

# Развитие технологий для линейных ускорителей

Научная сессия ИЯФ 2021

А.Е. Левичев  
A.E.Levichev@inp.nsk.su  
05.02.2021

# Оглавление

1. Стенд ПУМА
2. Стенд КЛЕН
3. Разработка источников электронов
4. Разработка СВЧ элементов линейных ускорителей
5. Клистрон
6. Работы в рамках проекта СКИФ
7. Сотрудничество с другими организациями

# Стенд ПУМА

Модулятор разработки В. Камарова и Р. Вахрушева

**Предназначение:** стенд ПУМА предназначен для отработки технологий создания компактных, недорогих, маломощных (не более 10 кВт) СВЧ ускорителей.

**Он состоит из:** модулятора магнетрона, магнетрона МИ-456, циркулятора, волноводного тракта, волноводного СВЧ ускорителя с параллельной связью, пушки с катодом от ГС-34 и напряжением 50 кВ.

**В ближайшее время будет отдельный семинар А. Андрианова по данному стенду**

**Были достигнуты:** получена СВЧ мощность в волноводном тракте, СВЧ мощность в ускоряющей структуре с параллельной связью. Ток пушки был получен значительно меньше, чем необходимо из-за отравления катода вследствие вакуумной аварии (катод сейчас на замене)

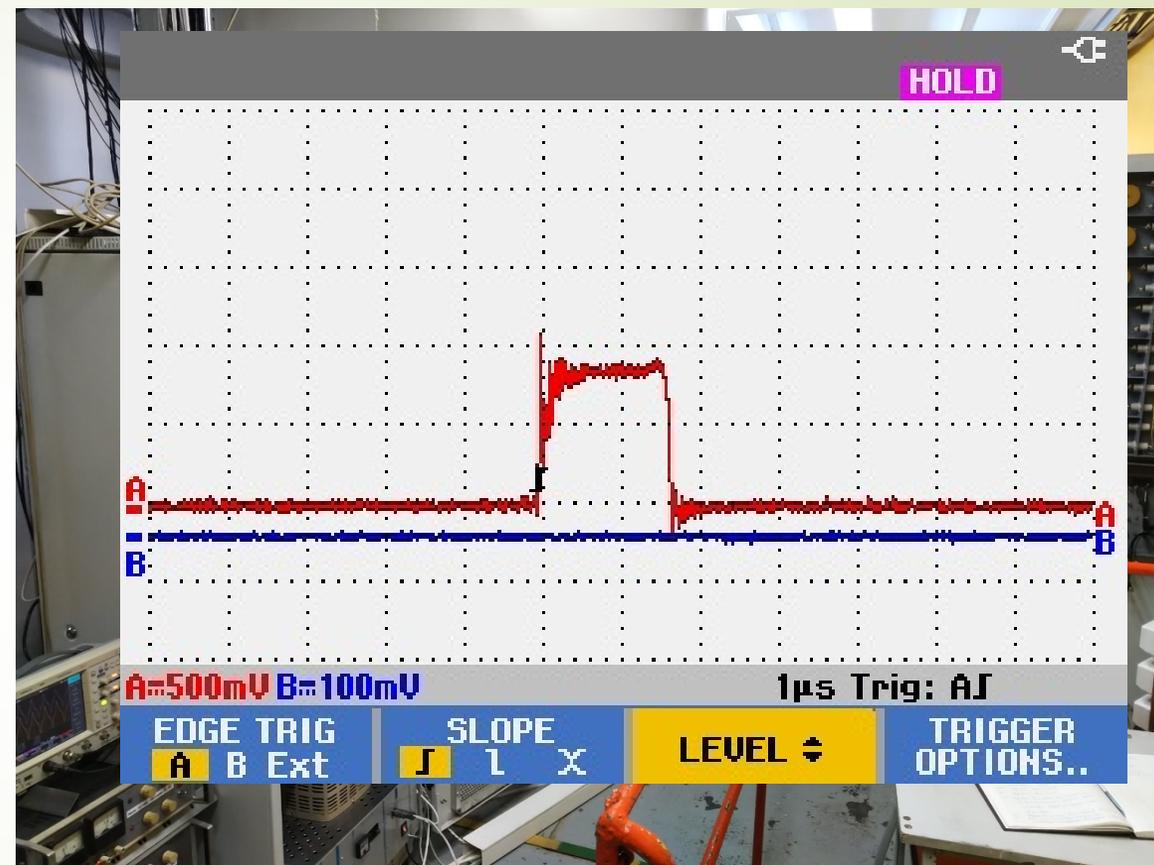
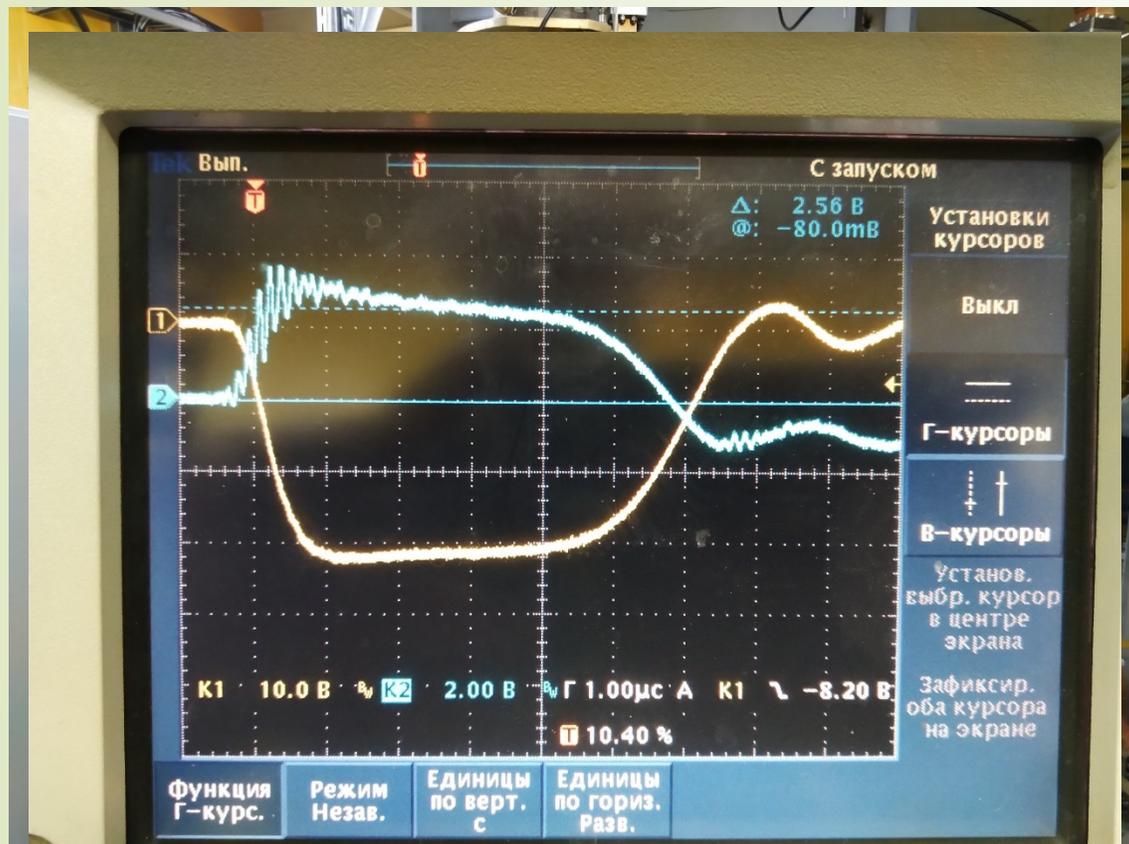
**Далее необходимо:**

1. Работа в циклическом режиме для тренировки СВЧ тракта и структуры
2. Замена катода, активация, работа с пучком
3. Модернизация модулятора
4. Создание новой ускоряющей структуры
5. ...
6. Дальнейшее развитие стенда под вопросом из-за особенности помещения и статуса работы



# Стенд КЛЕН

**Предназначение:** СВЧ стенд для тренировки и исследования различных СВЧ элементов линейных ускорителей



Модулятор разработки П.А. Бака и Ко.

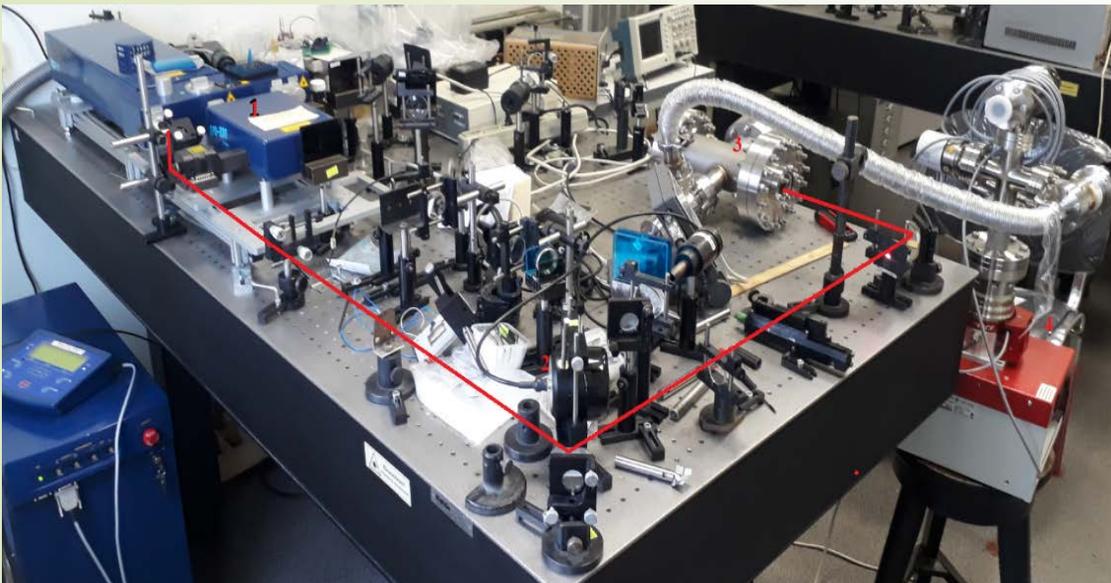
Модулятор работает, основные этапы отладки выполнены, но остались еще вопросы: стабильность работы тиратрона, стабильность запусков, блокировки.

Клистрон производства SLAC, но после замены СВЧ окон. СВЧ окна разработки и изготовления ИЯФ. Идет тренировка волноводного тракта и волноводной нагрузки.

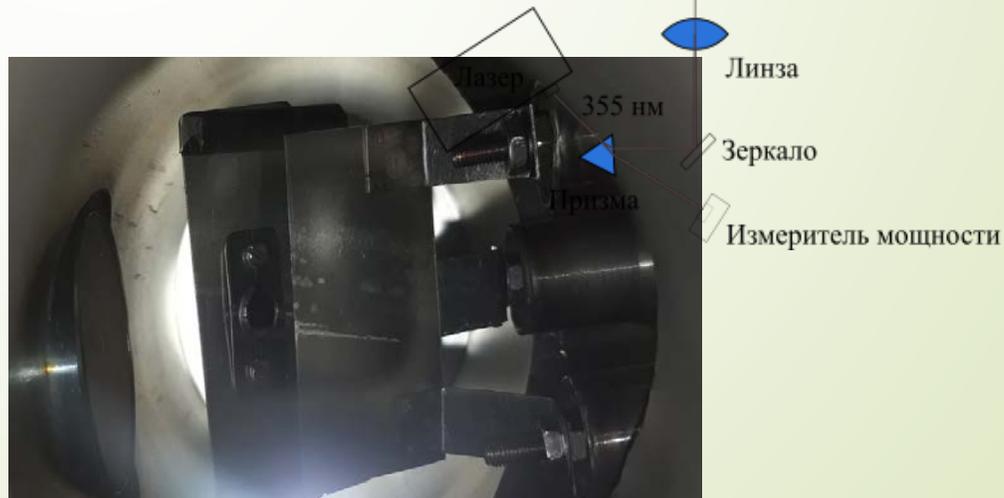
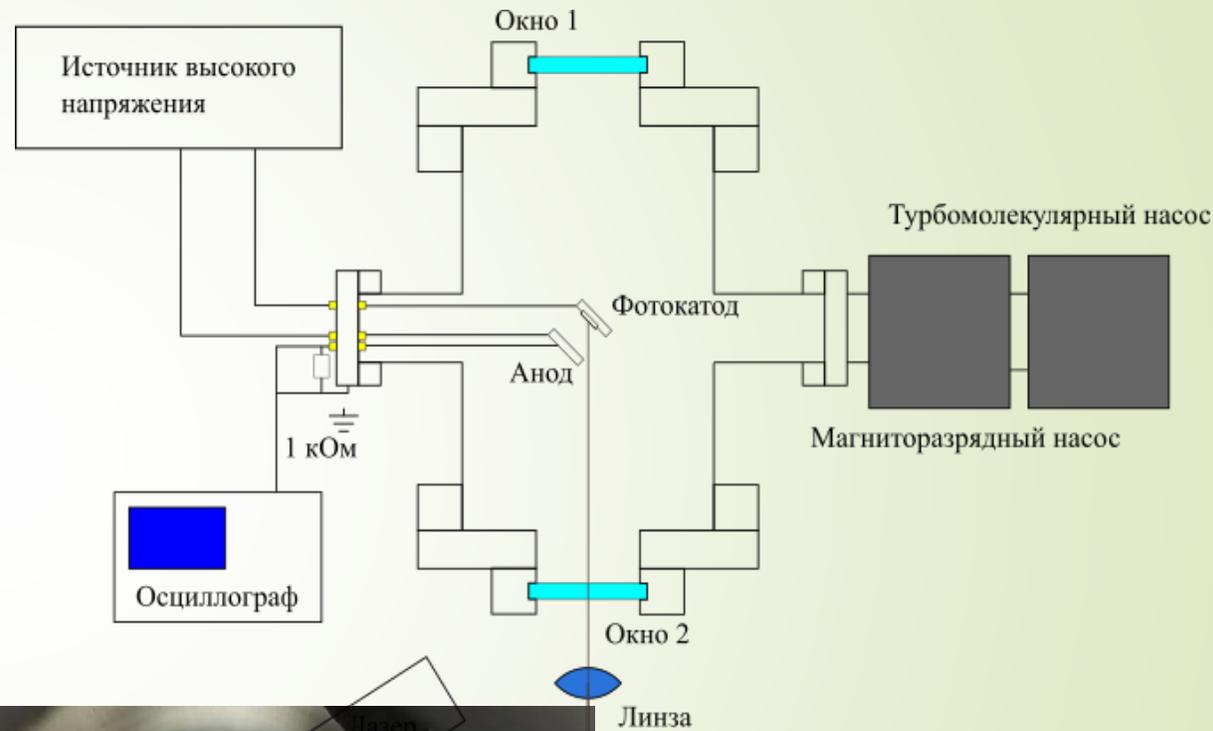
# Разработка источников электронов: исследование фотокатода

**Задача:** исследования свойств металлических фотокатодов для дальнейшего использования в фотопушках проекта С-Tau фабрика и др.

Лазерный стенд в **ИАиЭ** (лаб. Физики лазеров, зав. лаб. Микерин С.Л.)



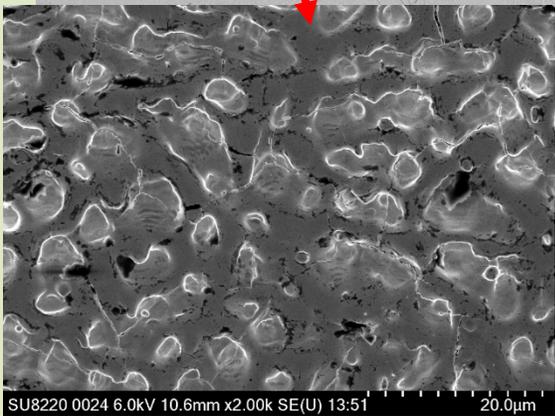
Ранее был разработан стенд в **Институте автоматике и электрометрии** для изучения фотоэмиссии катодов на базе лазера с длиной волны 355 нм, длительностью импульса 6 нс, энергией 20 мДж.



# Разработка источников электронов: исследование фотокатода

При длине волны лазера 355 нм удалось достичь для катода Ir5Ce квантовой эффективности  $7 \cdot 10^{-8}$  и извлечь заряд 330 пКл. Квантовая эффективность на 1 порядок больше эффективности медного катода при данной длине волны.

«Игольчатые» структуры поверхности фотокатода после термической обработки в вакууме при  $950^{\circ}\text{C}$  (7 часов) и травления  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$  :



Модификация поверхности получена на базе Алтайского Государственного Технического Университета (АлтГТУ) на кафедре «Современные специальные материалы»

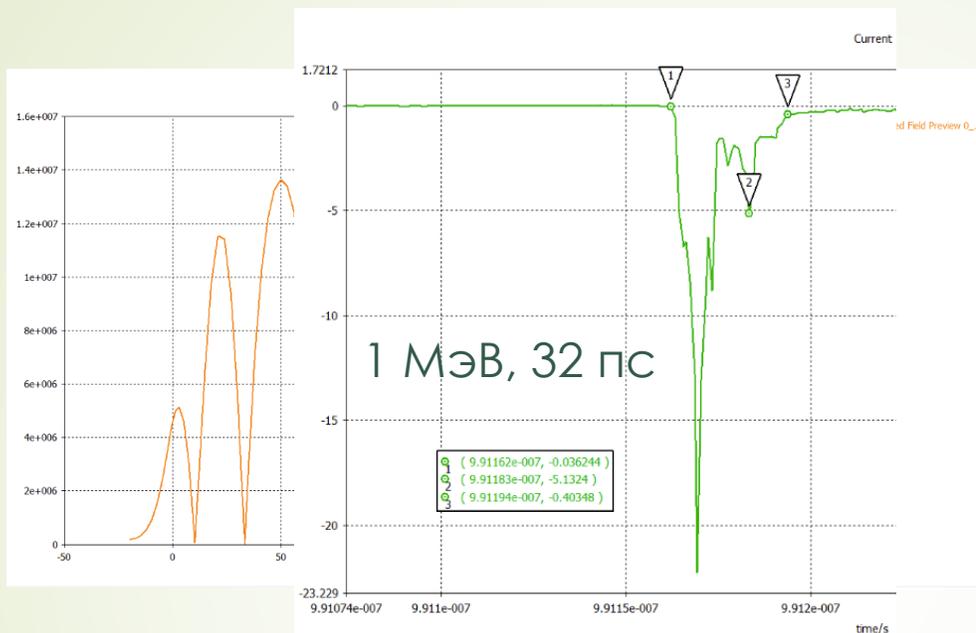
В 2020 году данный стенд был модернизирован для получения длины волны 262 нм. Измерения фотоэмиссии планируются в ближайшее время.

# Разработка СВЧ элементов линейных ускорителей: группирователь-предускоритель

## Предназначение:

согласующая структура захвата непрерывного нерелятивистского пучка в режим ускорения

для



Ориентировочная входная мощность порядка 0.5 МВт.  
Время заполнения в районе 1.5 мкс.



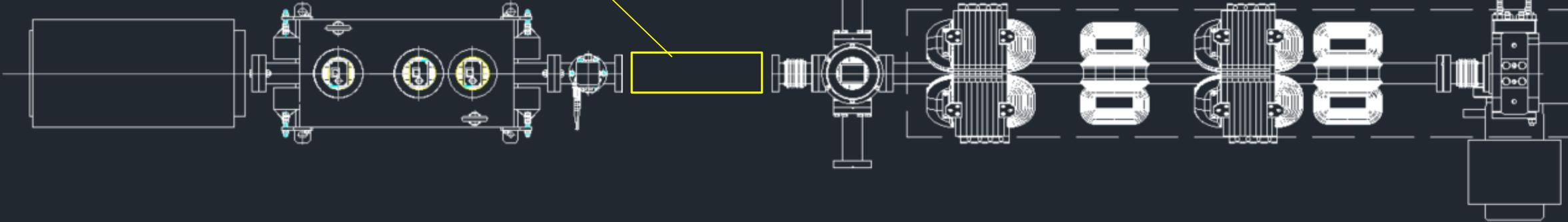
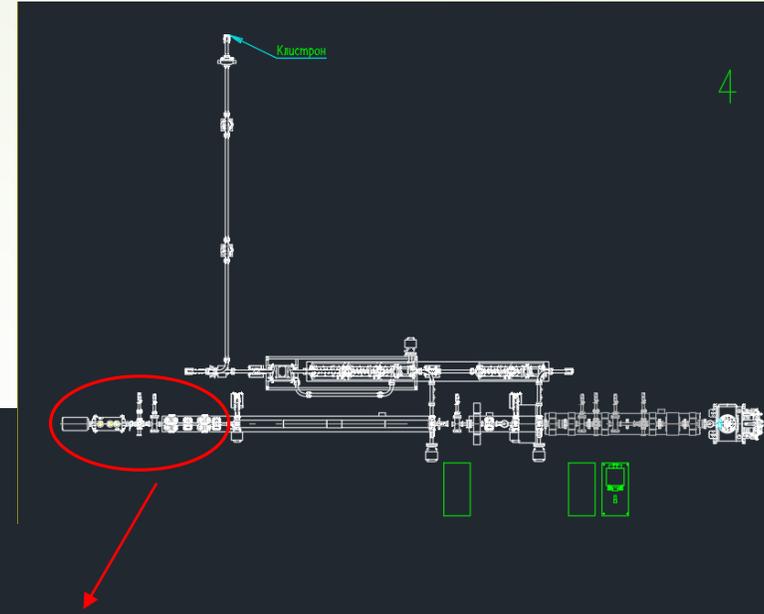
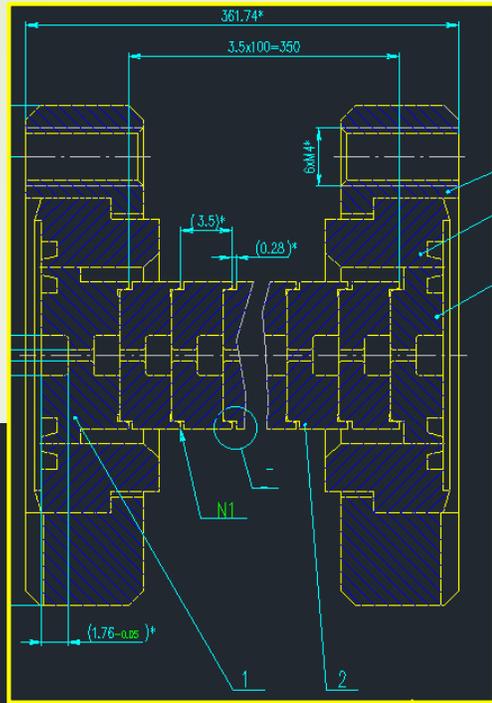
Структура ускорителя-группирователя: входная энергия 15 кэВ, выходная 1 МэВ, входной ток непрерывный 0.5 А, расчетный коэффициент захвата после регулярной ускоряющей секции в районе 90%



# Разработка СВЧ элементов линейных ускорителей: ускоряющая структура W-диапазона

## Предназначение:

ускоряющая структура с темпом ускорения ~100 МэВ/м



Первая ускоряющая секция

Схема проведения эксперимента по возбуждению структуры на стенде линака СКИФа

# Разработка СВЧ элементов линейных ускорителей: структура с поперечным отклоняющим полем

**Предназначение:** продольная диагностика ультракоротких пучков длиной ~1 пс

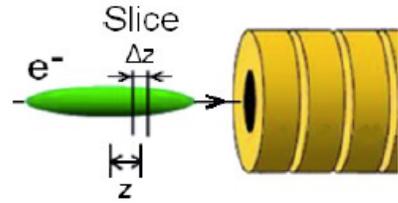
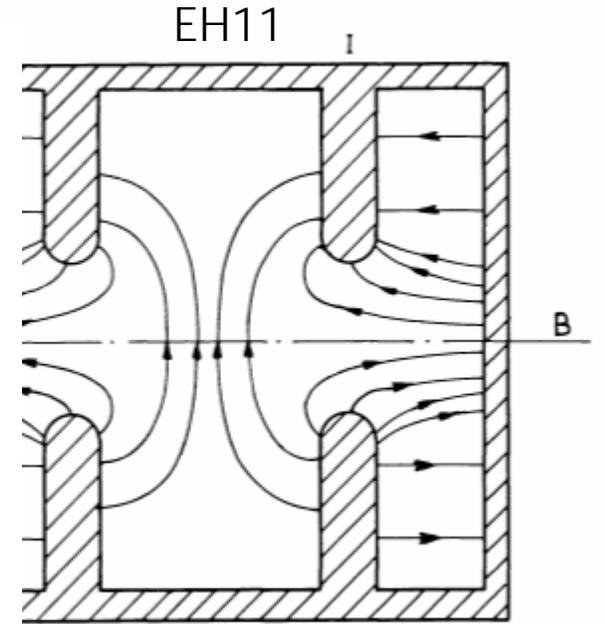
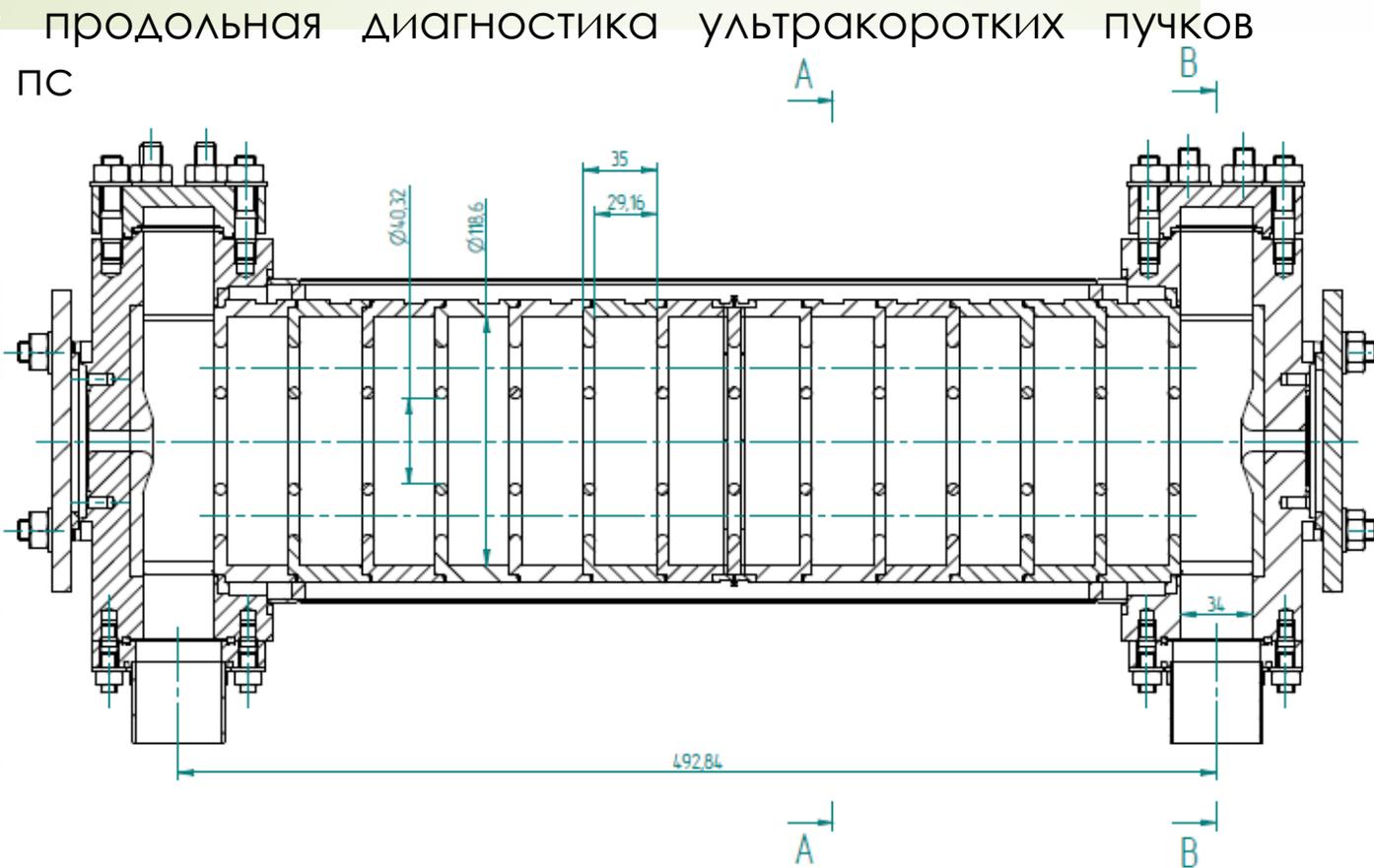


Fig. 4.4: Illustration of the from the left to the right drift space it is imaged on the position  $z$ , relative to imaged on the screen having  $Y_{rms}$ .



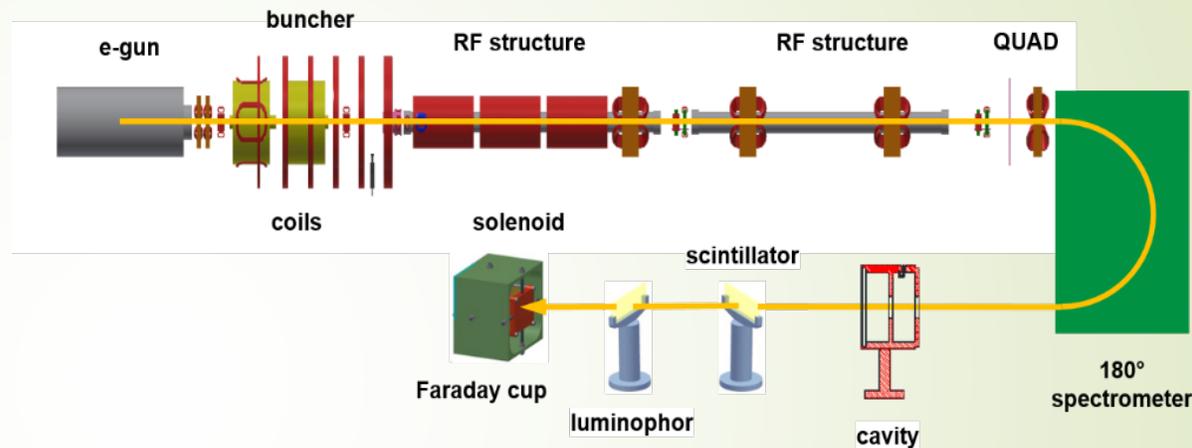
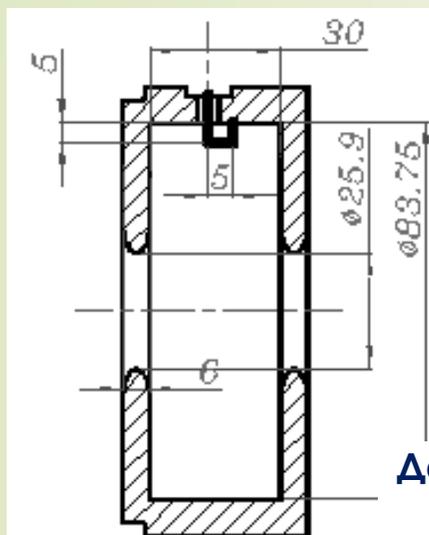
разрешение

Отклоняющая СВЧ структура позволяет развернуть пучок на заданный размер в поперечном направлении. Кроме этого происходит продольное смещение пучка от оси, что позволяет вывести пучок на экран оптической диагностики. Вырезанные поперечные области пучка на экране соответствуют продольным областям ускоряемого пучка. Достигаемая разрешающая способность менее 100 фс.

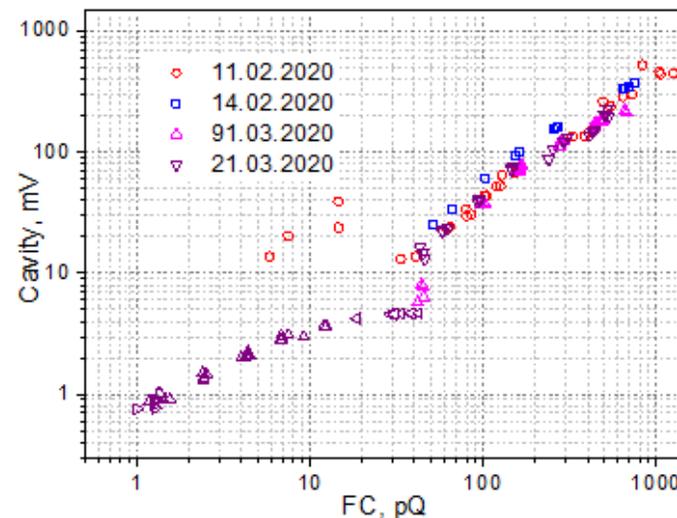
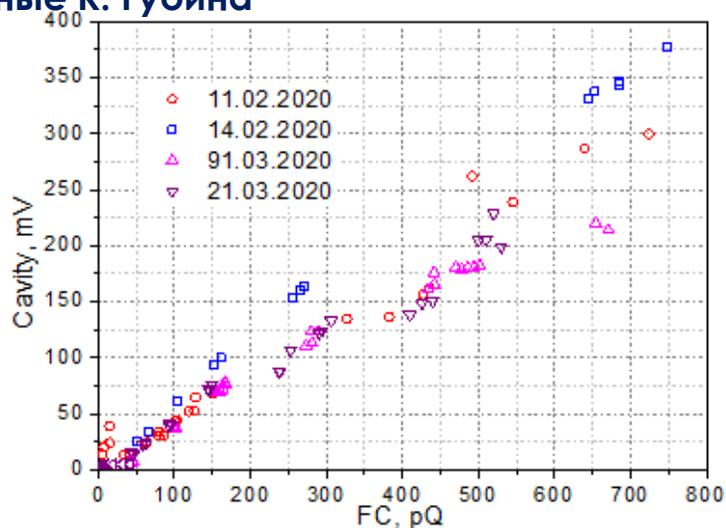
$k$  - волновое число,  $V_0$  - амплитуда отклоняющего поля,  $\beta_y(S_0)$  - вертикальная бета-функция в середине отклоняющей структуры,  $\Delta\psi$  - фазовый сдвиг вертикальной бета-функции между центром структуры и экраном диагностики,  $\epsilon_y$  - вертикальный эмиттанс пучка,  $p$  - продольный момент пучка

# Разработка СВЧ элементов линейных ускорителей: резонансный измеритель заряда пучка

**Предназначение:** неразрушающая диагностика заряда пучка (в так же длительности...)



Данные К. Губина



Зависимость сигнала с детекторной головки (резонаторный датчик) от заряда сгустка (ЦФ).

# Разработка СВЧ элементов линейных ускорителей: *стенд с клистроном 6 МВт*

**Предназначение:** будущий стенд для работы с СВЧ фотопушками



Разработка А. Акимов

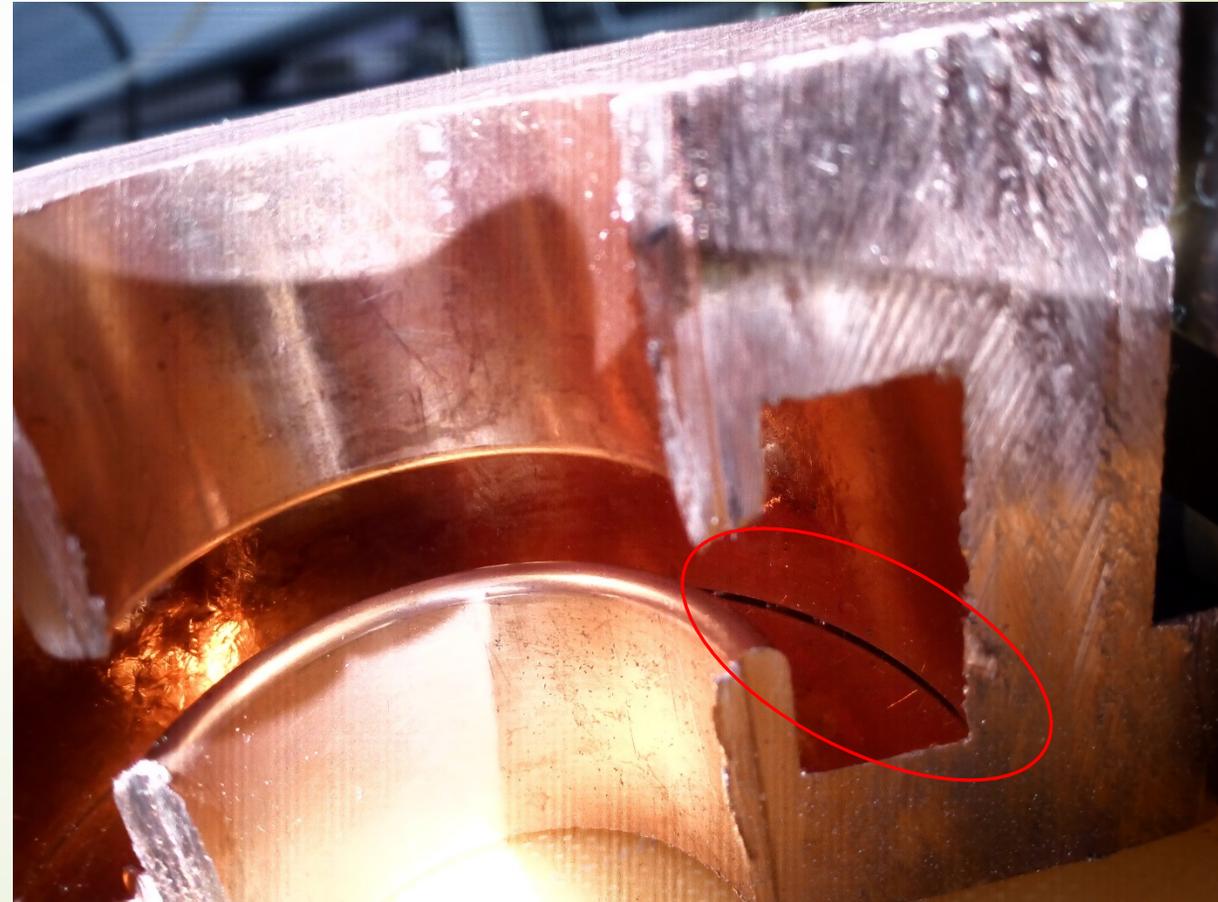
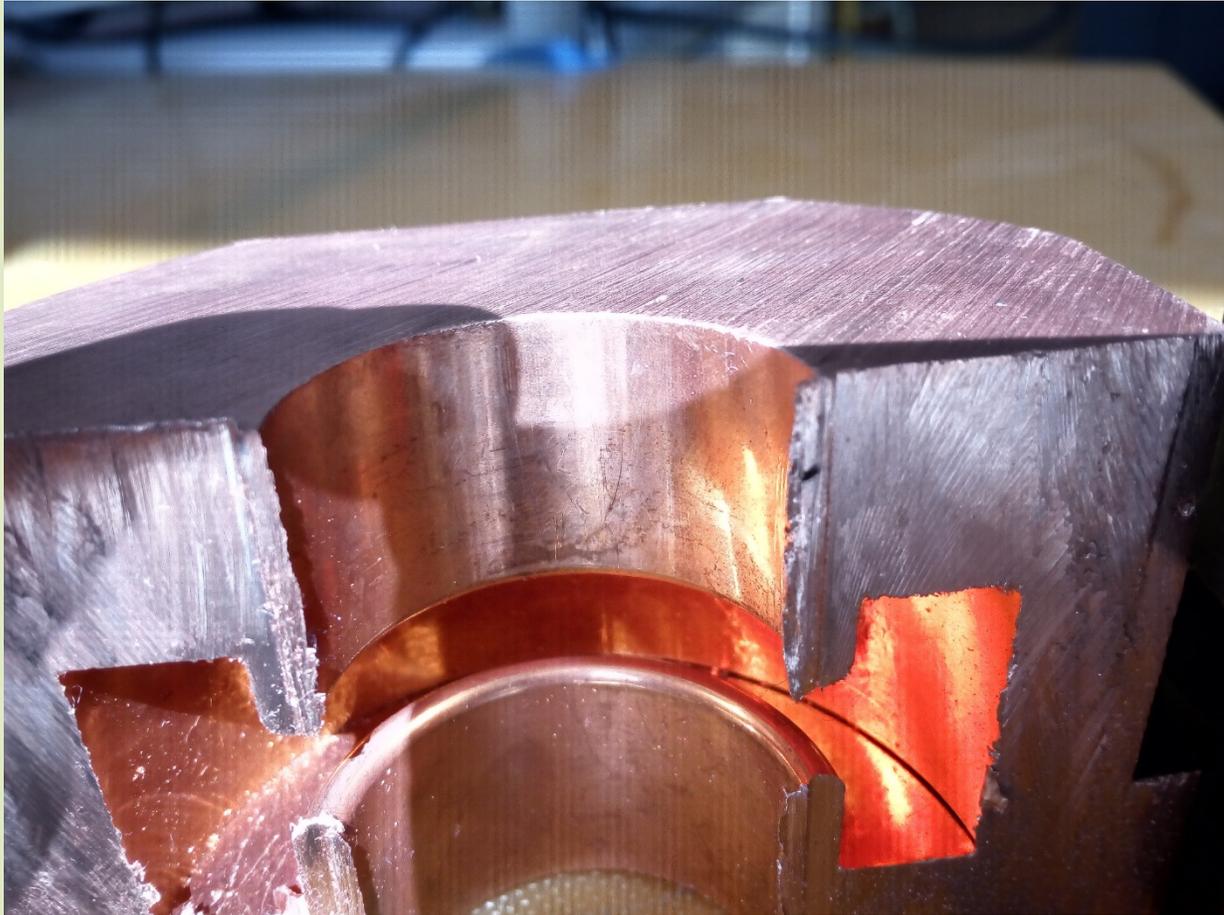
На данный момент собирается модулятор клистрона КИУ-168, планируется весной начать работы в диодном режиме

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

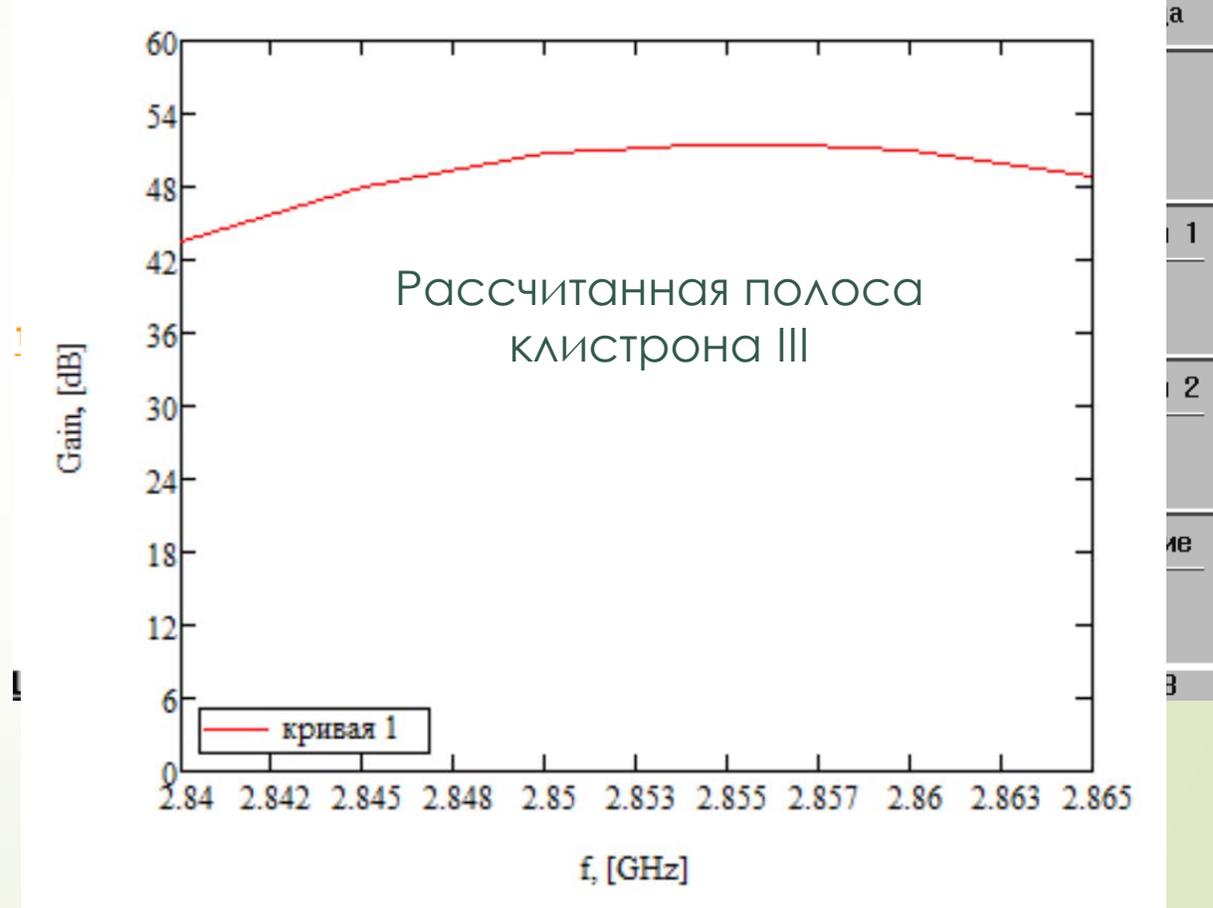
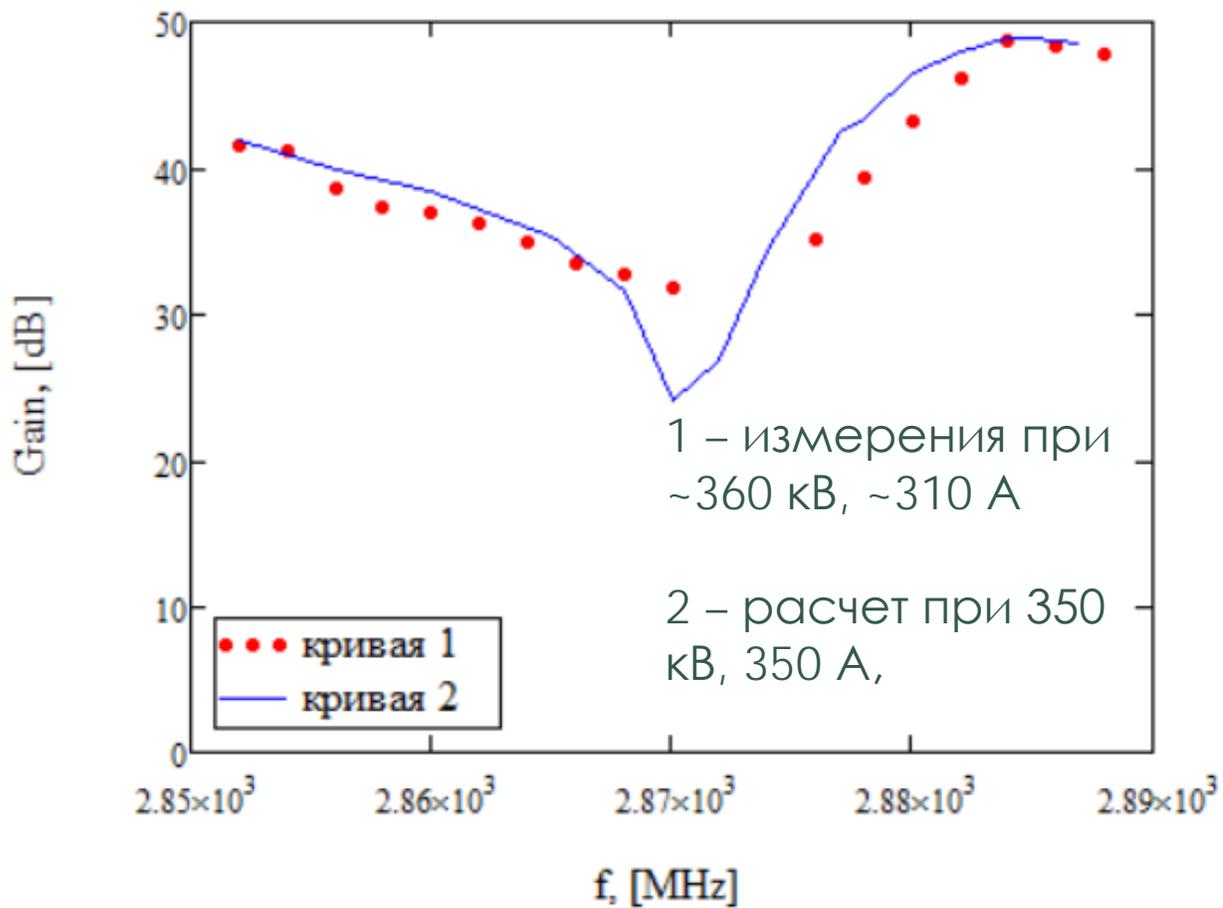
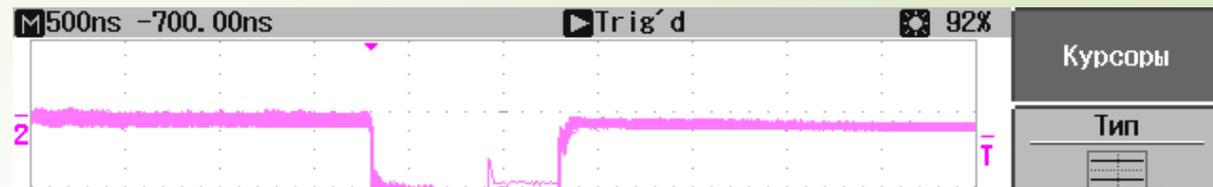
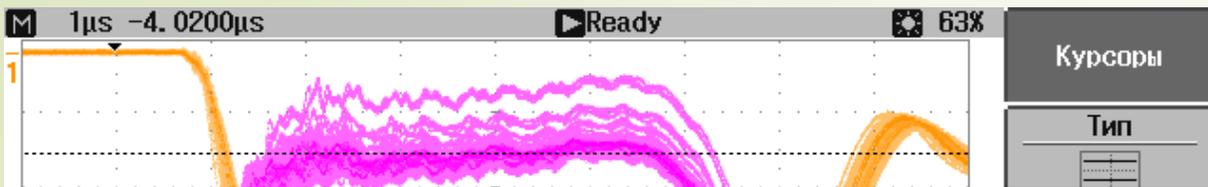
# Клистрон I

В 2020 году завершились работы с макетом клистрона I. Было достигнуто около 10 МВт при 350 А на частоте 2881 МГц.

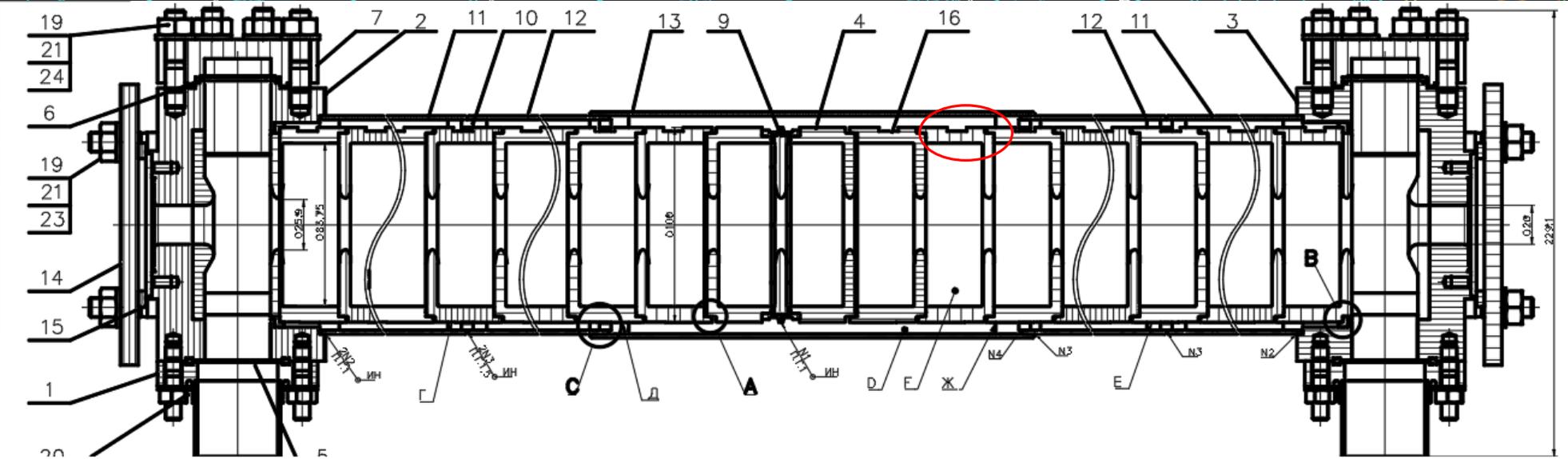
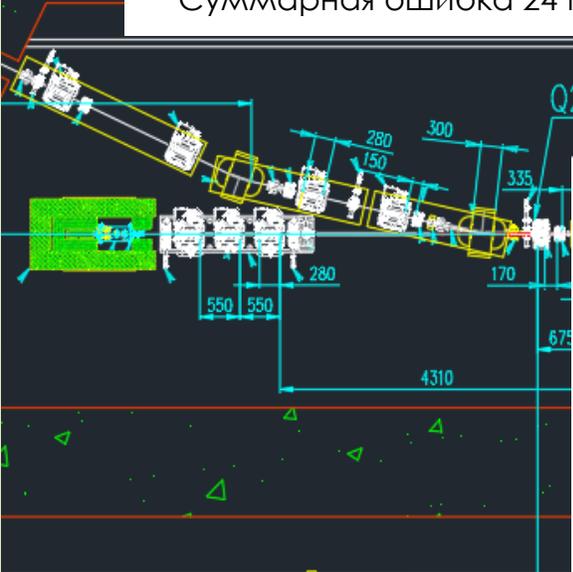
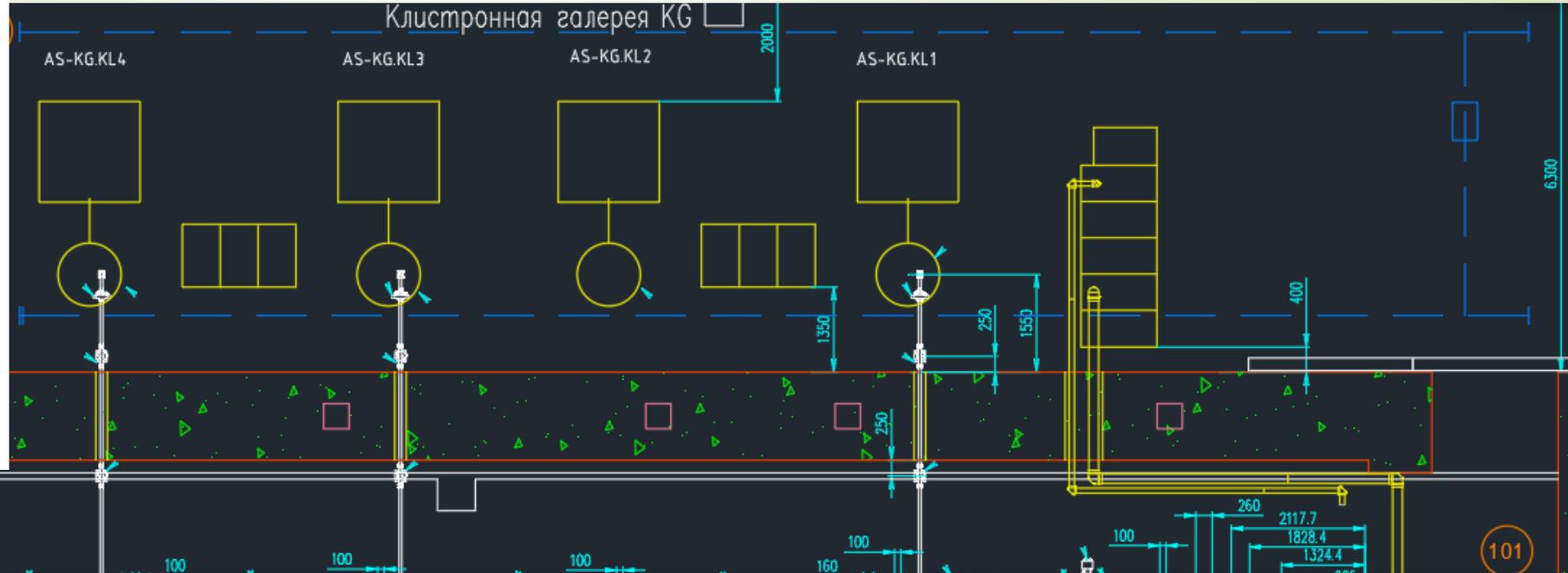
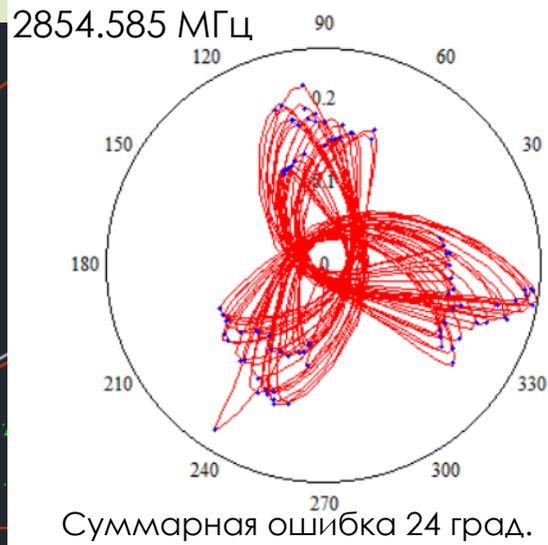
Клистрон был вскрыт. На 3-м резонаторе было обнаружено отсутствие пропаянного шва.



# Клистрон II



# Работы в рамках проекта СКИФ



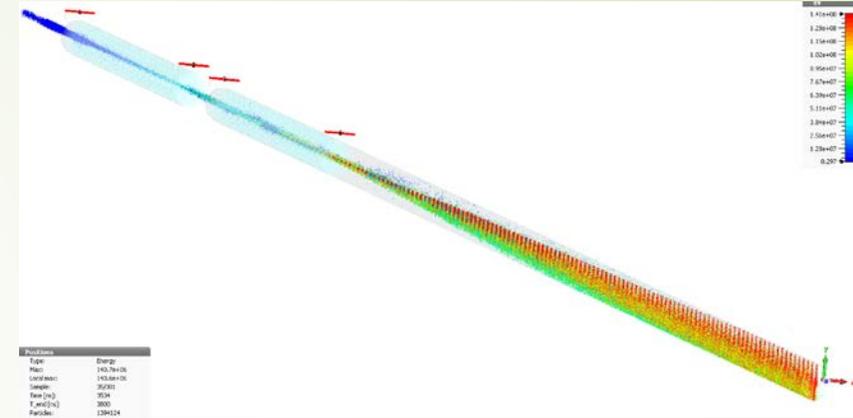
Эскиз О. Павлова

# Сотрудничество с другими организациями

## Сотрудничество с ОИЯИ проект ИРЕН:

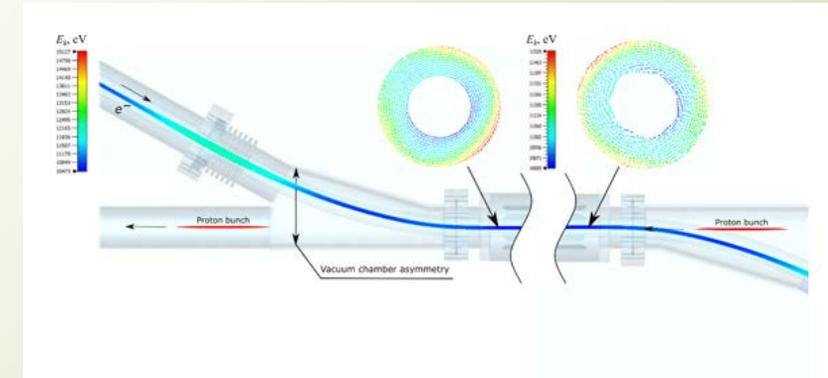
1. В рамках договора № 19-136 от 12 августа 2019 г. была выполнено научно-исследовательская работа «Моделирование динамики пучка ускорителя ЛУЭ-200»
2. В результате сотрудничества были опубликованы:

- Sumbaev A.P., Barnyakov A.M., Levichev A.E. Analysis of the Current Loading of an Accelerating Field Beam From a Lue-200 Accelerator // Russian Physics Journal. - 2020. - Vol. 63, Is. 3. - P. 516–521. DOI 10.1007/s11182-020-02064-w.
- Arsentyeva M.V., Berdnikov K.N., Levichev A.E. Analysis of the particle longitudinal motion during the injection process into the disk loaded traveling wave accelerating structure // Journal of Instrumentation. - 2020. - Vol. 15, Is. 10. - Art.nr P10015. -15 p. DOI 10.1088/1748-0221/15/10/P10015.
- Arsentyeva M.V., Barnyakov A.M. Levichev A.E., Sumbaev A.P. Analysis of Focusing Properties of the Edge Electric Field of the Accelerating Structure of the Lue-200 Accelerator. Russian Physics Journal. 10.1007/s11182-020-02168-3
- М.В. Арсентьева, А.Е. Левичев, А.М. Барняков, К.Н. Бердников, А.П. Сумбаев. Моделирование динамики пучка ускорителя ЛУЭ-200. Часть I. Аналитические расчёты. Препринт ИЯФ 2020



## Сотрудничество с ЦЕРН в рамках HEL (Hollow electron lens):

В ожидании финансирования по HEL (Hollow electron lens) продолжается проектирование самой установки. Основные задачи сейчас возложены на А. Брагина по обсуждению непосредственно сверхпроводящей магнитной системы. Тем не менее, уточнение динамики пучка продолжается. По полученным результатам готовятся материалы для публикации в JINST.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ