

Линейные ускорители электронов в ИЯФ СО РАН

А.Е. Левичев

A.E.Levichev@inp.nsk.su
20.03.2023

План выступления

1.Источники электронов

2.Ускорительный модуль

3.Последние достижения

Источники электронов

Схема источников электронов для С-т Фабрики

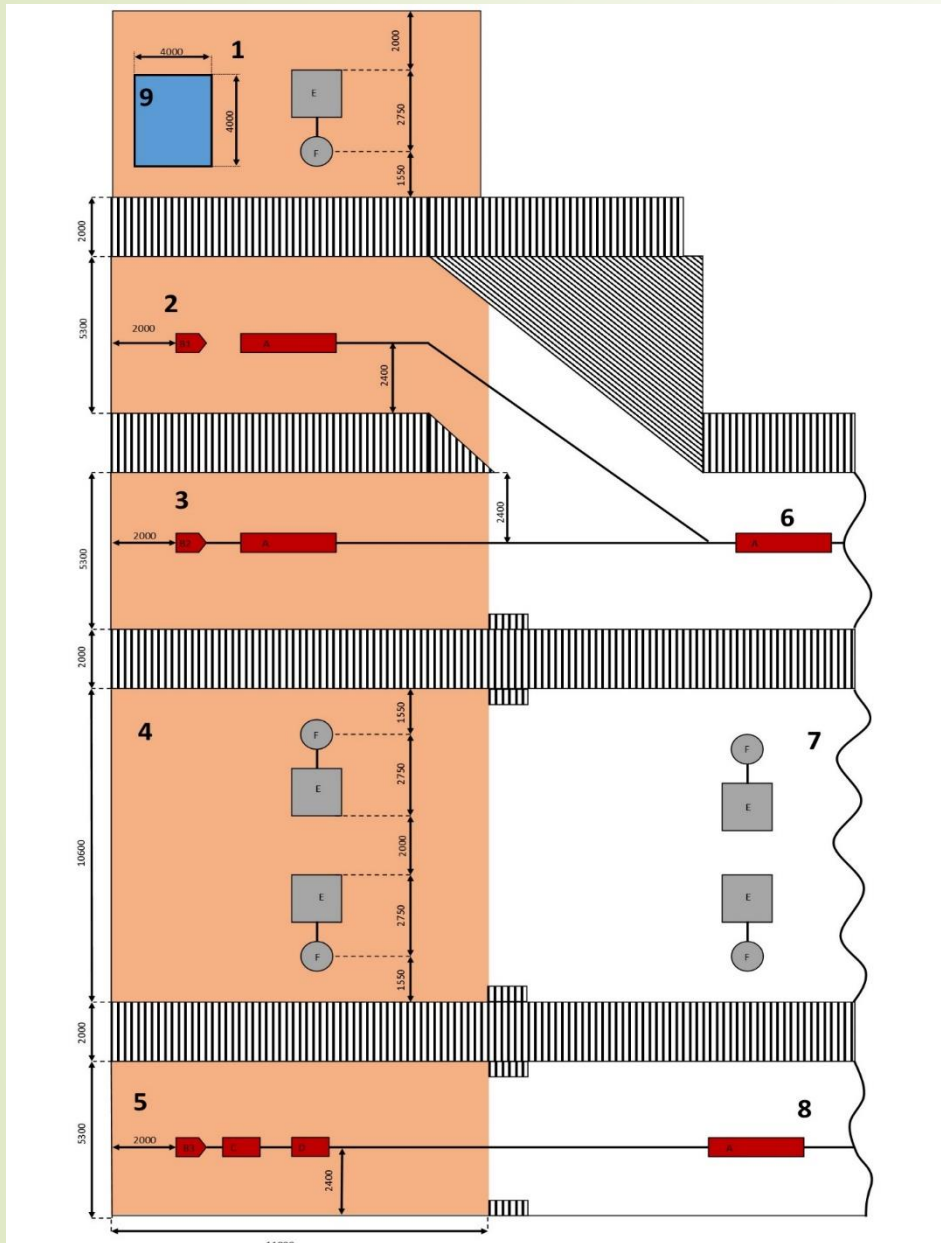
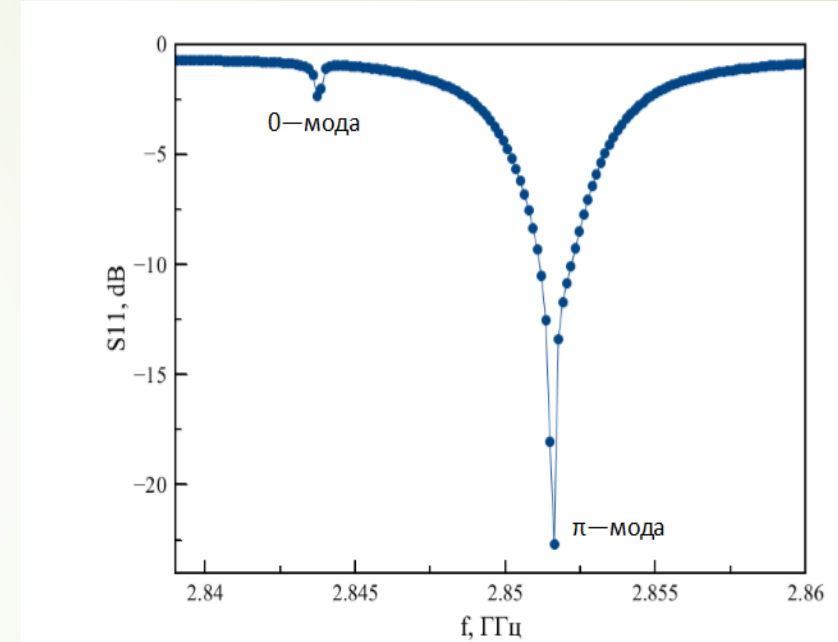
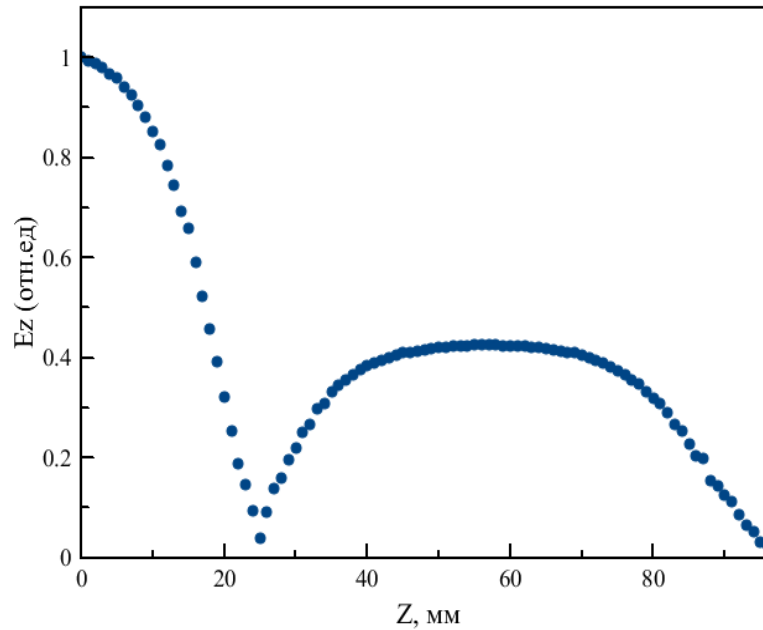
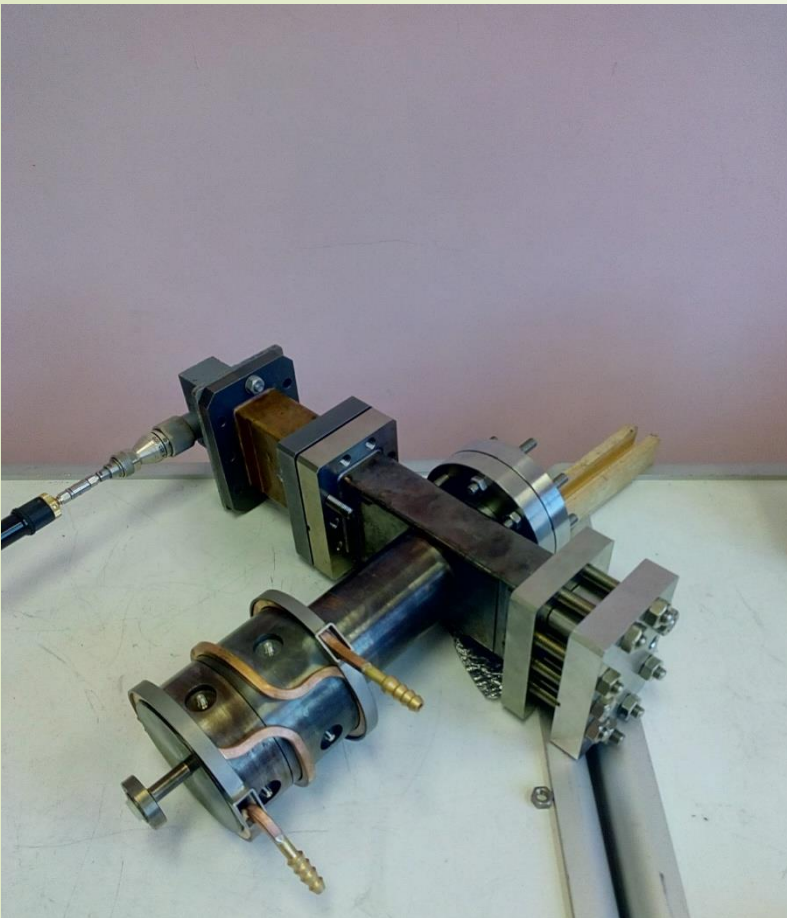


Схема размещения источников электронов: 1- источники питания для системы на основе СВЧ фотопушки, источник электронов на основе СВЧ фотопушки, 3 – источник поляризованных электронов, 4 – источники питания для поляризованных электронов и источника электронов для позитронной моды, 5 – источник электронов для позитронной моды, 6 – регулярный линейных ускоритель для электронной моды, 7 – клистронная галерея для регулярных ускорителей, 8 – регулярный ускоритель для позитронной моды, 9 – помещение для лазера

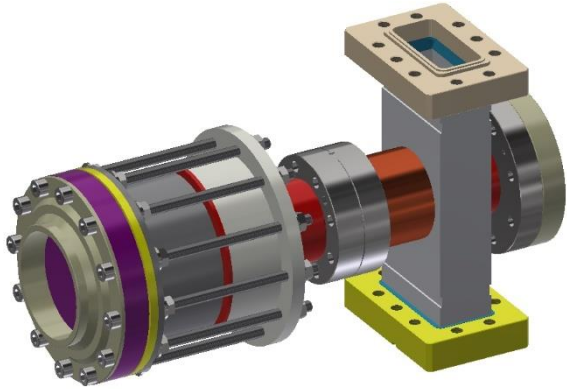
Дальнейшее ускорение электронов может происходить в регулярных ускорительных модулях, состоящих из двух ускоряющих секций длиной 3 м, одного клистрона и умножителя мощности типа SLED

Изготовленный прототип СВЧ пушки

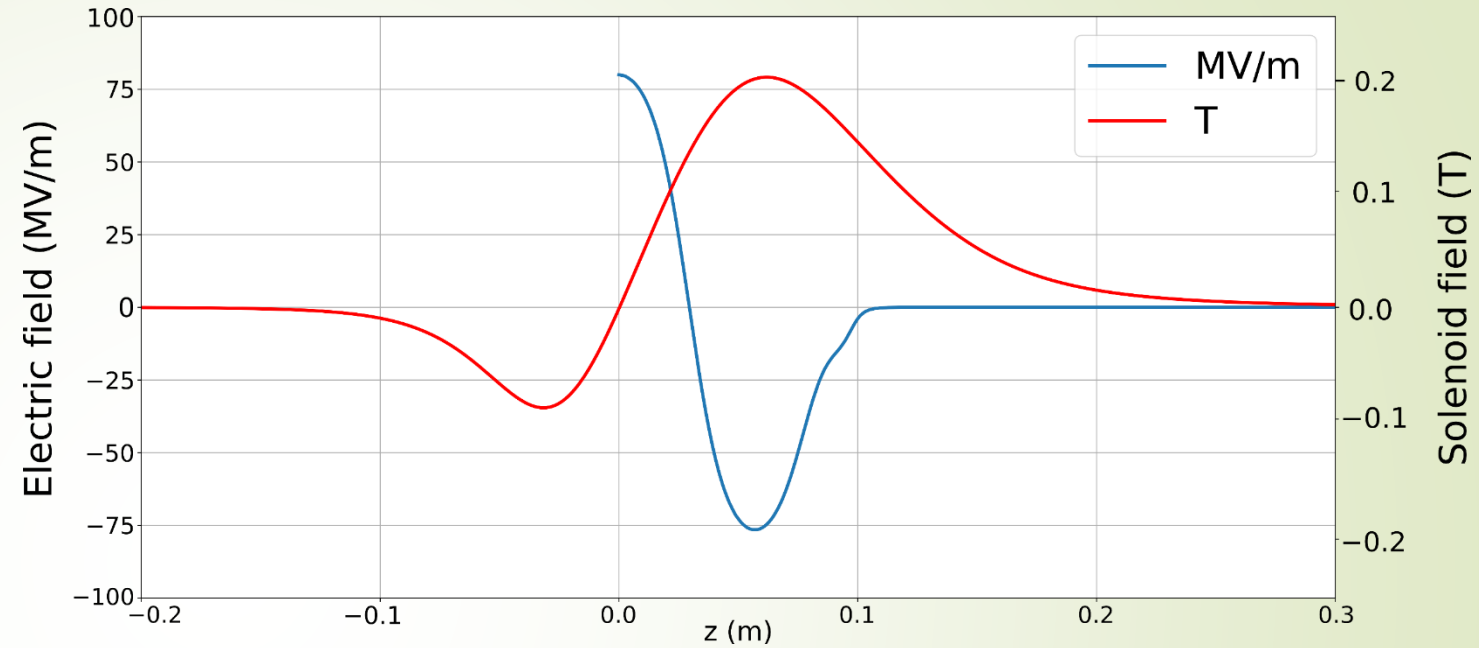
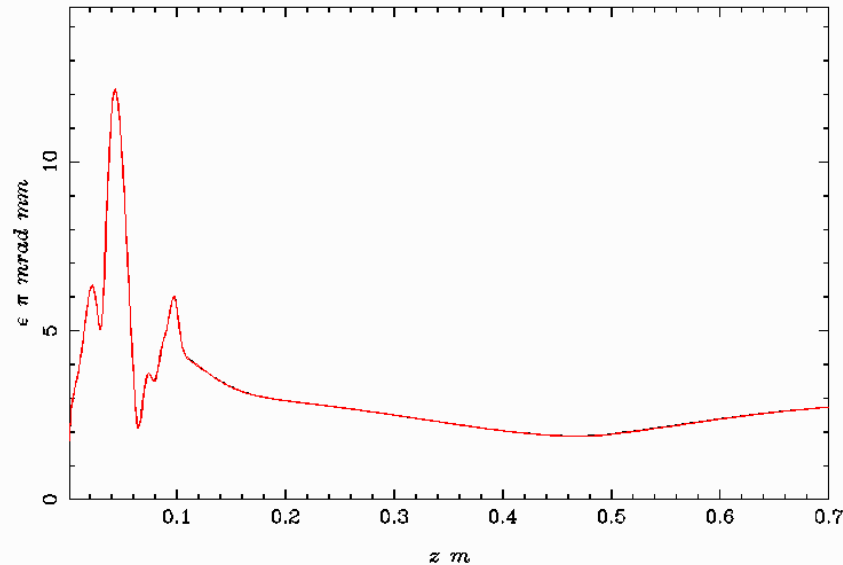


Ранее был изготовлен прототип СВЧ фотопушки без фотокатода. Были отработаны: дизайн с коаксиальным СВЧ вводом, процесс согласования ввода мощности, настройка и измерение распределения ускоряющего поля, зависимость частоты от температуры системы термостабилизации, получение необходимого вакуума.

Источники электронов на основе СВЧ фотопушки



Transverse Emittance



Поле на катоде	80 MV/m
Заряд в сгустке	1.5 нКл
Энергия пучка	3.5 МэВ

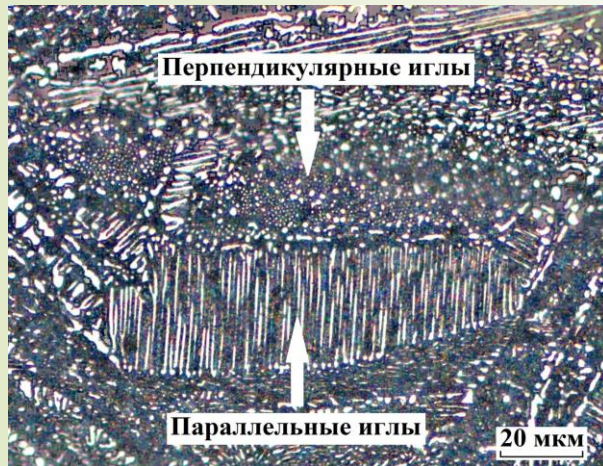
В настоящий момент разрабатывается СВЧ фотопушка с индиевым уплотнением.

Исследование металлических фотокатодов

Катоды на основе IrSe являются перспективными фотокатодами благодаря достаточному квантовому выходу и высокому порогу абляции, что существенно увеличивает время жизни



Фотокатод был облучен импульсами лазера с плотностью энергии $19.4 \frac{\text{мДж}}{\text{см}^2}$, количество импульсов составило $1.8 \cdot 10^4$. После лазерной очистки наблюдался выраженный эффект изменения квантовой эффективности. При энергии лазерного импульса 38 мкДж и напряжении 5 кВ квантовая эффективность увеличилась на порядок с $6,27 \cdot 10^{-6}$ до $7,69 \cdot 10^{-5}$.



Совместно с Институтом автоматики и Электрометрии, а также с Барнаульским Политехническим Университетом ведутся работы по изучению квантового выхода различных металлических фотокатодов, изучению и изменению структуры поверхностей фотокатодов с целью увеличения квантового выхода.



Лазерная система и оптический стол

В конце 2022 года была получена лазерная система и оптический стол для работы с фотокатодами и СВЧ фотопушкой.



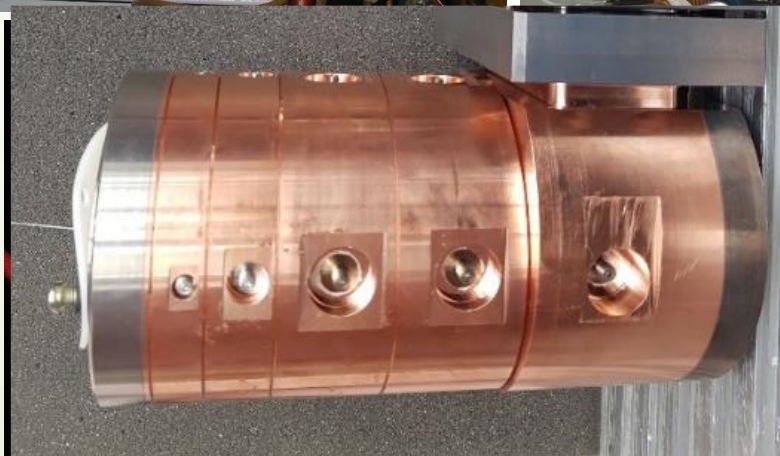
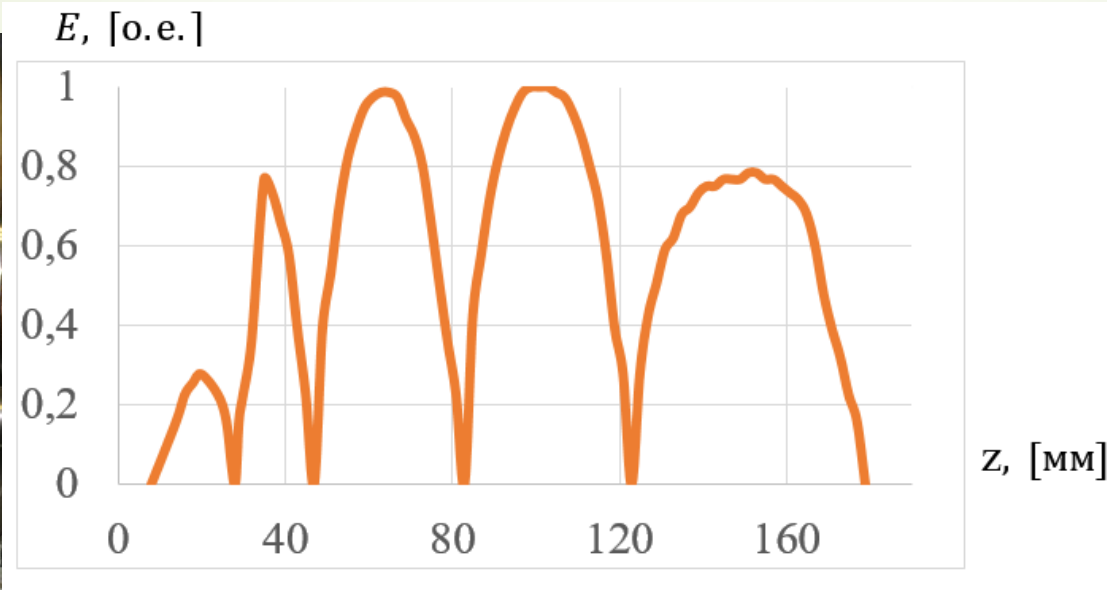
Стол DVIC



Наименование параметра	Значение
	1064 нм; 532 нм; 266 нм
	10 мДж
	10 Гц
	25 пс±2
	1%
	TEM00 (M2<1.6)
	100:1
ровню	0,5 мрад
на на	20 мрад

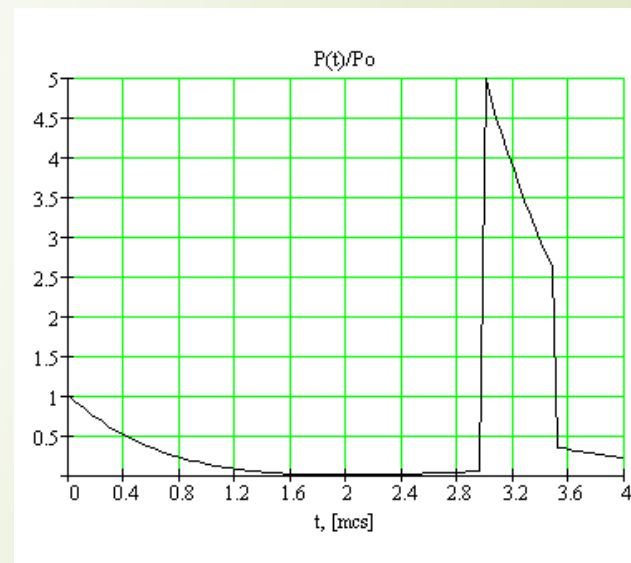
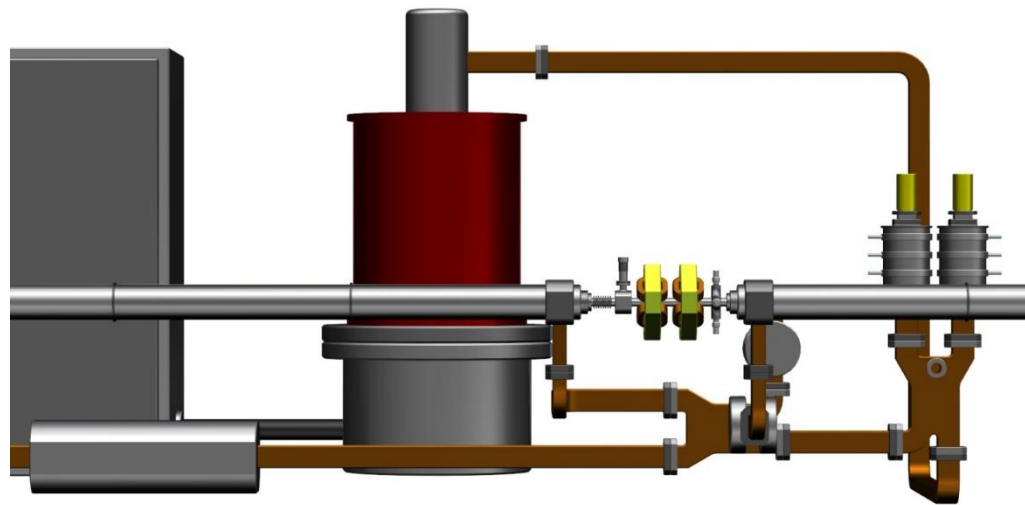
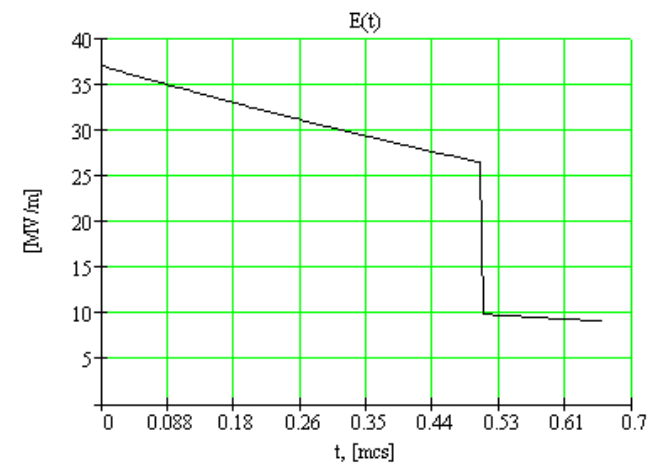
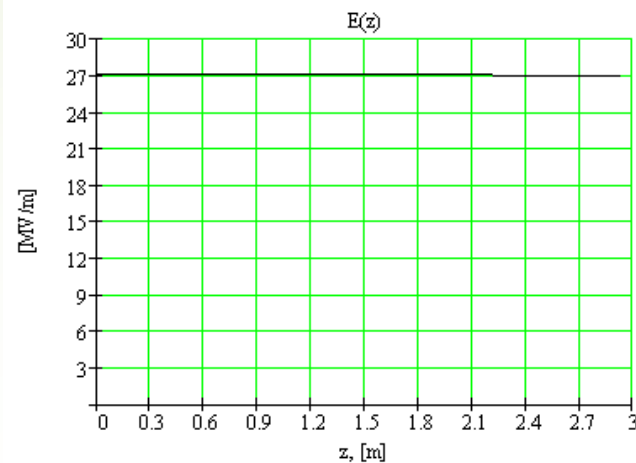
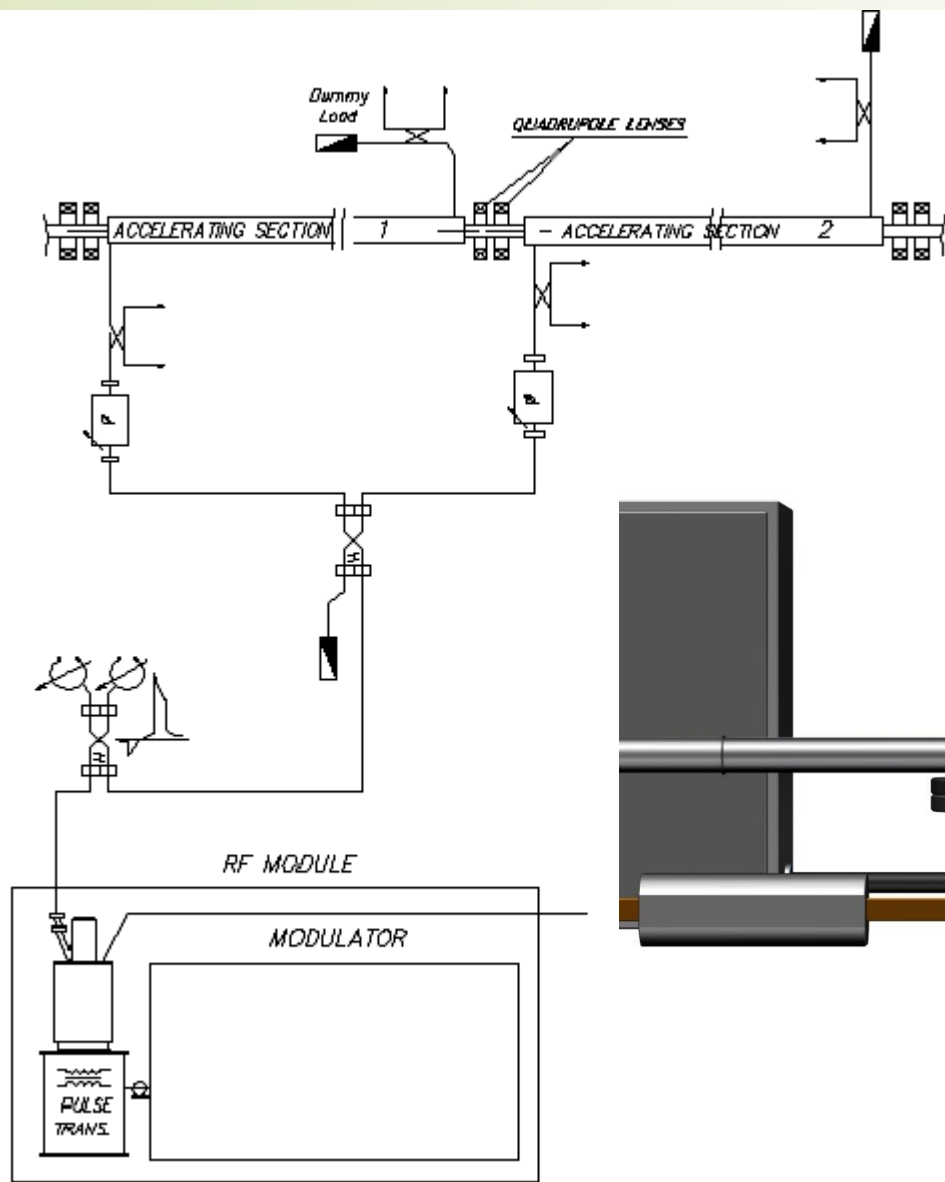
Источники электронов на основе термоэмиссионных пушек

В ИЯФ СО РАН большой опыт по созданию источников электронов с термоэмиссионным катодом различного дизайна и применения



Ускорительный модуль

Ускорительный модуль



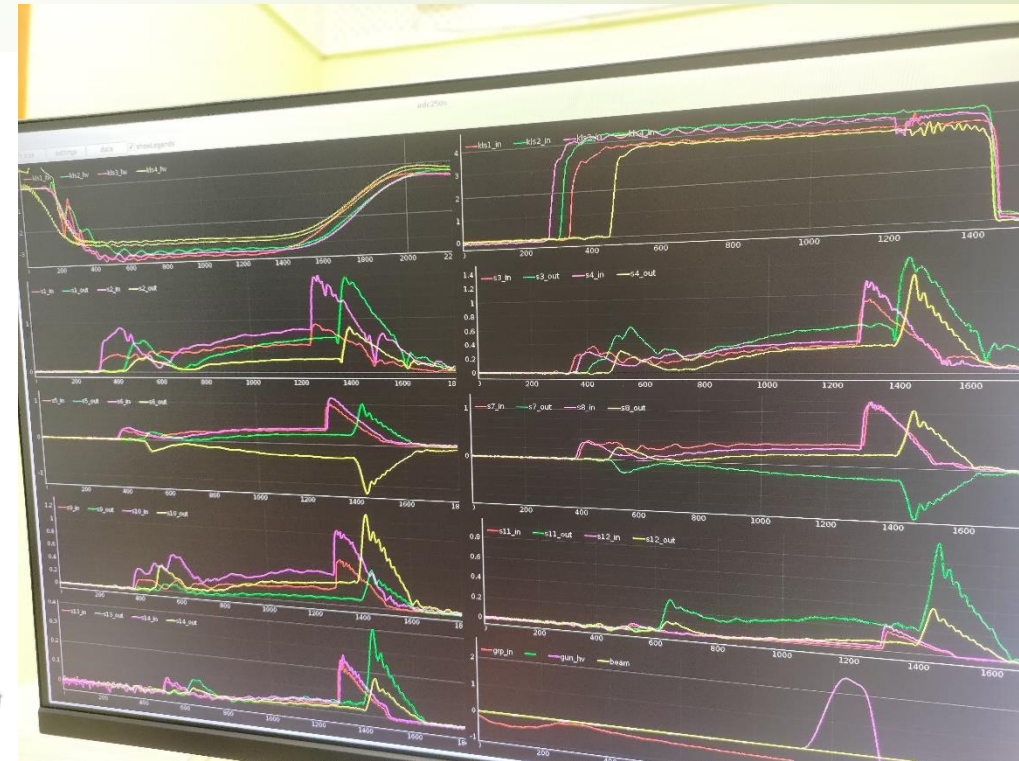
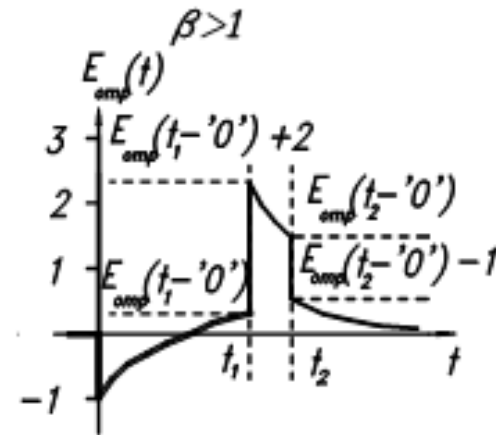
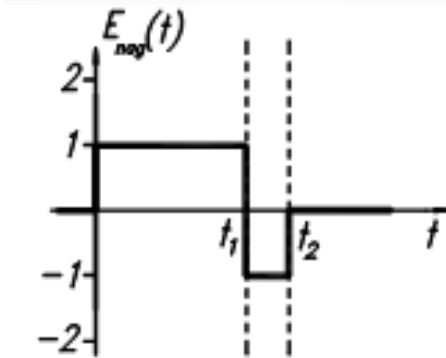
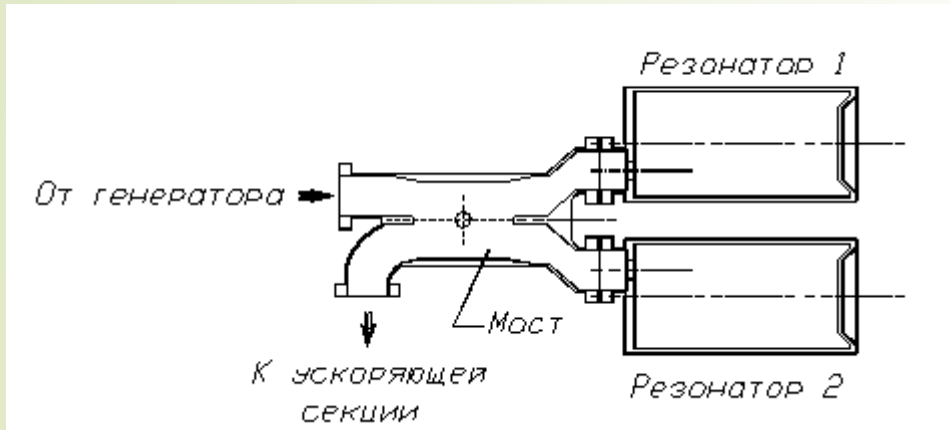
Темп ускорения – 23 МэВ/м.

Прирост энергии в одной ускоряющей структуре – 69 МэВ.

Прирост энергии на один ускорительный модуль - 138 МэВ

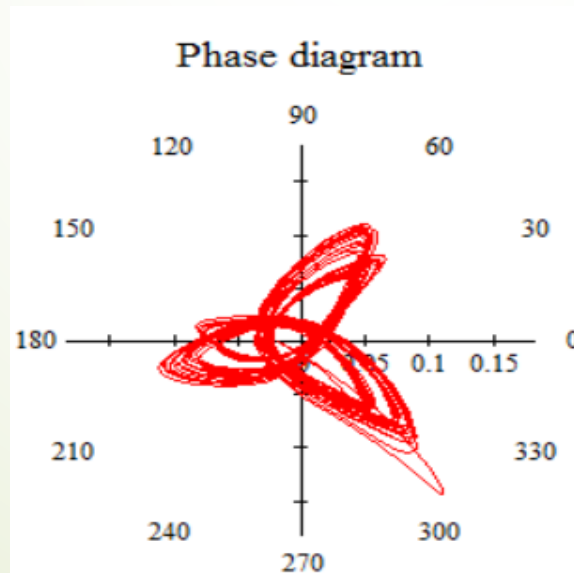
Система умножения мощности типа SLED

Данная система давно и успешно используется в линейном ускорителе инжекционного комплекса ВЭПП-5

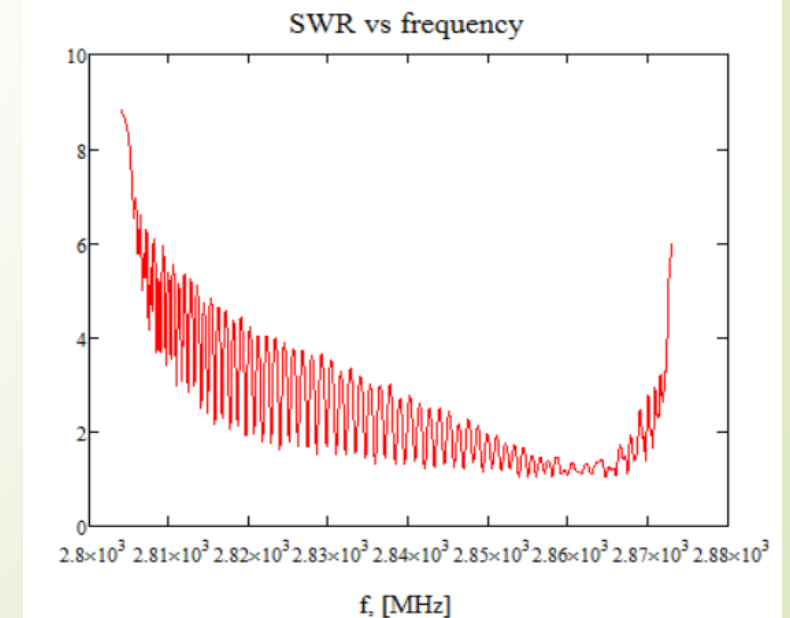


Осциллограммы огибающих СВЧ мощностей после системы умножения мощности типа SLED в пультовой ВЭПП-4

Ускоряющая структура на основе диафрагмированного ВОЛНОВОДА



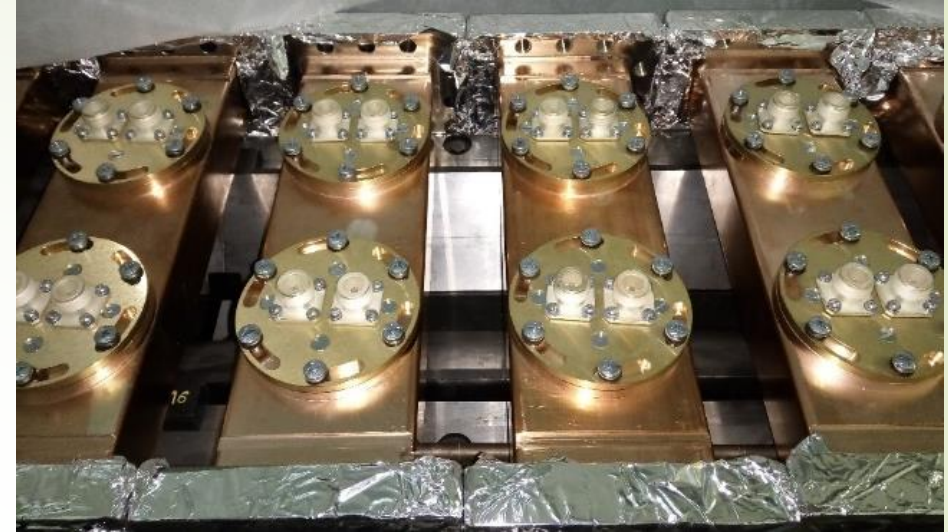
Рабочая частота при вакууме и при $T=25\text{ C}^0$	2856.6 МГц
Среднее значение регулярной ускоряющей ячейки (максимальное/минимальное значение) $T=25\text{ C}^0$	2851.744 МГц (2851.919/2851.600 МГц)
Рабочая частота на воздухе при $T=25\text{ C}^0$	2855.7 МГц
Количество ПТВ	2 шт
Количество регулярных ускоряющих ячеек	83 шт
Рабочий вид колебаний (сдвиг фазы на ячейку)	$2\pi/3$
Суммарная ошибка фазы на структуру по модулю менее	0.8^0
Собственная добротность не менее	$1.35 \cdot 10^4$
КСВ не хуже на рабочей частоте	1.4



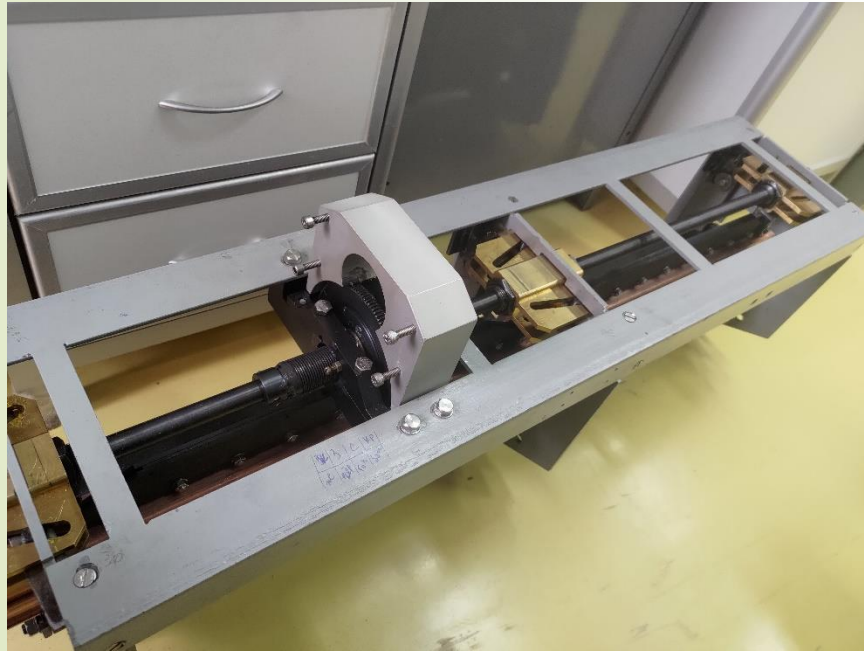
Волноводные СВЧ элементы



СВЧ нагрузки



Измерительные волноводные ответвители



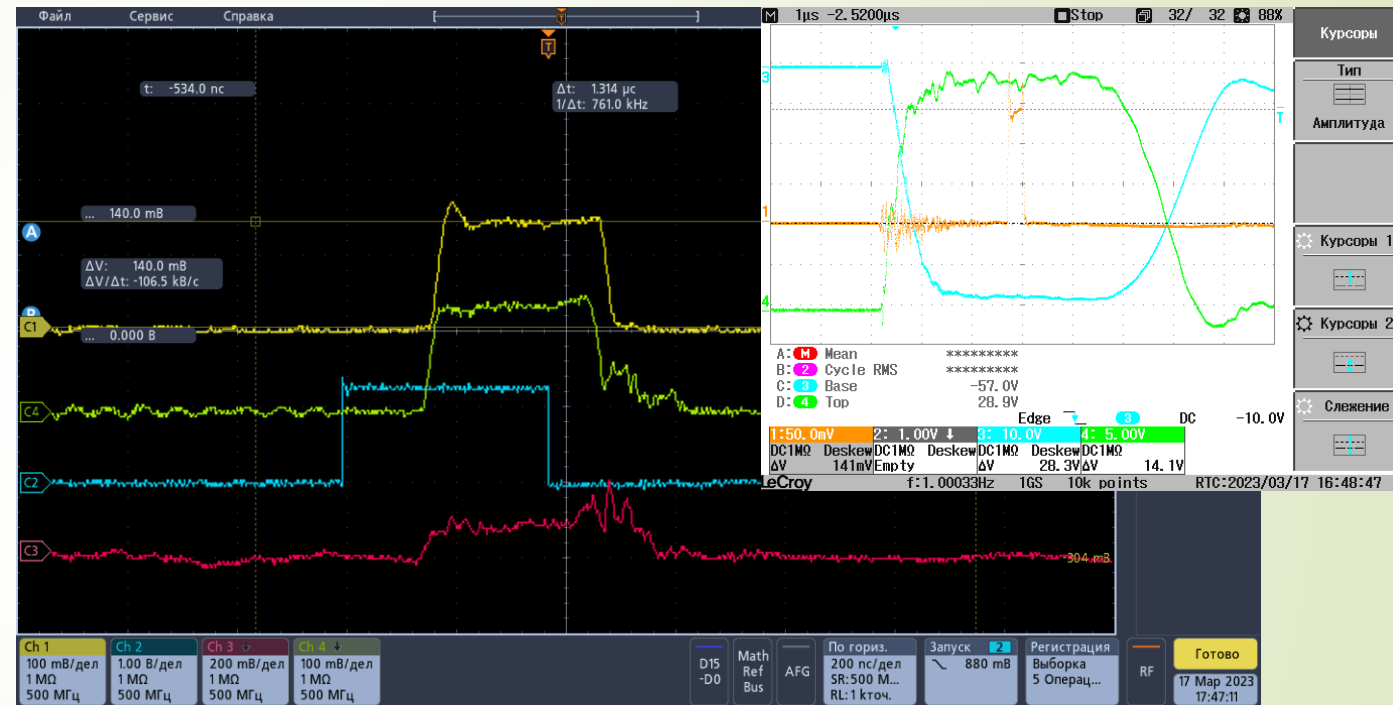
Волноводный фазовращатель



3-х дБ мост

Клистрон

В ИЯФ СО РАН разрабатывается клистрон с выходной мощностью до 50 МВт на частоте 2856 МГц. На данный момент изготовлен третий макет, который проходит стадию тренировки.



Желтый сигнал – огибающая СВЧ мощности в волноводном тракте

На данный момент получено:

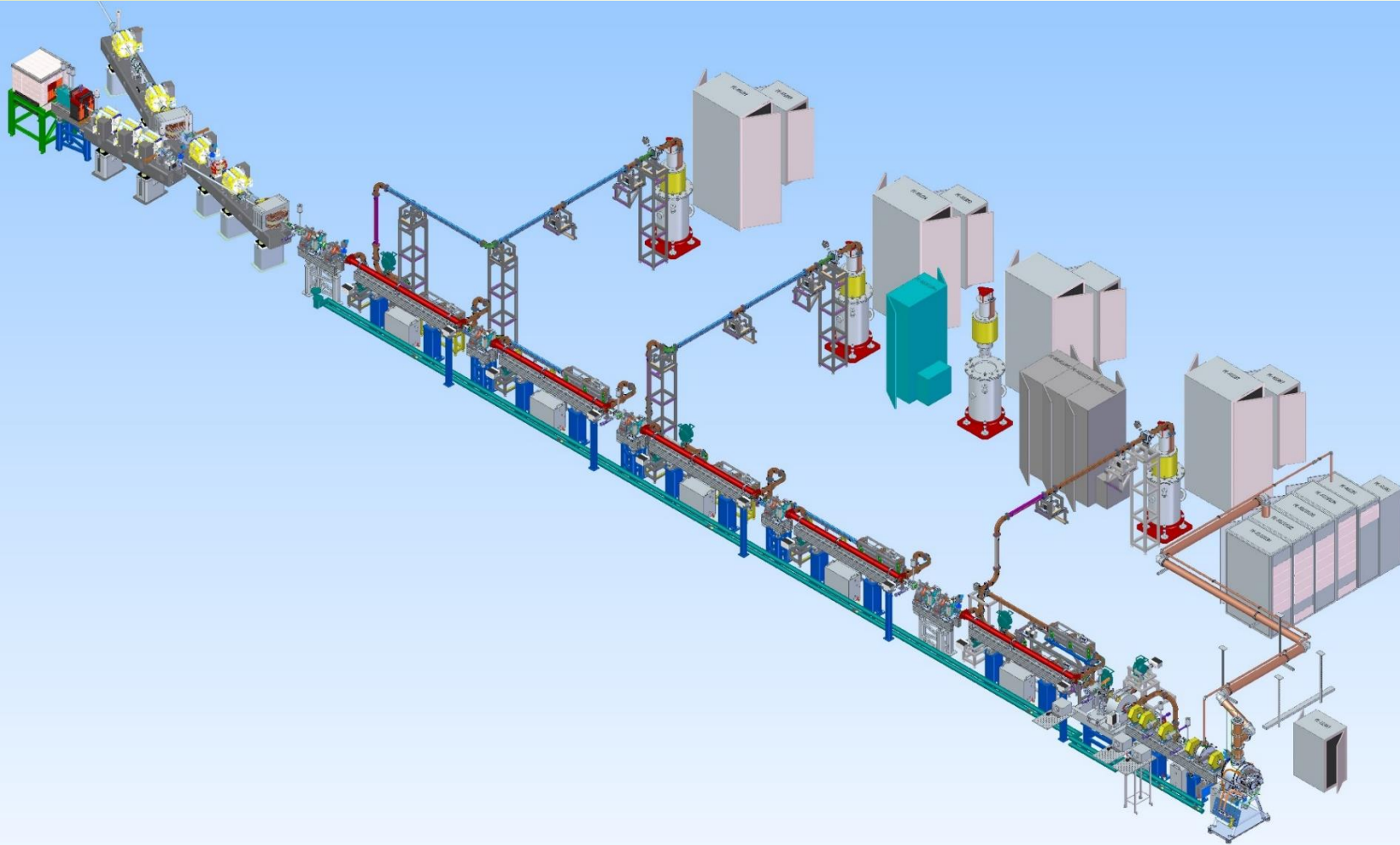
Коэффициент усиления 50 дБ

Выходная мощность в районе 40 МВт при напряжении 330 кВ (номинальное напряжение 350 кВ) и токе 290 А.

Процесс тренировки продолжается!

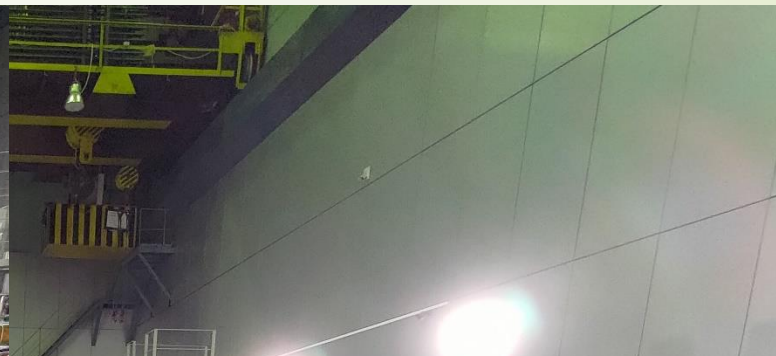
Последние достижения

Линейный ускоритель инжектора СКИФ



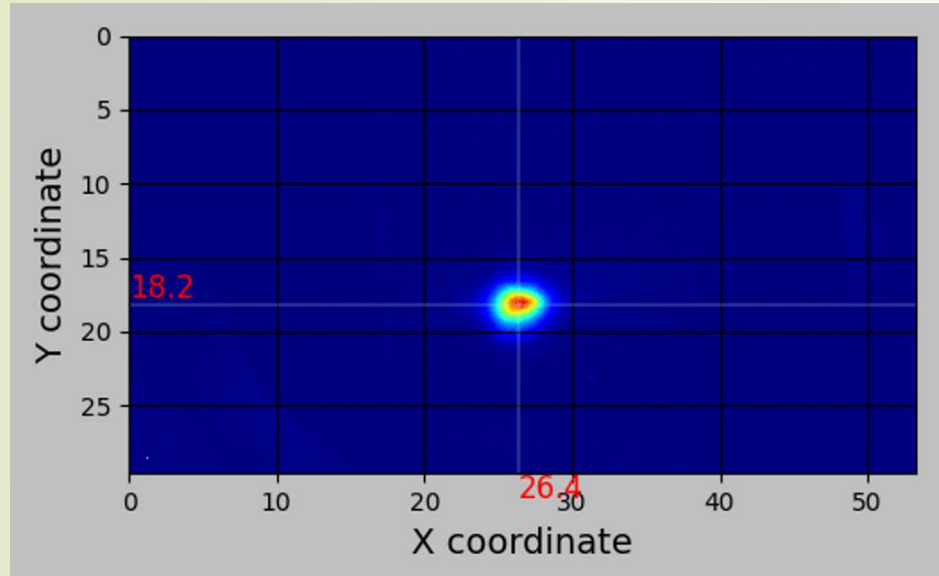
Большинство из приведенных элементов были разработаны и изготовлены для линейного ускорителя инжектора СКИФ. Можно утверждать, что в настоящее время в ИЯФ СО РАН имеются все необходимые технологии, стенды, измерительные комплексы и опыт для создания новых линейных ускорителей.

Стенд инжектора СКМФ

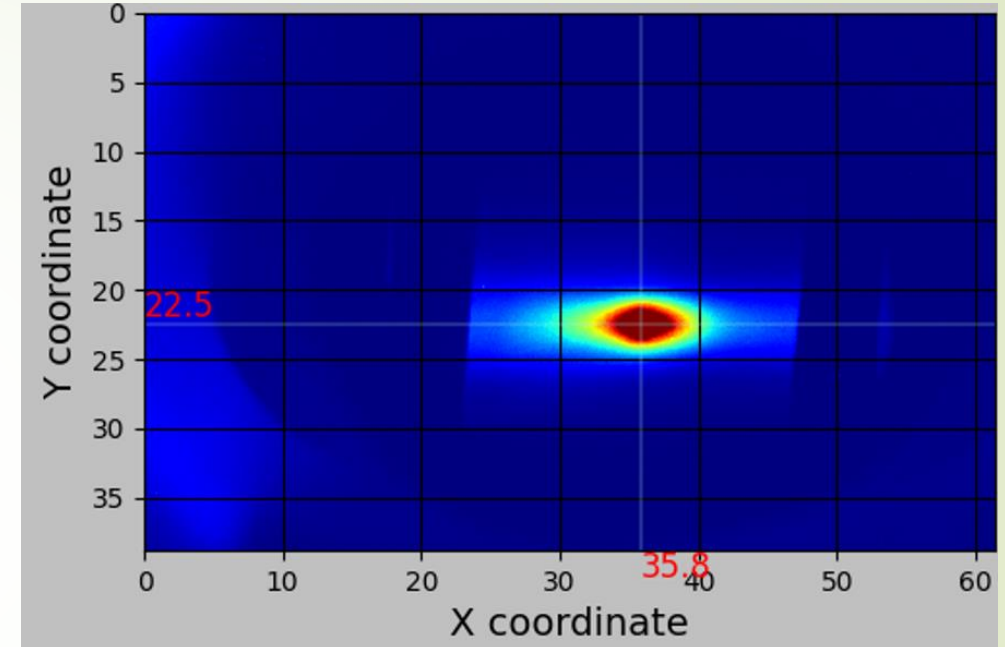


Достигнутые результаты на стенде инжектора СКИФ

Пучок на люминофоре перед спектрометром



$W = 30 \text{ MeV}$



Сигналы с датчиков тока FCT Bergoz: желтый – после пушки, голубой – перед ПГ, фиолетовый – после УС. По амплитуде сигналов до УС долетает 100% пучка, до конца УС – 70%

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Оценка стоимости

Источник электронов:

СВЧ фотопушка,
Источники СВЧ мощности,
Система диагностики,
Система доускорения,
Магнитная система,
Лазерная система,
Система синхронизации
~130 млн.р.

Ускорительный модуль:

Две ускоряющие структуры
Система умножения мощности типа SLED
Клистрон
Модулятор
Волноводная система
Магнитная система
~80 млн. р.