

Инжекторы

Научная сессия ИЯФ 2022

А.Е. Левичев
Сектор 5-13

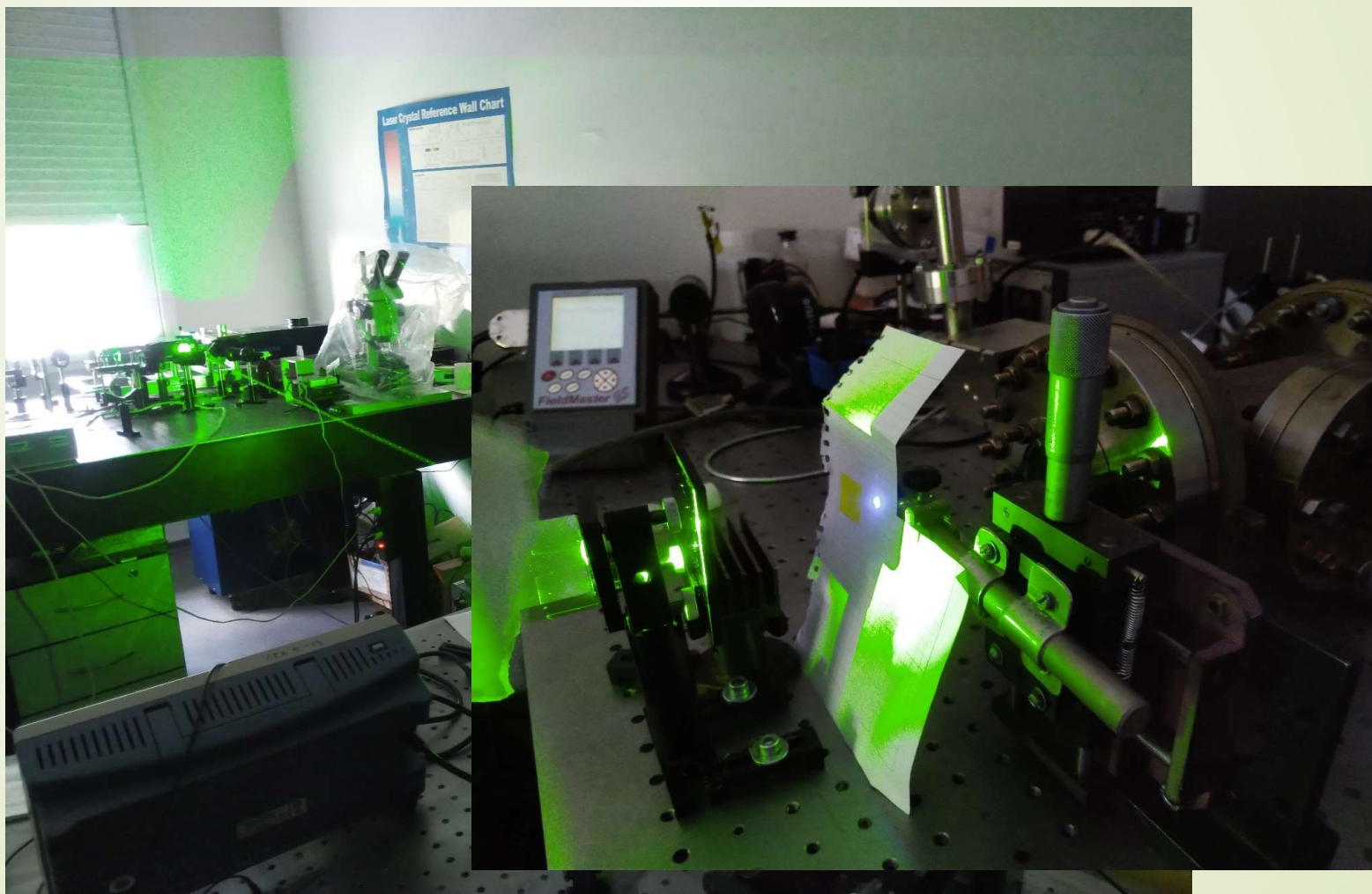
A.E.Levichev@inp.nsk.su
11.03.2022

Оглавление

1. Источники электронов
2. Ускоряющие структуры
3. Клистрон
4. Стенд СКИФ
5. Стенд с магнетроном
6. СВЧ стенд на основе клистрона КИУ-168
7. Разработка системы диагностики ультракоротких пучков

Источники электронов: *разработка фотокатодов для получения интенсивных пучков*

В рамках совместных исследований фотокатодов с Институтом автоматики и электрометрии был модифицирован лазерный стенд для получения 4-й гармоники лазера (266 нм)



Источники электронов: разработка фотокатодов для получения интенсивных пучков

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

Первый этап:

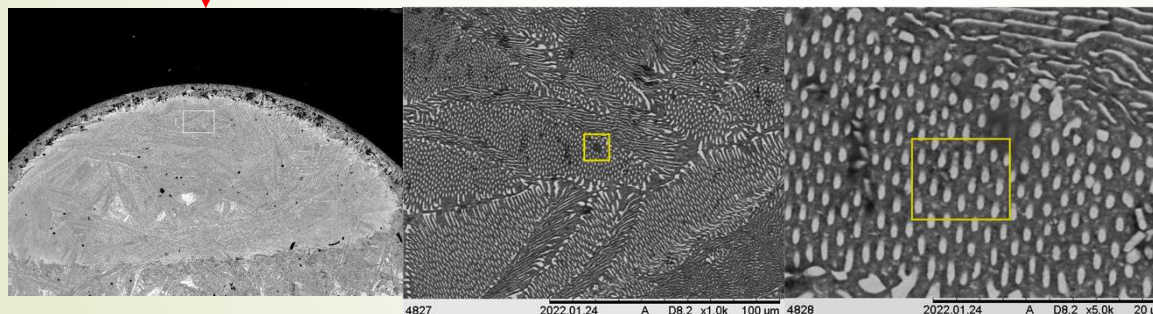
Испытан сплав Ir5Se Зеркальная полировка поверхности



Поверхность	Зеркальная полировка
Измеренная QE	$6 \cdot 10^{-5}$
Порог абляции	$> 100 \frac{mJ}{cm^2}$
Рабочая длина волны	266 нм

Второй этап:

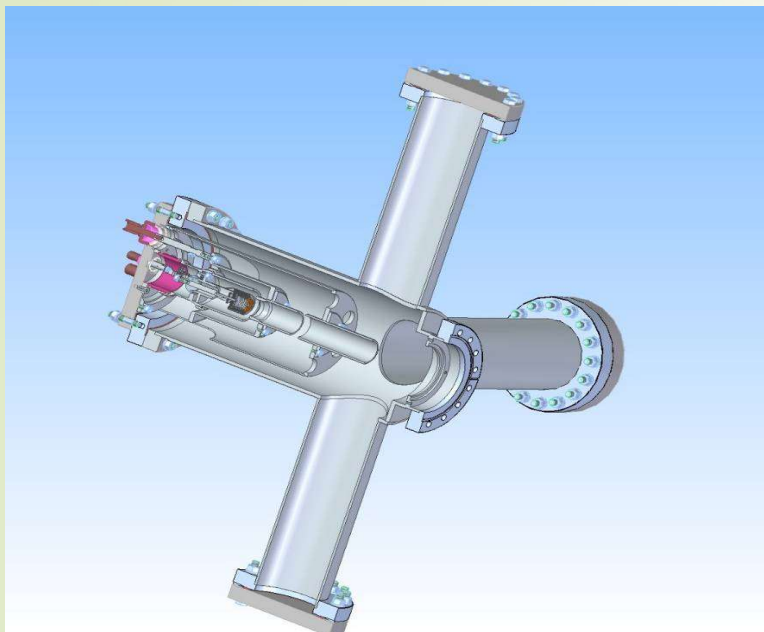
Модификация поверхности



Важные вопросы:

- 1) Влияние фазового состава на QE
- 2) Влияние сложного рельефа на QE
- 3) Влияние дефектов структуры на QE

Источники: разработка источника интенсивных электронных пучков кольцевого типа на основе электронной пушки с термокатодом

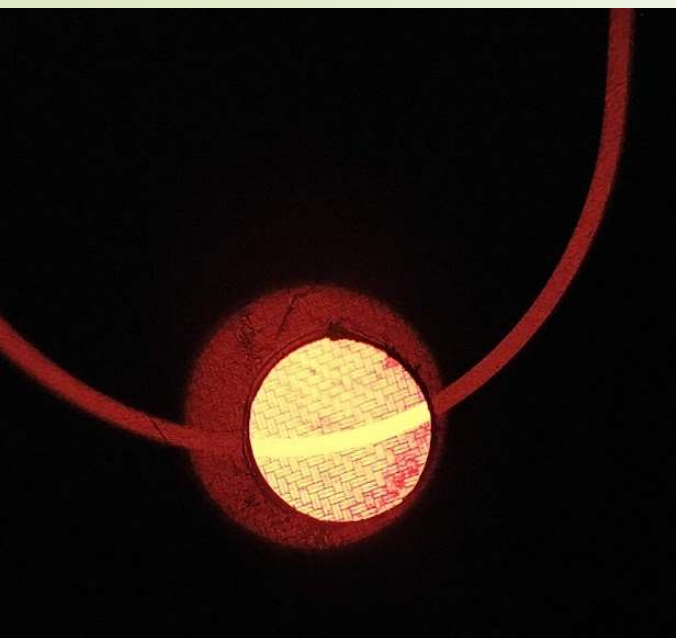


В перспективе, кольцевые пучки планируется использовать для ряда важных проектов, таких как очистка гало протонного пучка в Большом Адронном Коллайдере, а также исследование взаимодействия интенсивных пучков с различными материалами (моделирование тепловых нагрузок).

Ток 5А, напряжение 15 кВ

Источники: *исследования катодов с сеточным управлением*

Изначально стенд создавался для работы с катодами для промышленного ускорителя с магнетронным генератором. Позже он стал использоваться для исследования катодных узлов для СКИФ



Катод для стенда
промышленного ускорителя
с магнетроном

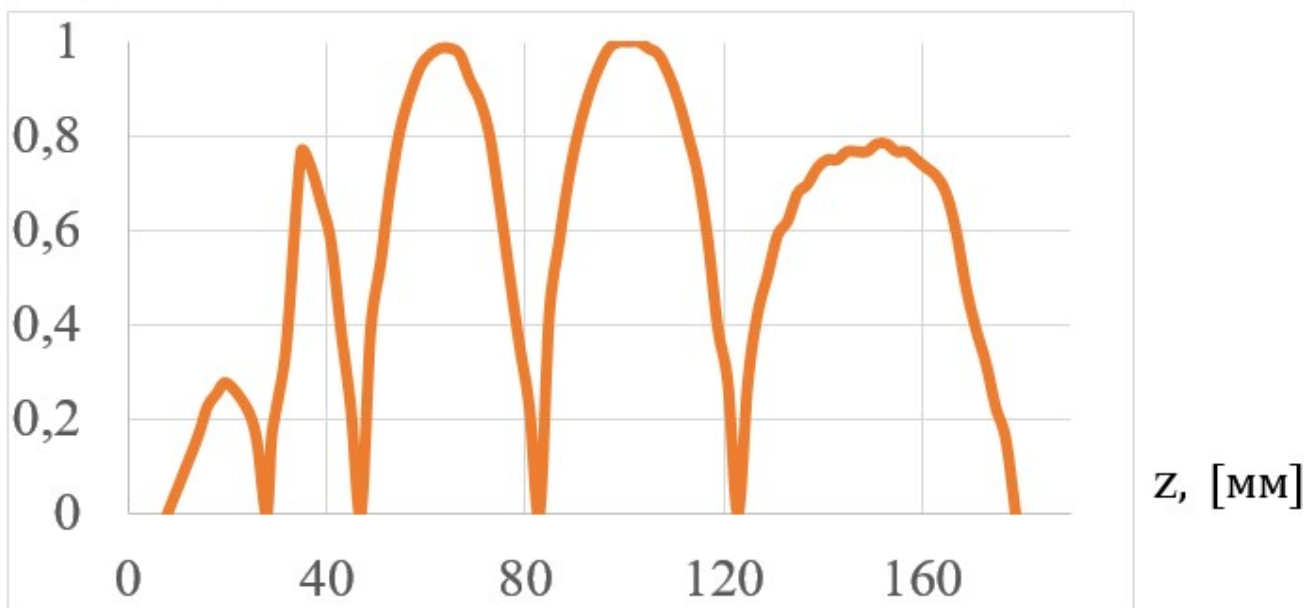


Катодный узел для инжектора СКИФ (изготовитель – НПП Торий)

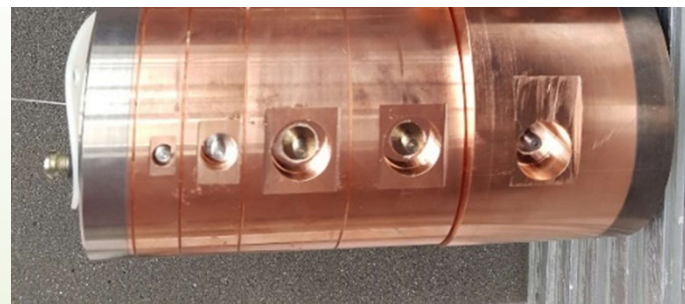
Ускоряющие структуры: предускоритель-группирователь для непрерывного пучка

Предназначение: увеличение количества ускоренных электронов путем подготовки непрерывного нерелятивистского пучка для захвата регулярной ускоряющей структурой (подготовка к инжектору с-т Фабрики и другим проектам, где нужен большой ток ускоренного пучка)

E , [о.е.] Измеренное распределение поля $E_z(z)$ после подстройки

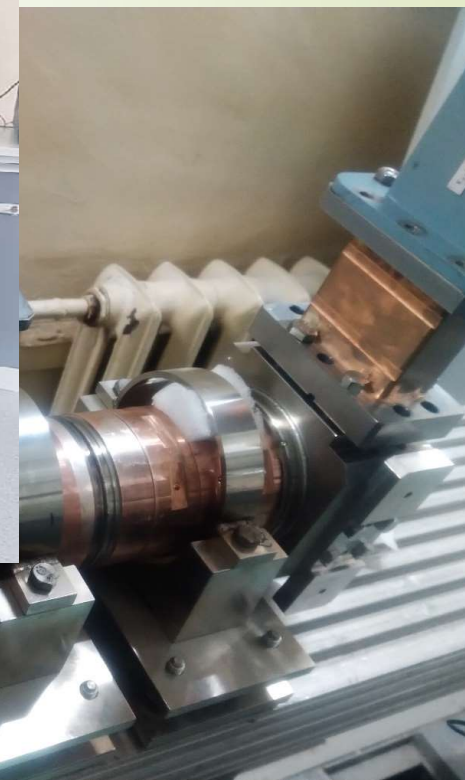
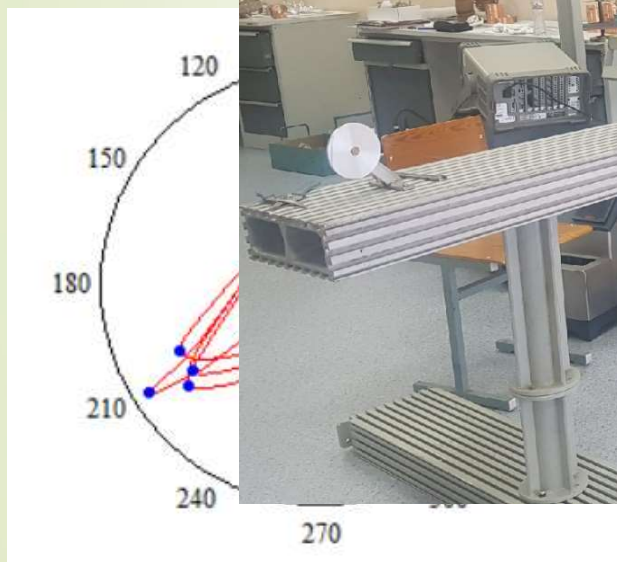


Входная энергия пучка 15 кэВ, выходная 1 МэВ, входной непрерывный ток 0.5 А, входная СВЧ мощность 0.5 МВт, расчетный коэффициент захвата после регулярной ускоряющей секции близок к 90%



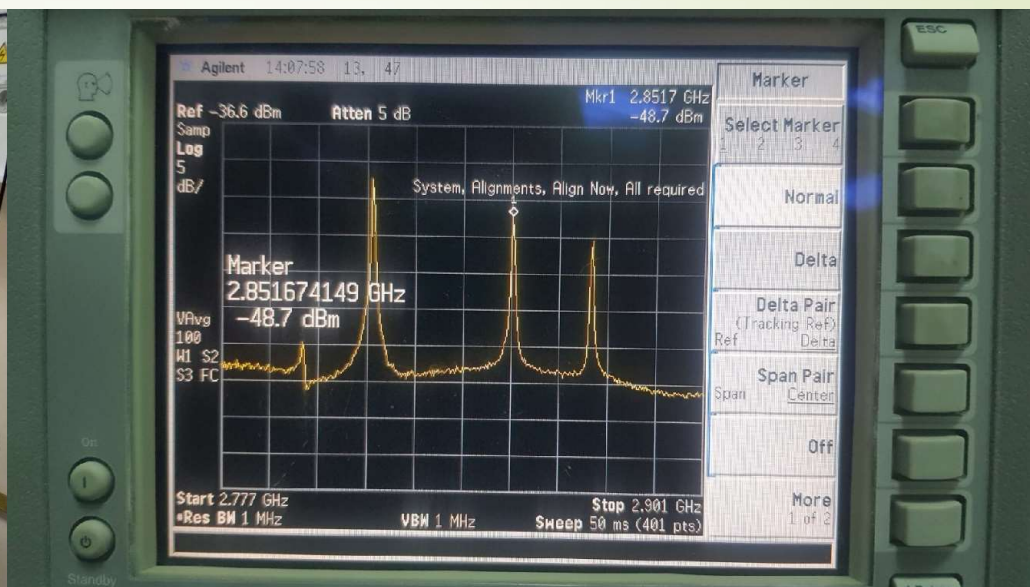
Ускоряющие структуры: *предускоритель для инжектора СКИФ*

Предускоритель для инжектора СКИФ является первой ускоряющей структурой такого типа, изготовленной «с нуля» в ИЯФ за последние 25 лет. На ней отработываются все процессы: изготовление ускоряющих ячеек и трансформаторов типа волны, настройка, пайка, сварка, измерения и т.п. К сожалению, процесс изготовления показал, что опыт создания таких структур во многом утерян.



Фазовая диаграмма. Суммарная ошибка фазы менее 1 град на частоте 2856 МГц

Ускоряющие структуры: *регулярные ускоряющие структуры для инжектора СКИФ*

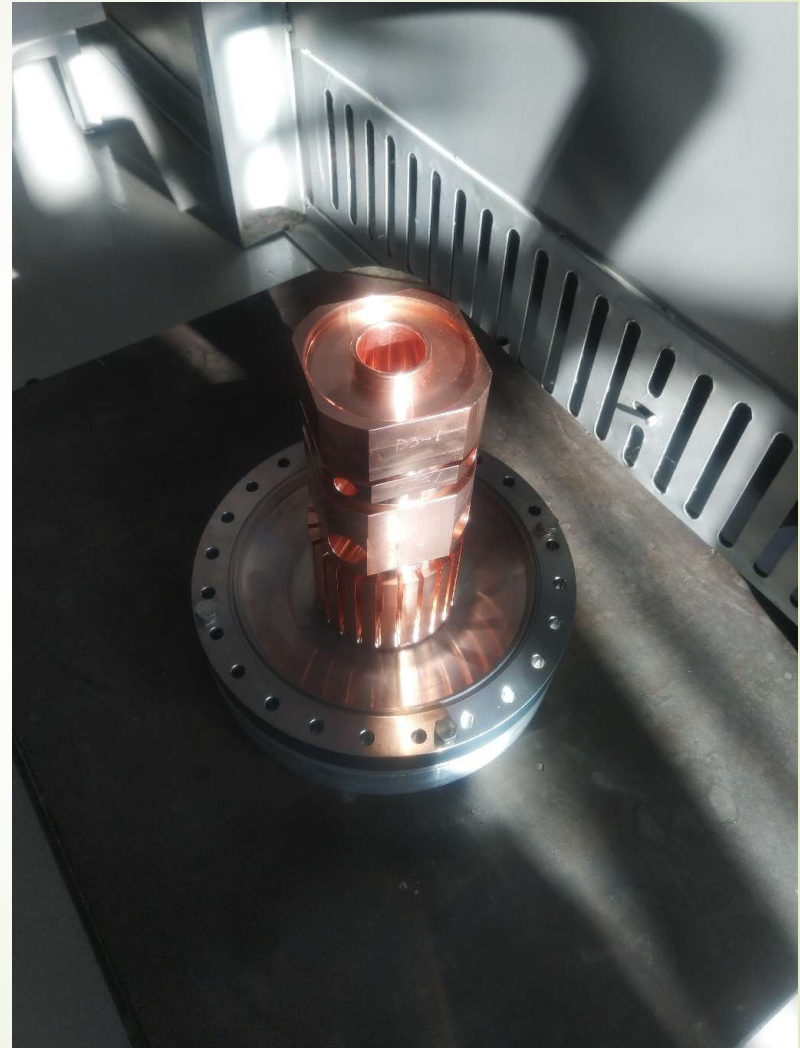


Для инжектора СКИФ необходима рабочая частота 2856 МГц, что отличается от рабочей частоты ВЭПП-5 на +0.5 МГц. Все ячейки отдельно измеряются и настраиваются на новую рабочую частоту. Необходимое количество ускоряющих ячеек – 425 штук.

Клистрон



В 2021 году макет клистрона II, который показал необходимую мощность на частоте 2888 МГц, перестал работать из-за быстрой деградации катода вследствие многократных пробоев высоковольтного поля из-за нестабильности модулятора. Было решено начать производить новый клистрон и добиваться работы на частоте 2856 МГц.



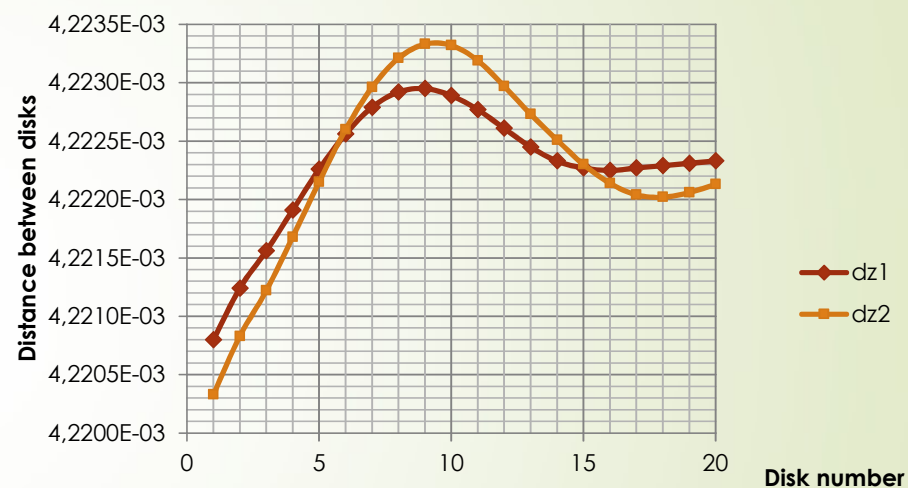
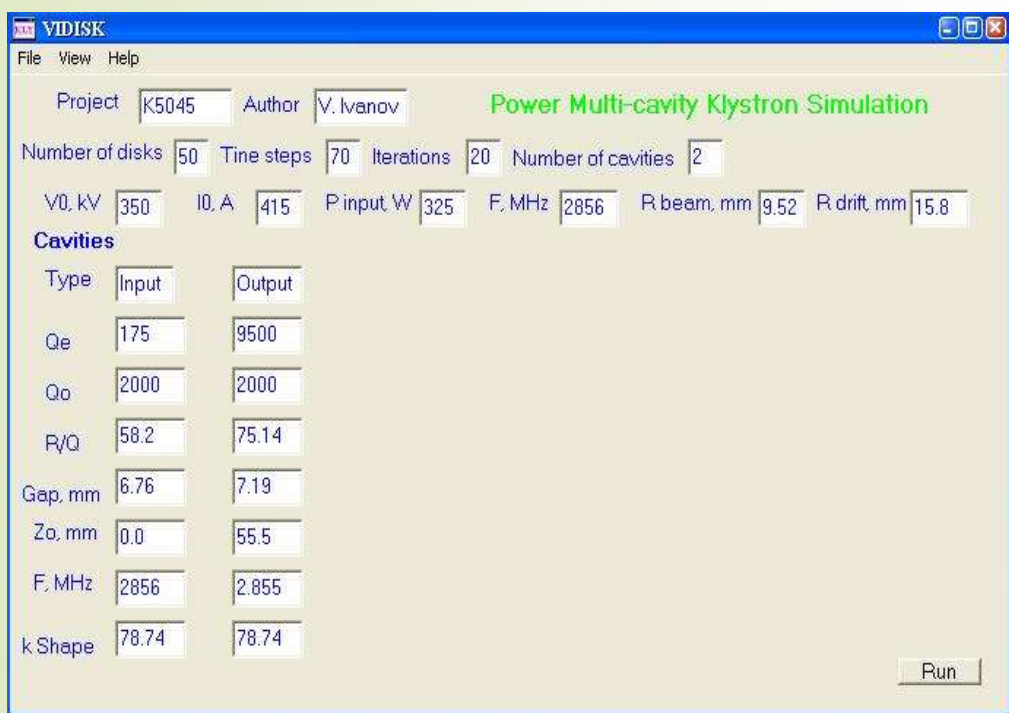
Клистрон: *стенд КЛЕН*

В 2021 году заработал стенд КЛЕН с новым модулятором и системой управления. Стенд необходим для тренировки СВЧ элементов и работал с клистроном 5045 с волноводными вакуумными окнами производства ИЯФ. В процессе работы стенда выявились непонятные эффекты, связанные с выбросами СВЧ мощности. Изучение всех эффектов не получилось из-за выхода из строя конденсаторов модулятора. Сейчас идет восстановление модулятора.



Клистрон: разработка собственного кода для расчетов клистрона

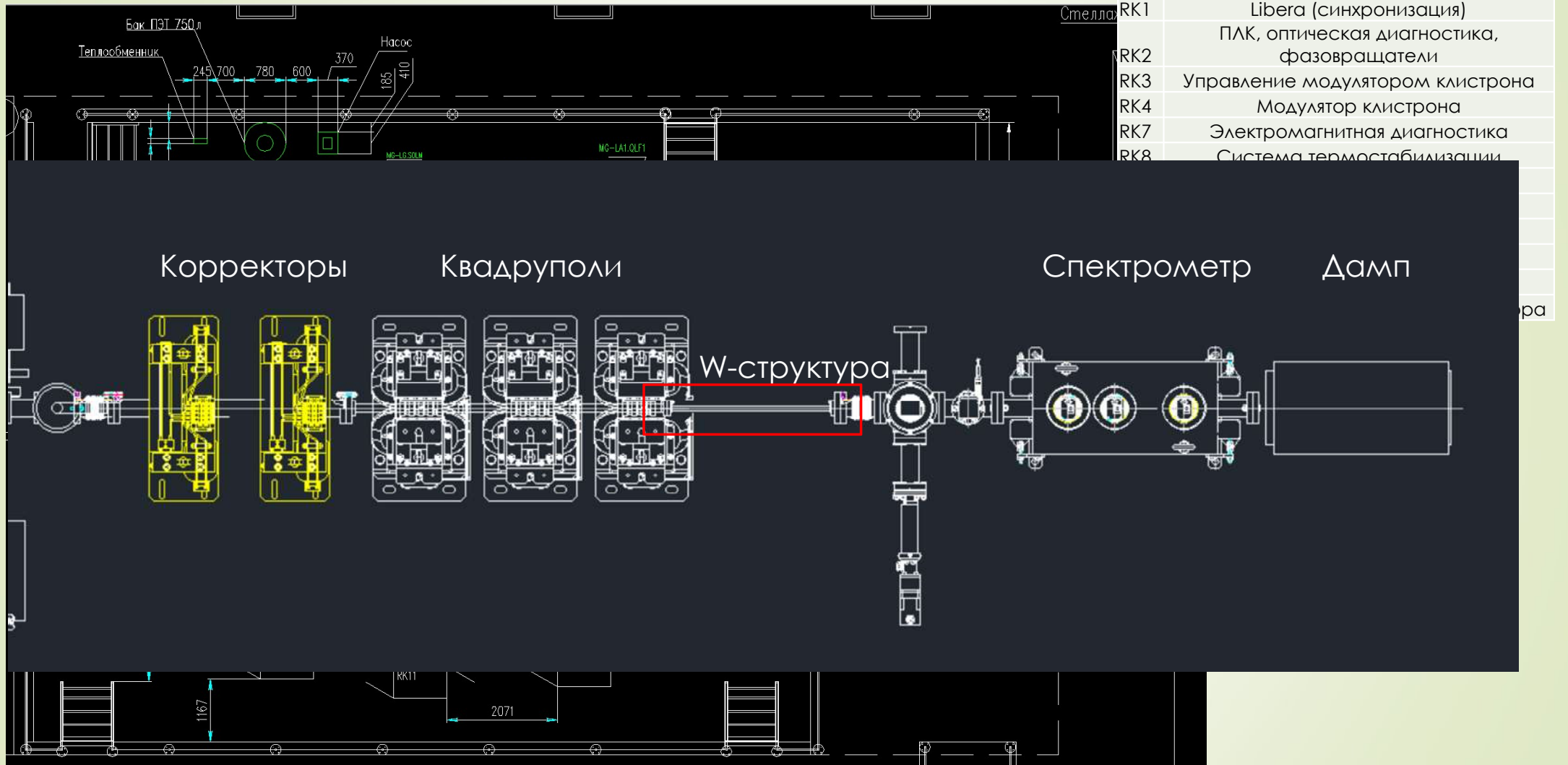
Расчет клистрона производился с помощью CST Studio. Данный код требует больших временных и машинных ресурсов, что сильно ограничивает быструю оптимизацию. Давно стало очевидно, что необходимо иметь собственный код для оптимизации клистрона. В 2021 году появилась возможность создания такого кода и работы были начаты.



Charge density modulation: Blue - $t=0.33\text{ns}$, red - $t=0.42\text{ns}$

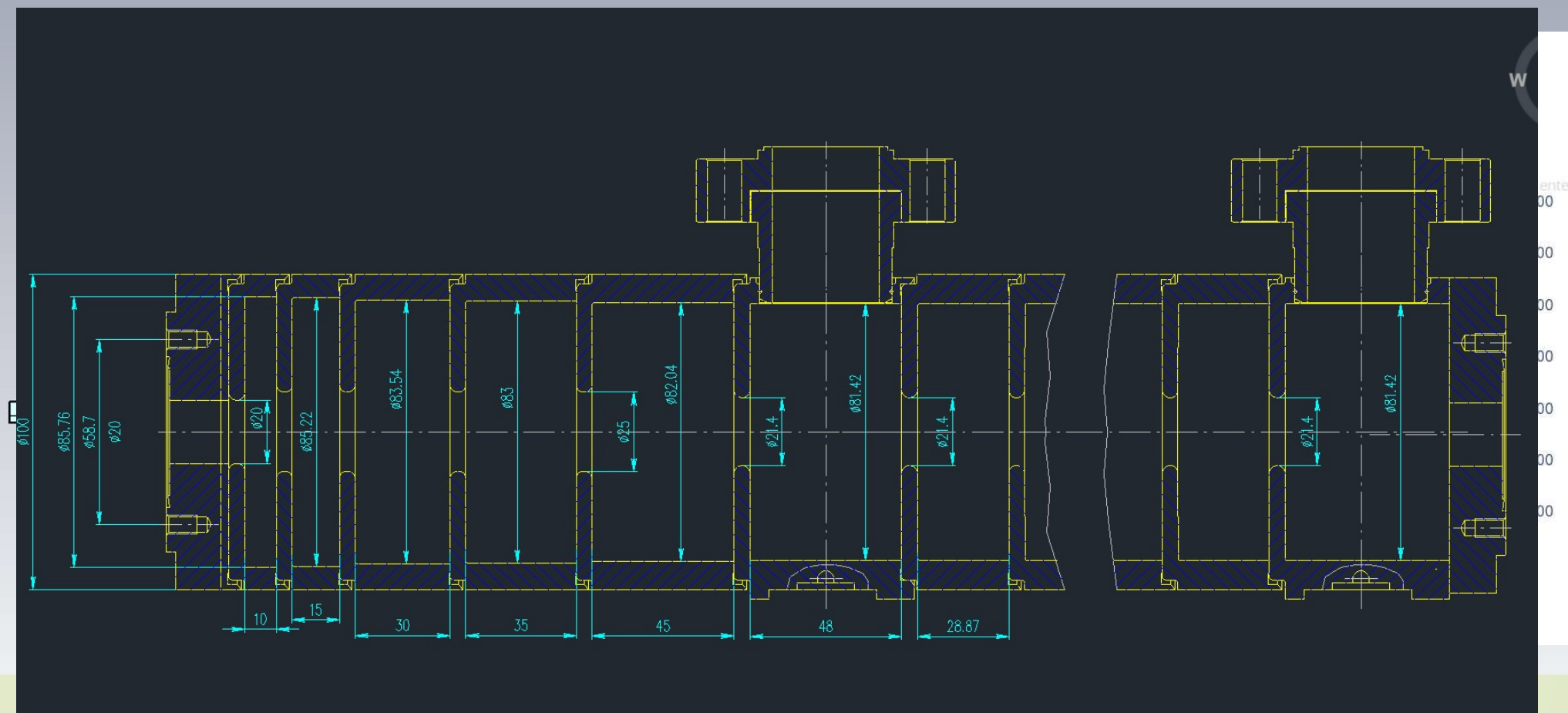
Модуляция распределения плотности заряда для одномерной модели, состоящей из 20 дисков для двух моментов времени пролёта

СКИФ: *стенд инжектора*



В 2021 году начали готовиться к реальным экспериментам с инжектором СКИФ

Стенд с магнетроном: гибридная ускоряющая структура



Была разработана гибридная ускоряющая структура специально для работы с магнетроном.
Начаты конструкторские работы.
Мощность на входе в структуру 3.5 МВт
Рабочая частота 2856 МГц

Стенд с магнетроном: *модулятор*

Модулятор: закуплены компоненты. В связи с трудностями закупки, многие элементы пришли только в конце года.

Ведётся доработка системы
Р. Вахрушевым



СВЧ стенд на основе клистрона КИУ-168

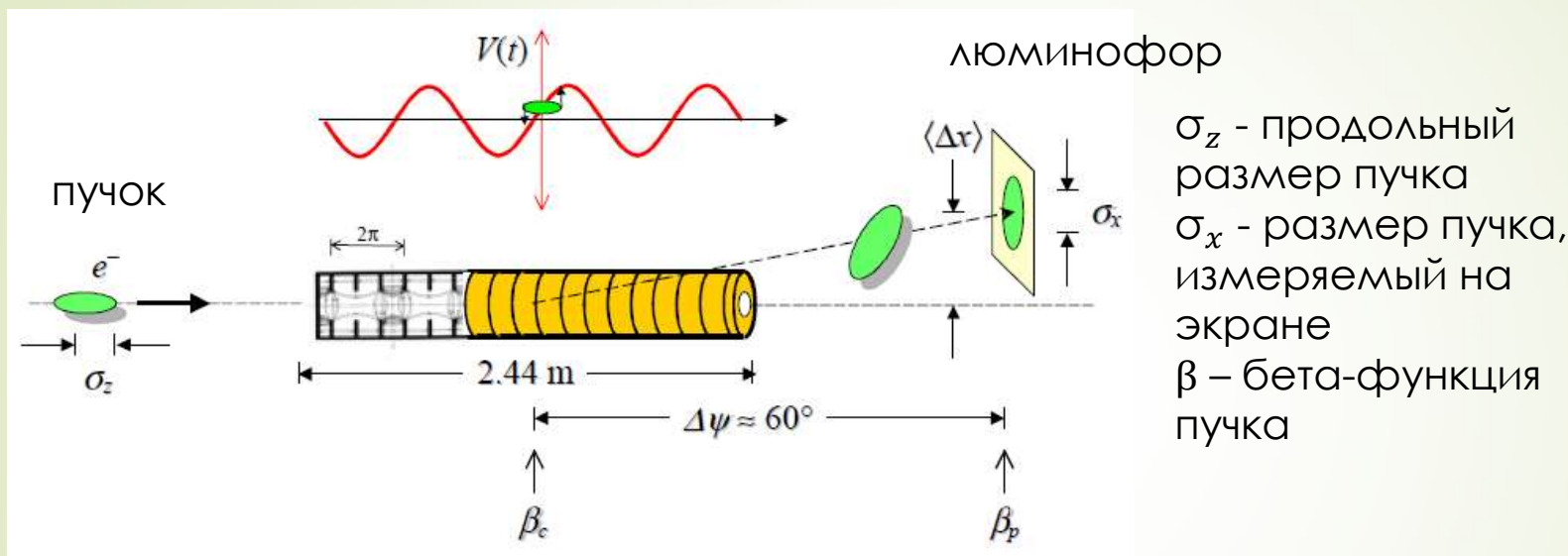
Для стенда в 2021 году был закуплен источник питания зарядного напряжения, который пришел в конце года. Сейчас можно запускать модулятор и клистрон, но из-за занятости по другим проектам пока работы не начаты.



Рабочая частота, МГц	2856
Выходная импульсная мощность, МВт	6
Выходная средняя/непрерывная мощность, кВт	5
Напряжение катода, кВ	52
Число лучей	40

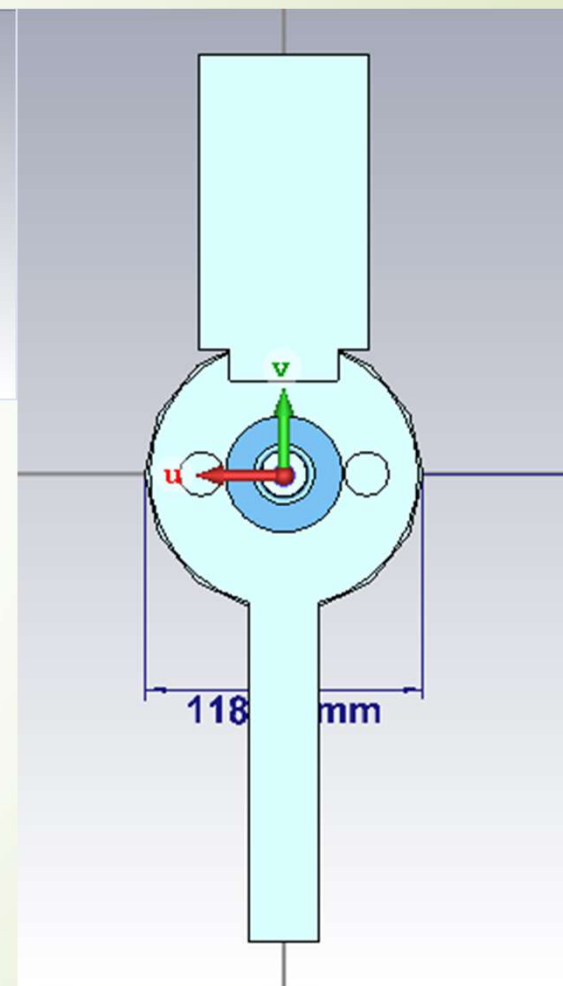
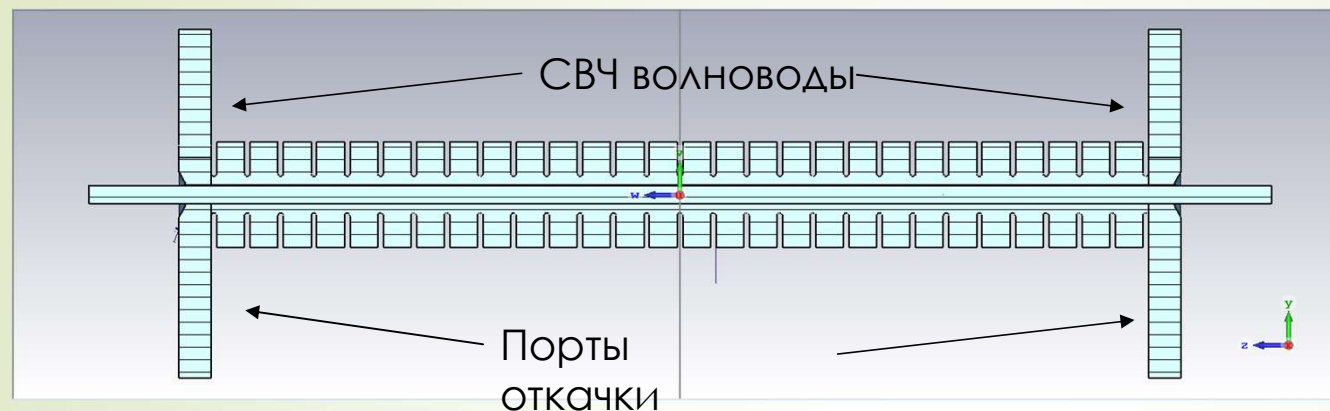
Разработка системы диагностики ультракоротких пучков

Для многих приложений, включая инжекторы будущих проектов ИЯФ, необходима система диагностики пучков длительности ~ 1 пс.



- ▶ Пучок внутри дефлектора сопровождается бегущей волной, поле которой отклоняет частицы в поперечном направлении.
- ▶ На расположенном после отклоняющей системы экране можно увидеть длину пучка и распределение частиц вдоль продольной координаты. При использовании дефлектора совместно с дополнительными дипольными магнитами можно получить полное продольное фазовое пространство, а также эмиттанс среза пучка.

Разработка системы диагностики ультракоротких пучков



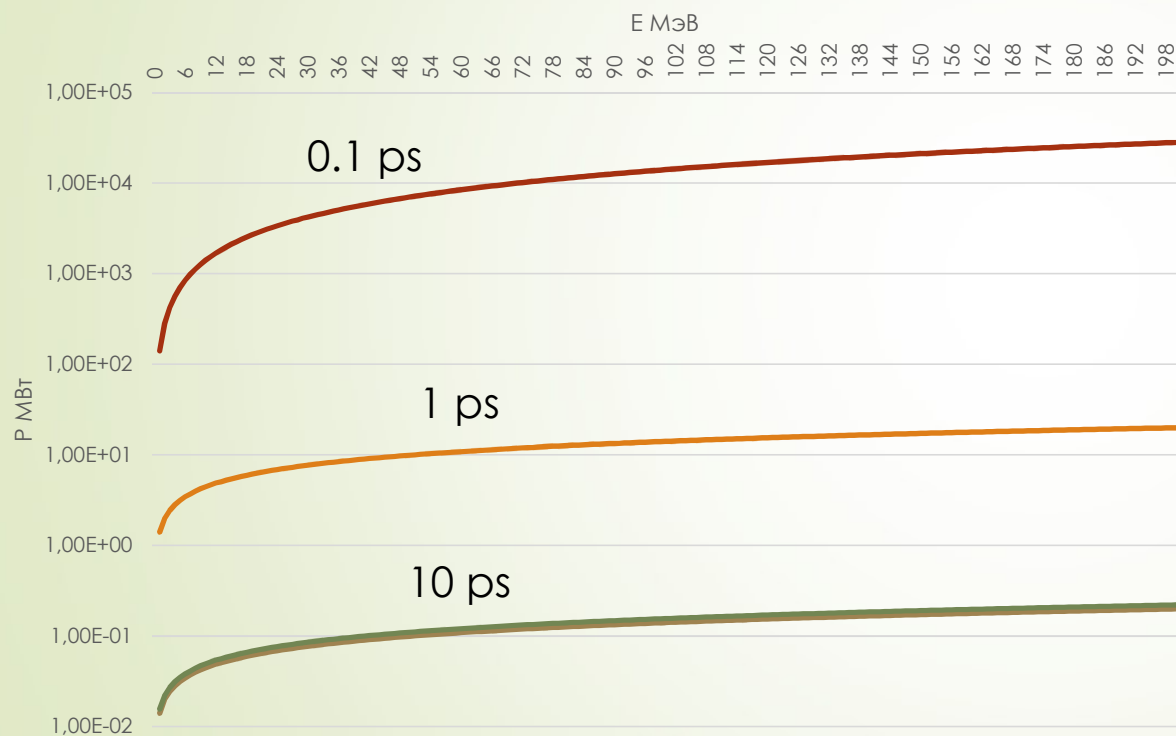
Общая длина мм	1055.84
Длина ячейки мм	35
Количество ячеек	30
Толщина диафрагмы	5.84
Внутренний диаметр ячеек мм	118.30
Апертура мм	40.32
Диаметр отверстий мм	19.05
Расстояние между отверстиями мм	35.10
Диаметр крайних ячеек мм	116.30

Расчеты практически завершены, структура готова для конструкторского проектирования

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Разработка системы диагностики ультракоротких пучков

Зависимость мощности СВЧ от энергии пучка для достижения фиксированного разрешения.



Длина структуры 3 м

Нормализованный
эмиттанс 30 мкм

Частота СВЧ 2856 МГц