

БНЗТ

Научная сессия ИЯФ СО РАН, 4-5 февраля 2021

Источник нейтронов состоит из:

- 1) Тандемного ускорителя заряженных частиц нового типа
- 2) Литиевой мишени

Стационарный пучок протонов или дейтронов:

Энергия: в диапазоне **0,6 - 2,3 МэВ** (обычно 1,8 - 2,1 МэВ)

Монохроматичность: 0,1 %

Стабильность: 0,1 %

Ток: от **0,3 до 10 мА** (обычно от 0,5 до 3 мА)

Стабильность: до 0,4 %

Диаметр: от **1 до 7 см.**

Источник нейтронов: мощный (до $2 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$) и яркий:

- Тепловых (с замедлителем из оргстекла)
- Эпитепловых (оргстекло, D_2O , MgF_2)
- Над-эпитепловых
- Моноэнергетических (кинематическая коллимация)
- Быстрых

Источник 478 кэВ фотонов (до 10^{12} с^{-1})



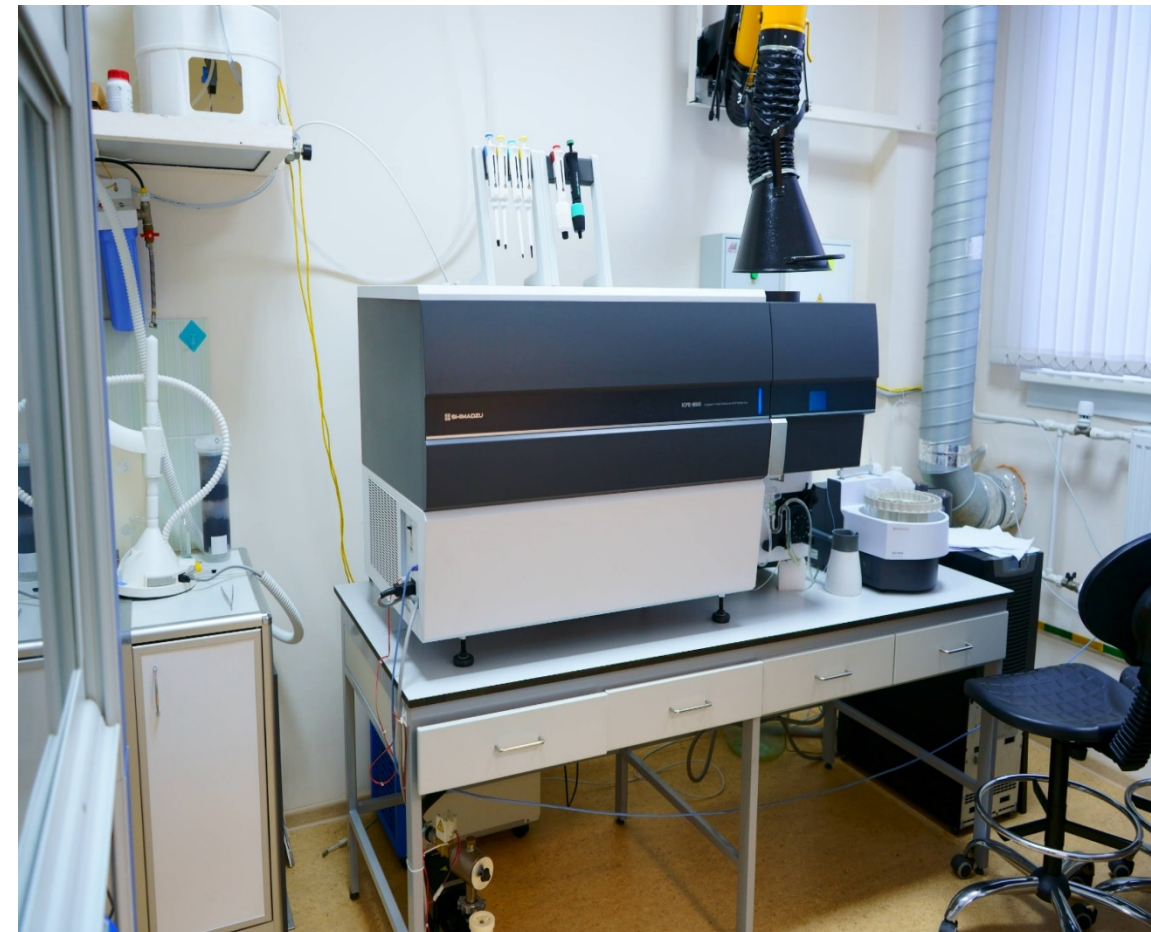
Бункер № 2, здание 18



Пультовая установки: комната 104, здание 18



Бункер № 3, здание 18

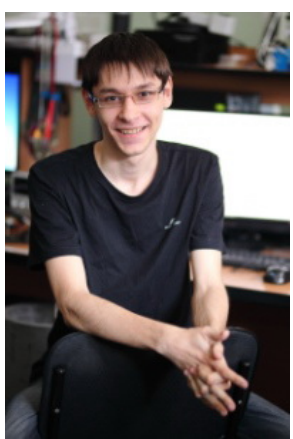
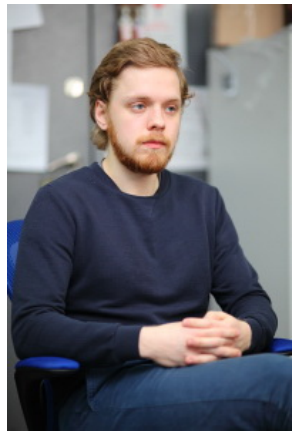
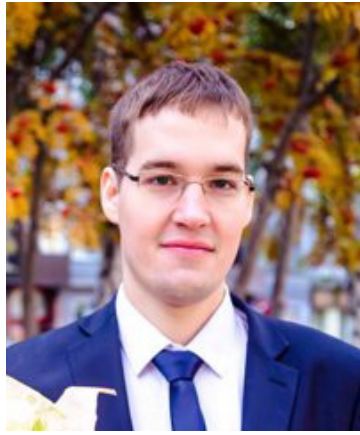


Комната 202, здание 18 - биологическая
Атомно-эмиссионный спектрометр ICPE-9820
(Shimadzu, Япония)

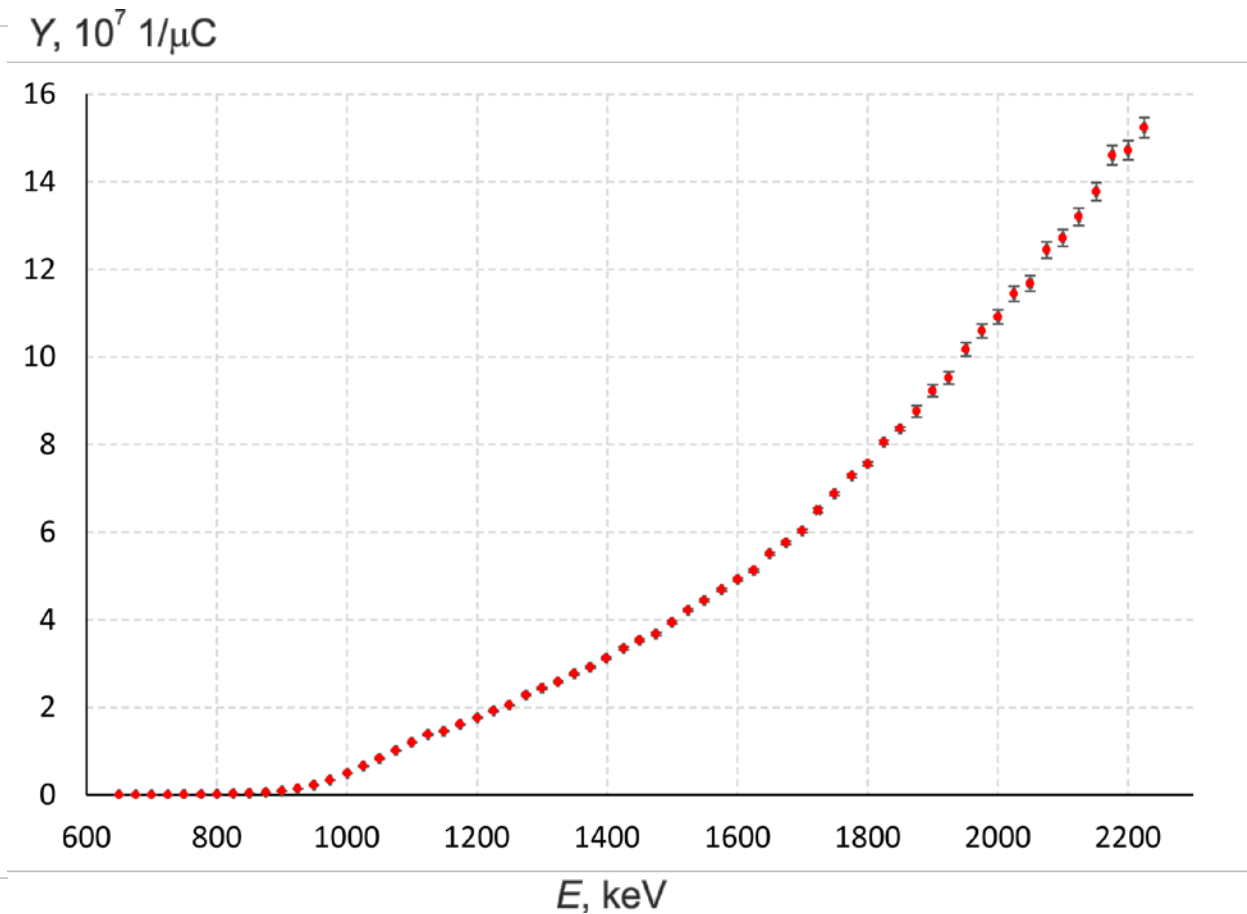
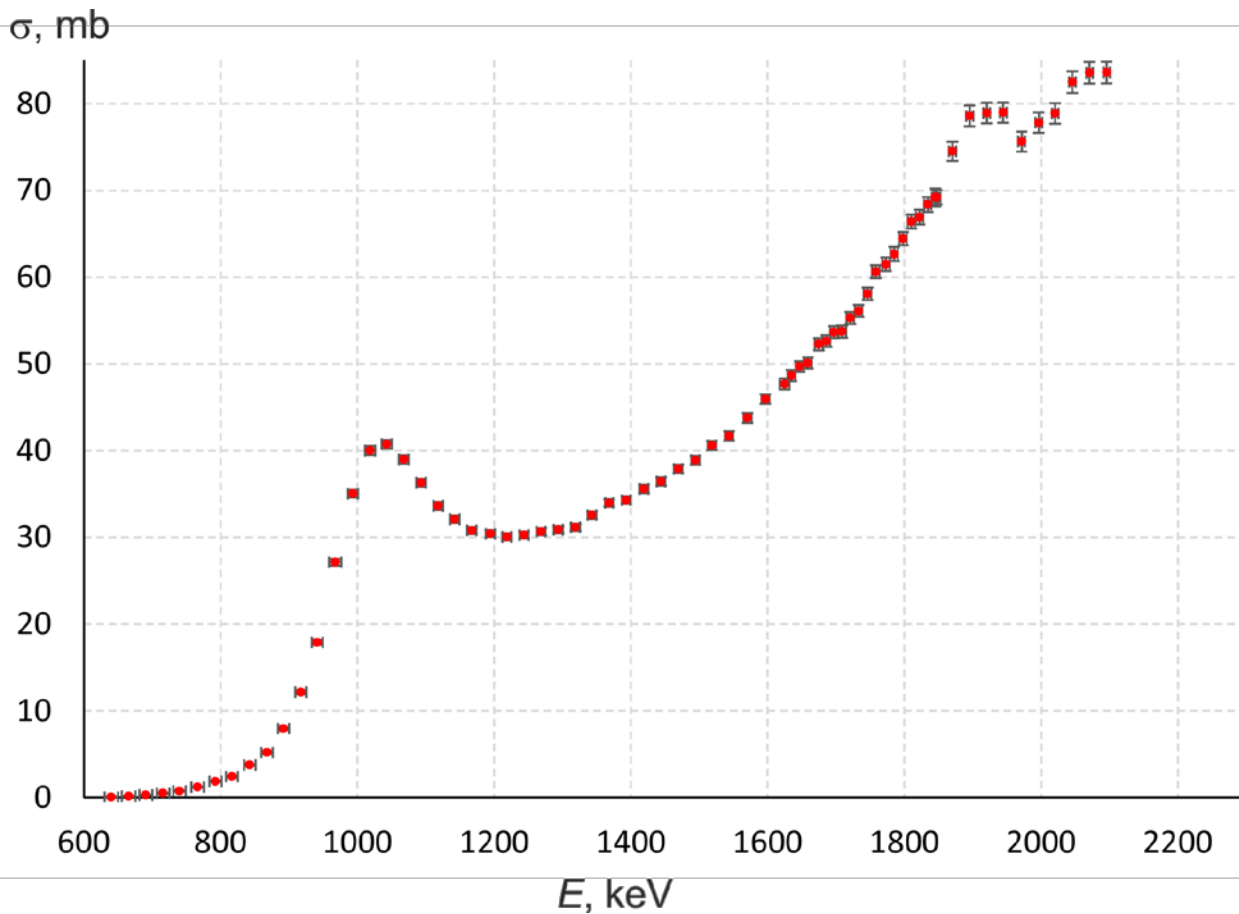


Комната 320, здание 20
Стенд напыления лития
Перчаточный бокс LABmaster pro (MBraun, Германия)
с металлографическим микроскопом





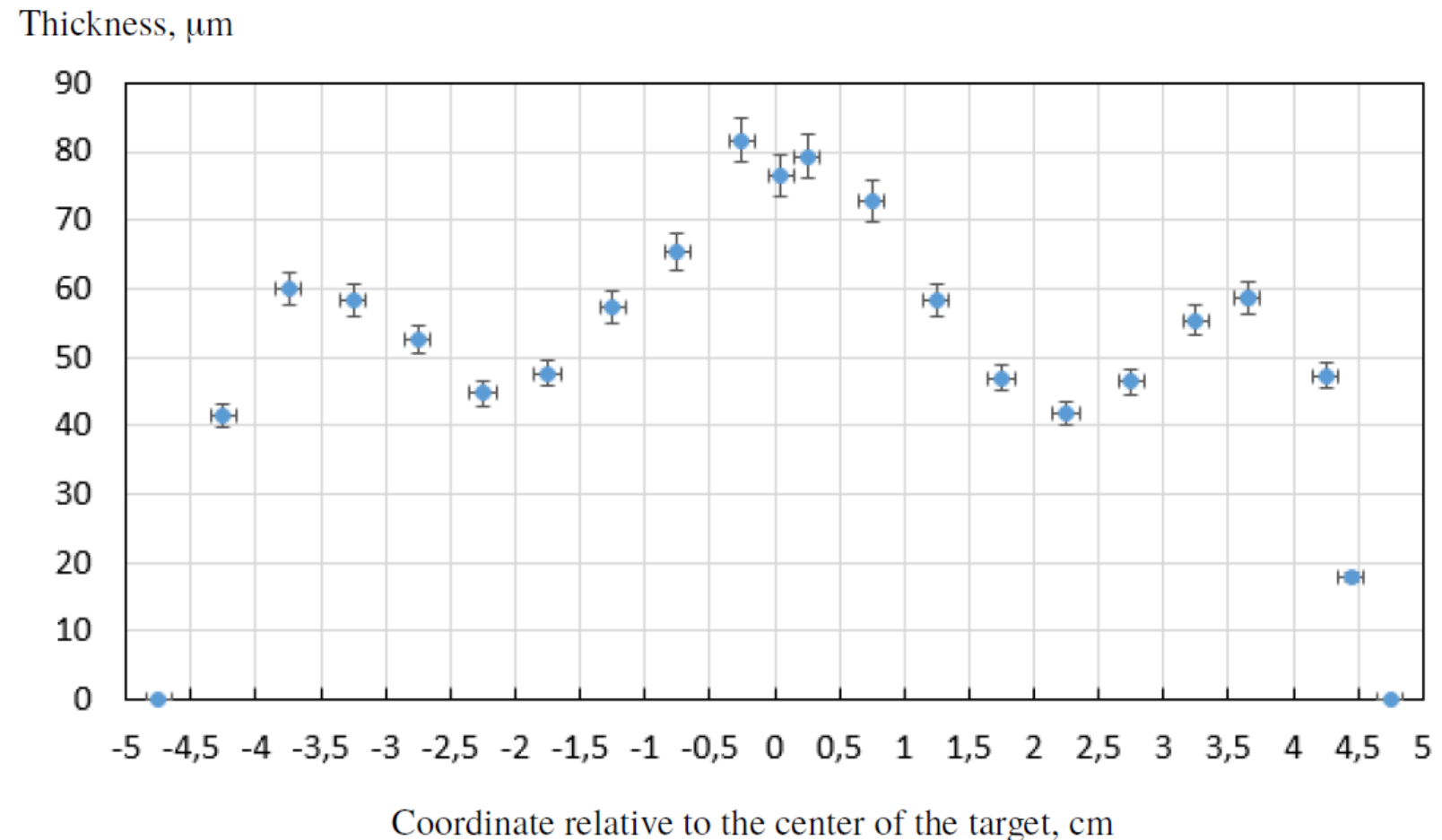
Измерено сечение реакции неупругого рассеяния протона на атомном ядре лития ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ и выход 478 кэВ фотонов из толстой литиевой мишени при энергии протонов от 0,65 до 2,225 МэВ с шагом до 12,5 кэВ.



Сечение измерено с точность и достоверностью, превышающей опубликованные и представленные в EXFOR

Зависимость выхода фотонов от энергии протонов измерена впервые в мире

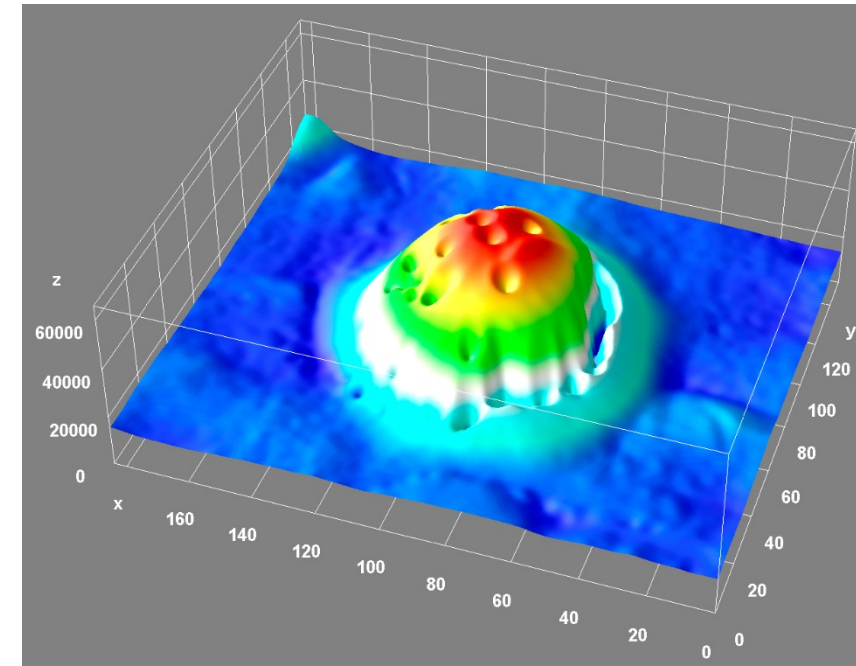
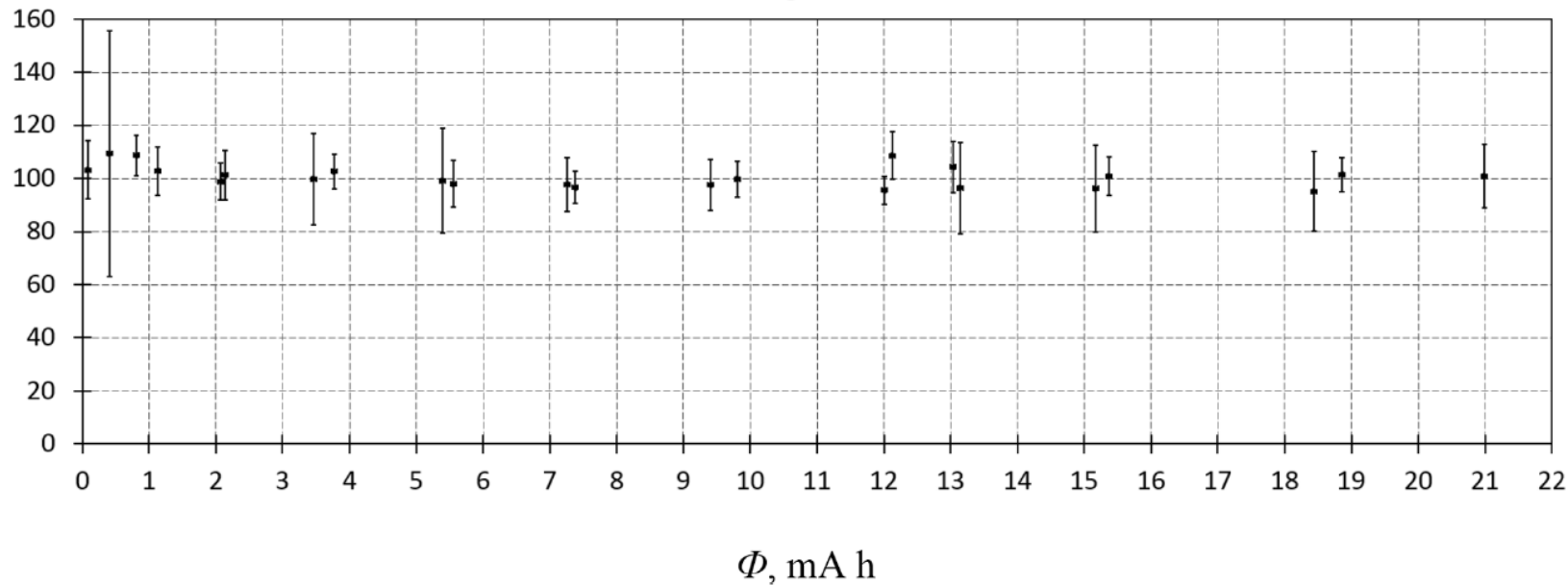
Предложен и реализован **метод неразрушающего *in situ* измерения** пространственного распределения **толщины литиевого слоя**, когда сравнивают интенсивность излучения 478 кэВ фотонов из исследуемого литиевого слоя и из толстого.
 Метод пригоден для измерения толщины лития менее 100 μm без генерации нейтронов.



Результат мирового значения, изменяющий сложившиеся представления, получен в понимании процессов, происходящих при имплантации протонов в металл, покрытый тонким слоем лития, и их влиянии на выход нейтронов. Полученные знания позволили **изготовить литиевую мишень с беспрецедентно длительным сроком эксплуатации без деградации выхода нейтронов и с чрезвычайно низким и допустимым уровнем загрязнения установки неизбежно образующемся радиоактивным изотопом бериллий-7.**

Технологию изготовления мишени защищают подачей заявки на патент практически во всех странах мира.

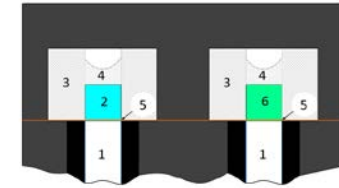
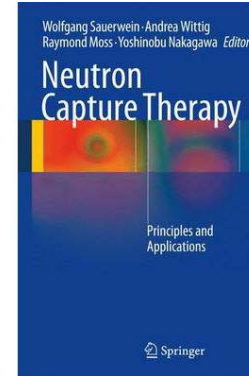
D , arb. units



Дозы в БНЗТ:

- Борная - $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$
- Азотная - $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$
- Быстрые нейтроны
- Гамма-излучение

“The first two dose components cannot be measured in principle”



Все три “неизмеряемые” дозы нами измерены:

“Борная” доза – малогабаритным детектором нейтронов с литьевым полистирольным сцинтиллятором, обогащенным бором.

“Азотная” доза + доза быстрых нейтронов – новым способом измерения дозы (положительное решение о выдаче патента 22.01.2021; статья в RR).

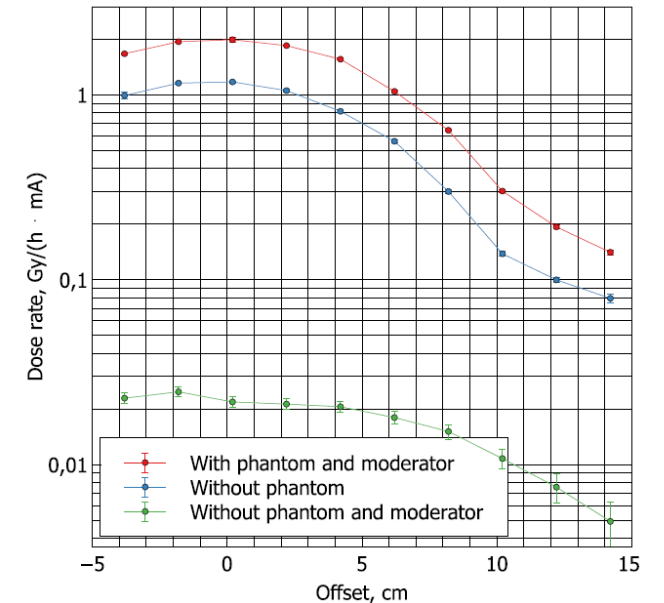
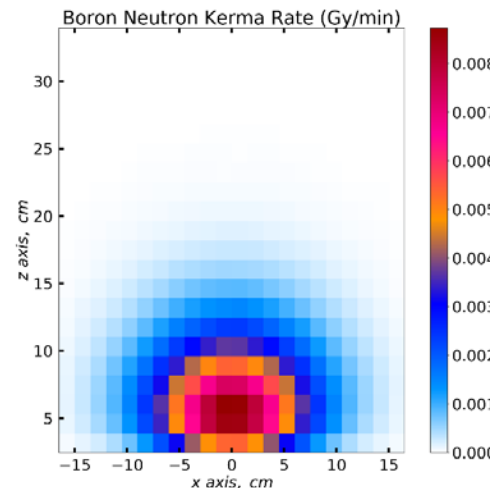


Figure 11. Dose rate versus distance to beam axis.

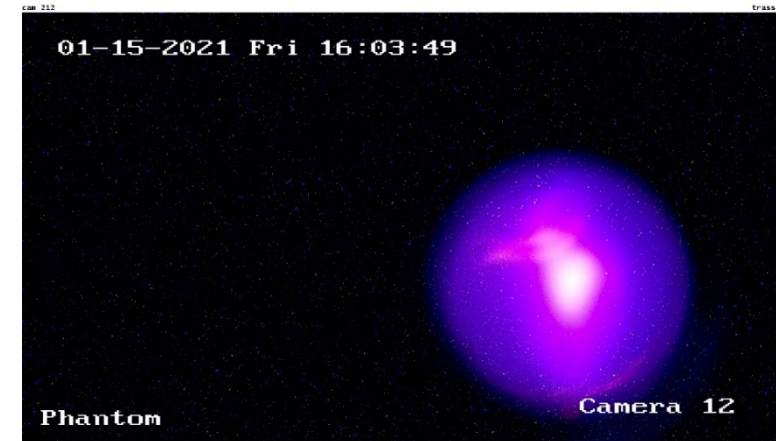
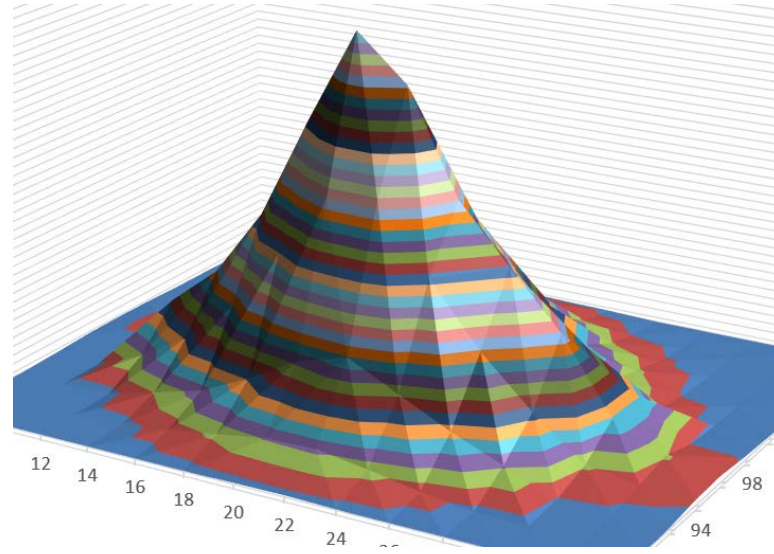
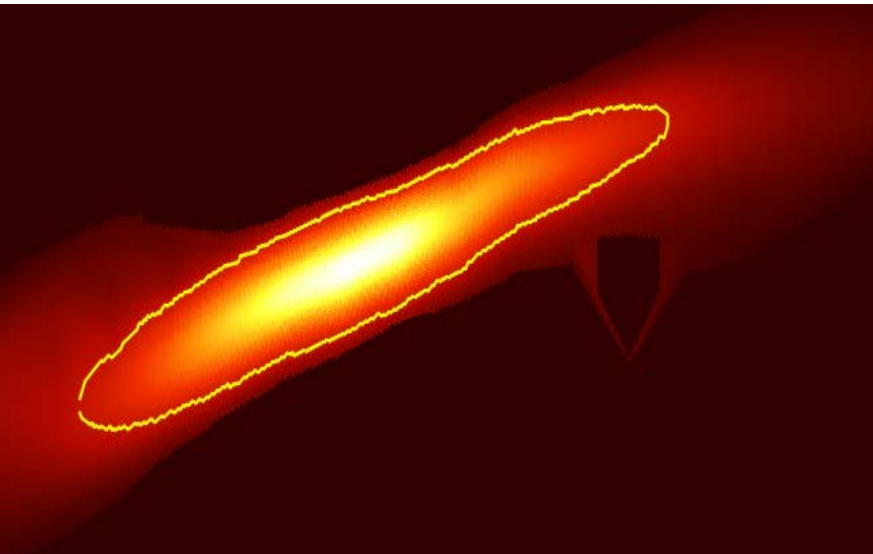
Установлено, что **пространственный заряд не влияет** на транспортировку пучка протонов от ускорителя до мишени.

Профиль пучка протонов измеряют и контролируют охлаждаемыми диафрагмами с термодарами, термодарами в мишени, по распространению границы плавления лития, по люминесценции лития на мишени и внутри обдирочной мишени – зрительной трубой через охлаждаемое металлическое зеркало.

Методом масс-спектропии **измерен ток пучка ионов аргона** – он в **2000 раз меньше** тока пучка протонов.

Достоверность измерения обеспечена регистрацией люминесценции литиевой мишени под действием пучка ионов.

С применением подвижной охлаждаемой диафрагмы и проволочного сканера OWS-30 (D-Pace, Канада) **измерены фазовые портреты пучка протонов** и сопутствующего **потока нейтралов**.



Пучок протонов

Диаметр 11 мм
 Расходимость $\pm 1,5$ мрад
 Температура 1,2 мрад

Поток нейтралов

Диаметр 13 мм
 Расходимость ± 2 мрад
 Размер пучка протонов в обдир. мишени 5 мм

Совместно с TAE Life Sciences (Калифорния, США) изготовлен, протестирован и отправлен в Neuboron Xiamen центр БНЗТ (Сямынь, провинция Фуцзянь, Китай) **первый коммерческий источник нейтронов** на основе VITA и литиевой мишени. Neuboron Xiamen центр БНЗТ – это первая клиника БНЗТ в Китае, одна из первых шести клиник БНЗТ в мире и первая потоковая клиника в мире.

01.03.2016 – принципиальная трехсторонняя договоренность.

15.09.2020 – отправка в Китай.

Институт способен изготовить источник нейтронов для клиники за 2 года.



Проведено успешное лечение спонтанных опухолей у пяти крупных домашних животных. Клинические случаи были:

1) кошка с опухолью в области слизистой левого носового хода (лимфома крупноклеточная высокой степени злокачественности), 2) кот с опухолью мягких тканей области носа и верхней губы (плоскоклеточная карцинома), 3) кошка с опухолью мягких тканей левого бедра, 4) собака с опухолью мягких тканей с тотальным поражением носовой полости и обструкцией носоглотки, 5) собака с опухолью мягких тканей со смещением носовой перегородки и обструкцией носоглотки.

После проведения БНЗТ у всех животных была отмечена положительная динамика в виде остановки роста и/или уменьшения размеров опухоли на протяжении периода наблюдения в течение шести недель с улучшением витальных функций. Летальности и поздних постлучевых осложнений отмечено не было.



26.02 Пушок



26.02 Сабрина



18.09 Кана



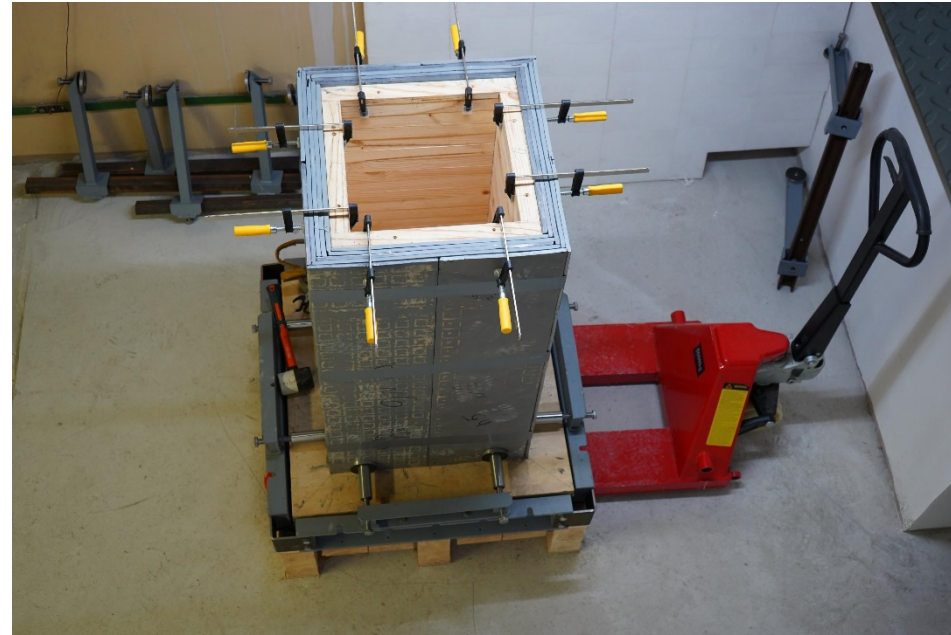
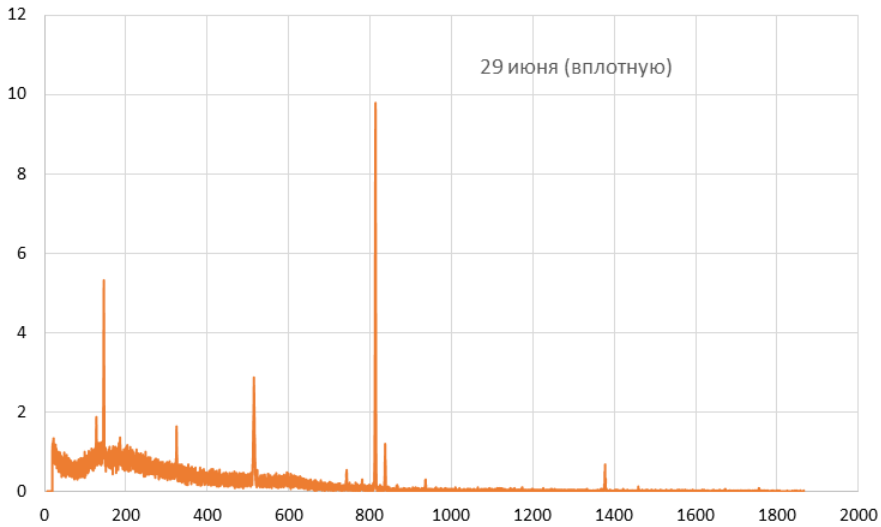
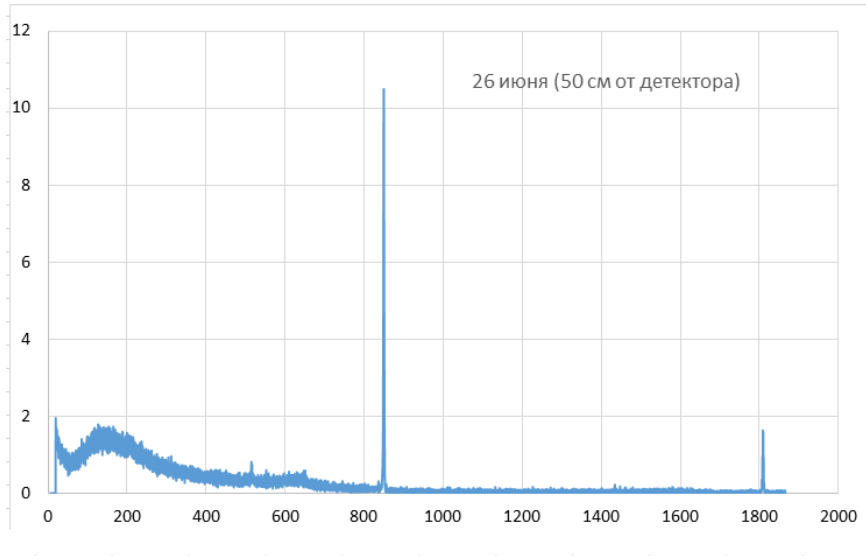
24.09 Селёдка



13.10 Дая

Генерация мощного потока быстрых нейтронов.

Изучена активация материалов ИТЭР и материалов, планируемых к использованию в экспериментах по изучению радиационной стойкости оптических кабелей ЦЕРН



1. **Грант РФФ** лаборатория мирового уровня (А.А. Иванов) – 2019-2022 (2025?)
2. **Грант РФФИ** поддержки аспирантов (Е.О. Соколова) – 2019-2022
3. **Грант РФФИ** поддержки аспирантов (Я.А. Колесников) – 2019-2022
4. **Грант Правительства НСО** (А.Н. Макаров) – 2019-2020
5. **Контракт с ТАС** на источник в Китай (А.А. Иванов) – 2017-2020
6. **Контракт с ТАС** на измерение спектра нейтронов (С.Ю. Таскаев) – 2020-2021

7. Предоставление услуги по Гранту РФФ (Сильников В.Н., ИХБиФМ) – 2019-2022
8. Предоставление услуги по Гранту РФФ (Веньямина А.Г., ИХБиФМ) – 2019-2022
9. Предоставление услуги по Гранту РФФ (Дианов Г.Л., НГУ) – 2019-2022

10. Уникальная научная установка «Тандем БНЗТ» - 2007-? ?

11. Сотрудничество с лаб. 10 для **ИТЭР** и для выполнения рабочего плана аспиранта
12. Сотрудничество с лаб. 3-2 для Центра ядерных исследований Саклэ (Франция) - **ЦЕРН**



Российский
научный фонд



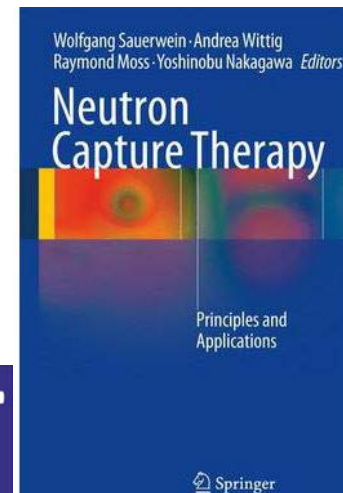
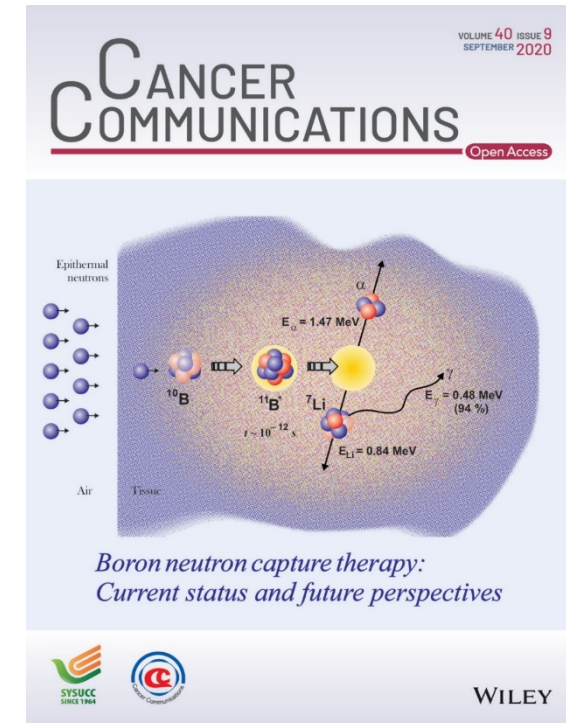


Российский
научный фонд

Итоги проверки:

Комиссия нарушений не выявила.

- В 2020 опубликовано **14 статей** в научных журналах, в том числе две в Q1, плюс **5 статей** в январе
- Написаны 2 главы в **IAEA TECDOC** про CANS и глава в книгу **Neutron Capture Therapy, 2nd Edition, Springer**
- Получены **2 патента** на изобретения, получено положительное решение на патент и поданы 2 заявки на международные патенты
- Представлены доклады на сессии ядерной физики ОФН РАН, ОУС СО РАН по медицинским наукам, БНЗТ митинге МАГАТЭ, ...
- Проведена **2-я Всероссийская Школа** молодых ученых по БНЗТ, в которой приняло участие 89 участников, из них: 9 российских и 1 зарубежный ученый-лектор, а также 53 российских молодых ученых
- Впервые прочитан в НГУ курс лекций **“Основы БНЗТ”**
- **Дмитрий Касатов** успешно провел предзащитный семинар и готов защитить диссертацию на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук
- **Тимофей Быков** защитил квалификационную работу магистра и поступил в аспирантуру ИЯФ СО РАН
- **Анна Шило** защитила квалификационную работу бакалавра и поступила в магистратуру Университета Вены (Австрия)

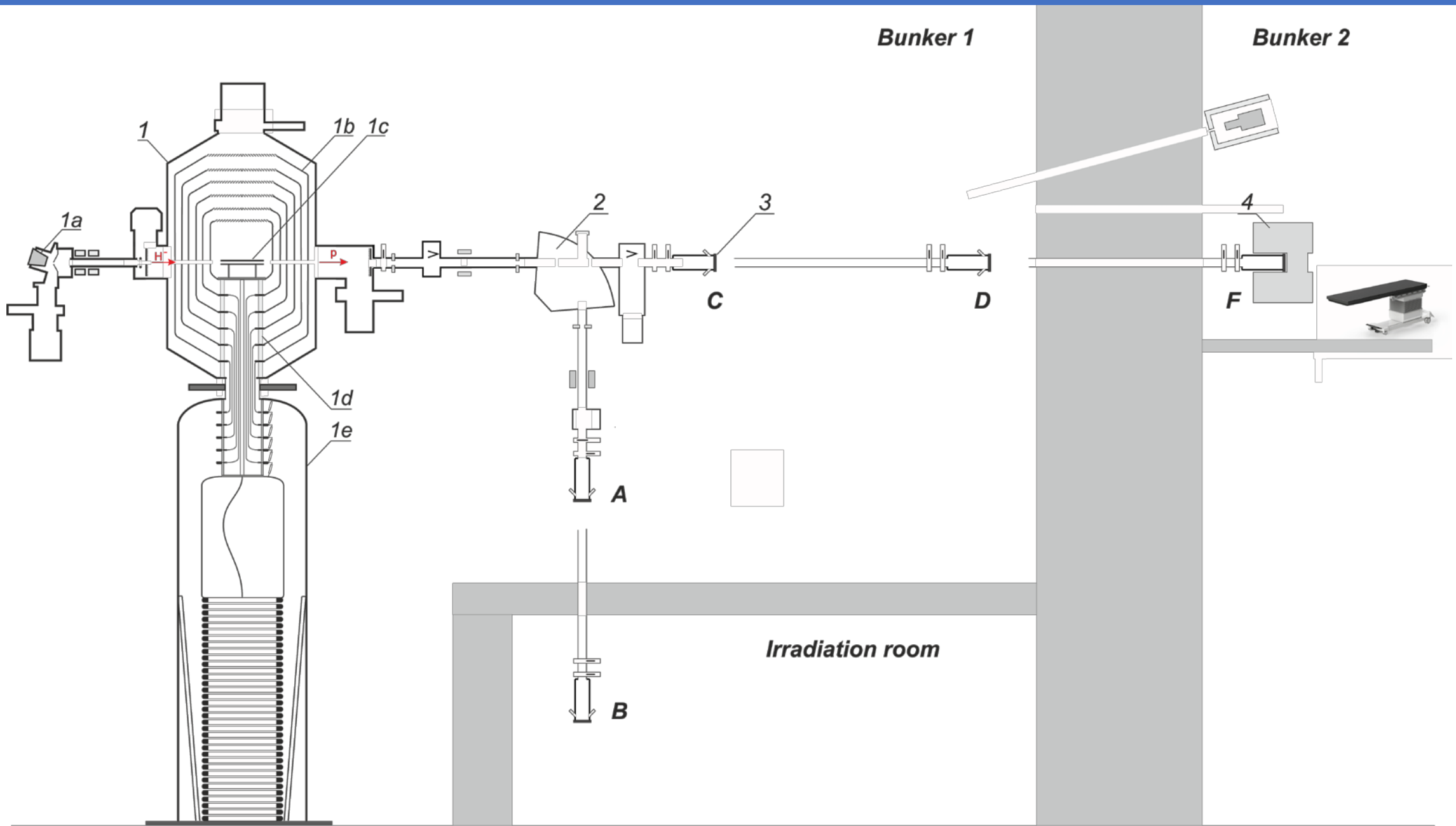


1. **Грант РНФ** лаборатория мирового уровня (А.А. Иванов) – 2019-2022 (2025?)
2. **Грант РФФИ** поддержки аспирантов (Е.О. Соколова) – 2019-2022
3. **Грант РФФИ** поддержки аспирантов (Я.А. Колесников) – 2019-2022
4. **Стипендия Президента РФ** (Д.А. Касатов) – 2021-2023
5. **Грант Президента РФ** (А.М. Кошкарев) – 2021-2022
6. **Пара контрактов с ТАСЕ ?** (С.Ю. Таскаев) – 2021
7. **Контракт с ТАСЕ** на измерение спектра нейтронов (С.Ю. Таскаев) – 2020-2021
8. **Гранты РНФ на новые идеи ?????**
9. Предоставление услуги по Гранту РНФ (Сильников В.Н., ИХБиФМ) – 2019-2022
10. Предоставление услуги по Гранту РНФ (Веньямина А.Г., ИХБиФМ) – 2019-2022
11. Предоставление услуги по Гранту РНФ (Дианов, НГУ) – 2019-2022
12. Уникальная научная установка «Тандем БНЗТ» - 2007-? ?
13. Сотрудничество с лаб. 10 для ИТЭР и для выполнения рабочего плана аспиранта
14. Сотрудничество с лаб. 3-2 для Центра ядерных исследований Саклэ (Франция) – **ЦЕРН**
15. Сотрудничество с **лаб. 3.3, Университетом Гренобля, IRSN (Кадараш), Университетом Павия и Национальной лабораторией Фраскати**



Российский
научный фонд





1. Подготовить установку к **терапии пациентов**
2. Долго генерировать быстрые нейтроны для **радиационного тестирования** оптических волокон для ЦЕРН (лаб. 3.2)
3. Реализовать предложенный **метод визуализации бора**, кардинально упрощающий тестирование новых препаратов адресной доставки бора
4. Улучшить **источник отрицательных ионов водорода** (ток, стабильность, надежность)
5. ...
6. ...
7. ...
8. ...
9. ...
10. ...

Д.А. Касатову защитить диссертацию

Е.О. Соколовой успешно провести предзащитный семинар

Я.А. Колесникову успешно провести предзащитный семинар

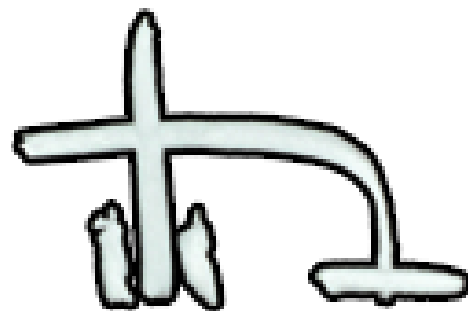
Надежды:

ОКС отремонтирует к. 106, здание 18 ASAP

Лаб. 3-2 отдаст в цех заказ на изготовление поворотного магнита для дейтронов

Цех выдаст электроды

Спасибо за внимание



Научная сессия ИЯФ СО РАН, 4-5 февраля 2021