



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Россия, 188300, Ленинградская область, г. Гатчина, Орлова роща



УСКОРИТЕЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

# Ускорительный отдел

Декабрь 2022 год





## Экспериментальный комплекс СЦ-1000

Параметры самого синхроциклотрона - энергия, интенсивность, временная структура пучка, а также созданный экспериментальный комплекс определяют его уникальность:

- **мюонный канал**, ( *$\mu$ SR-установка, единственная в РФ*)
- **$\pi$ -мезонный канал высоких энергий** - *единственный в РФ*
- **$\pi$ -мезонный канал низких энергий**, *единственный в РФ, обеспечивает  $P_{\mu}=28$  МэВ/с, остановки в газах*
- **ИРИС** – масс-сепараторный комплекс
- **ГНЕЙС** – нейтронный времяпролетный спектрометр - *единственный в РФ*
- **МАП** - Магнитный Анализатор Пролетный
- **комплекс радиационных испытаний** электронной компонентной базы на радиационную стойкость в протонных и нейтронных пучках - *единственный в РФ*

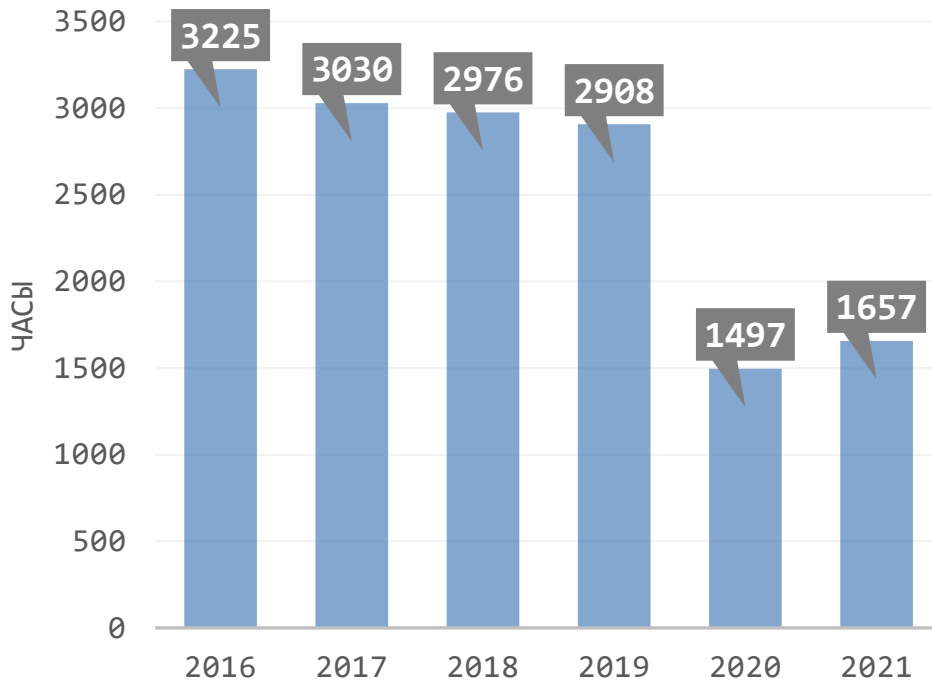


## Задачи, решаемые на СЦ-1000 НИЦ КИ ПИЯФ:

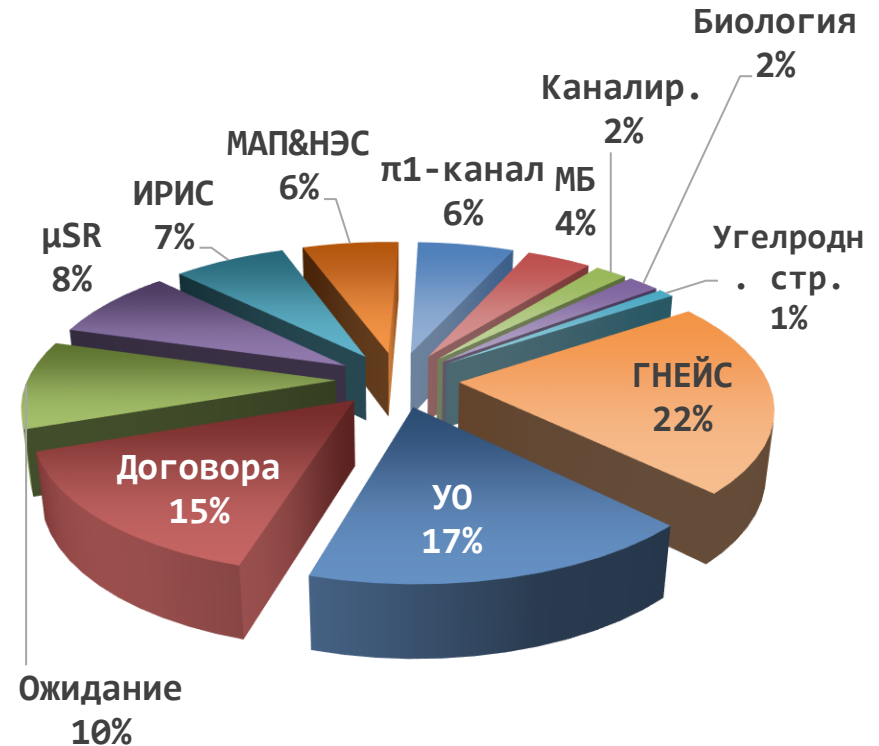
1. Фундаментальные и прикладные исследования в области ядерной физики ( $E=100 - 1000$  МэВ)
2. Нейтронная физика (ГНЕЙС)
3. Исследования в области физики твердого тела
4. Исследования и испытания ЭКБ на радиационную стойкость
5. Исследования в области ядерной медицины
6. Создание на базе Ц-80 центра онкоофтальмологии
7. Создание на базе Ц-80 центра по развитию методов наработки и новых методов выделения радионуклидов РИЦ-80
8. Тестирование регистрирующей аппаратуры для использования в исследованиях на отечественных и зарубежных ускорителях.



### Работа синхроциклотрона в период 2016-2021 г.г.



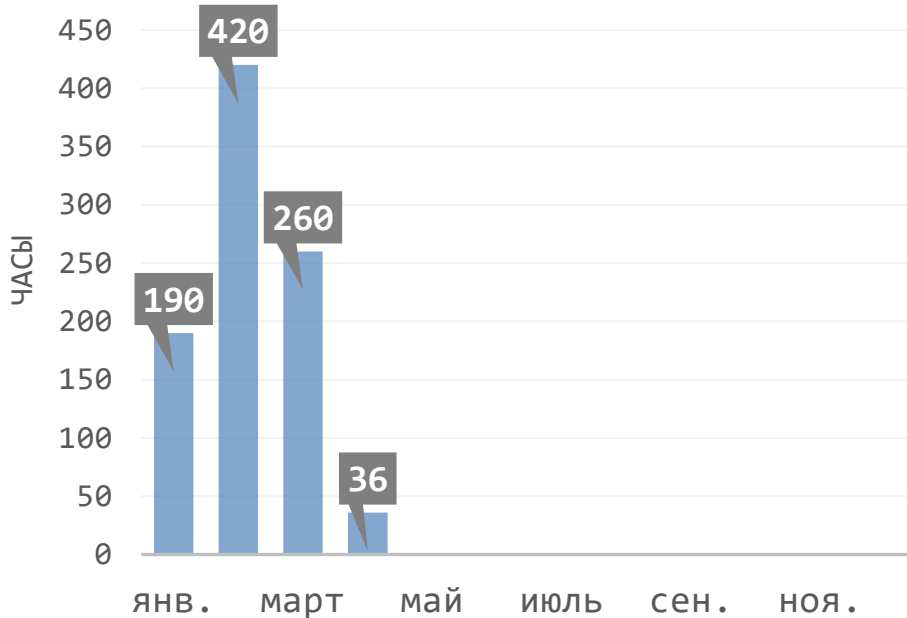
### Пользователи синхроциклотрона 2016-2021 гг.



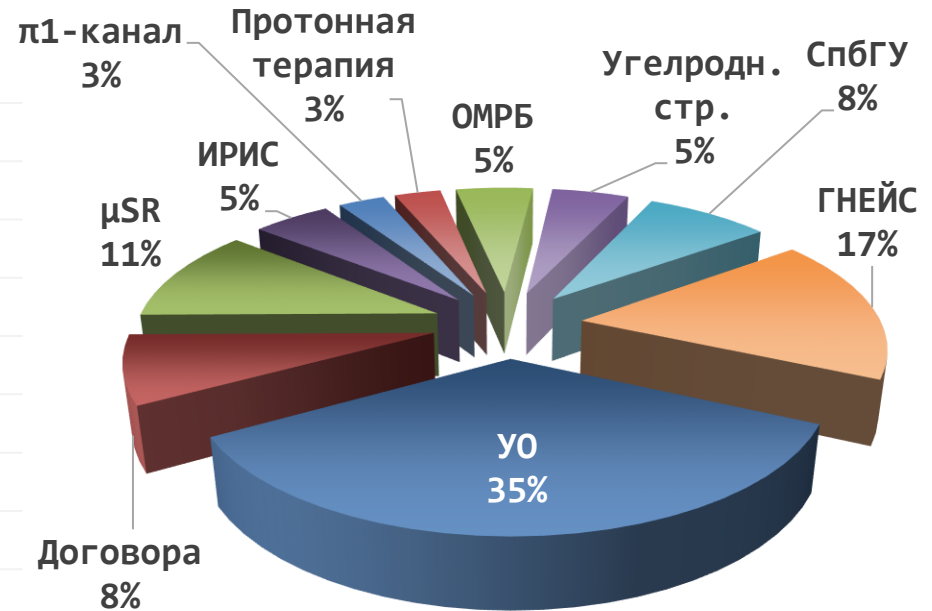


### Работа ускорителя СЦ-1000 в 2022 г.

906 часов за период 01.2022-04.2022 гг.



### СЦ-1000: основные пользователи 2022 г.





Ремонтные работы  
апрель-ноябрь 2022 г.





## Добровольцы ПИЯФ

ОФВЭ
Геталов А. Л.
Котов С.А.
Молканов П.Л.
Федоров Д.В.
Новинский Д.В.
Роцин Е.В.
Гуменюк В А

ОМР
Халиков А.И.
Пак Ф.А.

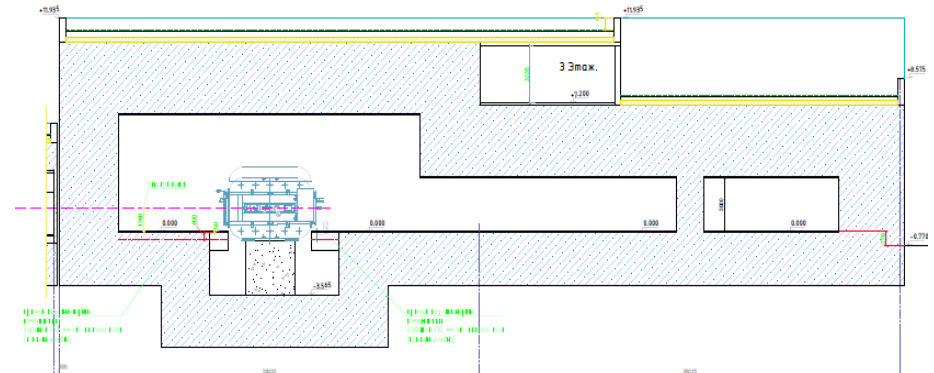
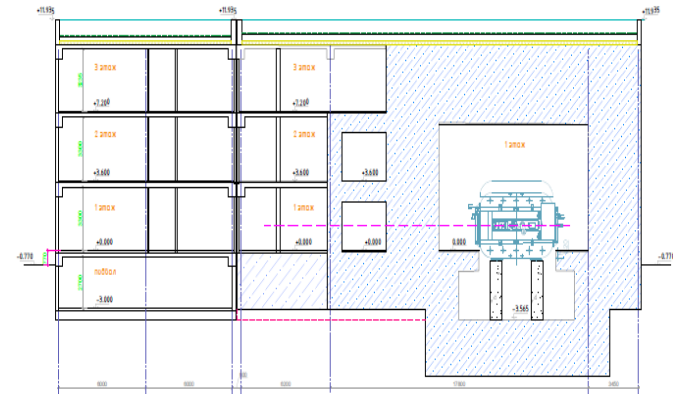
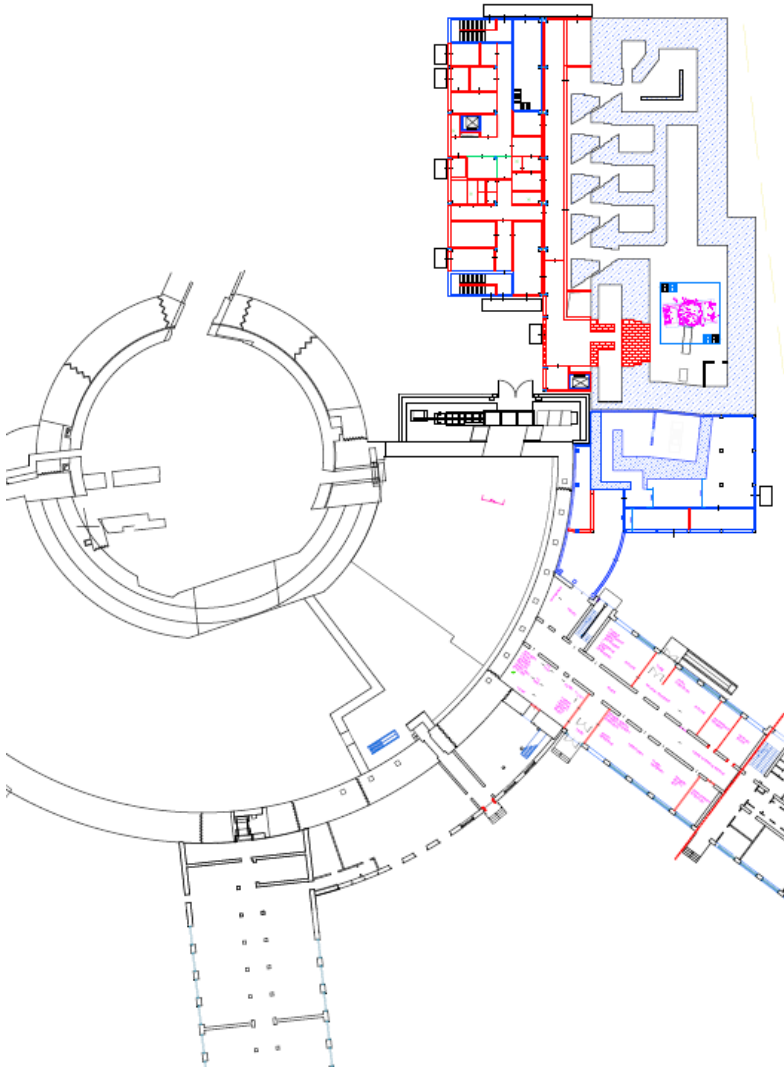
ОФТР
Коршунов А.С.

ИЦ «НТ» ОРЭФО
Дьячков М. В.

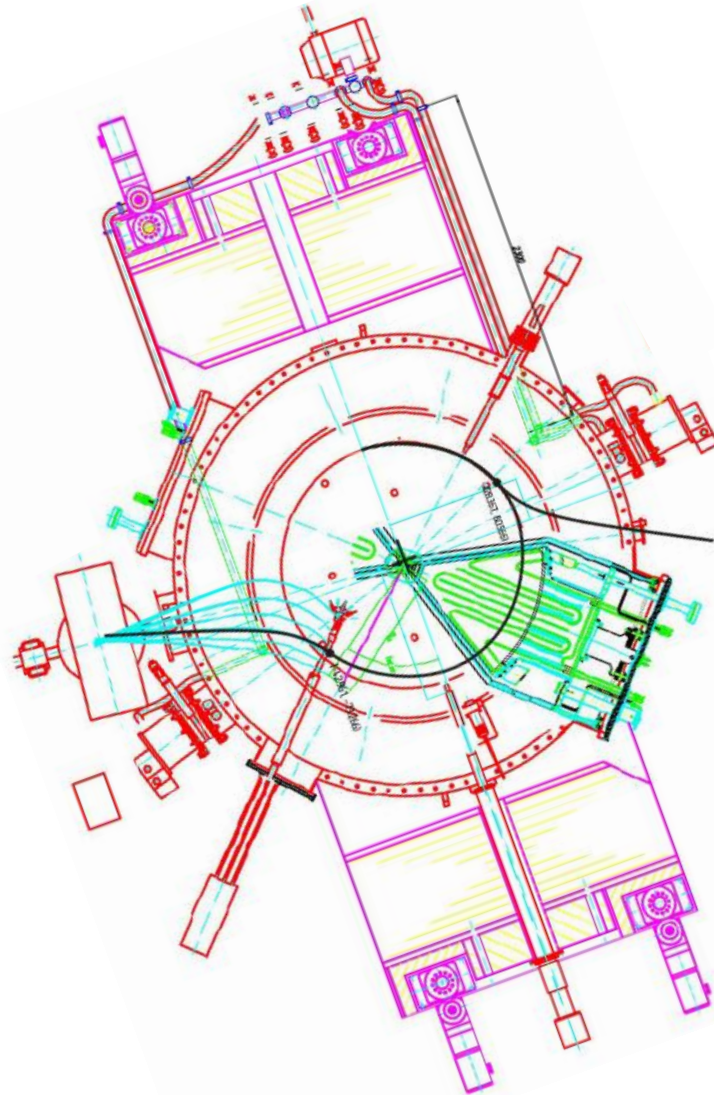
ОНИ
Гаврилов С. В.
Зябченко Г.В.
Усманов О.В.

СЭРЗС ЦЭР ПИК
Мирошниченко И.В.

ОГЭ УЭО
Маланичев А.В.
Мунтяну Э.В.

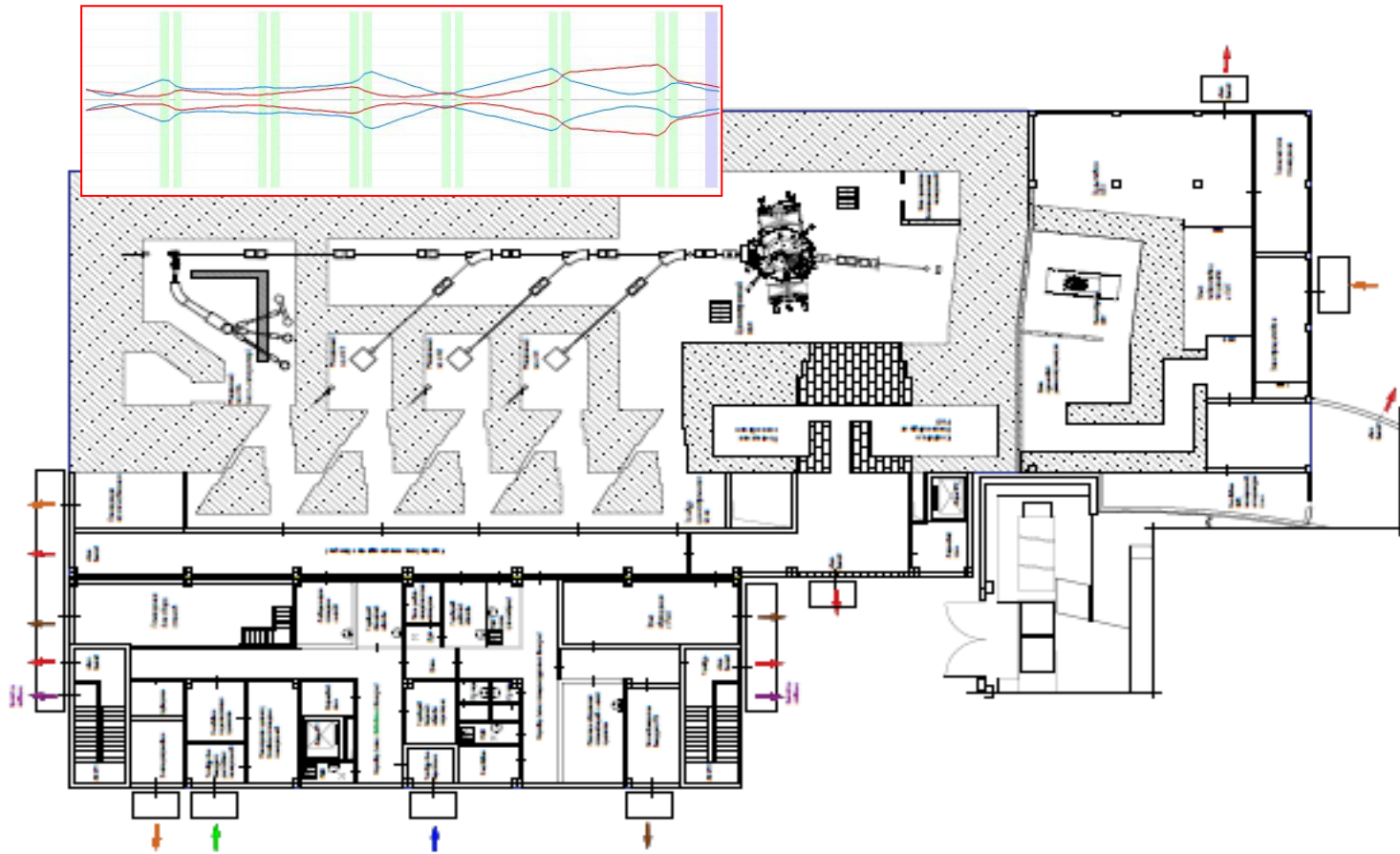






$E = 40-70$  МэВ  
ИЗОТОПЫ

$E = 70$  МэВ  
Онкоофтальмология





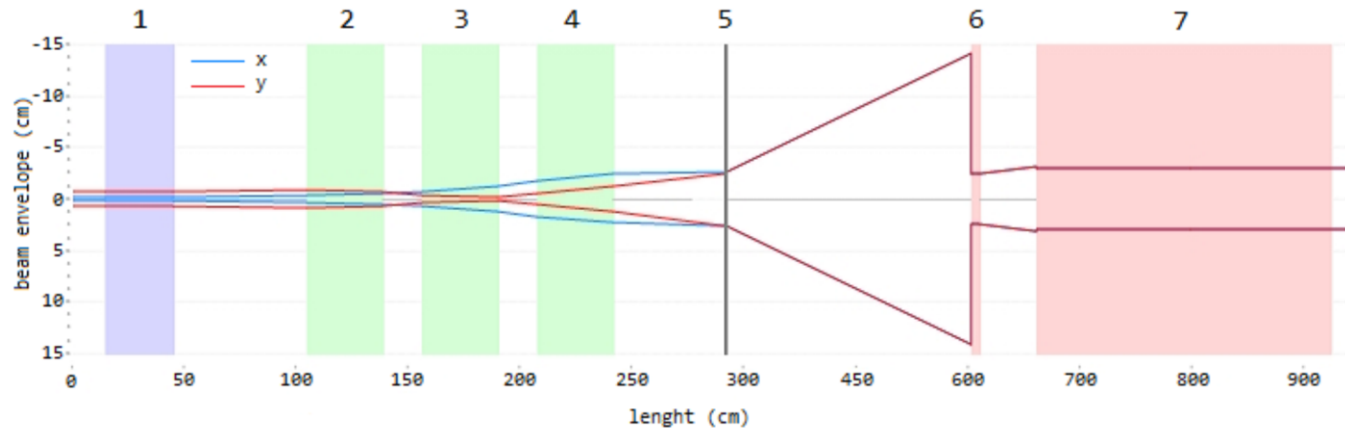
## Требования к протонному пучку:

- энергия протонного пучка должна быть не менее 60 МэВ.
- пробег протонов должен дополнительно регулироваться в диапазоне от 3 до 35 мм, перекрывая тем самым весь необходимый диапазон глубин облучения;
- средняя мощность дозы должна быть около 15 Гр/мин, что обеспечивает оптимальное время облучения не более 1 минуты. Курс протонного облучения внутриглазной меланомы проводится за 5 фракций в суммарной дозе 60-70 CoGyE (кобальт – эквивалент Грея);
- спад дозы от 90% до 50% и от 90% до 10% как на боковой, так и на задней (дистальной) границе дозного поля должен проходить на дистанции 1-2 и 2-4 мм соответственно;
- поперечный размер поля по 90% изодозе может лежать в диапазоне от 6 до 25 мм;
- форма 90% изодозы поперечного сечения сформированного поля должна быть строго индивидуальной и точно соответствовать проекции мишени на плоскость перпендикулярную оси протонного пучка;
- протяженность 90% плато модифицированного пика Брегга должна соответствовать протяженности проекции мишени на плоскость, вдоль оси пучка (диапазон от 5 до 35 мм), при этом доза на ткани глаза, лежащие на пути к мишени, должна быть минимизированна;
- точность абсолютных и относительных дозиметрических измерений должна быть не хуже  $\pm 5$  и  $\pm 2\%$  соответственно;



**Результаты по ОКО:** спроектирован и оптимизирован тракт доставки медицинского протонного пучка от циклотрона до помещения процедурной, удовлетворяющий специальным терапевтическим требованиям: энергия пучка 60-70 МэВ; диаметр пучка на входе в процедурную  $\approx 60$  мм; угол расходимости пучка - минимально возможный; однородность пучка в области  $\varnothing 60$  мм не менее 95%.

Для исследований был использован пучок  $E=70$  МэВ, выведенный из Ц-80. Он транспортируется с помощью программы **PROTON\_MK** до  $Ta$  фольги, на которой триплетом линз формируется размер пучка  $\sim \varnothing 30$  мм. Результаты прохождения протонов через  $Ta$  фольгу толщиной 300 мкм (*оптимум*), были получены с помощью программы **GEANT4**. Они являлись начальными условиями программы **PROTON\_MK** при дальнейшей транспортировке расходящегося протонного пучка в свободном пространстве  $\sim 3,7$  м до коллиматора. В итоге сформирован, согласно требованиям, пучок диаметром 60 мм, который входит в коллиматор диаметром 80 мм в защите под прямым углом к ней, при этом получен угол расходимости минимально возможный ( $\theta.3^\circ$ ), однородность в пучке 95%.





## Проблемы (задачи)

### Продление срока эксплуатации Радиационных Источников (2020 г.)

3.4. По результатам комплексного обследования комплекса СЦ сделан вывод о возможности продления срока его эксплуатации сверх назначенного на 10 лет – до 01.04.2030 при условии выполнения до 01.04.2024 ремонтно-восстановительных работ по приведению в работоспособное состояние строительных конструкций (Решение о возможности продления сверх назначенного срока эксплуатации комплекса синхроциклотрона в составе синхроциклотрона СЦ-1000, комплекса ИРИС и нейтронного спектрометра ГНЕЙС).



Состояние приборной базы РК

№ п/п	Наименование элемента (тип, марка)	Дата монтажа/год выпуска	Назначенный срок службы и/или наработка (лет, часов, кол. циклов)	Фактический срок службы и/или наработки (лет, часов, кол. циклов)
1.	Установка дозиметрическая термолюминесцентная ДВГ-02ТМ	2010	6	10
2.	Измеритель скорости счета УИМ2-2	1978	10	42
3.	Измеритель скорости счета УИМ2-2	1988	10	32
4.	Измеритель скорости счета УИМ2-2	2000	10	20
5.	Измеритель скорости счета УИМ2-2	1989	10	31
6.	Измеритель скорости счета УИМ2-2	1988	10	32
7.	Клинический дозиметр 27012	1980	Не указан	40
8.	Дозиметр ДРГ 01Т	2001	8	19
9.	Дозиметр нейтронов КДН-2	1989	10	31
10.	Радиометр-дозиметр МКС-01р	1988	Не установлен	32
11.	Радиометр-дозиметр МКС-01р	1988	Не установлен	32
12.	Радиометр для измерения бета-загрязнённости поверхностей КРБ-1	1987	5	33

№ п/п	Наименование мероприятия	Срок или периодичность проведения, не позднее/не реже
1	Обследование строительных конструкций здания №2, комплекса ИРИС и ангара ГНЕЙС	1 раз/год
2	Проведение ремонтно-восстановительных работ кирпичных стен здания №2	01.04.2024
4	Проведение ремонтно-восстановительных работ рулонной кровли здания №2	01.04.2024
6	Проведение ремонтно-восстановительных работ кирпичных стен комплекса ИРИС	01.04.2024
7	Проведение ремонтно-восстановительных работ железобетонных плит перекрытия и покрытия комплекса ИРИС	01.04.2024
8	Проведение ремонтно-восстановительных работ рулонной кровли комплекса ИРИС	01.04.2024
9	Проведение ремонтно-восстановительных работ металлических стен ангара ГНЕЙС	01.04.2024
10	Проведение ремонтно-восстановительных работ кровли перекрытия и покрытия ангара ГНЕЙС	01.04.2024
11	Техническое обслуживание и планово-предупредительный (восстановительный) ремонт систем и их элементов	В соответствии с графиками планово-предупредительных ремонтов
12	Проведение испытаний систем и их элементов	1 раз/год
13	Замена элементов системы радиационного контроля, исчерпавших свой ресурс	31.12.2022
14	Замена элементов системы вентиляции, наработка которых приближается к 30 годам	По мере приближения наработки к 30 годам
15	Замена масляных выключателей ВМГ-133 с приводами ПС-10	31.12.2022
16	Заполнение технологических проемов (проходок) в перекрытии над подвалом здания №2 материалами с пределом огнестойкости не менее EI30	31.12.2023
17	Дооснащение подвала экспериментального зала здания №2 установками автоматического пожаротушения	31.12.2023
18	Установка дополнительной двери в экспериментальный зал, оснащенной СКУД	31.12.2021 <sup>14</sup>



Стоимость товаров и услуг на 2022 г. согласно утвержденной Министерством науки и высшего образования РФ Программы работ по подготовке комплекса синхроциклотрона в составе синхроциклотрона СЦ-1000, комплекса ИРИС и нейтронного спектрометра ГНЕИС к продлению срока эксплуатации от 24.09.2020.

Перечень услуг и приобретений	Срок исполнения	Сметная стоимость, тыс. руб.
Электромонтажные работы по установке ячеек (32 шт) РП-2	31.12.2022	26 929,162
Электромонтажные работы по установке ячеек (10 шт) РП-6	31.12.2022	8 853,138
Демонтажные работы на РП-2, РП-6	31.12.2022	406,657
Пусконаладочные работы РП-2.	31.12.2022	6 135,178
Пусконаладочные работы. РП-6	31.12.2022	1 838,785
Замена приборной базы РК	31.12.2022	24 050,000
Подключение двери №13 к.2 к системе ограниченного доступа.	31.12.2021	

ВСЕГО

68 212,920



## Финансирование

Средние затраты на содержание и эксплуатацию комплекса в 2021 г.

Эксплуатация СЦ-1000	Стоимость
Эл.энергия СЦ-1000 (1500*4,3*3000)	19 350 000
Годовой ФОТ ускорительного отдела (1 634 020*12)	19 608 240

	2016 год	2017год	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год
(ОПР): 310 - "Обор." и 346 - "Матер."	1 703 200	1 819 235	2 144 037	1 529 311	2 165 602	2 046 898	2 700 000
Отдельные заявки (ОПР):	759 308	811 007	23 413	937 794	183 011	452 330	
(Центр):	0	0	17 175 701	5 040	30 467 500*	0	
ИТОГО:	2 462 508	2 630 242	19 343 151	2 472 145	32 816 113	2 499 228	2 700 000

В период 2016 ÷ 2021 г.г. приобретено материалов и оборудования на сумму **34 455 887** руб. т.е. **5 742 648 в год** при годовом лимите всего ОПР 4,0 ÷ 4,5 млн. рублей.

Для справки:

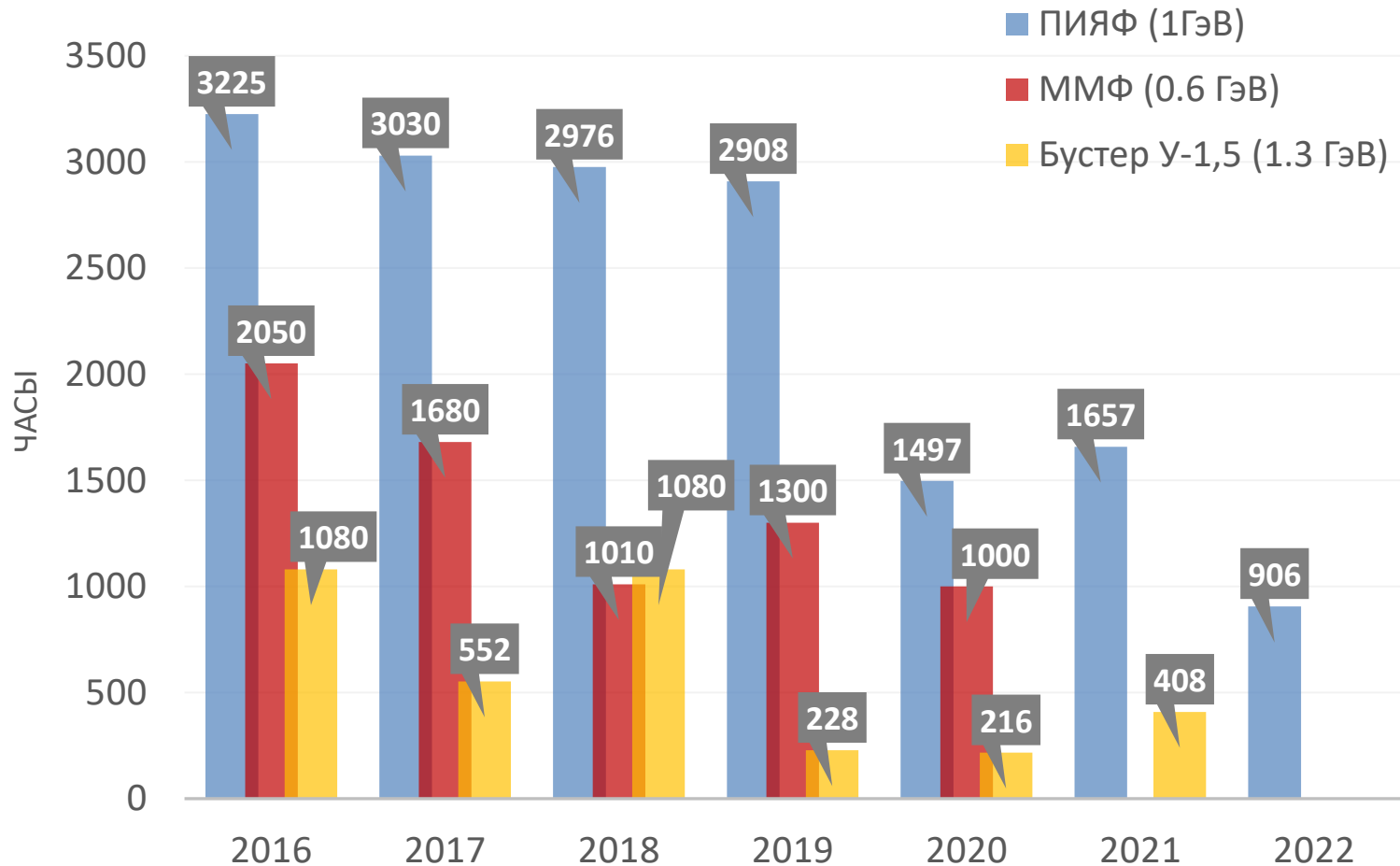
- До 2011 г. (30 руб./\$) 6 000 000 руб. (\$ 200 000)
- В 2021 г. (65,5 руб./\$) 2 499 228 руб. (\$ 38 156)

**Для эксплуатации необходимо по 8 000 000 руб./год на ближайшие 4-5 лет**





## Ускорительный ландшафт РФ





**Научная активность и продукция, полученная на ускорительном комплексе ПИЯФ в период 2017 ÷ 2019 гг.**

Публикации	Конференции	Доклады и сообщения	Патенты	Участие в Проектах	Комм. деятельность, руб.	Конкурс Курчатова	Регистрация программ
61	31	53	2	7	???	2	5

**Научная активность и продукция ускорительного отдела в период 2016 ÷ 2021 гг.**

Публикации различной значимости	Конференции, совещания	Доклады и сообщения	Патенты	Участие в Проектах	Комм. деятельность, руб.	Конкурс Курчатова и прем. Губ. ЛО	Регистрация программ
40	12	15	15	0	49 199 200	2+1	7

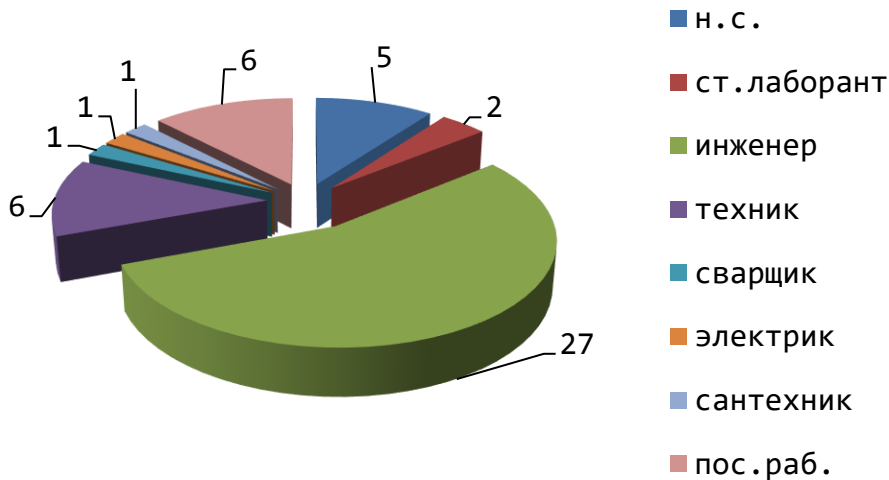
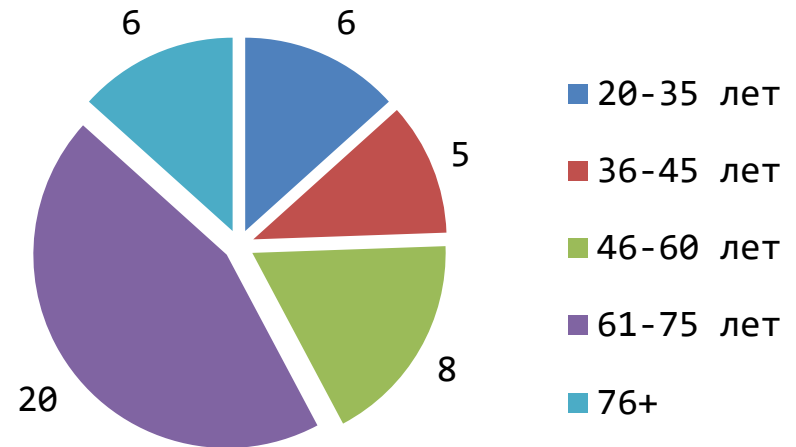


## Основные результаты научной деятельности Ускорительного Отдела за 2022 г.

- Публикации различной значимости – 9
- Участие в конференциях – 4
- Патенты – 2
- Регистрация программ – 2
- Прочитан аспирантам ПИЯФ курс лекций «Введение в ускорители».
- Руководство студентами (2 чел.), проходящими практику в ПИЯФ



## Сотрудники Ускорительного отдела



### Непосредственно эксплуатация:

ВТС – 3 (инж.+техн.+сварщик)

ЭТС – 4 (3 инж.+эл.монтер)

РТС – 6 инж.

СУ – 9 (2 нач.см.+3 опер.+4 техн.)

### Научная деятельность:

ЛОТУ – 5 сотрудников.

В период 2017 ÷ 2022 гг. принято на работу 8 молодых сотрудников до 35 лет.



## Планы Ускорительного Отдела на 2023 г.

- Работа синхроциклотрона  $\approx 3000$  часов.
- Коммерческая деятельность.
- Будут продолжены работы по реализации проектов «ИЗОТОП» и «ОКО».
- Будут продолжены численные исследования динамики пучка в камере циклотрона Ц-80.
- Будут продолжены численные исследования по поиску способов и средств для преодоления резонансных областей и их нежелательного воздействия на динамику пучка в изохронном циклотроне Ц-80.
- Будут продолжены работы по модернизации и расширению возможностей центра для проведения исследований и испытаний радиационной стойкости полупроводниковых компонентов радиотехники для авиации и космоса.



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Россия, 188300, Ленинградская область, г. Гатчина, Орлова роща



УСКОРИТЕЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

**Благодарю за внимание**



**С НОВЫМ  
ГОДОМ**





## Основные результаты деятельности Ускорительного Отдела за 2022 г.

- Прочитан аспирантам ПИЯФ курс лекций «Введение в ускорители».
- Декабрь (16-17) 2021. Митинг УО и ОПР: Концептуальный проект ПИЯФ "ИЗОТОП" и "ОКО". Разработка, проектирование, расчеты и оптимизация трактов транспортировки протонного пучка на Ц-80 к станциям изотопов. Исследования по реализации медицинского пучка, работающего параллельно основному.
- IX Международный научно-практический симпозиум «Безопасность космических полетов» г. Санкт-Петербург. Комплекс для радиационных испытаний электронной компонентной базы на синхроциклотроне СЦ-1000 НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ
- Продолжены и развиты работы по исследованию динамики частиц в Ц-80
- 25-я Всероссийская научно-техническая конференция «Радиационная стойкость электронных систем» - «Стойкость-2022», г. Лыткарино. Проект стенда для экспресс-облучения нейтронами и испытаний надежности работы электроники и других устройств авиакосмического назначения.
- Руководство студентами (2 чел.), проходящими практику в ПИЯФ: Нижегородский государственный Технический университет им. Р.Е. Алексеева - специальность 14.03.02 Ядерная физика и технологии
- Доклад на OPEN Science 2022
- Опубликовано 9 работ и получен 2 патента



## Публикации Ускорительного Отдела за 2022:

1. А.С. Воробьев, А.М. Гагарский, Е.М. Иванов, Г.Ф. Михеев, О.А. Щербаков, А.Е. Козюков, П.А. Чубунов, А.С. Бычков. Ускорительный комплекс НИЦ «Курчатовский Институт» - ПИЯФ: Возможность создания нового стенда для экспресс-облучения нейтронами и испытаний надежности работы электроники и других устройств авиакосмического назначения. Препринт 3064 НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, 2022, с. 3-23
2. Амерканов Д.А., Артамонов С.А., Иванов Е.М., Максимов В.И., Рябов Г.А., Тонких В.А. Разработка и оптимизационный расчет трактов протонных пучков в проекте ядерной медицины НИЦ «Курчатовский Институт» – ПИЯФ. «Основные научные достижения НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ за 2021 г», Гатчина, 2022, с. 90-91.
3. Д. А. Амерканов, Е. М. Иванов, Г. А. Рябов, В. А. Тонких. Алгоритм расчета и оптимизации трактов протонных пучков высокой энергии методом Монте-Карло. «Основные научные достижения НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ за 2021 г», Гатчина, 2022, с. 94.
4. Д. А. Амерканов, С. А. Артамонов, Е. М. Иванов, Г. А. Рябов, В. А. Тонких. Фокусирующие свойства магнитной структуры изохронного циклотрона с большим углом спиральности полюсных наконечников. «Основные научные достижения НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ за 2021 г», Гатчина, 2022, с. 95-96.





## Публикации Ускорительного Отдела 2022:

5. С. А. Артамонов, Е. М. Иванов, Л. А. Сухоруков. Статус ускорительного отдела в 2021 г. «Основные научные достижения НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ за 2021 г», Гатчина, 2022, с. 113-114.
6. Д.А. Амерканов<sup>1</sup>, А.С. Воробьев<sup>1</sup>, А.М. Гагарский<sup>1</sup>, Е.М. Иванов<sup>1</sup>, Г.Ф. Михеев<sup>1</sup>, О.А. Щербаков<sup>1</sup>, А.Е. Козюков<sup>2</sup>, П.А. Чубунов<sup>2</sup>, А.С. Бычков<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ, <sup>2</sup> ОАО «ОРКК»–«НИИКП», Москва. Проект стенда для экспресс-облучения нейтронами и испытаний надежности работы электроники и других устройств авиакосмического назначения. Радиационная стойкость электронных систем, «СТОЙКОСТЬ-2022», Научно - технический сборник, выпуск 25, М., 2022, с. 58-59
7. V. R. Shaginyan, A. Z. Msezane, S. A. Artamonov, G. S. Japaridze and Y. S. Leevik. Strongly Correlated Quantum Spin Liquids versus Heavy Fermion Metals: A Review. *Materials* 2022, 15, 3901. <https://doi.org/10.3390/ma15113901>
8. Иванов Е.М., Клёнов Г.И., Максимов В.И., Хорошков В.С., Черных А.Н. Перспективы развития протонной терапии в России // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2022. Т. 67. № 3. С. 41–46. DOI:10.33266/1024-6177-2022-67-3-41-46
9. Д.А. Амерканов, С.А. Артамонов, Е.М. Иванов, В.А. Тонких. Моделирование трактов транспортировки протонных пучков в проекте ядерной медицины в НИЦ КИ – ПИЯФ. IX Всероссийский с международным участием Молодежный научный форум, Россия, Гатчина, 16 – 18 ноября 2022, *Open Science* – 2022, в печати



## Патенты за 2022 г.

1. **Иванов Е.М., Михеев Г.Ф.** Получено положительное решение РОСПАТЕНТА от 01 декабря 2022 года о выдаче Патента по Заявке № 2022109815 А от 11.04.2022 г. **«Способ монохроматизации энергии протонного пучка синхроциклотрона и устройство для его осуществления».**
2. **Иванов Е.М., Михеев Г.Ф.** Подана в РОСПАТЕНТ заявка на изобретение, регистрационный номер № 2022128302 от 31 октября 2022 г. **«Способ получения нейтронного пучка на синхроциклотроне и устройство для его осуществления».**

## Регистрации программ для ЭВМ

“Программа расчёта оптики пучков в изохронных циклотронах”

“Программа расчёта и оптимизации трактов пучков высокой энергии методом Монте-Карло”