

**«Плазменный источник ионов с холодным полым катодом»
«МИГ» - многоцелевой источник гелия**

Работа с пучком He^+ на ЛУТИ в 2025 году

Мончинский В.А.

Левтеров К.А.

Мялковский В.В.

Головенский Б.В.



golovenskiy@jinr.ru, +7(964)769-34-98



Для подтверждения заявленных параметров линака ЛУТИ появилась потребность в моноионном источнике однозарядного гелия большой интенсивности ($\sim 2 \cdot 10^{10}$). В то же время основная цель в создании такого источника состояла в его применении при запуске Бустера проекта NICA. Проблемы возникающие при первом запуске ускорителя, благодаря большой интенсивности пучка и составе пучка (100% He⁺) могут быть решены быстрее. Были начаты работы по созданию компактного и экономичного (по расходу газа) плазменного источника однозарядных ионов гелия с холодным полым катодом и магнитным сжатием плазмы (Ion source with a cold hollow cathode and magnetic plasma compression). В качестве прототипа был выбран источник протонов с холодным магнетронным катодом и магнитным сжатием плазмы [1]. В настоящее время такой источник создан и проходит эксплуатационные испытания. Источник представляет собой систему электродов и постоянных магнитов, размещенных в вакуумной камере с импульсным напуском рабочего газа.

[1] Источник ионов водорода с холодным магнетронным катодом и магнитным сжатием плазмы, Л.П. Вересов, О.Л. Вересов, А.Ф. Чачаков, Журнал технической физики, 2006, том 76, вып. 1, С. 132-135.

Источник представляет собой систему электродов и постоянных магнитов, размещенных в вакуумной камере с импульсным напуском рабочего газа.

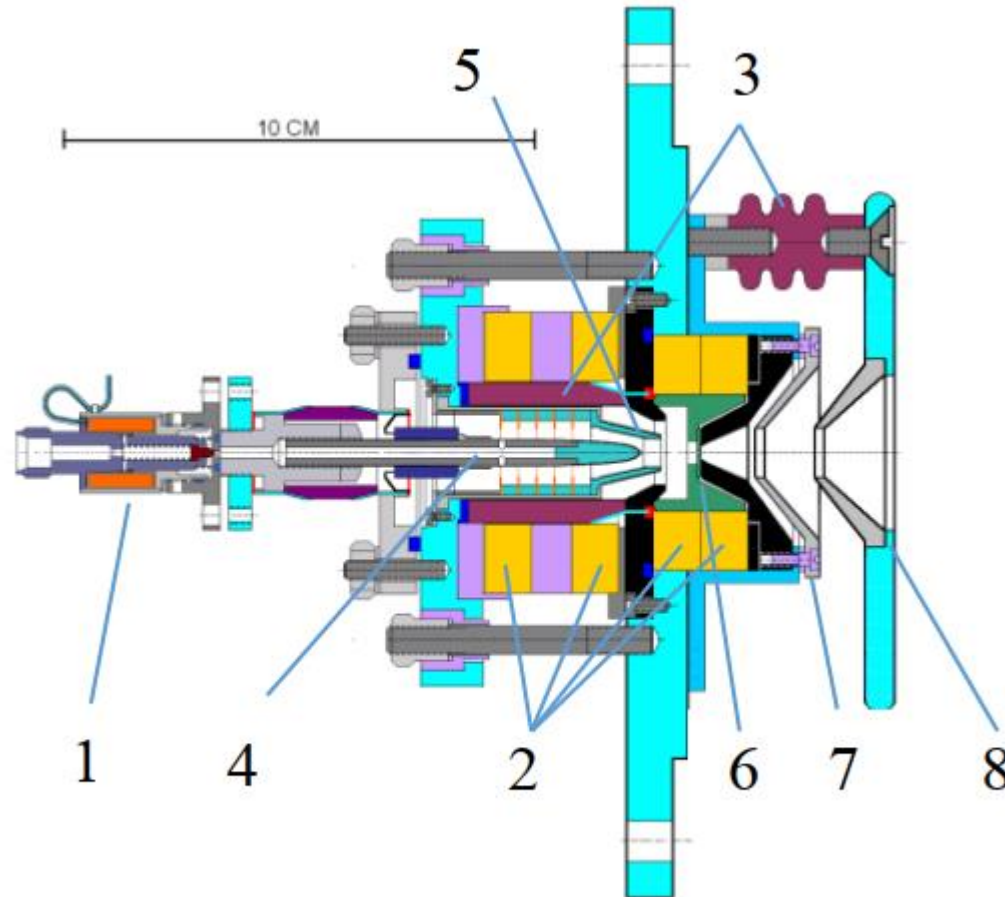


Рис.1. Конструкция плазменного источника.

1 - импульсный клапан напуска газа, 2 - кольцевые магниты NdFeB, 3 - керамический изолятор, 4 - анод магнетрона, 5 - катод магнетрона, 6 - анод, 7 - эмиссионный электрод, 8 - вытягивающий электрод.

Плазменная система состоит из основного разряда с полым катодом и вспомогательного обращенного магнетрона, играющего роль поджига основного разряда. Извлечение ионов из плазмы осуществляется подачей на вытягивающий электрод импульсного напряжения до -40 кВ. Благодаря использованию холодного катода и постоянных кольцевых магнитов нет необходимости в источниках питания накала катода и электромагнита.

В процессе создания источника были разработаны и изготовлены:

1. Стенд для испытаний источника ионов.
2. Времяпролетный анализатор (масс-спектрометр).
3. Модулятор поджига магнетронного разряда и разряда с полым катодом со схемой диагностики разрядов.
4. Модулятор газового клапана, который позволил получить длительность импульса открытия ~ 150 мкс.
5. Импульсный трансформатор вытягивающего напряжения до 40 кВ с возможностью регулировки длительности ионного пучка в пределах 3 - 15 мкс.
6. Система синхронизации и запусков на 8 каналов.

При наладке и выборе оптимальных режимов работы источника:

- Проведена настройка сверхкороткого импульсного клапана для напуска газа в плазменный объем источника, который снизил нагрузку на вакуумную систему откачки и позволил добиться нужного давления в плазменной камере для поджига тлеющих разрядов.
- Проведен подбор апертуры электрода экстракции ионов с плазменной оболочки.
- Разработаны конструкторские решения для сокращения примесей в зоне разрядов.
- Проведен поиск оптимальных режимов работы источника (рабочее давление, рабочие токи) для увеличения стабильности пучка.
- Проведено трехмерное компьютерное моделирование распределения потенциалов системы электродов, расчет магнитного поля на оси разрядной камеры, выбор эмиссионной модели источника частиц и расчет траекторий заряженных частиц в электромагнитных полях

Эмиссионная способность источника, при токе основного разряда ~ 10 А, составляет около 30 мА He⁺. Доля углеводородов, азота и кислорода снижается путем тренировки источника. В процессе улучшения параметров источника достигнута доля He⁺ 90% и суммарно 10 % доля примесей, среди которых C⁺, N⁺ и O⁺.

Источник ионов был установлен и запущен на линейном ускорителе ЛУТИ в 2020 году. Ток пучка однозарядного гелия на выходе ЛУТИ достиг 6,5 мА при токе на входе в RFQ ~ 15 мА.

Источник однозарядного гелия показал хорошую стабильность, легко настраивается и быстро достигает рабочих параметров.

Также получены результаты работы источника с пучками водорода, дейтерия и аргона, метана, двуокиси углерода на стенде.

С помощью источника однозарядного гелия проведен первый запуск Бустера комплекса NICA от линейного ускорителя ЛУТИ.

Плазменный источник на испытательном стенде

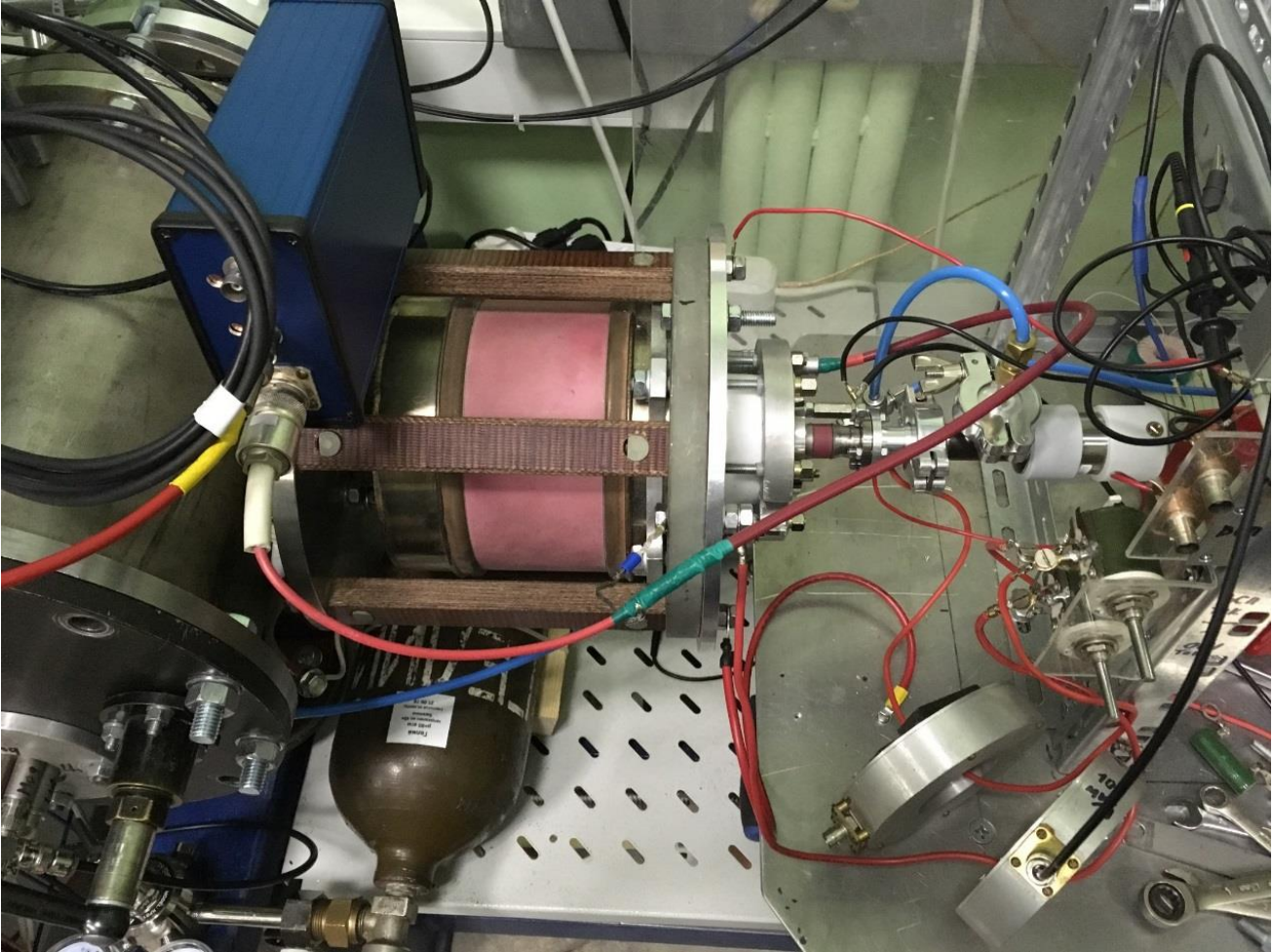
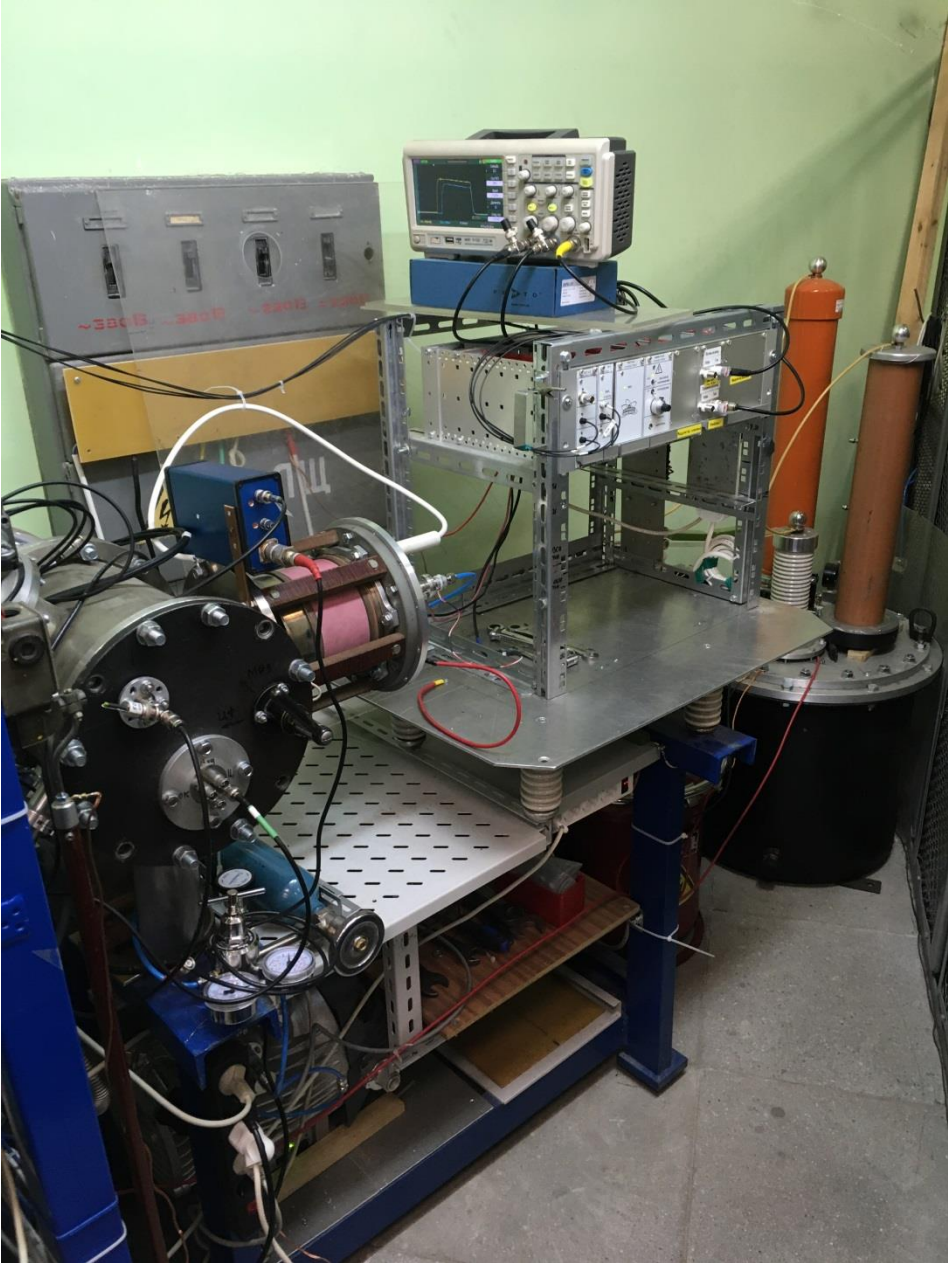
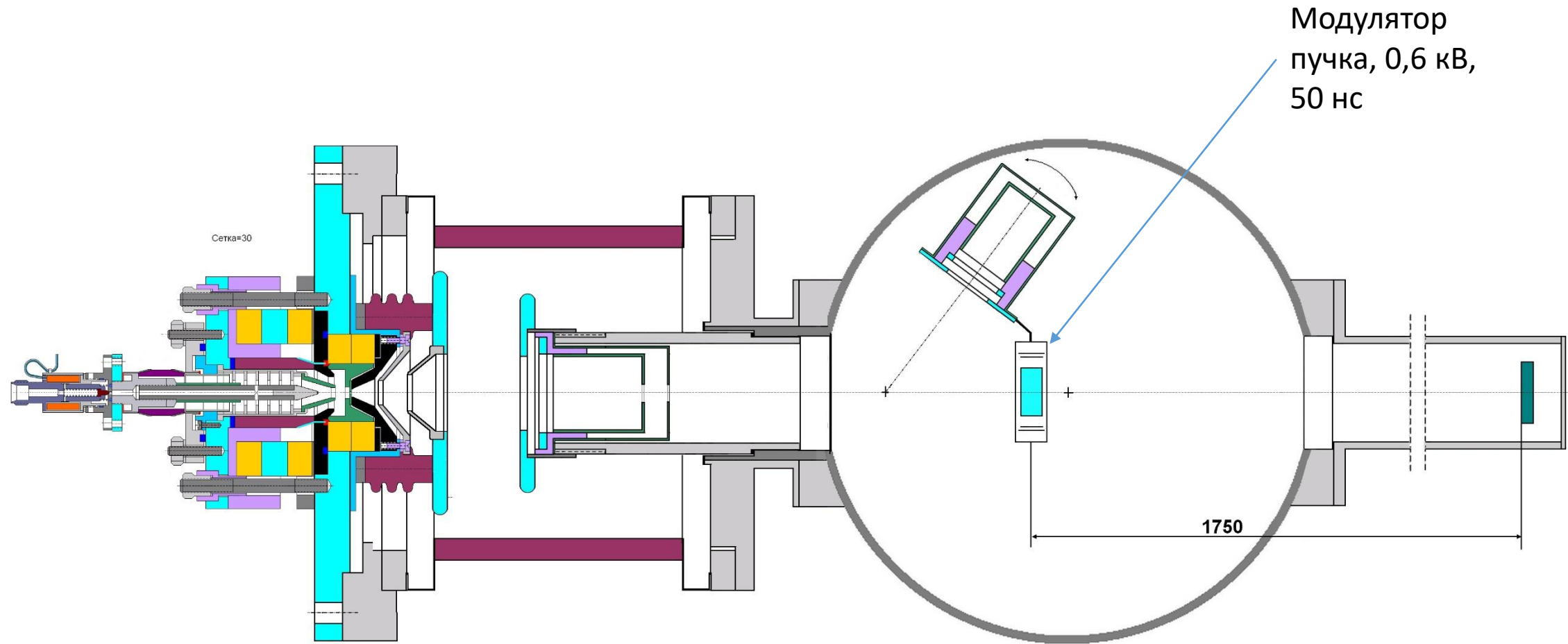
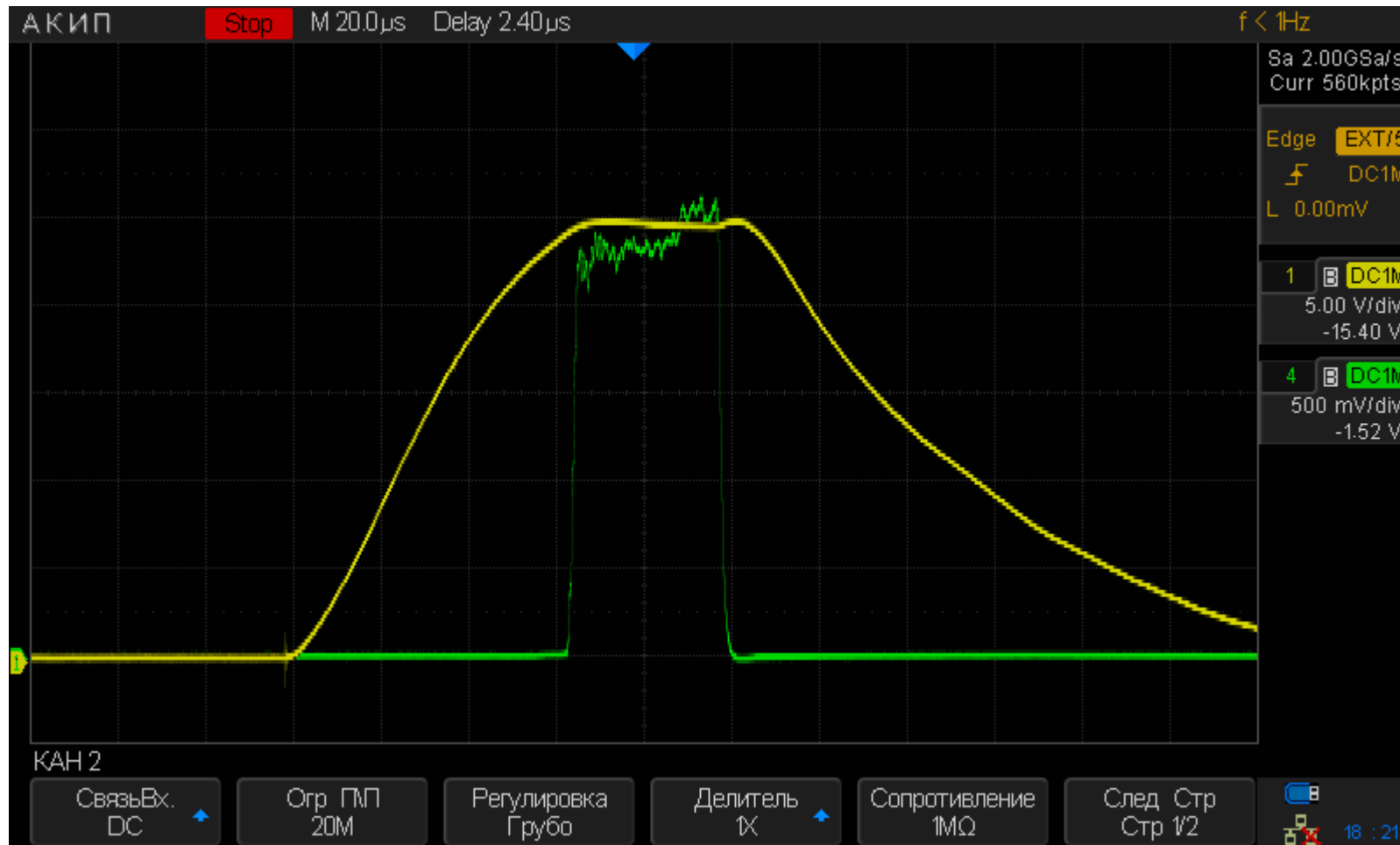


Схема источника на испытательном стенде



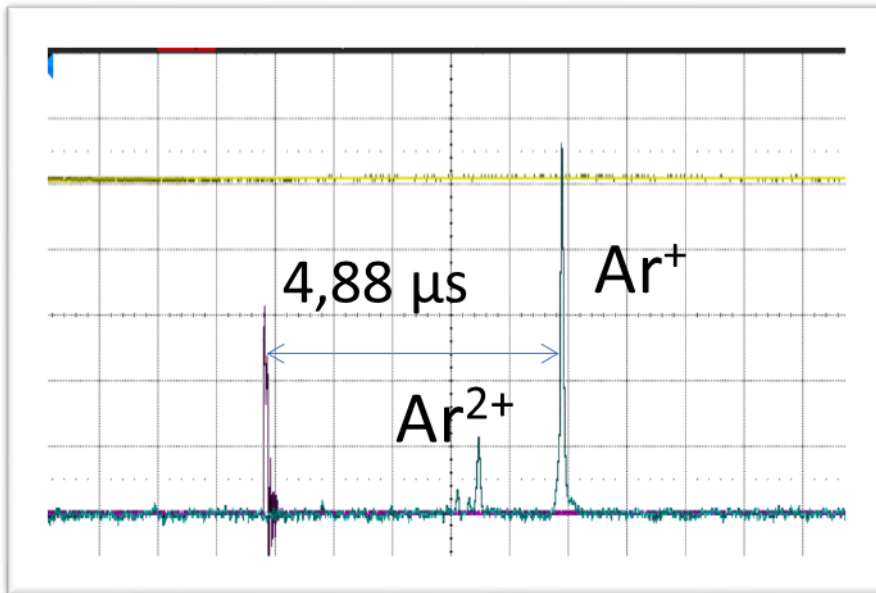
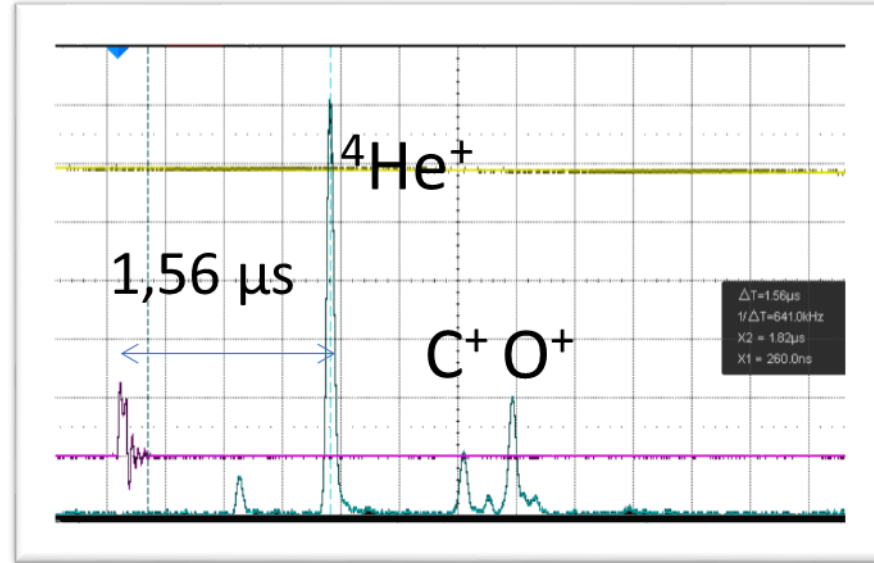
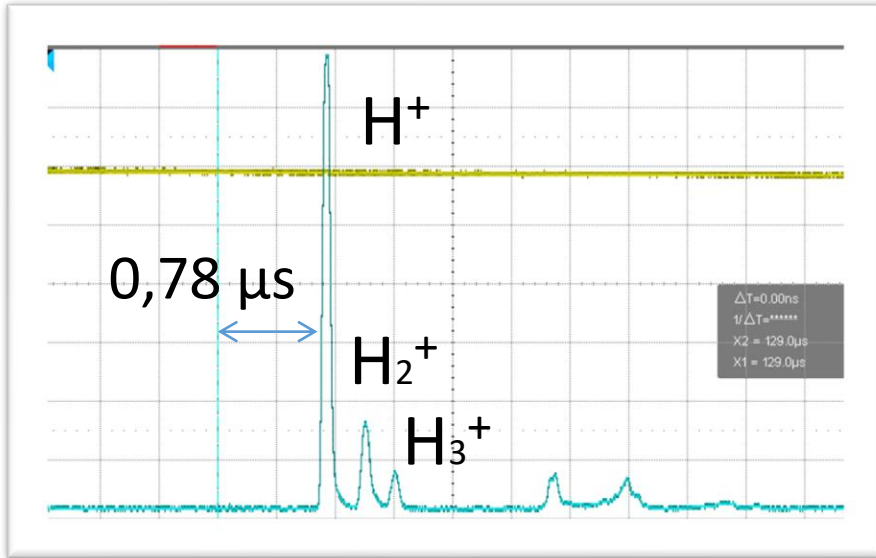


Импульс тока пучка на стенде



На стенде:
Ускоряющее напряжение 26 кВ
Ток пучка 25 мА

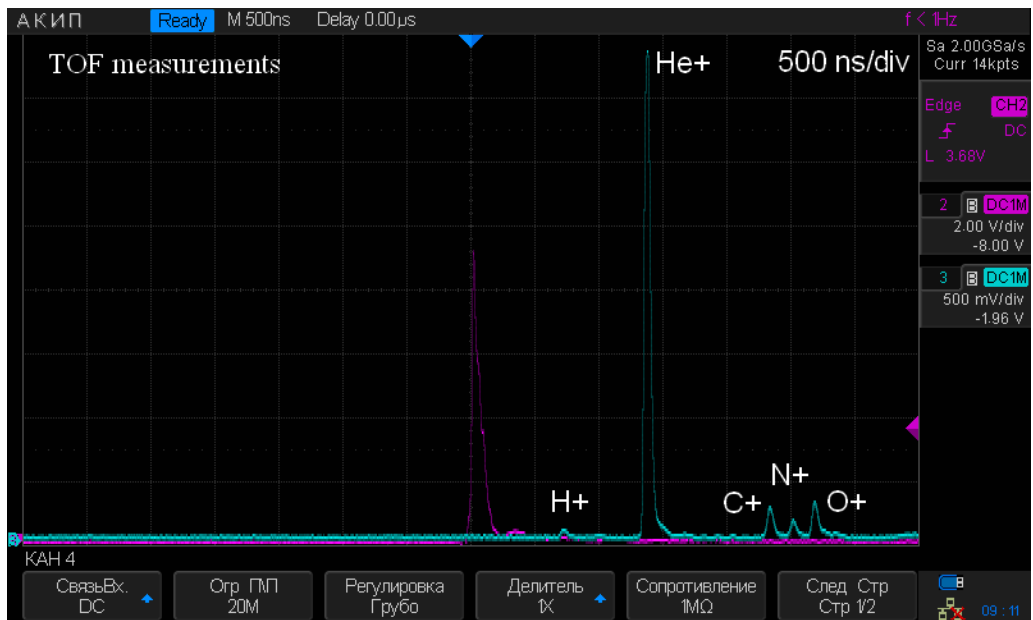
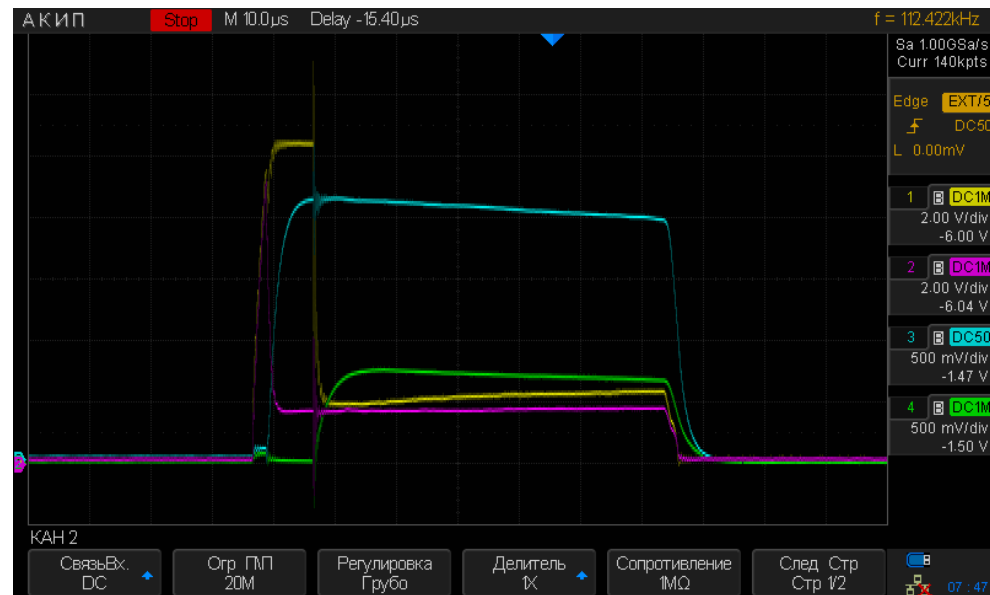
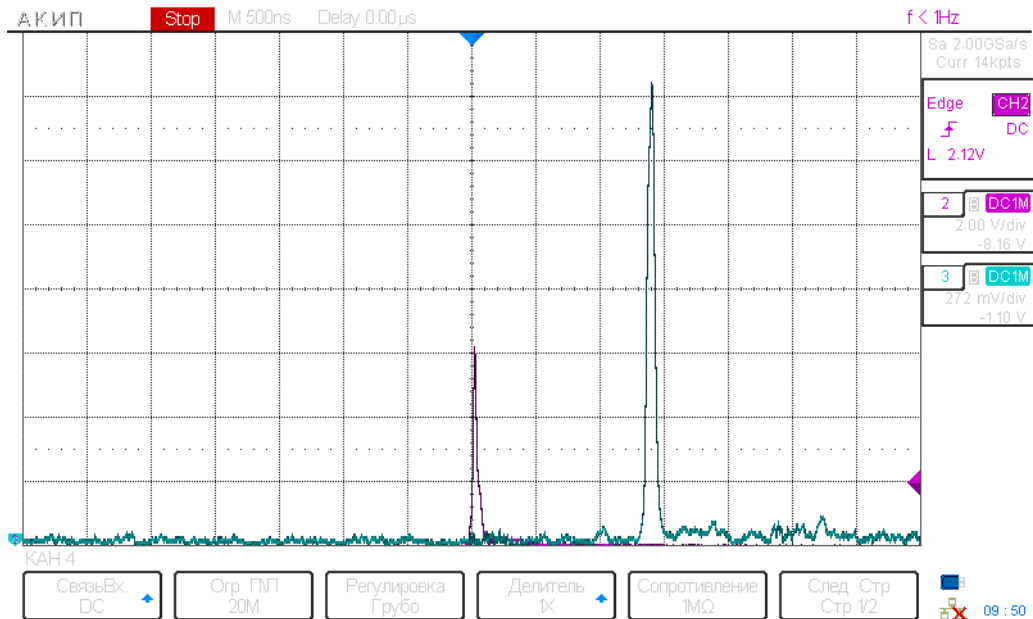
Спектры зарядностей на стенде

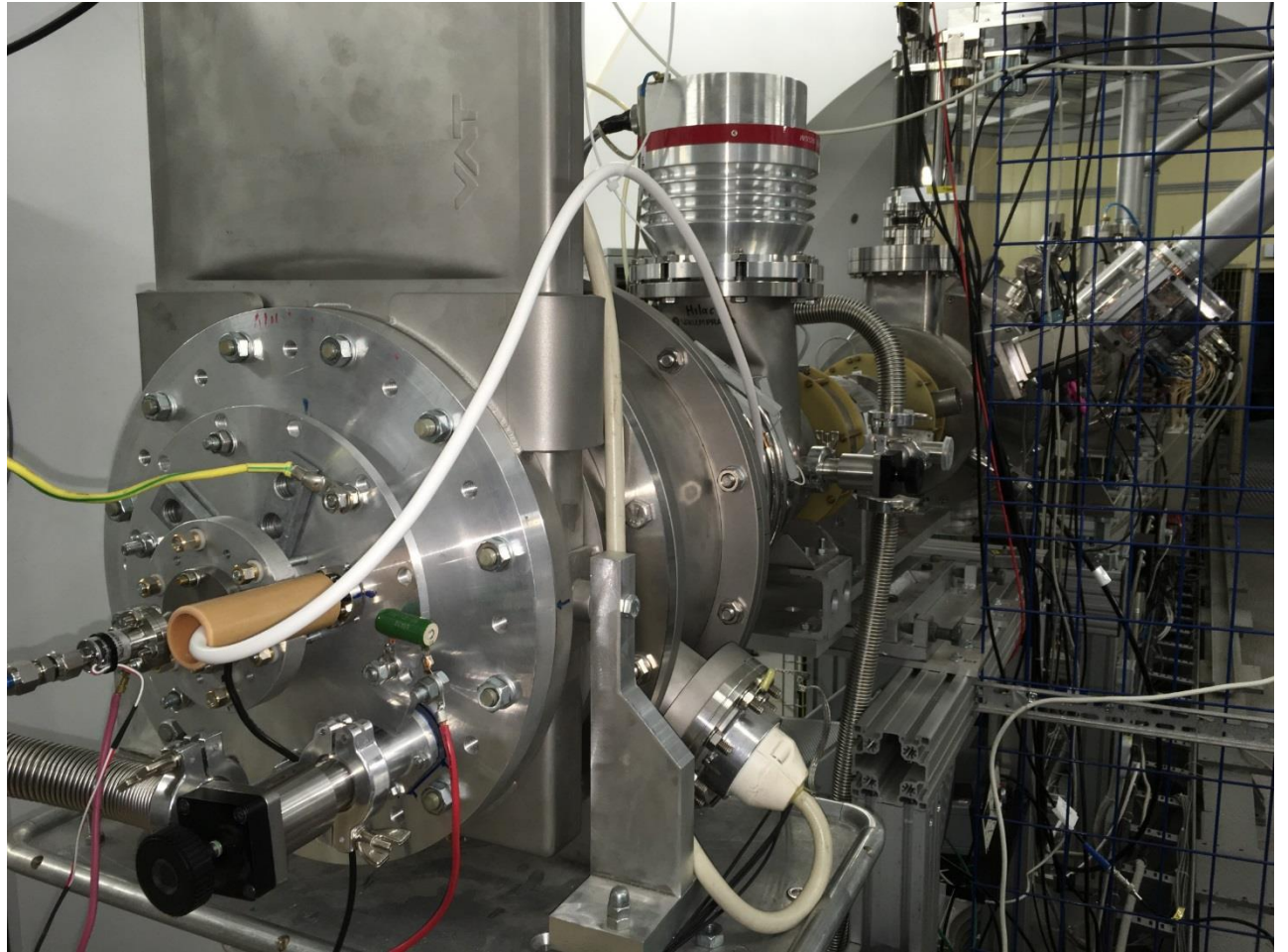
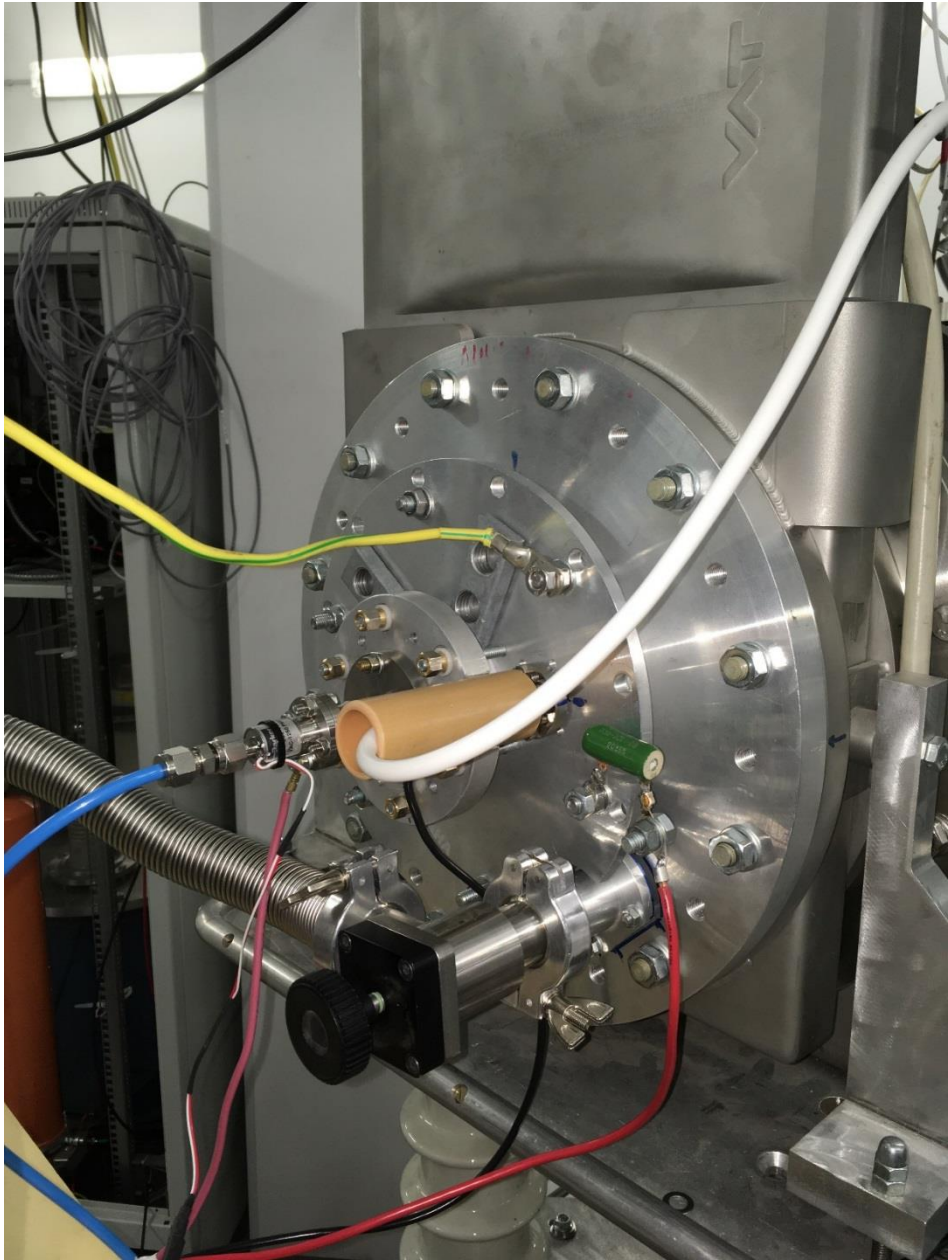


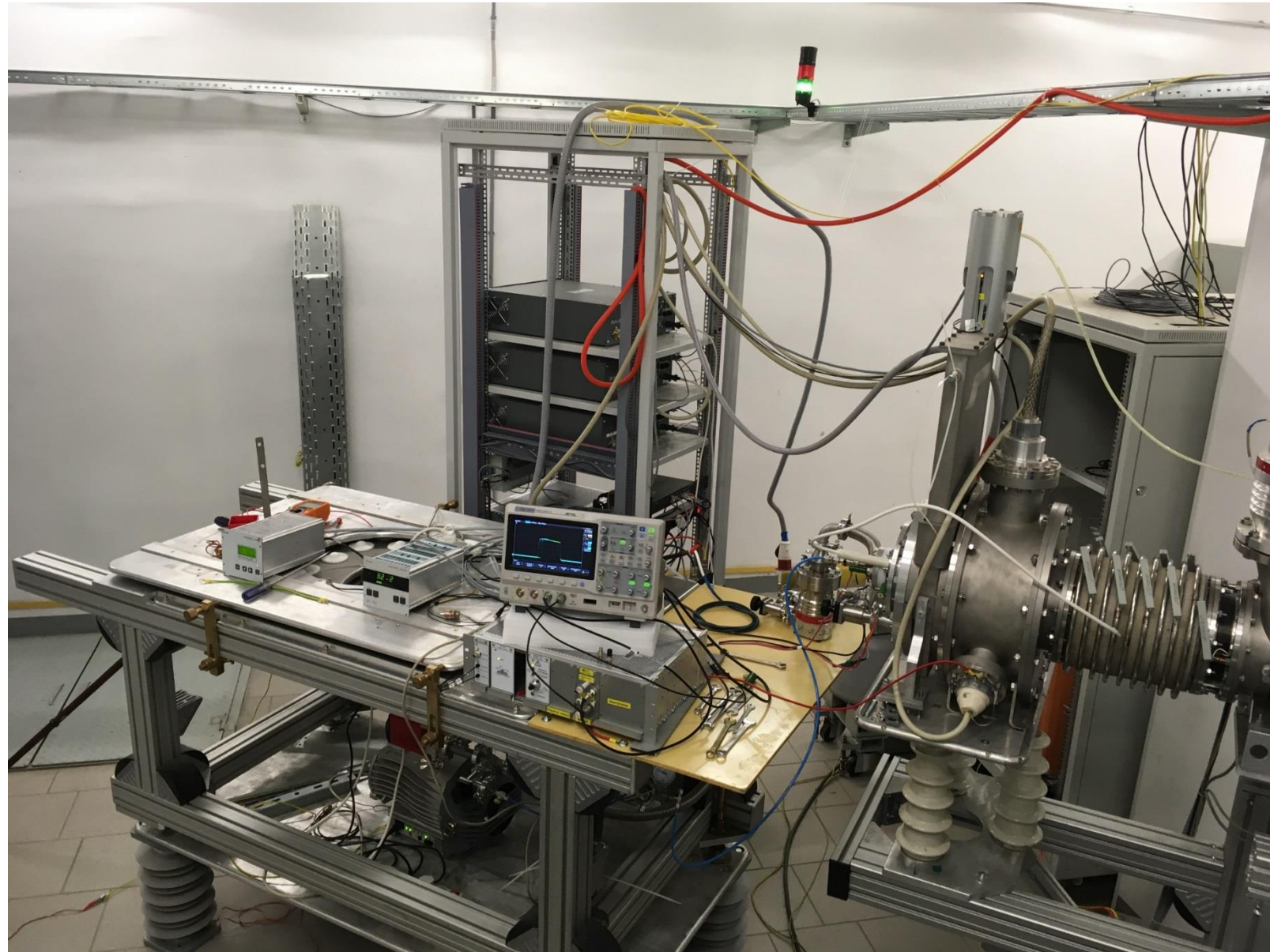
В процессе улучшения параметров источника достигнута доля He^+ 90% и суммарно 10 % доля примесей среди которых C^+ , N^+ и O^+

04.11.2020

He⁺

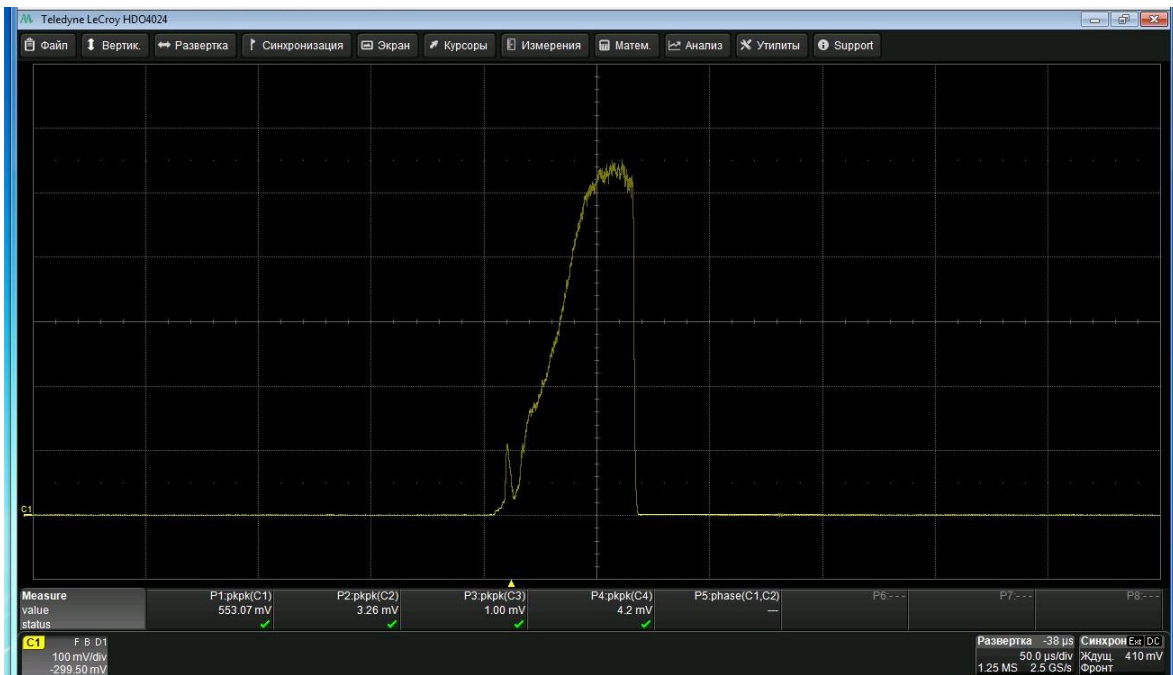






2020

Слайд 2025



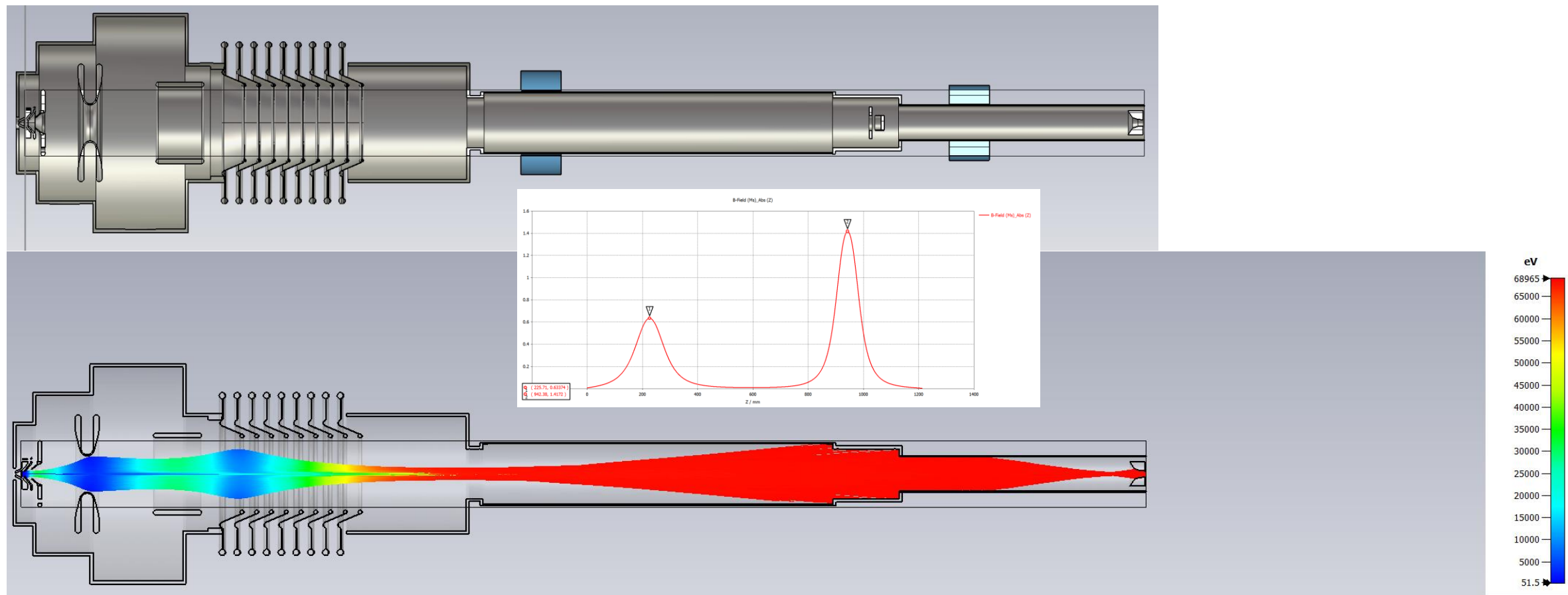
Ток на Цилиндре Фарадея (ЦФ1)
 5 мА
 Выход ЛУТИ

Токи на трансформаторах тока
 9 мА на выходе RFQ
 5 мА на выходе ЛУТИ

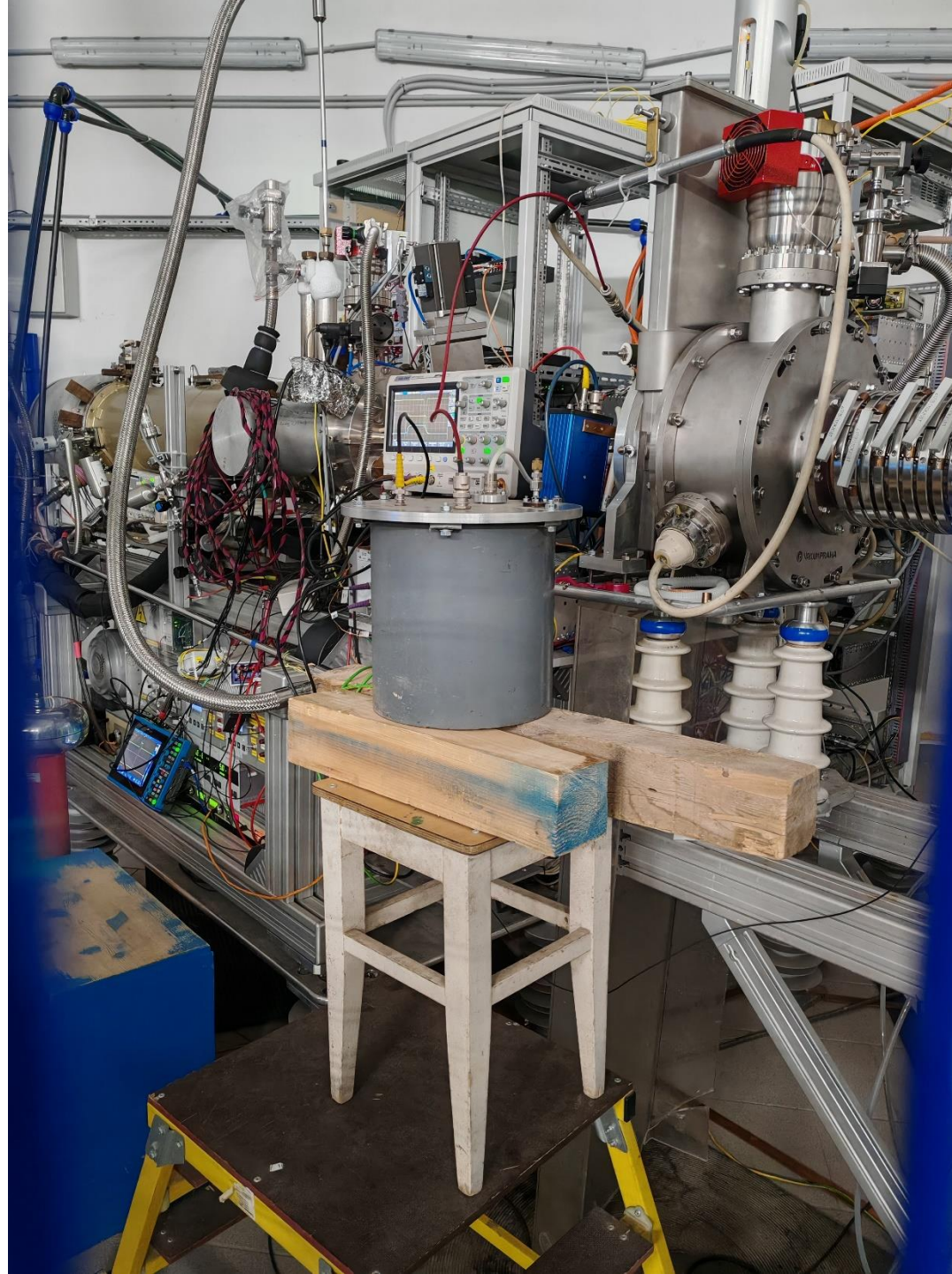


CST Studio (E-Static Solver, M-Static Solver, Particle Tracking Solver)

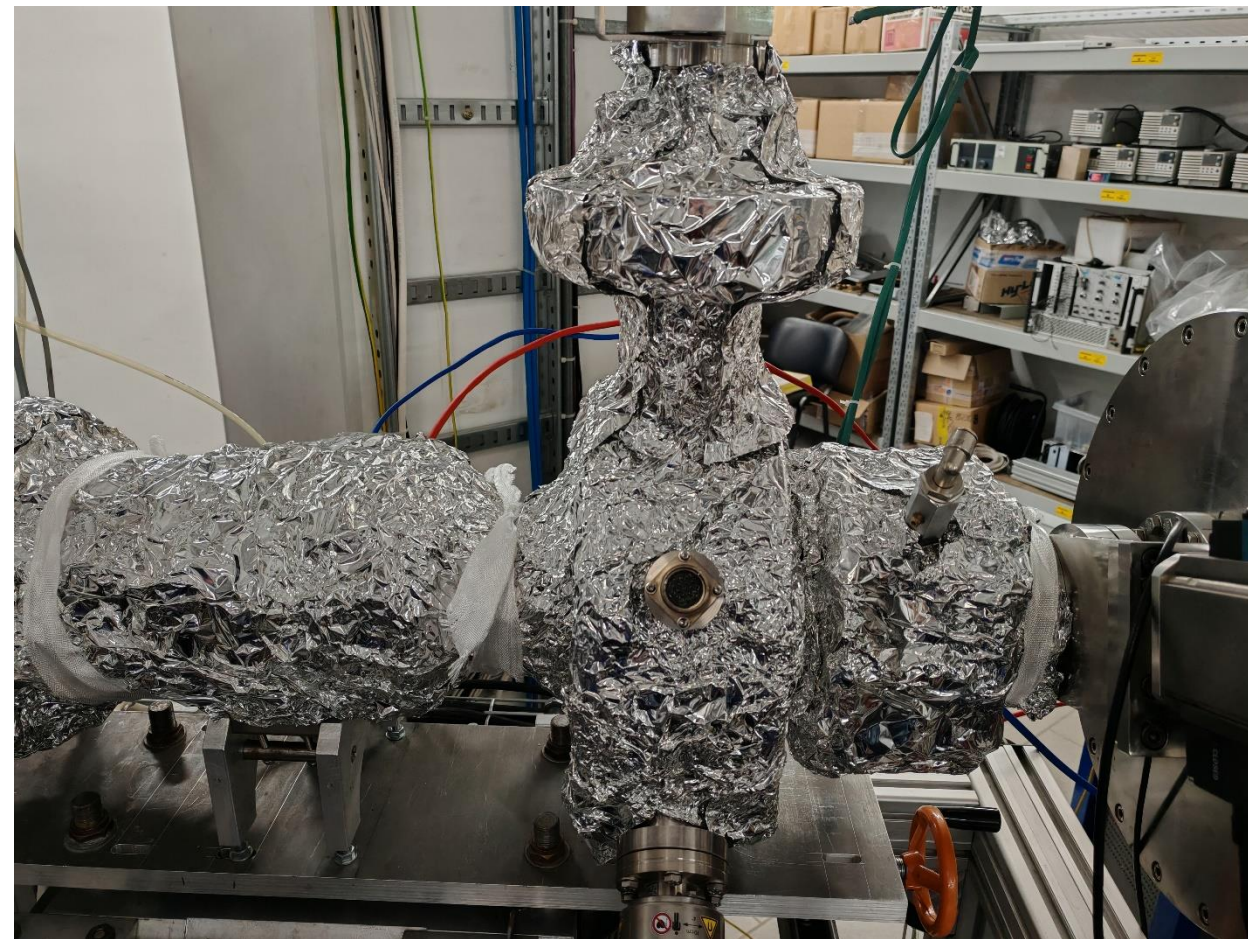
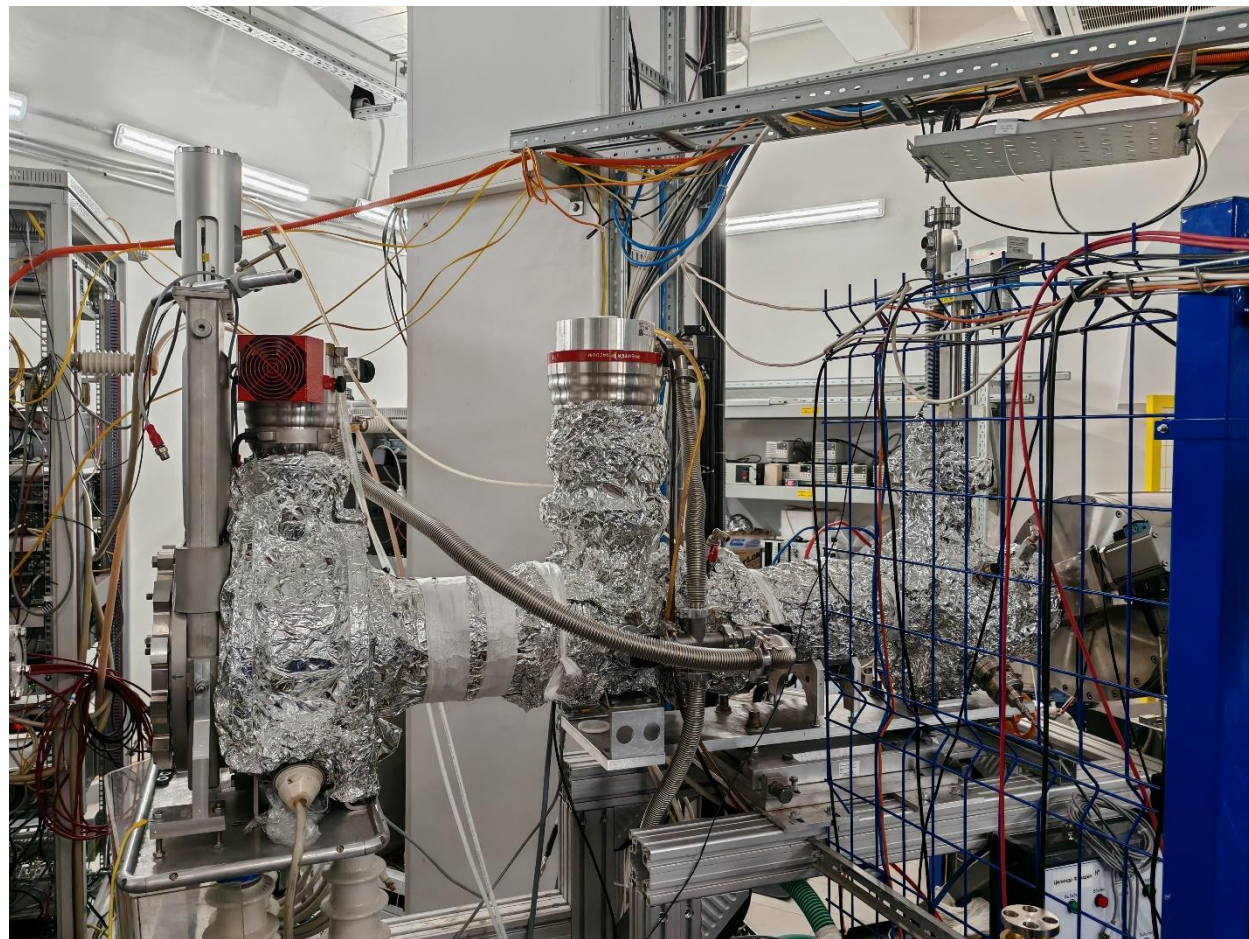
Моделирование пучка в канале транспортировки ионов низкой энергии LEBT



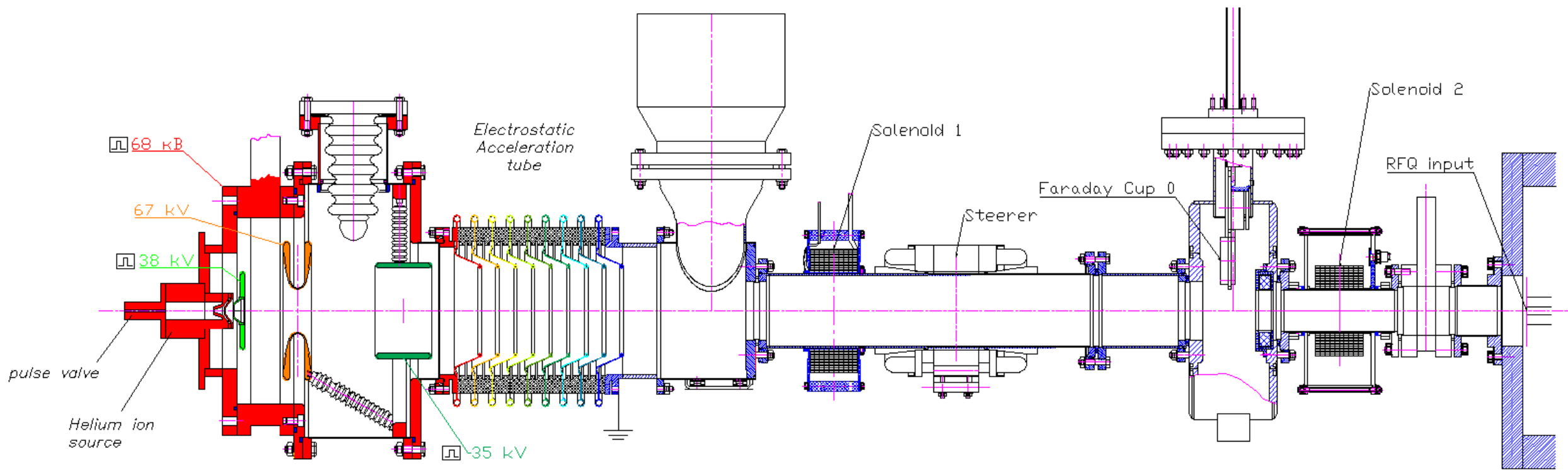
Установка новой
электростатической
трубки
и оборудования
источника МИГ



Достижение давления в LEVT $2,8 \cdot 10^{-6}$ Па с двумя турбинами
 $7 \cdot 10^{-6}$ Па с одной турбиной



Канал транспортировки ионов низкой энергии LEBT



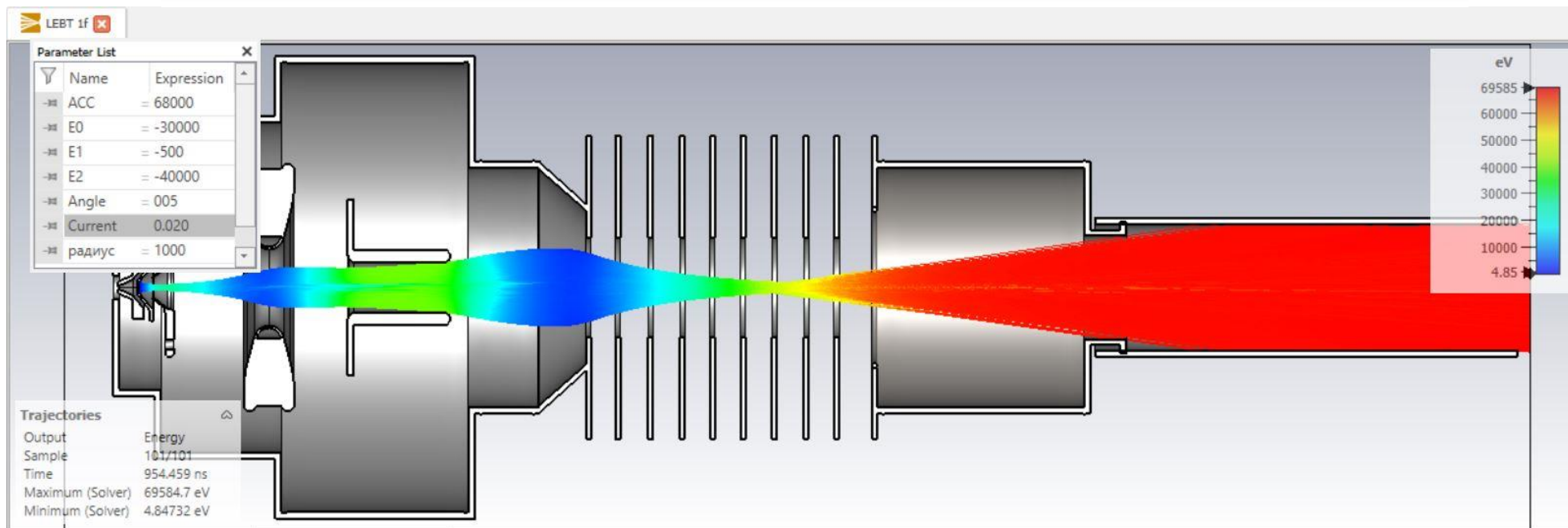
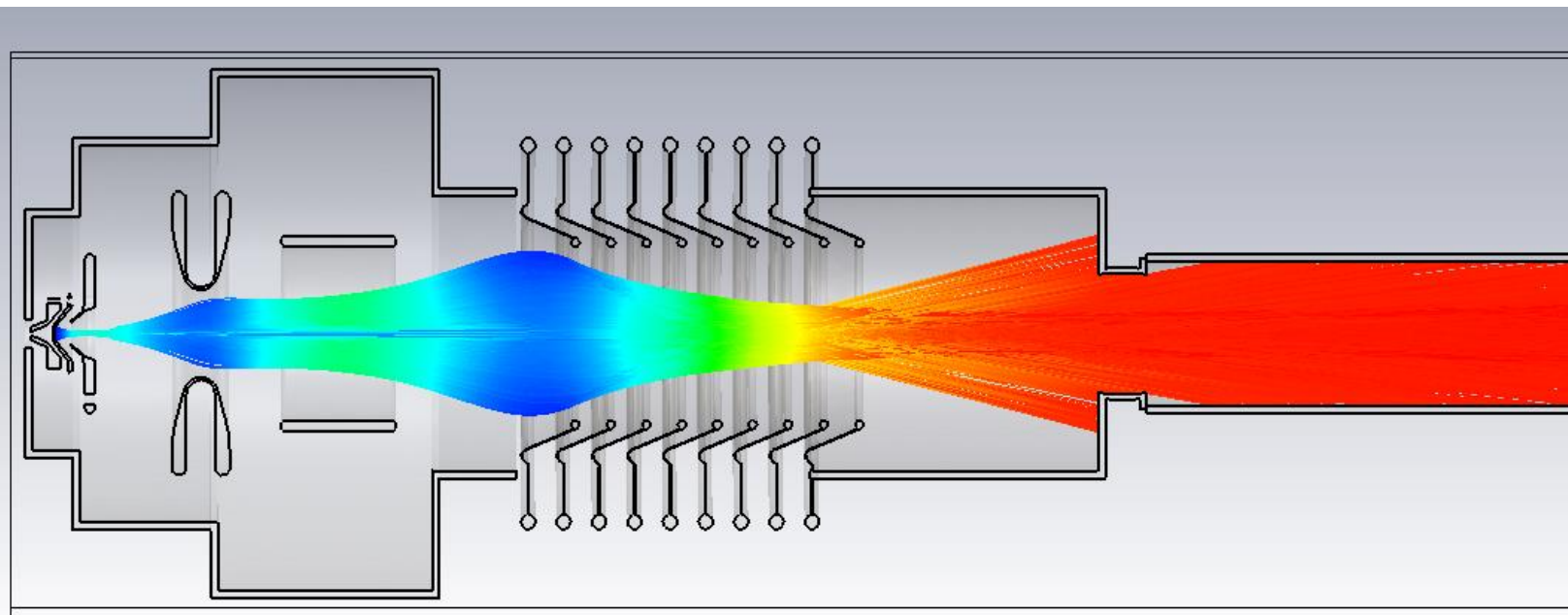
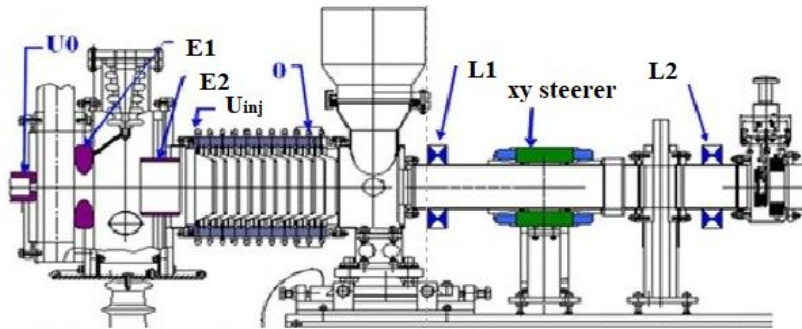
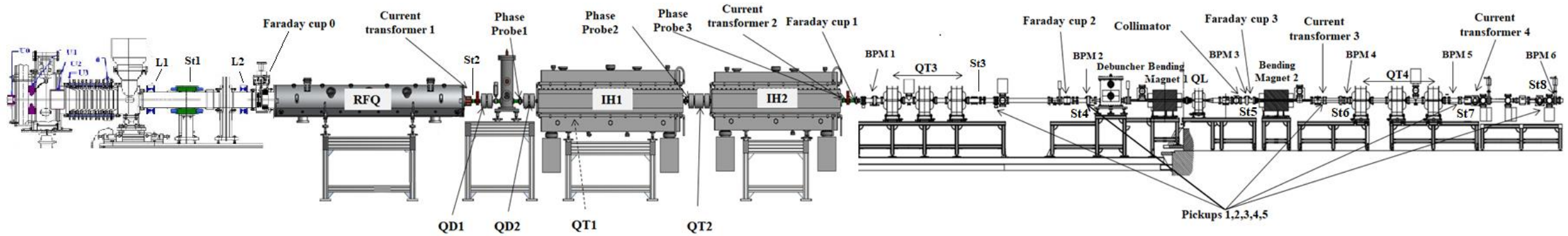


Схема ЛУТИ-Бустер

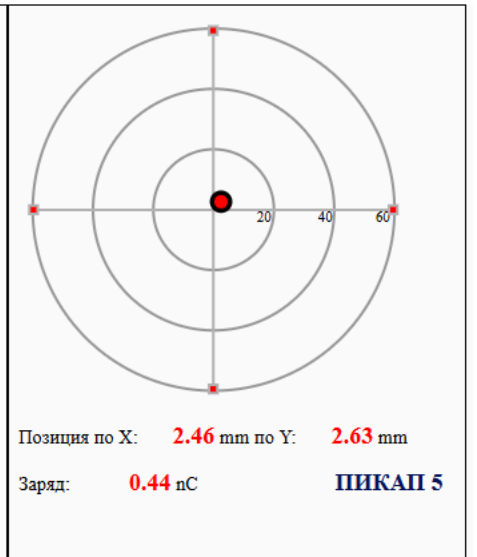
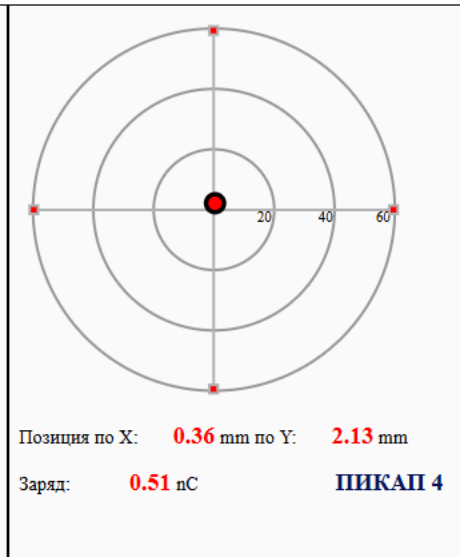
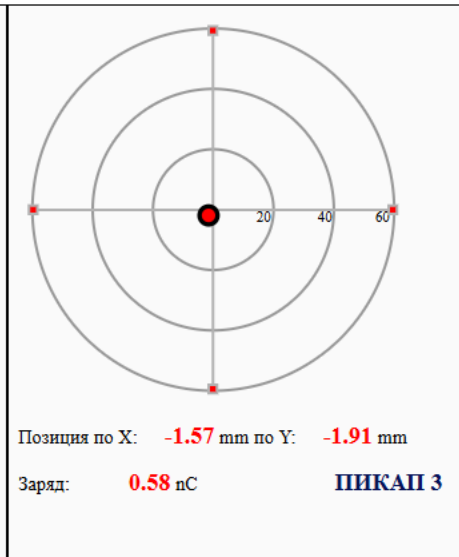
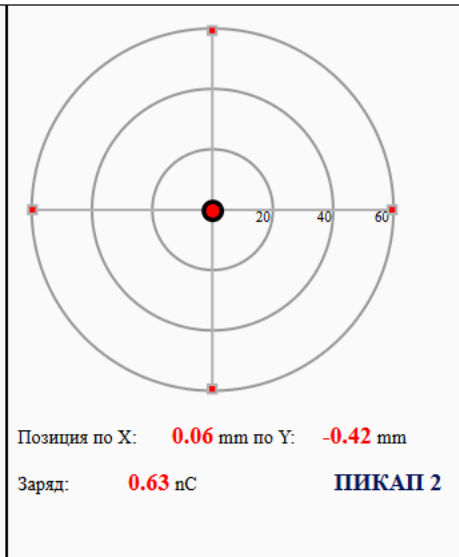
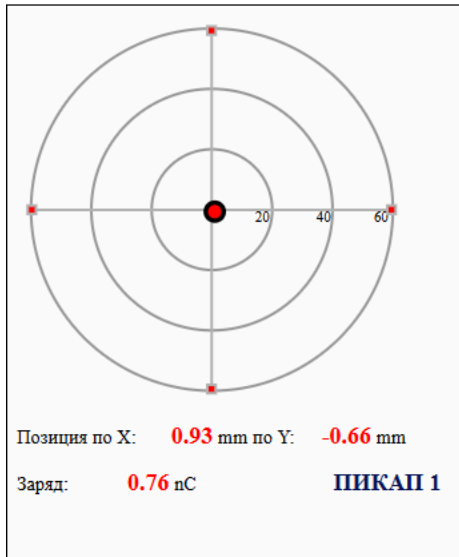
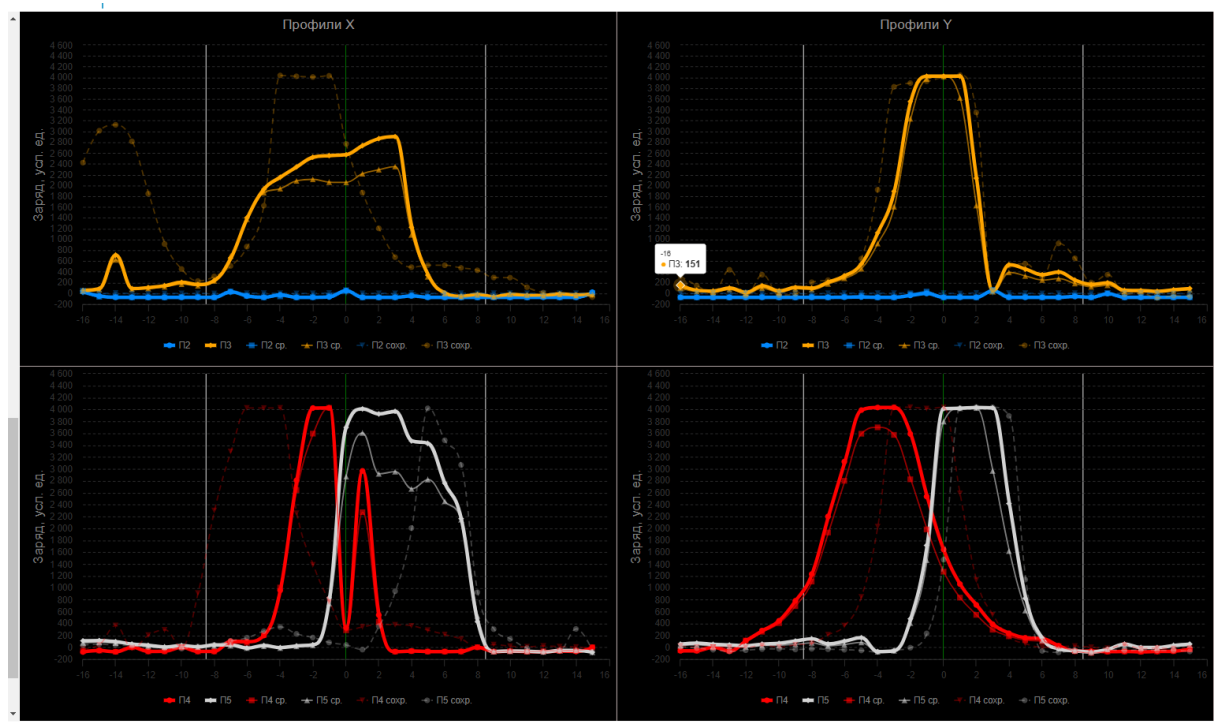
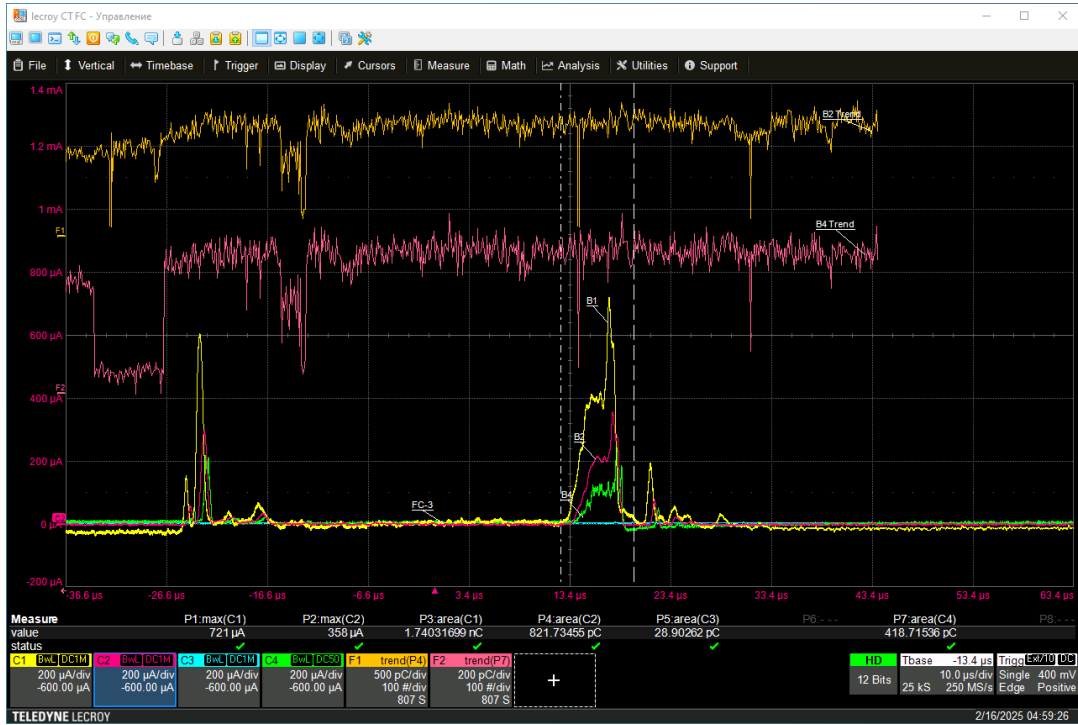


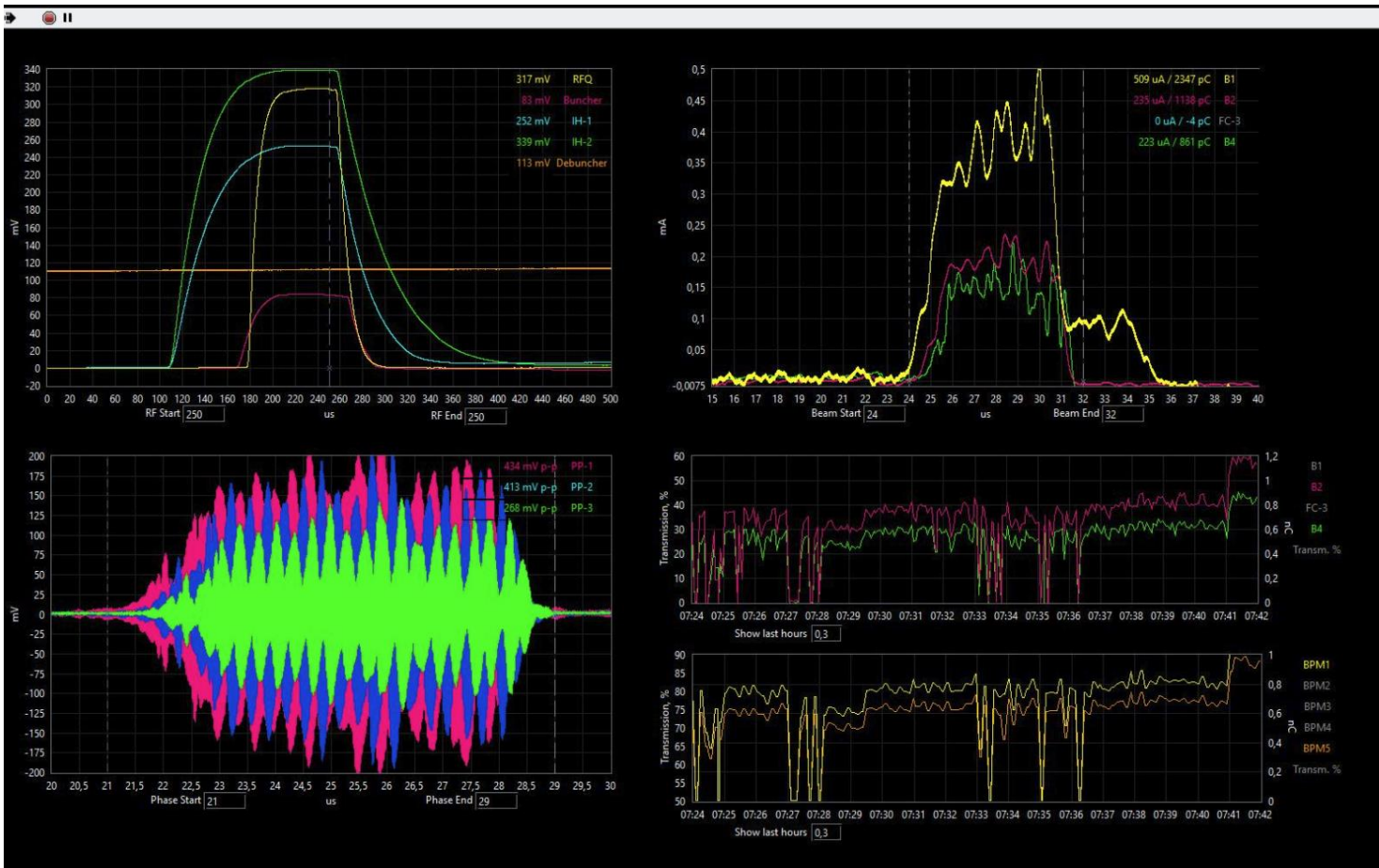
Диагностика пучка:

- 5 ЦФ
- 3 фазовых датчика
- 4 трансформатора тока
- 5 пикапов
- 5 проволочных профилометра

Состав канала:

- 1 дебанчер
- 7 квадрупольных линз
- 2 дипольных магнита
- 6 двойных корректоров





Результаты настройки ЛУТИ

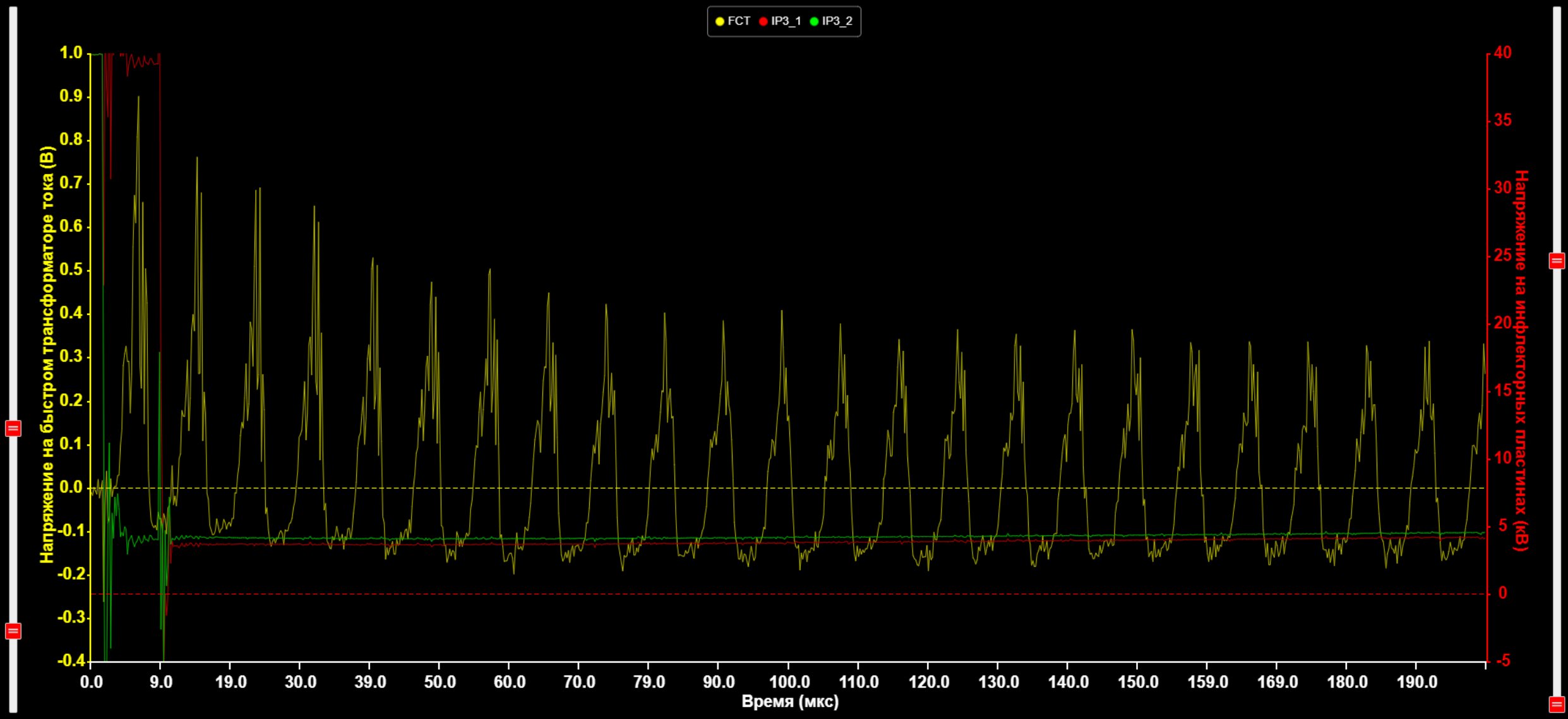
Параметр	МИГ
	He ⁺
Даты	12-27 февраля 2025
ЦФ0 (вход RFQ)	1,3 mA
Bergoz1 (выход RFQ)	0,4 – 0,7 mA 1,5 nC
Bergoz2, ЦФ1 (выход ЛУТИ)	0,2 – 0,4 mA 0,7 nC
ЦФ3	0,2 – 0,3 mA 0,7 nC
Bergoz4	0,1 – 0,3 mA 0,7 nC
Bergoz5 (FCT Booster)	0,4 – 1 V (60 дБ) ~200 uA 0,5 nC 3*10 ⁹

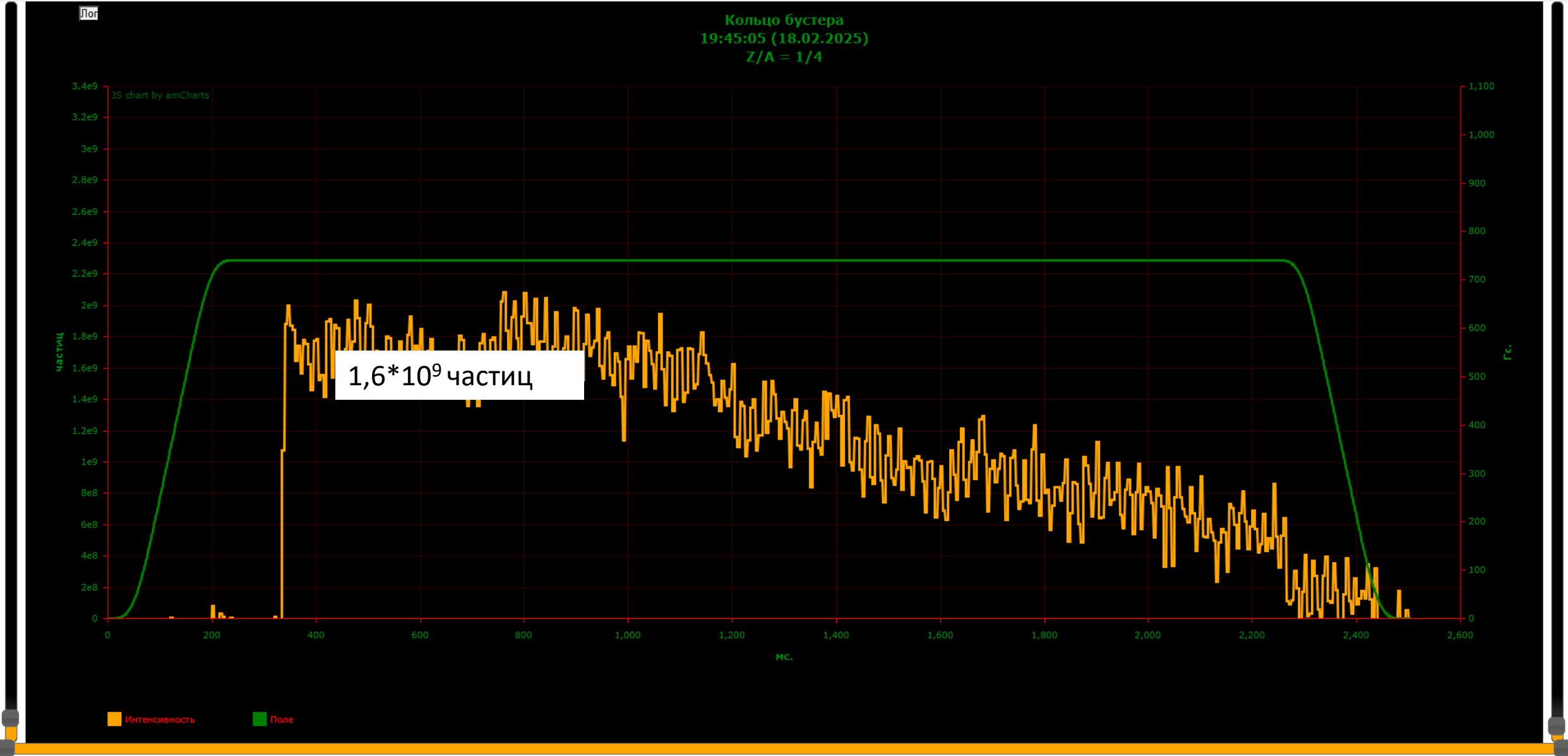
ВРМ 1/2/3/4/5

0,75/0,71/0,71/0,71/0,6 nC

80% трансмиссия по каналу

Диагностика инъекции Бустера NICA, напряжение на пластинах: 39.88 кВ, f0: 0 КГц, данные обновлены: 2025-02-18 19:45:28





Спектр RFQ

