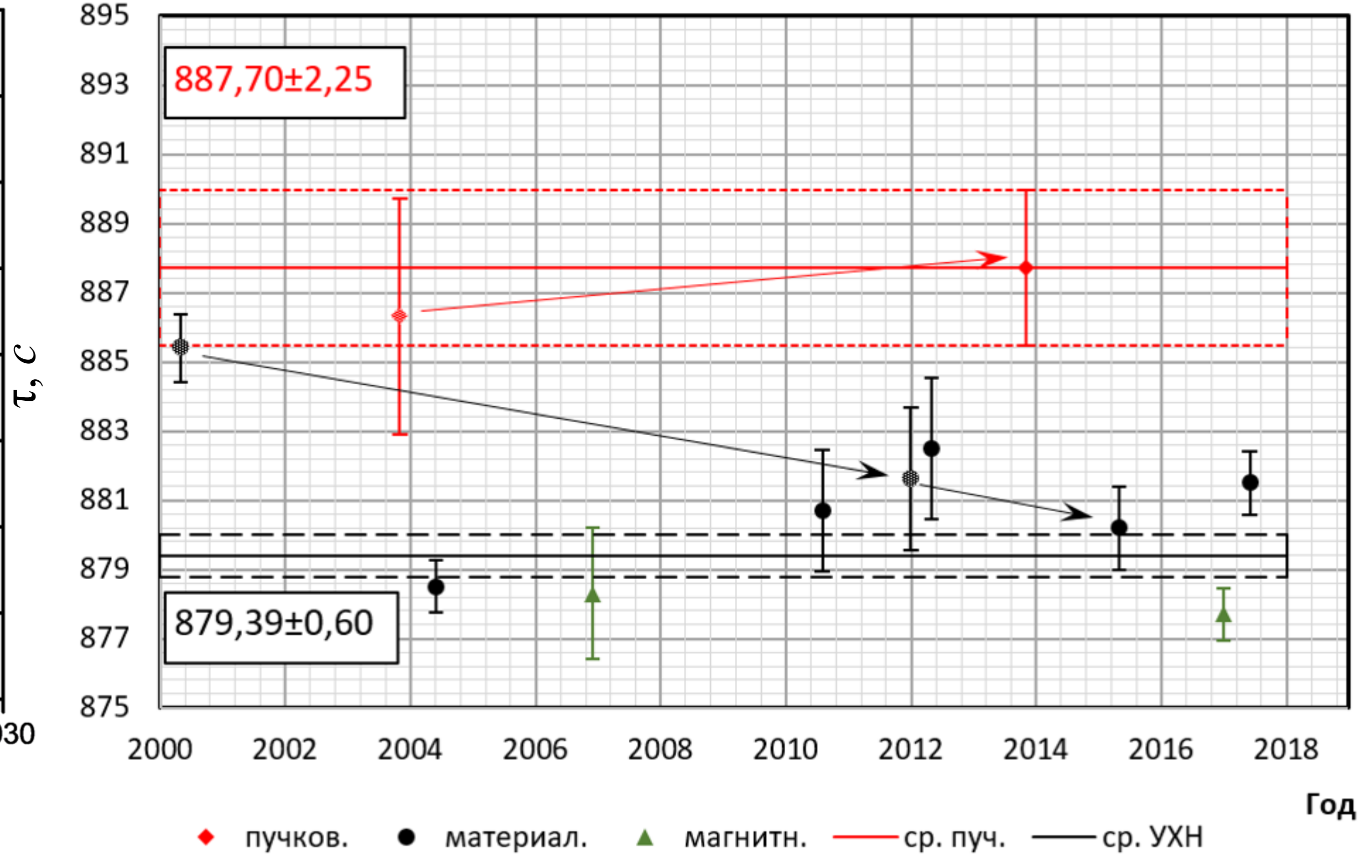
	Energy, eV	**Energy, K**	**Velocity, m/s**
Thermal	$5\cdot10^{-3} \div 0{,}5$	$6000 \div 50$	$9{,}8\cdot10^{2} \div 9{,}8\cdot10^{3}$
Cold	$10^{-4} \div 5\cdot10^{-3}$	$50 \div 1$	$1{,}4\cdot10^{2} \div 9{,}8\cdot10^{2}$
Very cold	$10^{-7} \div 10^{-4}$	$1 \div 10^{-3}$	$4{,}4 \div 140$
Ultracold	**$\sim10^{-7}$**	**10^{-3}**	**$\sim4{,}4$**

Ultracold neutrons have the property of being reflected from any matter at any angle of incidence, so they can be stored in material traps for tens and hundreds of seconds..

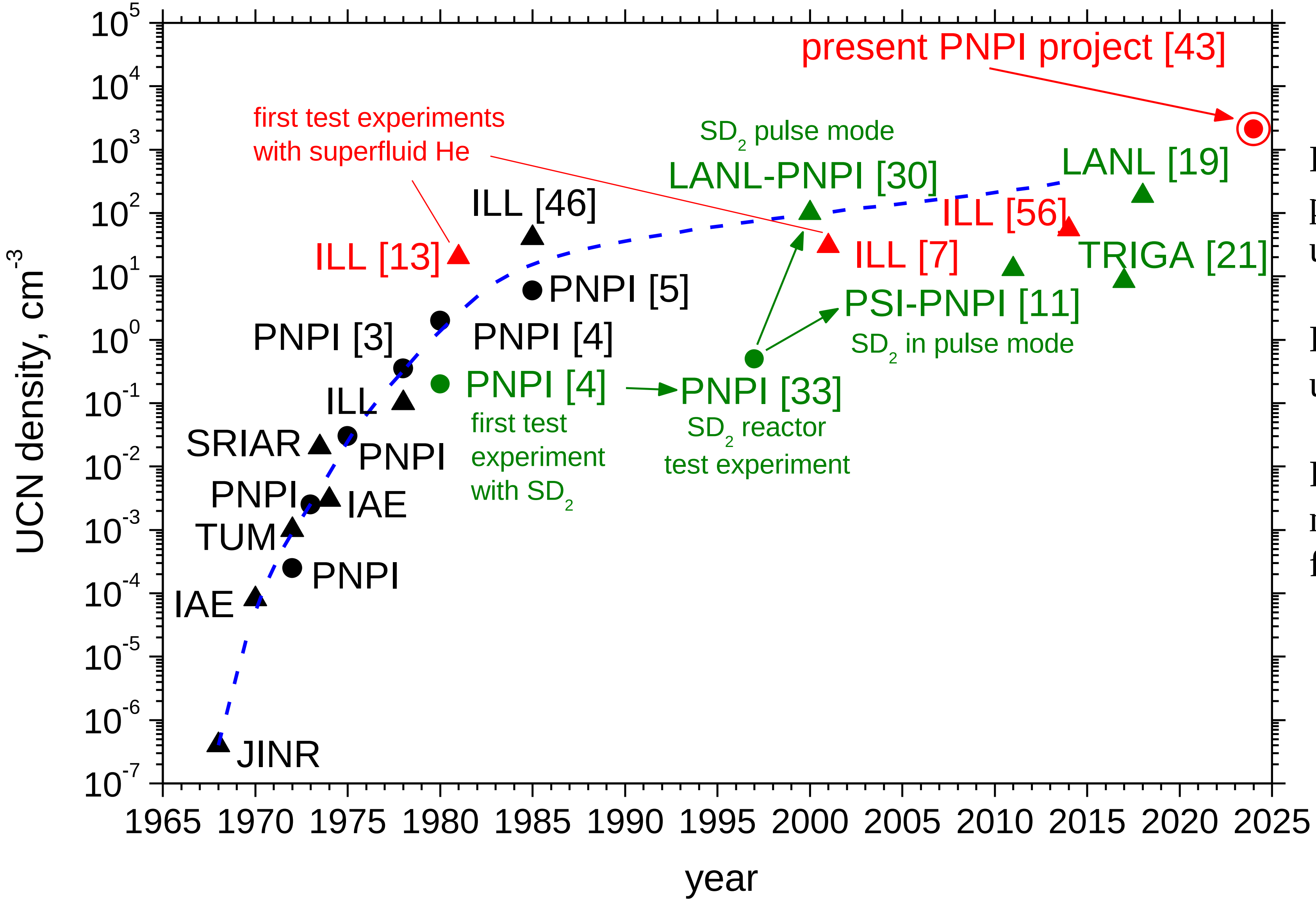
APPLICATIONS

The most precise experiments on the search for the neutron electric dipole moment (nEDM) and the measurement of the free neutron lifetime were performed by using ultracold neutrons.





UCN SOURCES STATUS BY 2022



During the last 20 years there has been no progress in increasing the density of ultracold neutrons.

Highly efficient cryogenic methods by using LD2 or sD2 have been mastered.

Further progress requires alternative methods for producing ultracold neutrons, for example by using superfluid helium

UCN PRODUCTION

Neutron source → E = 300 K (n) → Pre-moderator T = 20 K → E = 12 K (n) → UCN convertor T = 1 K → $E = 10^{-3}$ K (n)

$$\rho_{UCN} = P\tau$$

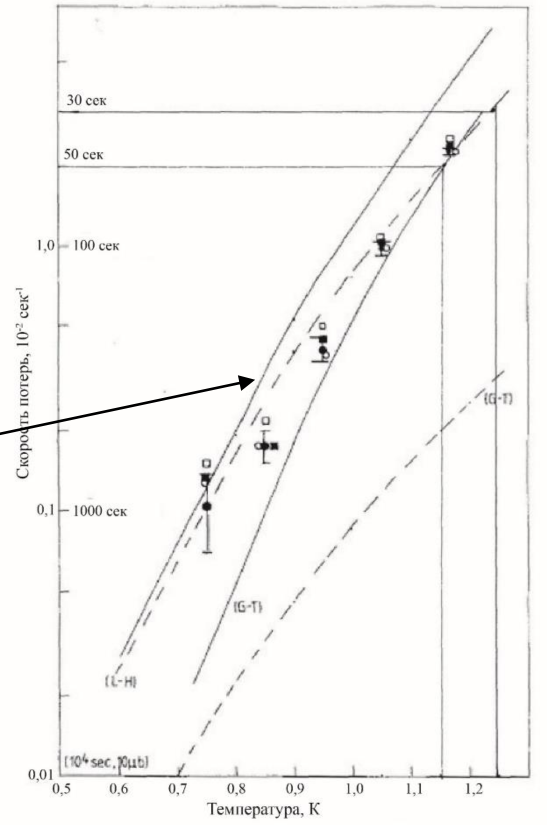
$$\tau^{-1} = \tau^{-1}_{\beta} + \tau^{-1}_{capture} + \tau^{-1}_{wall\ losses} + \tau^{-1}_{upscattering}$$

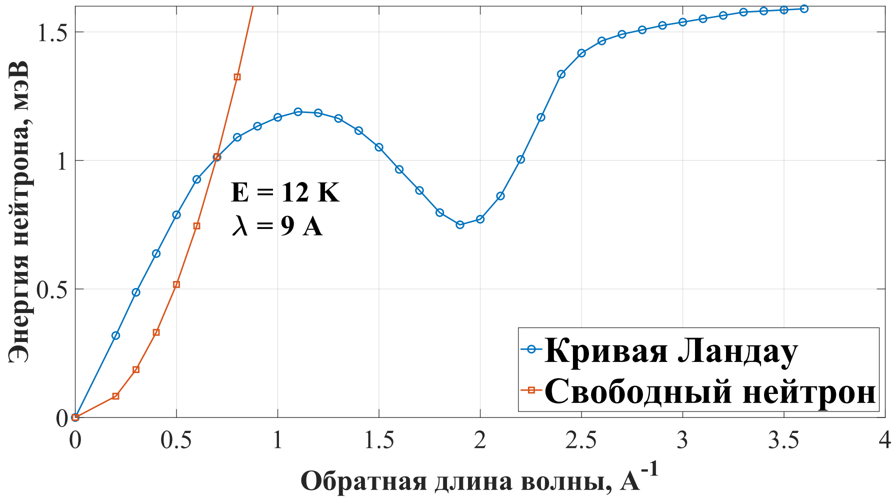
$\tau_{decay} = \mathrm{const}$

$\tau_{capture} \to He^3/He^4$

$\tau_{wall\ losses} \to$ покрытие $\to$ 42 с

$\tau_{upscattering} \to T_{He}$



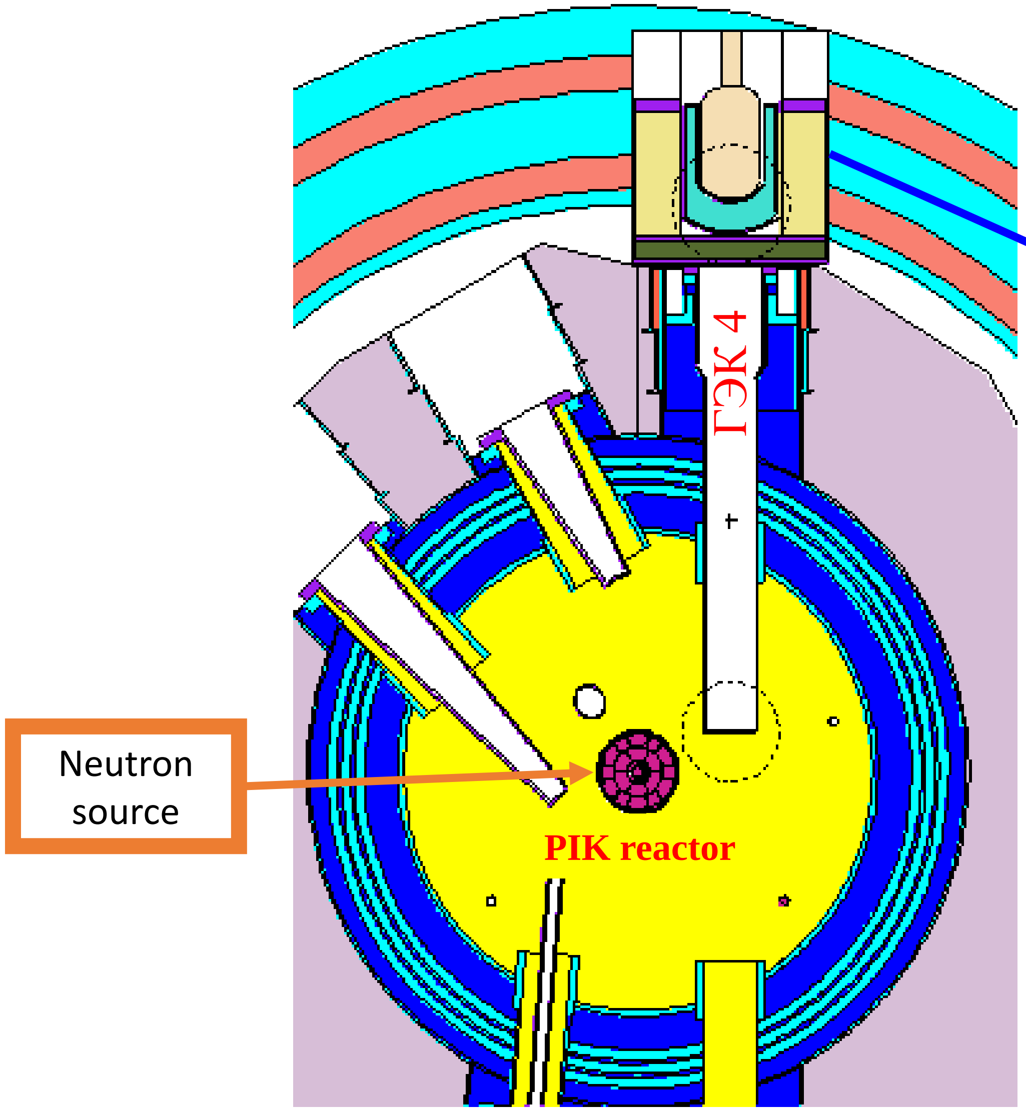


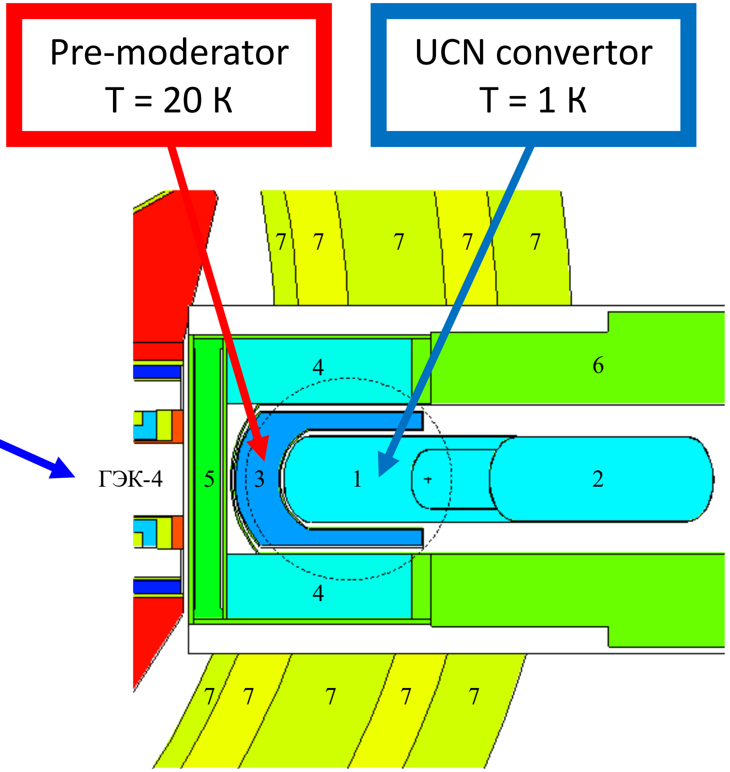
$E_{нач}$=12 K → $E_{УХН} \approx 10^{-3}$ K

λ=9 Å

* ЖЭТФ, 1946, 16, 391; J. Phys. USSR, 1945, 9, 461.

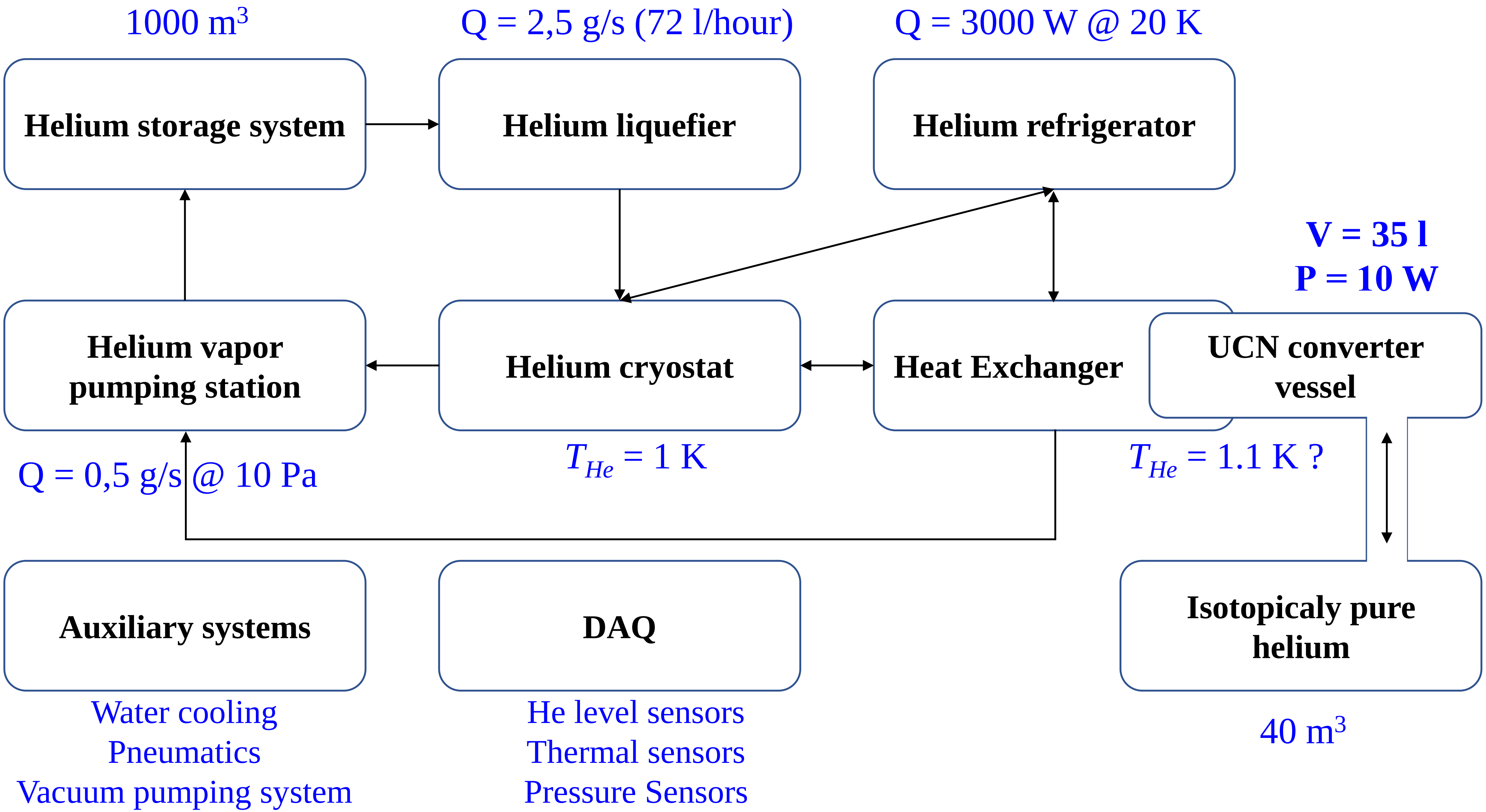
UCN PRODUCTION AT THE PIK REACTOR



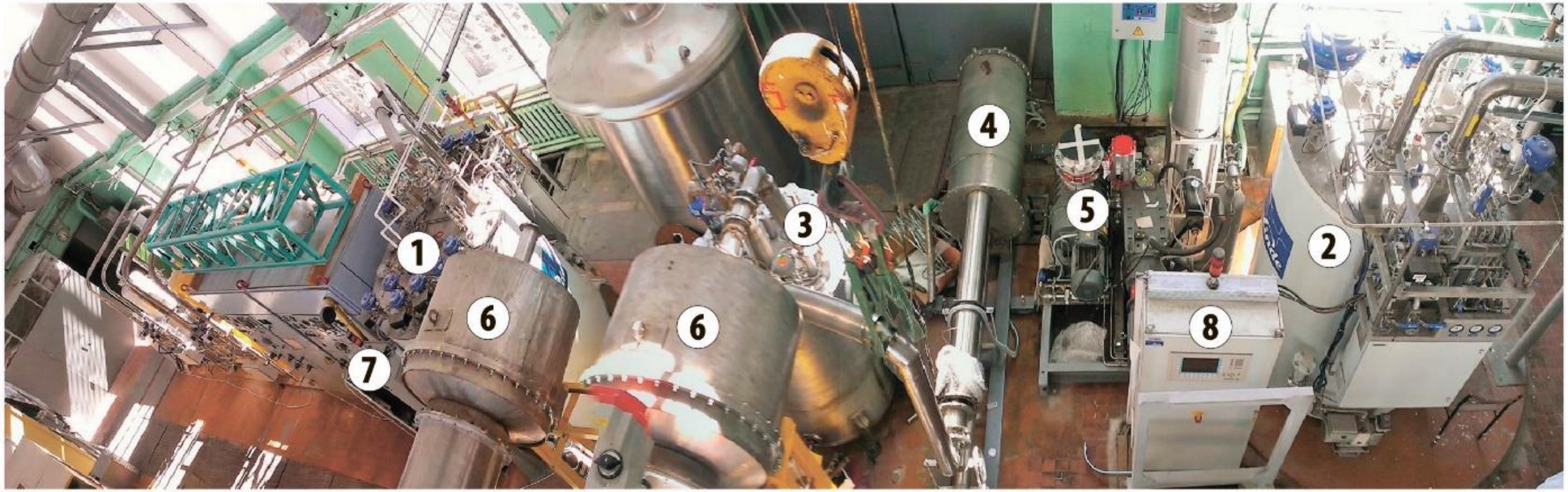


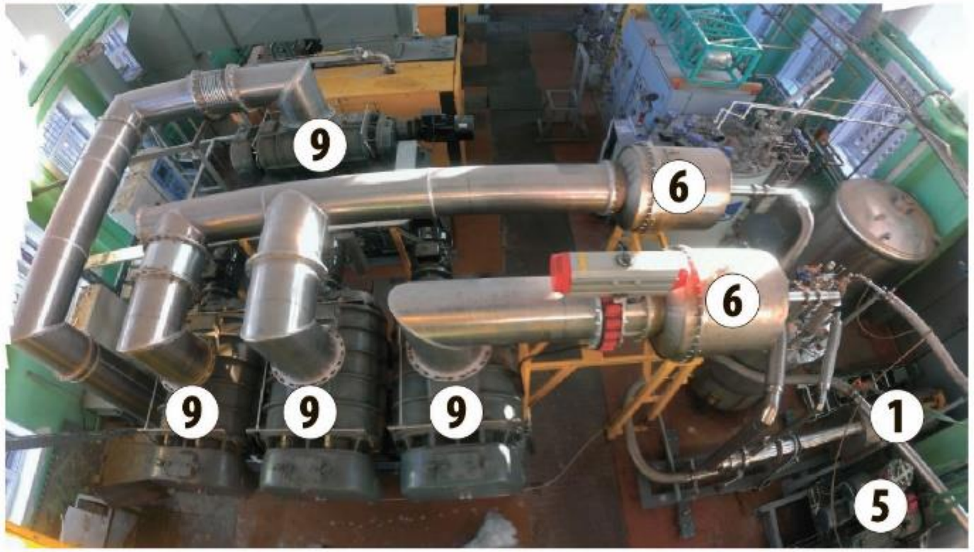
Parameter	Value
UCN convertor temperature, K	1
Thermal neutron flux, $cm^{-2}s^{-1}$	$2{,}8\cdot10^{10}$ (±2,7%)
9Å neutron flux, $cm^{-2}s^{-1}$ $Å^{-1}$	$5\cdot10^{8}$ (± 5%)
UCN density at EDM spectrometer, cm^{-3}	$2{,}0\cdot10^{2}$
Superfluid helium heat inflow, W	3,85 (± 7%)
LD2 heat inflow, W	10,7 (± 4%)
Lead shield heat inflow, W	267 (± 3%)

UCN SOURCE TECHNOLOGICAL COMPLEX

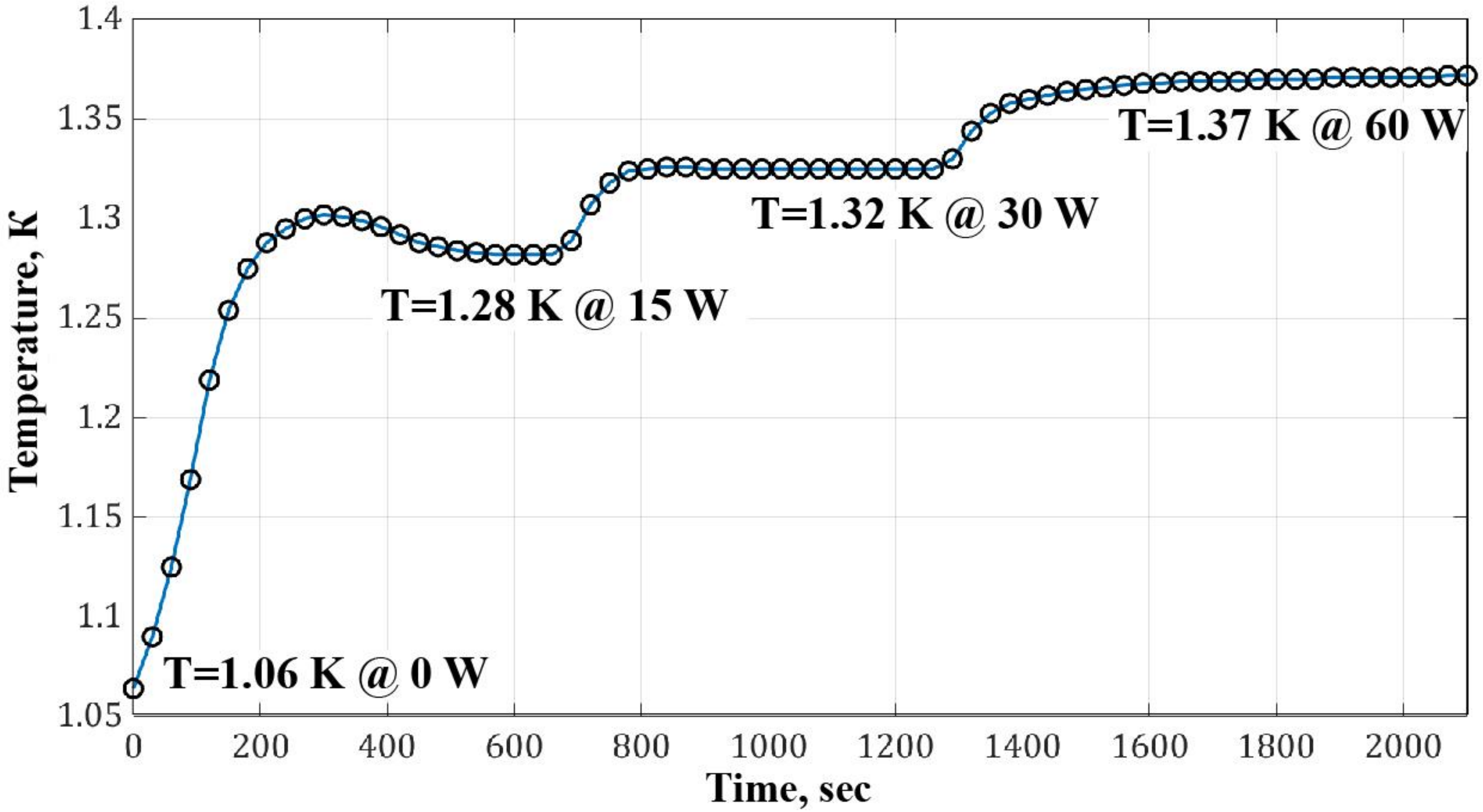


FULLSCALE UCNS MODEL





HEAT LOAD TESTS



- The possibility of maintaining helium in the superfluid state under thermal loads up to 60 W was experimentally checked.
- The possibility of installing a UCN source on the fission reactor was experimentally substantiated

UCN SOURCE MANUFACTURING

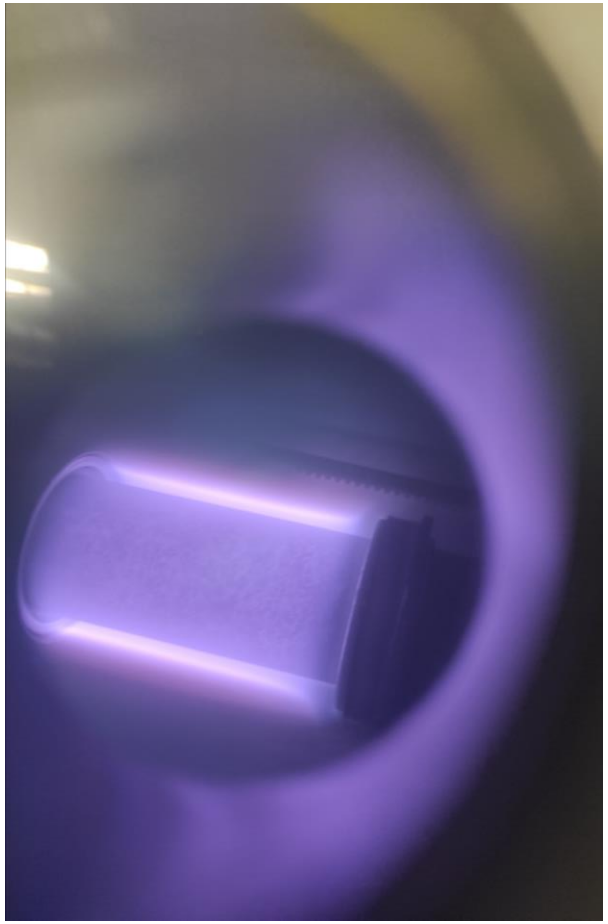
Neutron thermalization facility «UCN source»

- About 2000 drawings
- 15 tons of aluminum
- 3 tons of steel
- 3300 meters of pipelines
- 460 equipment units (e.g. valves)
- About 40 suppliers
- 1000 m3 of helium
- 100 m3 of deuterium

UCN SOURCE MANUFACTURING

Helium and Deuterium buffer tanks

UCN SOURCE MANUFACTURING



UCN neutron guide coating by Ni

UCN SOURCE MANUFACTURING

UCNS vacuum vessel

UCN SOURCE MANUFACTURING

Pre-moderator vessel

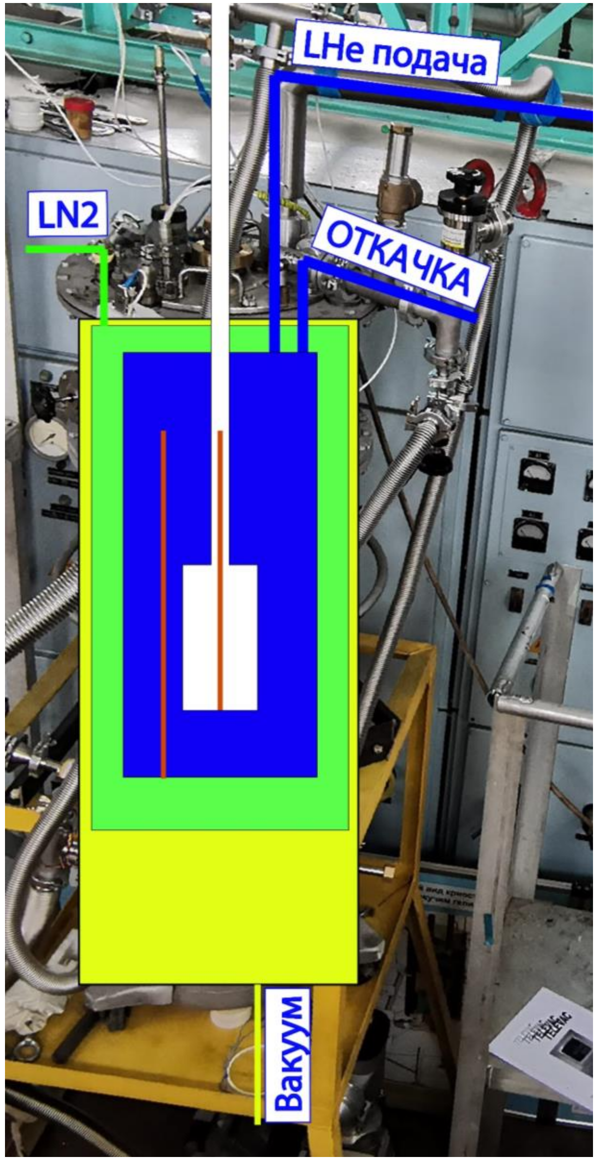
UCN SOURCE MANUFACTURING

Isotopicaly pure helium tanks

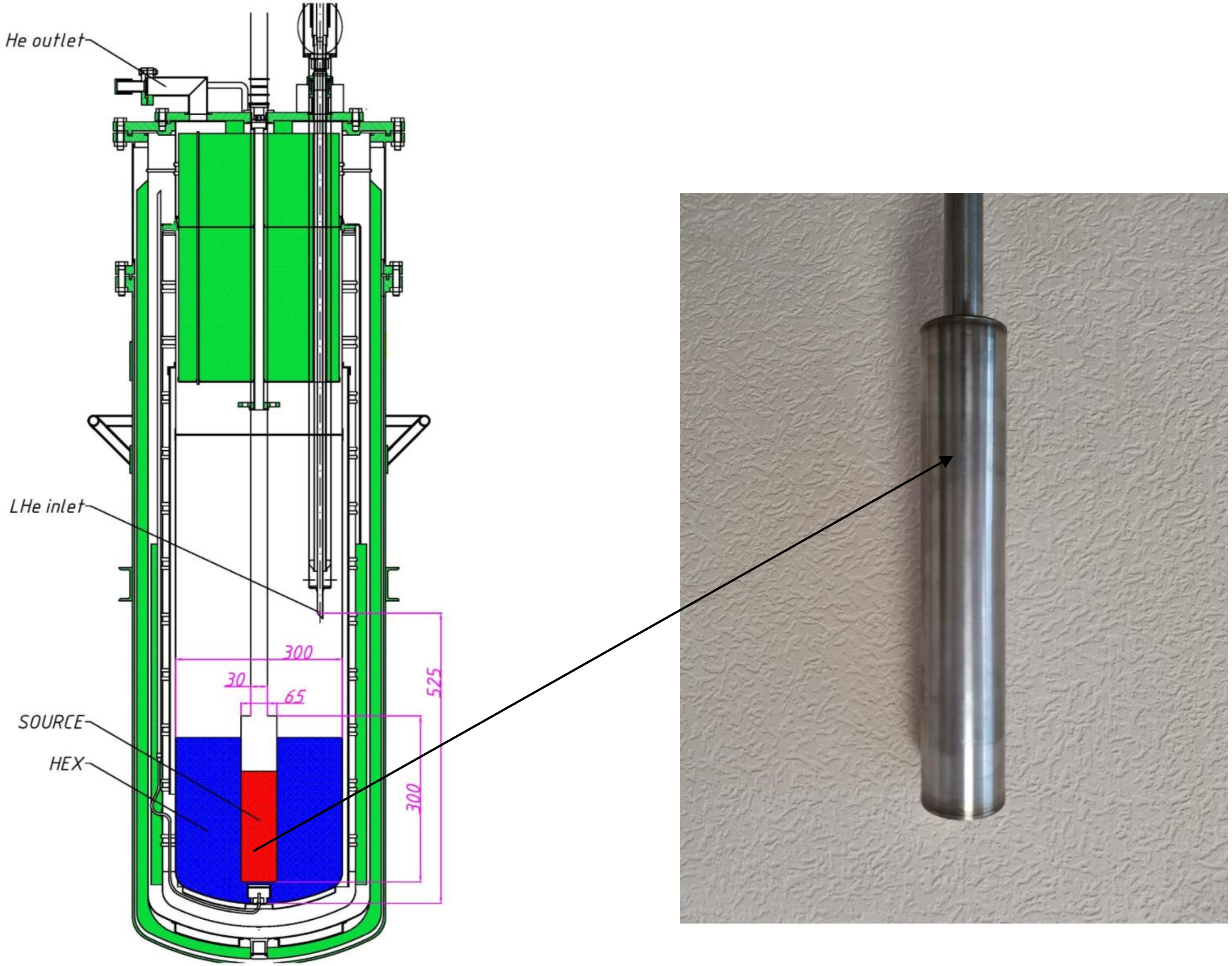
UCN SOURCE MANUFACTURING

DAQ

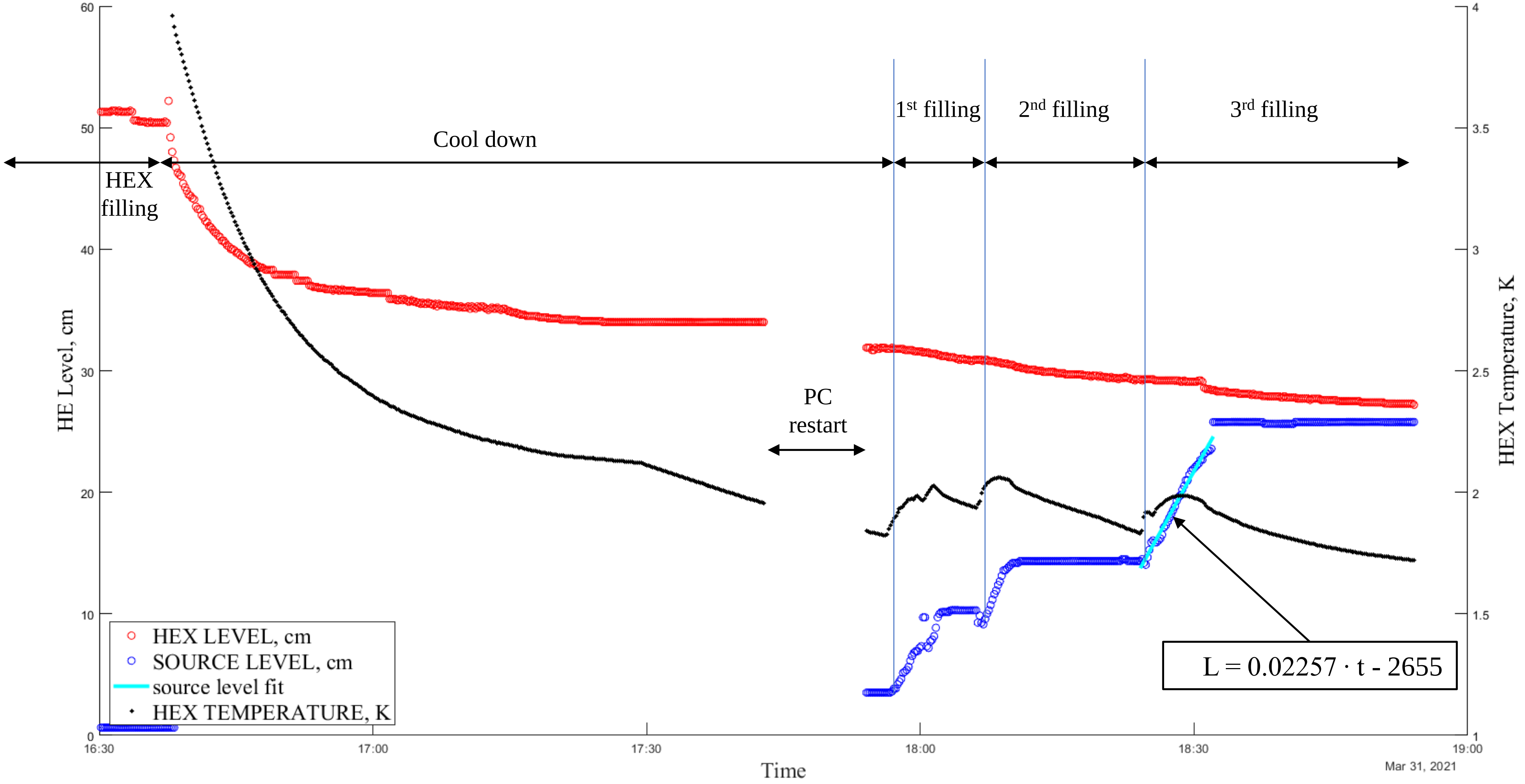
SMALL SCALE EXPERIMENTS



HELIUM LIQUIFICATION BY USING HEX



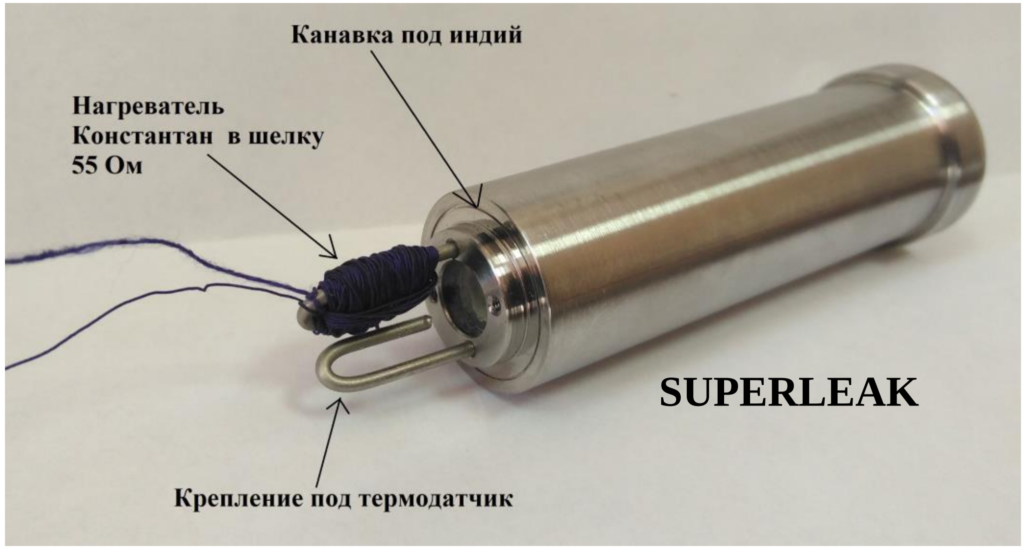
HELIUM LIQUIFICATION BY USING HEX



The liquefaction rate was **1.64 l/h**. In this case, the surface area of the vessel was 645 cm^2.

The real UCN source vessel with its volume of 35 liters is expected to be filled within 7 hours.

ISOTOPICALY PURE HELIUM



$$\tau^{-1} = \tau^{-1}_{\beta} + \tau^{-1}_{\text{upscattering}} + \boxed{\tau^{-1}_{\text{capture}}} + \tau^{-1}_{\text{wall losses}}$$

$$\tau_{\text{capture}} = 28\ s\ @\ \frac{m_{He3}}{m_{He4}} = 1{,}4 \cdot 10^{-6}$$

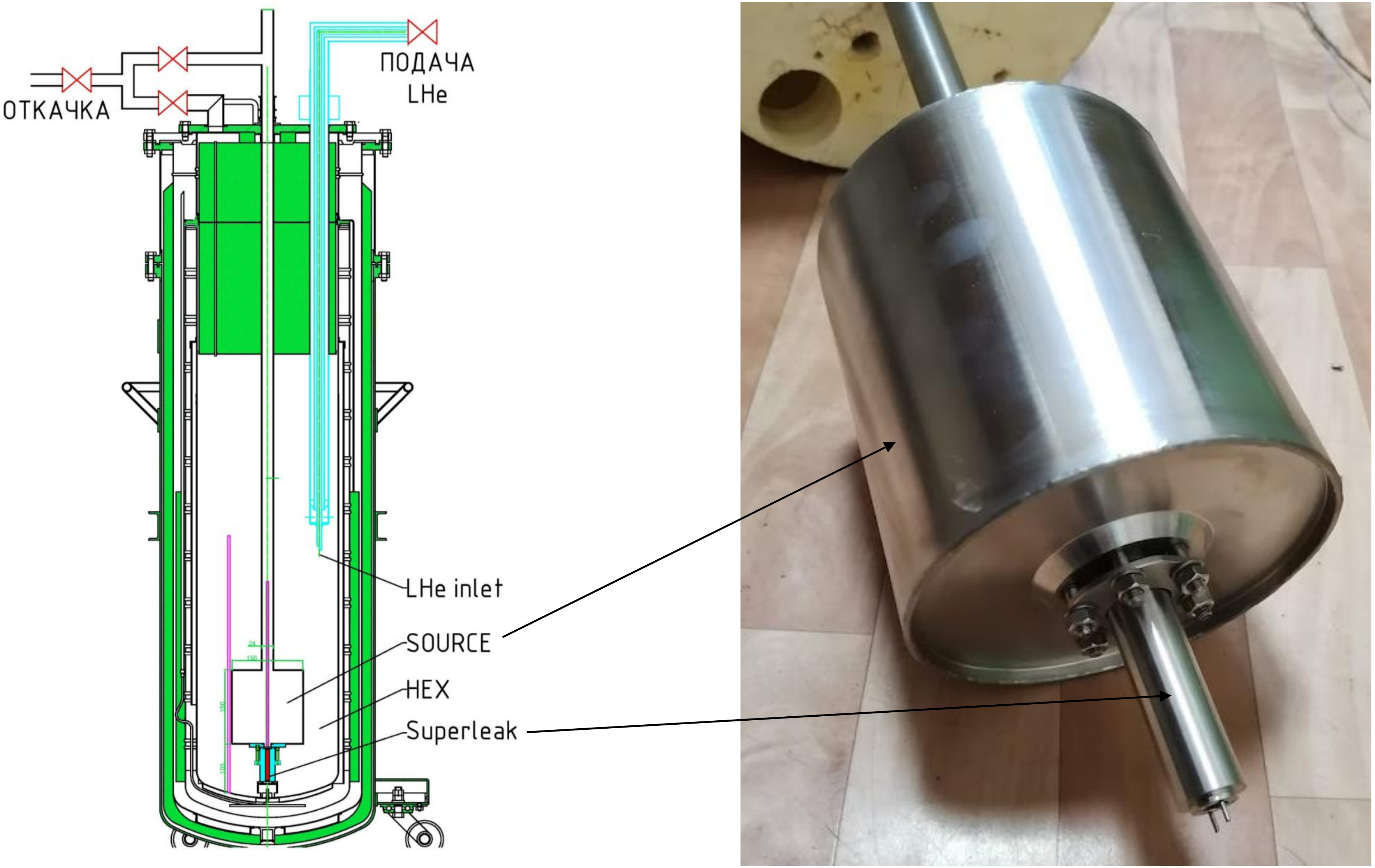
$$\tau_{\text{capture}} = 42{,}3\ s\ @\ \frac{m_{He3}}{m_{He4}} = 10^{-8}$$

$$\tau_{\text{capture}} = 3900\ s\ @\ \frac{m_{He3}}{m_{He4}} = 10^{-11}$$

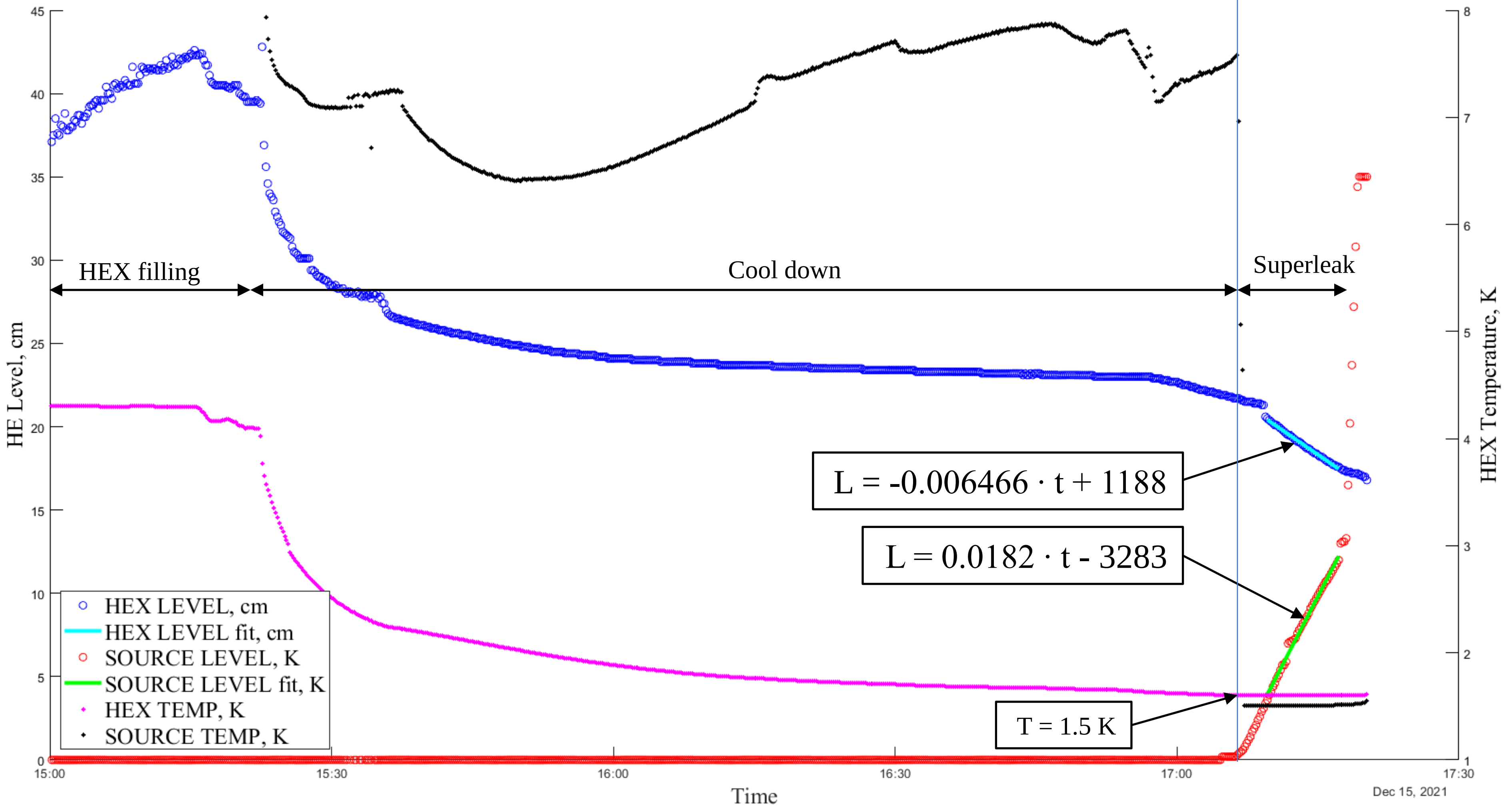
$$\sigma_a(He^3) = 5300\ barn$$

$$\sigma_a(He^4) = 0\ barn$$

MAKING OF ISOTOPICALLY PURE HELIUM



MAKING OF ISOTOPICALLY PURE HELIUM

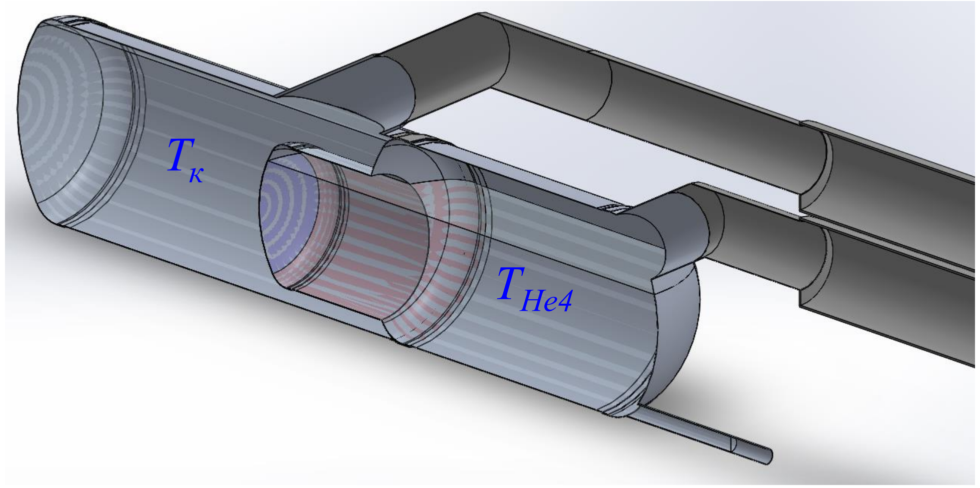


- Helium inflow rate into SOURCE – 0.0182 cm/s – 0.003215 l/s – 0.5037 g/s
- Helium outflow rate from HEX – 0.006466 cm/s – 0.003427 l/s – 0.4725 g/s

With a filter diameter of 8 mm, the critical flow of superfluid helium through the filter was 1 g/cm²s.

THERMAL CONDUCTIVITY MEASURMENT

$$T_к = T_{He4} + \Delta T_{mo}$$



$$Q/F = K_G \cdot 20 \frac{Вт}{м^2К^4} \cdot \boldsymbol{T^3} \cdot (T_{solid} - T_{liquid})$$

Kapitza conductivity

$$q = Q/F = h_K \cdot (T_{solid} - T_{liquid})$$

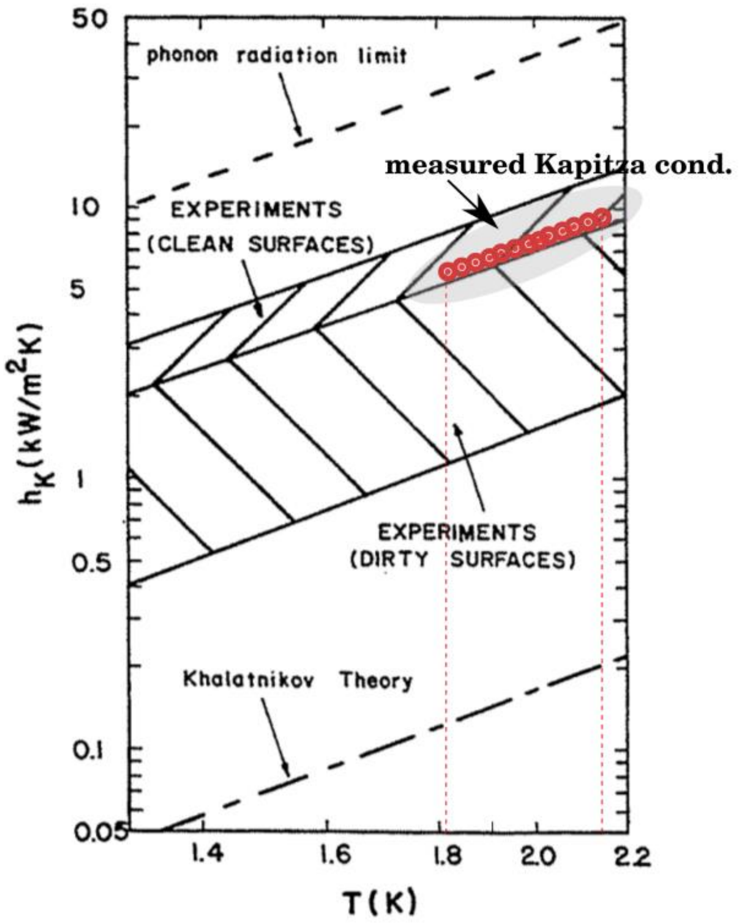
Phonon radiation theory:

$$h_K = \frac{4\pi^5 k_B^2}{5\Theta_B^2 h}\left(\frac{3n}{4\pi}\right)^{2/3} \boldsymbol{T^3}$$

Khalatnikov theory:

$$h_K = \frac{2\pi^2 \rho_L c_L k_B^4}{15\hbar^3 \rho_S v_t^3} F\boldsymbol{T^3}$$

K_G – correction factor
K_G = 225 for phonon radiation theory
K_G = 1 for Khalatnikov theory



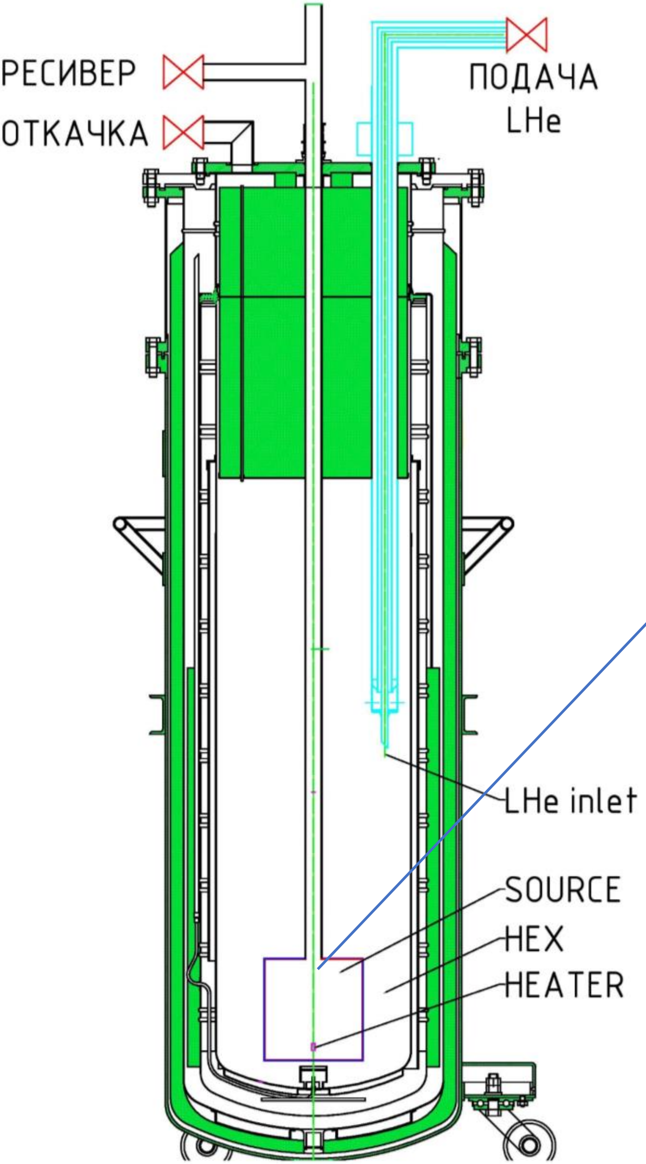
$h_{K(сталь)} = 0{,}77 \cdot h_{K(Cu)}$

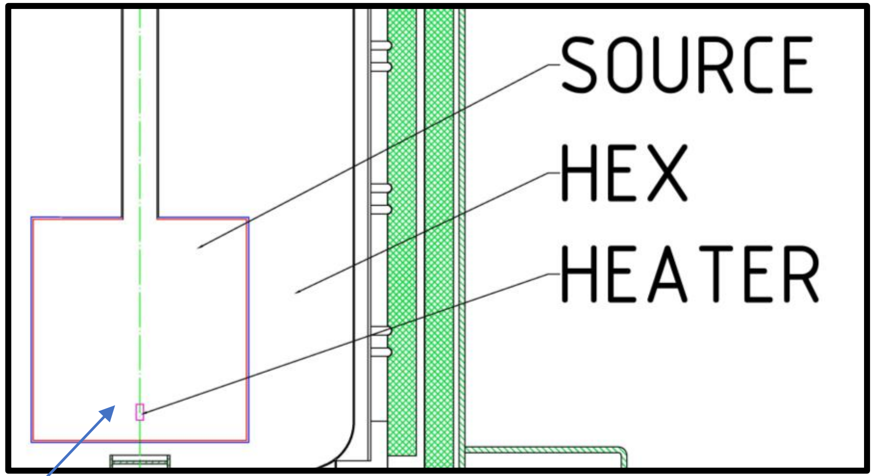
$h_{K(Ni)} = 0{,}61 \cdot h_{K(Cu)}$

At $T_к$ = 1,2 К and K_G=30 T_{He4} = 1,08 K P_{VPS} = 31,6 Pa

At $T_к$ = 1,2 К and K_G=45 T_{He4} = 1,10 K P_{VPS} = 34,0 Pa

THERMAL CONDUCTIVITY MEASURMENT





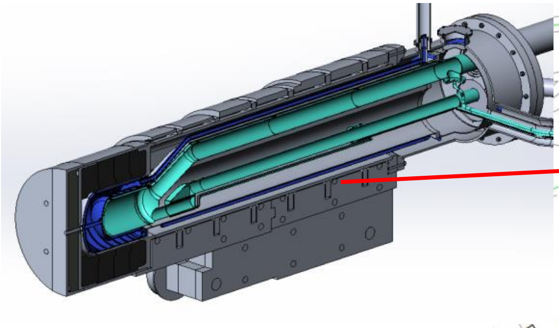
Внутри:
Нерж. сталь

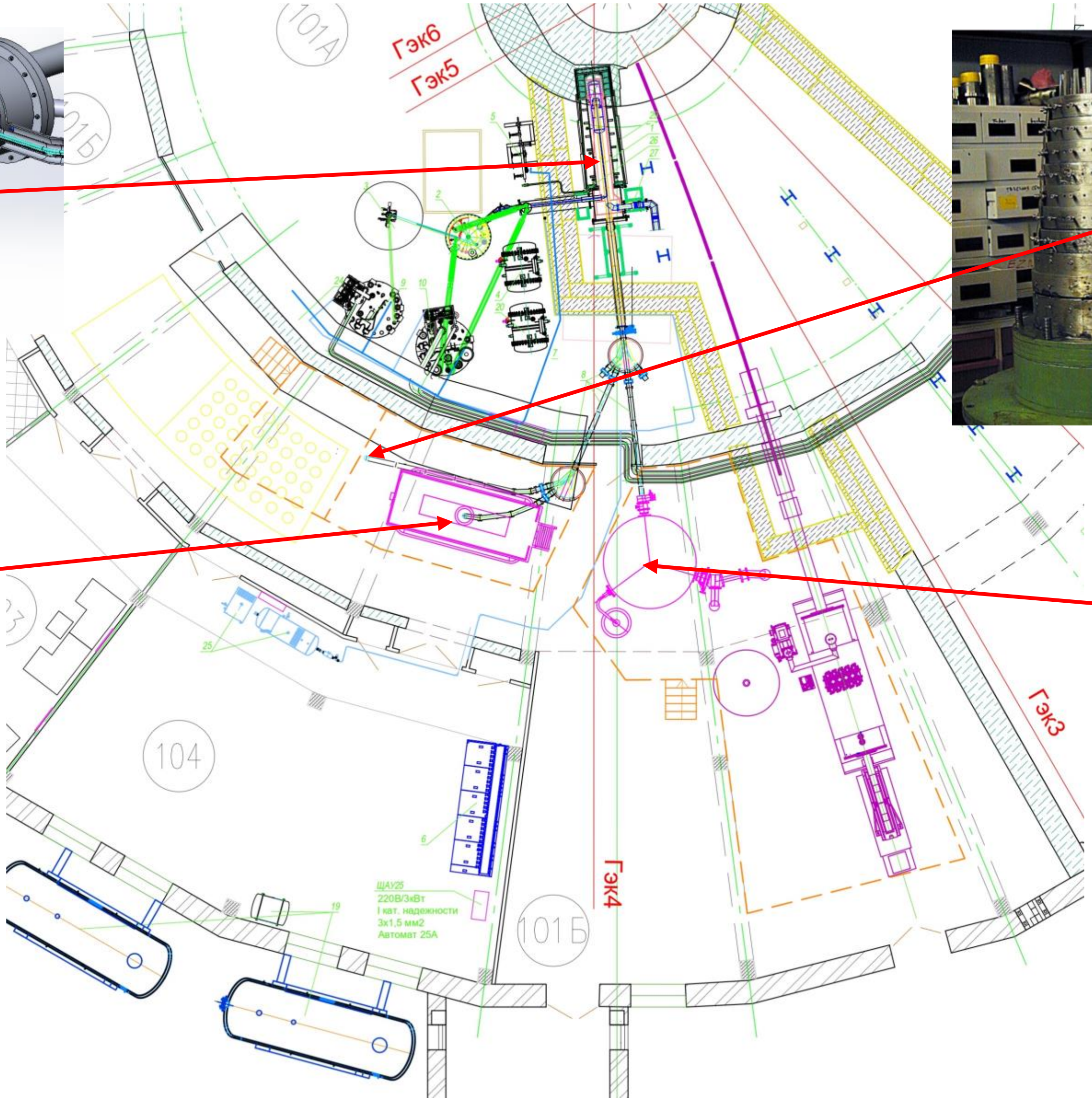
Снаружи:
Ni coating

$$Q/F = K_G \cdot 20\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}^4} \cdot \boldsymbol{T^3} \cdot (T_{solid} - T_{liquid})$$

$$K_G = ???$$

SCIENTIFIC RESEARCH PROGRAM WITH UCN AT THE PIK REACTOR



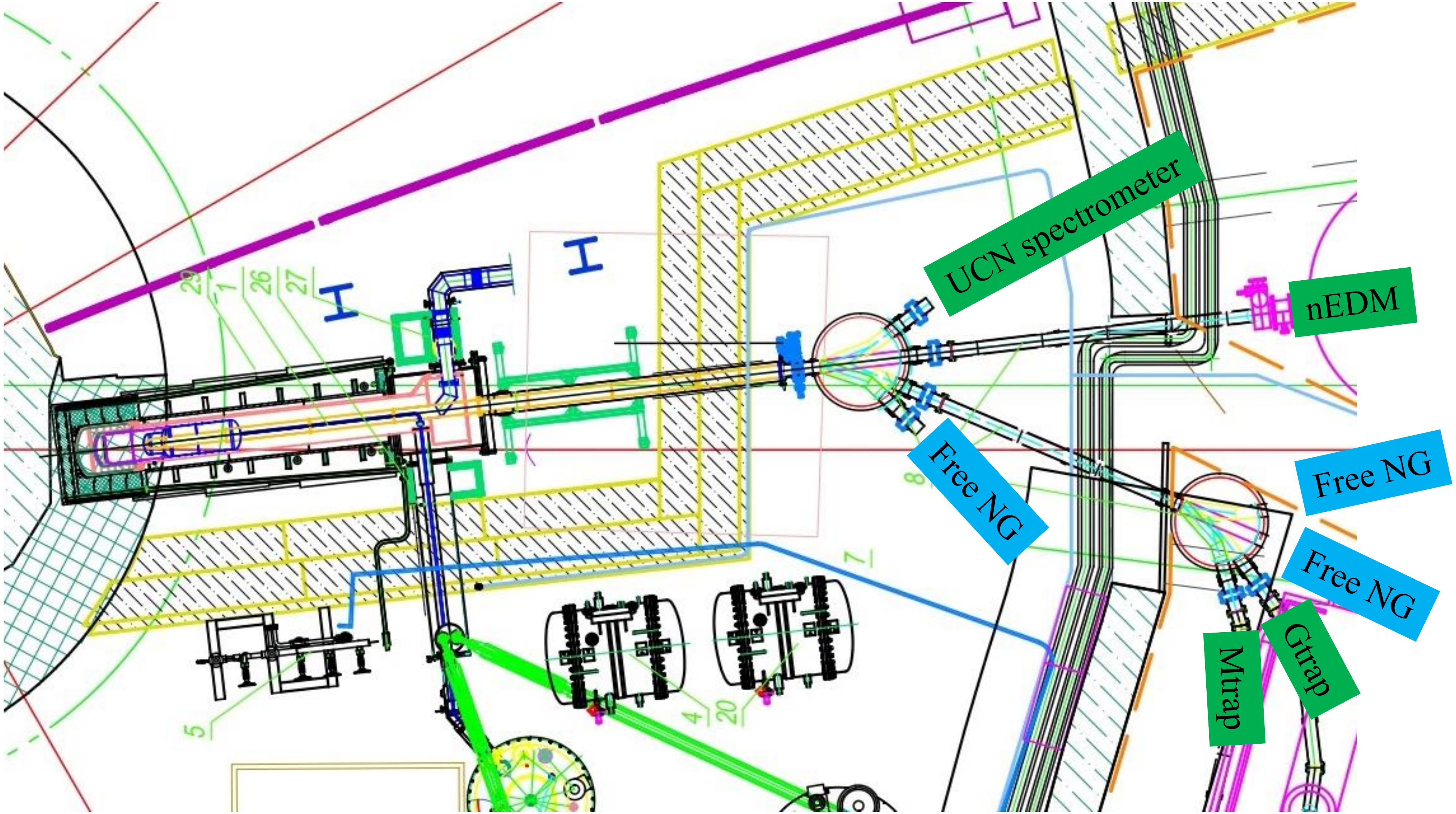


Magnetic Trap of UCN

GRAVITRAP

nEDM

UCN NEUTRON GUIDE SYSTEM



THANK YOU FOR ATTENTION

UCN SOURCE AT PIK REACTOR

In 2019, the PIK Research Reactor Facility project was launched.

«Neutron thermalization facility «UCN source» is one of the main part of it.

«СОГЛАСОВАНО»
Заместитель директора по научной работе
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ
______________ В.В. Воронин
«__» ____________ 2019г.

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор
ЗАО «НПО «Спецпроект»
______________ Е.В. Кочетов
«__» ____________ 2019г.

ЧАСТНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

НА РАЗРАБОТКУ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

нейтронный приборный комплекс

«Источник ультрахолодных нейтронов (ИУХН)»

в рамках работ на разработку проектной документации по объекту капитального строительства:
«Создание приборной базы реакторного комплекса «ПИК»

Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», по адресу: Ленинградская область, г. Гатчина, мкр. Орлова роща, д.1.

Инв.№:__________

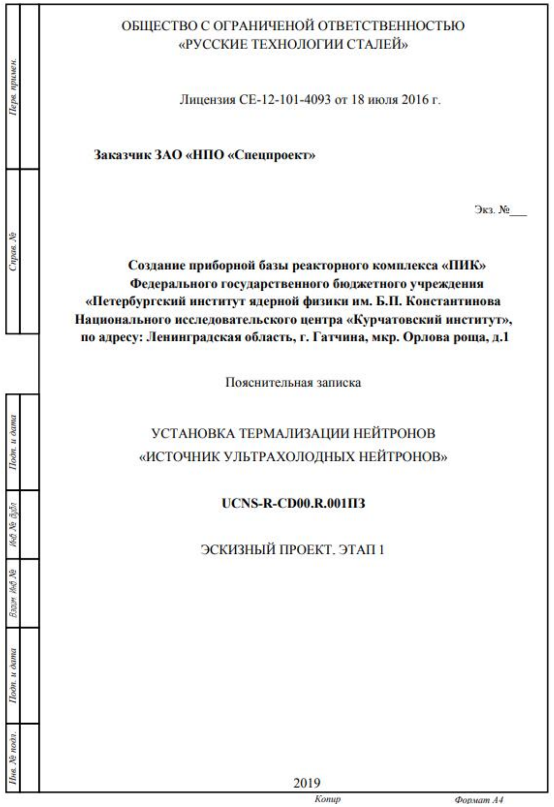
«СОГЛАСОВАНО»
Заместитель директора по эксплуатации ядерных установок
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ
__________ С.Л. Смольский
«__» ________ 2019г.

«СОГЛАСОВАНО»
Заместитель директора по перспективным разработкам
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ
__________ В.И. Максимов
«__» ________ 2019г.

«СОГЛАСОВАНО»
Заместитель директора по капитальному строительству
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ
__________ Р.А. Петров
«__» ________ 2019г.

2019

Technical Design Specification
development of design documentation
2019



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«РУССКИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТАЛЕЙ»

Лицензия СЕ-12-101-4093 от 18 июля 2016 г.

Заказчик ЗАО «НПО «Спецпроект»

Экз. №___

Создание приборной базы реакторного комплекса «ПИК»
Федерального государственного бюджетного учреждения
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,
по адресу: Ленинградская область, г. Гатчина, мкр. Орлова роща, д.1

Пояснительная записка

УСТАНОВКА ТЕРМАЛИЗАЦИИ НЕЙТРОНОВ
«ИСТОЧНИК УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ»

UCNS-R-CD00.R.001ПЗ

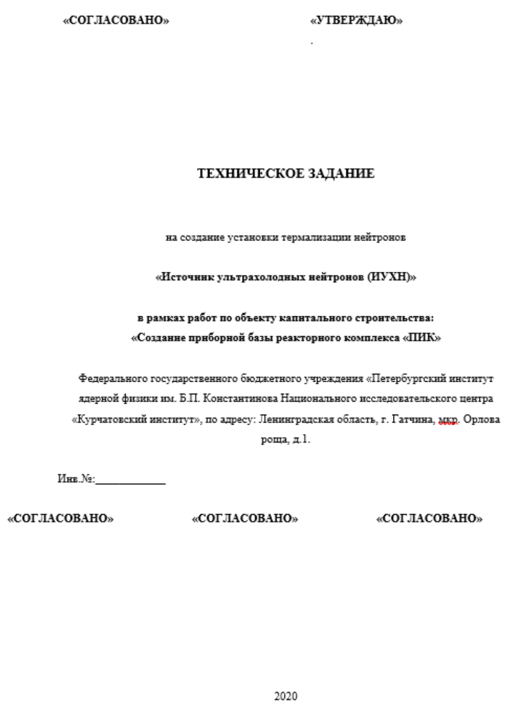
ЭСКИЗНЫЙ ПРОЕКТ. ЭТАП 1

2019

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Копир | Формат А4

Preliminary design
«Ultracold neutron source»
2020



«СОГЛАСОВАНО» «УТВЕРЖДАЮ»

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на создание установки термализации нейтронов

«Источник ультрахолодных нейтронов (ИУХН)»

в рамках работ по объекту капитального строительства:
«Создание приборной базы реакторного комплекса «ПИК»

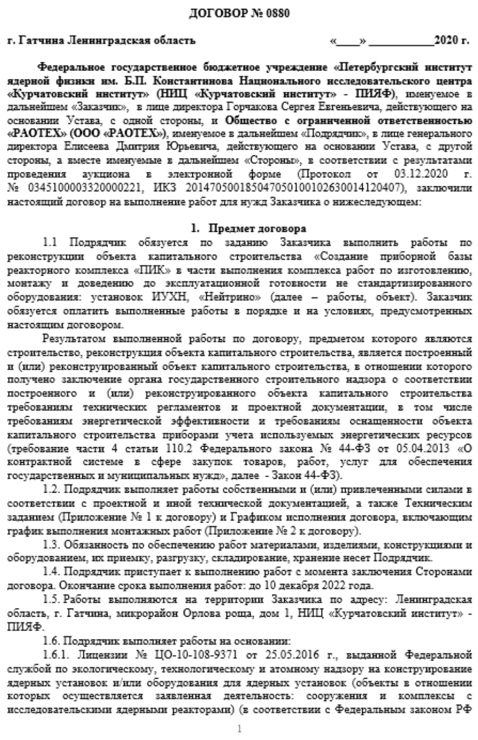
Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», по адресу: Ленинградская область, г. Гатчина, мкр. Орлова роща, д.1.

Инв.№:__________

«СОГЛАСОВАНО» «СОГЛАСОВАНО» «СОГЛАСОВАНО»

2020

Technical Design Specification
manufacturing of the «Ultracold neutron source»
2020



ДОГОВОР № 0880

г. Гатчина Ленинградская область «____» ____________2020 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ), именуемое в дальнейшем «Заказчик», в лице директора Горчакова Сергея Евгеньевича, действующего на основании Устава, с одной стороны, и **Общество с ограниченной ответственностью «РАОТЕХ» (ООО «РАОТЕХ»)**, именуемое в дальнейшем «Подрядчик», в лице генерального директора Елисеева Дмитрия Юрьевича, действующего на основании Устава, с другой стороны, а вместе именуемые в дальнейшем «Стороны», в соответствии с результатами проведения аукциона в электронной форме (Протокол от 03.12.2020 г. № 0345100003320000221, ИКЗ 201470500185047050100102630014120407), заключили настоящий договор на выполнение работ для нужд Заказчика о нижеследующем:

1. Предмет договора

1.1 Подрядчик обязуется по заданию Заказчика выполнить работы по реконструкции объекта капитального строительства «Создание приборной базы реакторного комплекса «ПИК» в части выполнения комплекса работ по изготовлению, монтажу и доведению до эксплуатационной готовности не стандартизированного оборудования: установок ИУХН, «Нейтрино» (далее – работы, объект). Заказчик обязуется оплатить выполненные работы в порядке и на условиях, предусмотренных настоящим договором.

Результатом выполненной работы по договору, предметом которого являются строительство, реконструкция объекта капитального строительства, является построенный и (или) реконструированный объект капитального строительства, в отношении которого получено заключение органа государственного строительного надзора о соответствии построенного и (или) реконструированного объекта капитального строительства требованиям технических регламентов и проектной документации, в том числе требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности объекта капитального строительства приборами учета используемых энергетических ресурсов (требование части 4 статьи 110.2 Федерального закона № 44-ФЗ от 05.04.2013 «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд», далее - Закон 44-ФЗ).

1.2. Подрядчик выполняет работы собственными и (или) привлеченными силами в соответствии с проектной и иной технической документацией, а также Техническим заданием (Приложение № 1 к договору) и Графиком исполнения договора, включающим график выполнения монтажных работ (Приложение № 2 к договору).

1.3. Обязанность по обеспечению работ материалами, изделиями, конструкциями и оборудованием, их приемку, разгрузку, складирование, хранение несет Подрядчик.

1.4. Подрядчик приступает к выполнению работ с момента заключения Сторонами договора. Окончание срока выполнения работ: до 10 декабря 2022 года.

1.5. Работы выполняются на территории Заказчика по адресу: Ленинградская область, г. Гатчина, микрорайон Орлова роща, дом 1, НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ.

1.6. Подрядчик выполняет работы на основании:

1.6.1. Лицензии № ЦО-10-108-9371 от 25.05.2016 г., выданной Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору на конструирование ядерных установок и/или оборудования для ядерных установок (объекты в отношении которых осуществляется заявленная деятельность: сооружения и комплексы с исследовательскими ядерными реакторами) (в соответствии с Федеральным законом РФ

1

Contract
manufacturing of the «Ultracold neutron source»
2020-2022

UCN SOURCE ROADMAP

Design
(2014-2020)

- Technological scheme development
- Definition of the main components and equipment
- Arrangement of the UCNS at PIK reactor
- Water/electricity/air supply

Manufacturing
(2020-2022)

- Making of design documentation
- Materials/equipment purchasing
- Manufacturing
  - By ourselves
  - By the contractors

Experimental part
(All the time...)

- Production of isotopically pure helium
- Liquefaction of helium through the heat exchanger wall
- Determining the amount of heat that can be removed from the UCN source chamber
- **Full scale tests**