

Развитие технологий для линейных ускорителей

Научная сессия ИЯФ 2018

А.Е. Левичев

A.E.Levichev@inp.nsk.su

22.02.2019

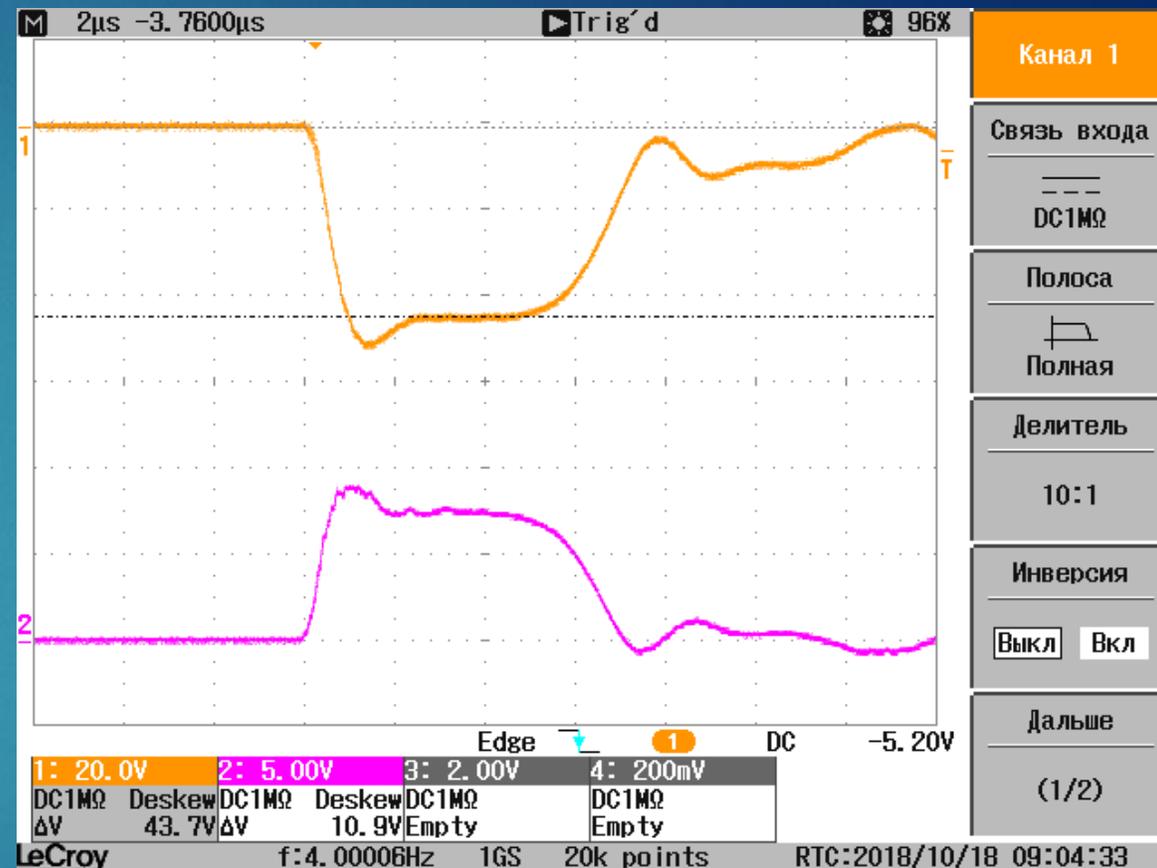
Задачи

Развитие технологий для линейных СВЧ ускорителей (инжекторов):

1. Источники СВЧ мощности
2. Источники электронов
3. Ускоряющие структуры
4. Повышение коэффициента захвата частиц
5. Новые методы ускорения

Клистрон: диодный режим

50 МВт, 2856 МГц, 3.5 мкс



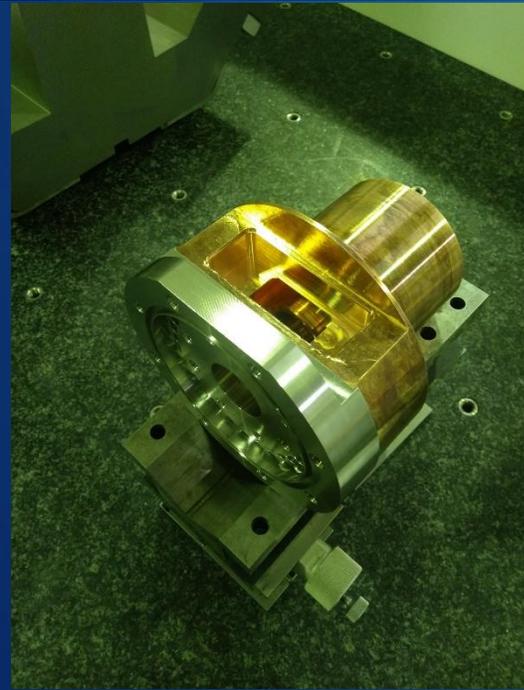
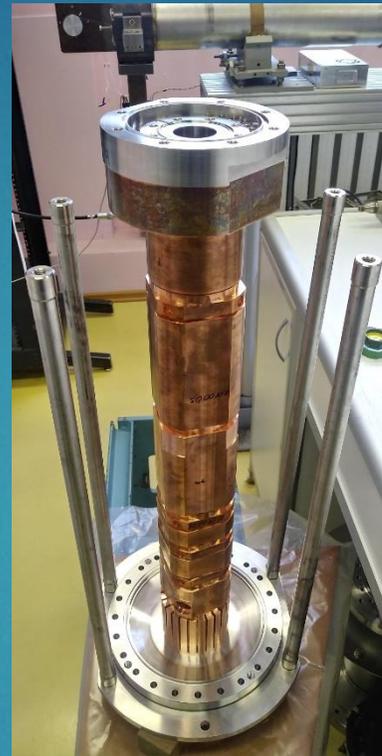
Макет для отработки клистрона в диодном режиме был полностью изготовлен. Испытательный стенд собран на основе штатного модулятора №5 ВЭПП-5.

Были достигнуты параметры:

- напряжение 320 кВ (номинал 350 кВ),
- ток 220 А (номинал 350 А),
- микропервеанс $P_{\mu}=1.2$

Клистрон: группирующие резонаторы

50 МВт, 2856 МГц, 3.5 мкс



Группирующие резонаторы полностью изготовлены, измерены и настроены до процесса пайки. В настоящее время ожидается последняя пайка, после которой планируются окончательные измерения и настройка.

Клистрон: катодные узлы

50 МВт, 2856 МГц, 3.5 мкс



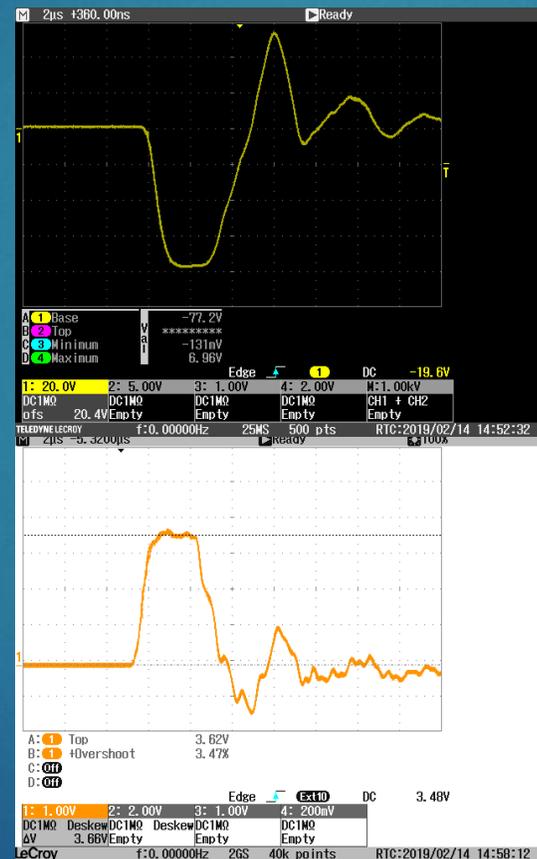
В настоящее время изготавливаются два
дополнительных катодных узла.

Модулятор

350 кВ, 350 А, 5 мкс,

Изготовлены: повышающий трансформатор, накальный трансформатор, силовая часть модулятора №6

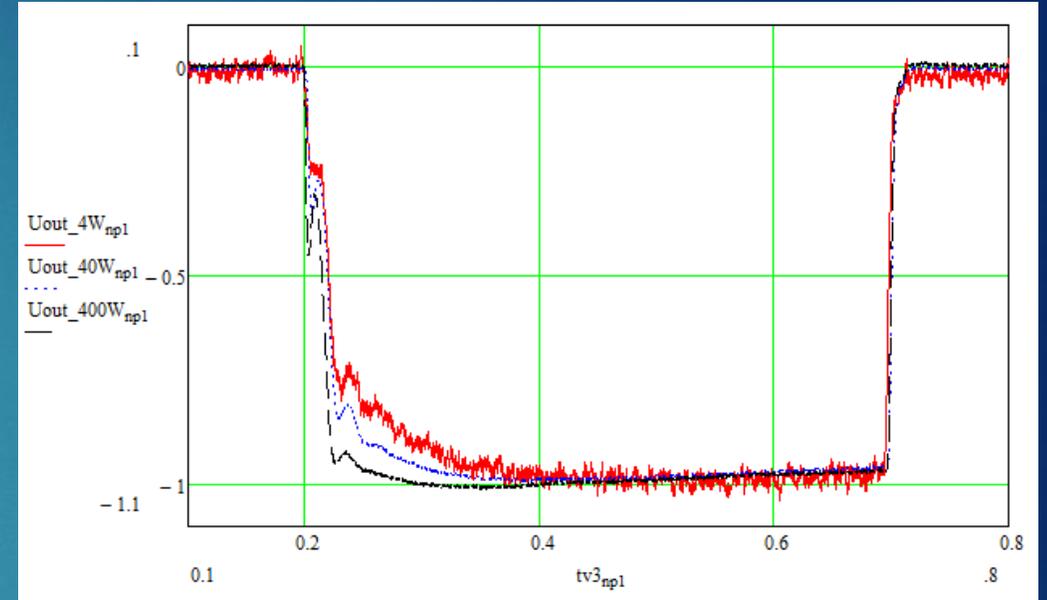
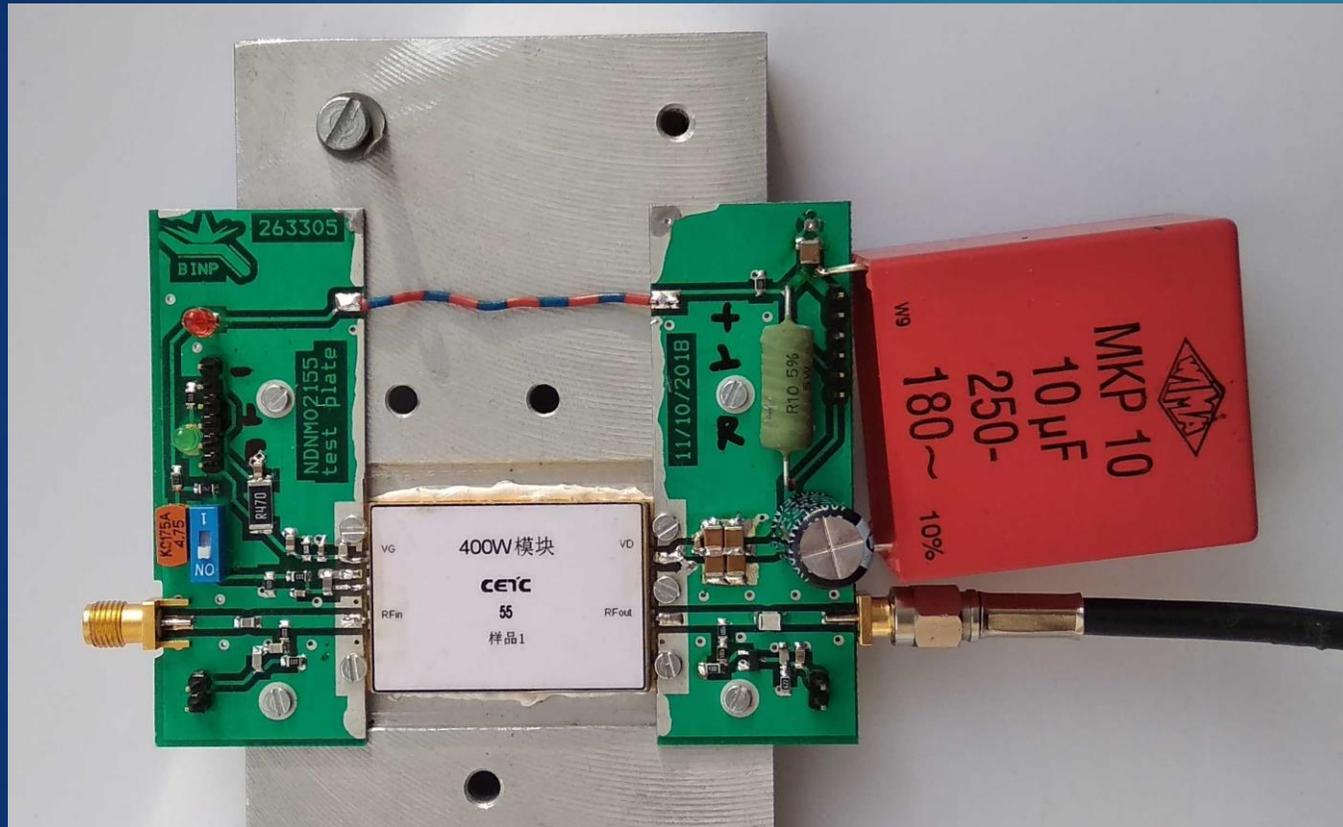
Изготавливается: система управления и защиты



Повышающий и накальный трансформаторы испытаны с клистроном 5045. Достигнуты: 340 А, 350 кВ, 2 мкс.

СВЧ усилитель

400 Вт, 5 мкс, 2856 МГц

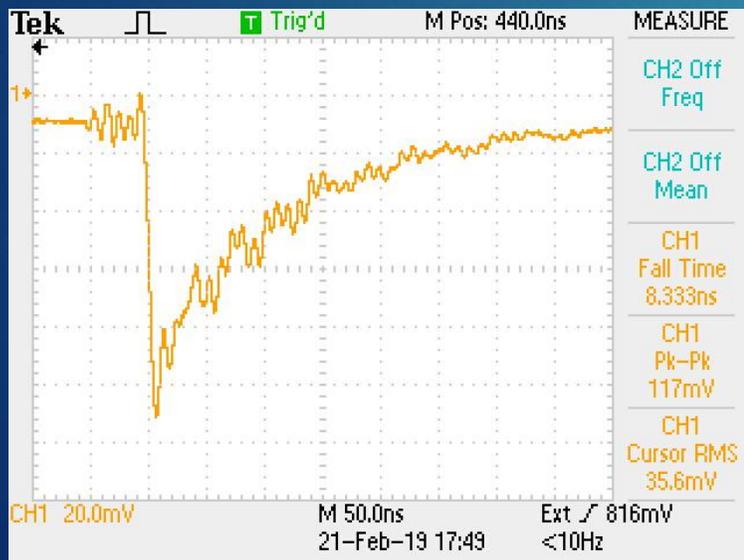
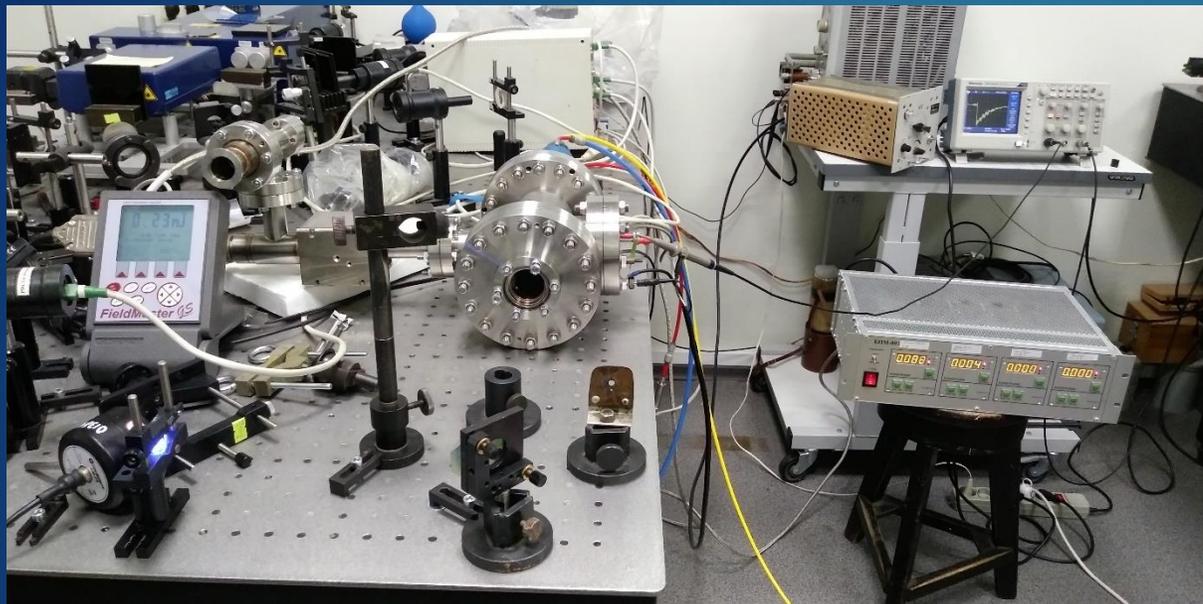


Нормированный СВЧ сигнал с выхода усилителя: мощность в районе 400 Вт

В 2018 году благодаря Д. Суханову было начато изготовление собственного СВЧ усилителя для клистрона на основе СВЧ транзистора NEDI TECHNOLOGY CO

СВЧ фотопушка: фотокатоды

Работы ведутся совместно с Институтом Автоматики и Электрoметрии

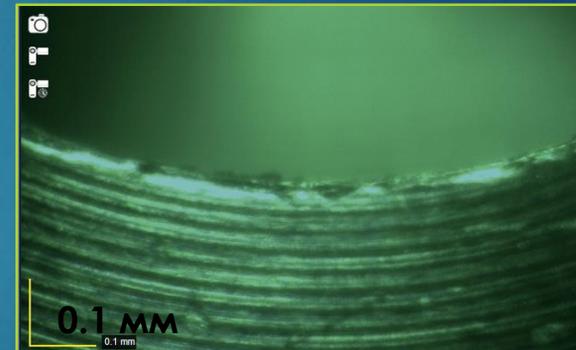


- Импульсный лазер с длиной волны 355 нм
- Энергия в импульсе на фотокатодe ~2 мДж
- Длительность 9 нс
- Квантовая эффективность ~ $3 \cdot 10^{-7}$ (355 нм)
- Катод - Ir5Ce (рабочая длина волны 266 нм)

Работать с фотокатодами без лазера очень проблематично!!! (Д. Никифоров)

СВЧ фотопушка: структура миллиметрового диапазона длин волн

ВОЛН



В 2018 году был изготовлен прототип ускоряющей структуры миллиметрового диапазона длин волн для экспериментов с ультракороткими пучками.

СВЧ фотопушка: ИСТОЧНИК МОЩНОСТИ



Клистрон КИУ-168

Повышающий трансформатор



SLED

В ноябре 2018 года у нас появился клистрон КИУ-168:

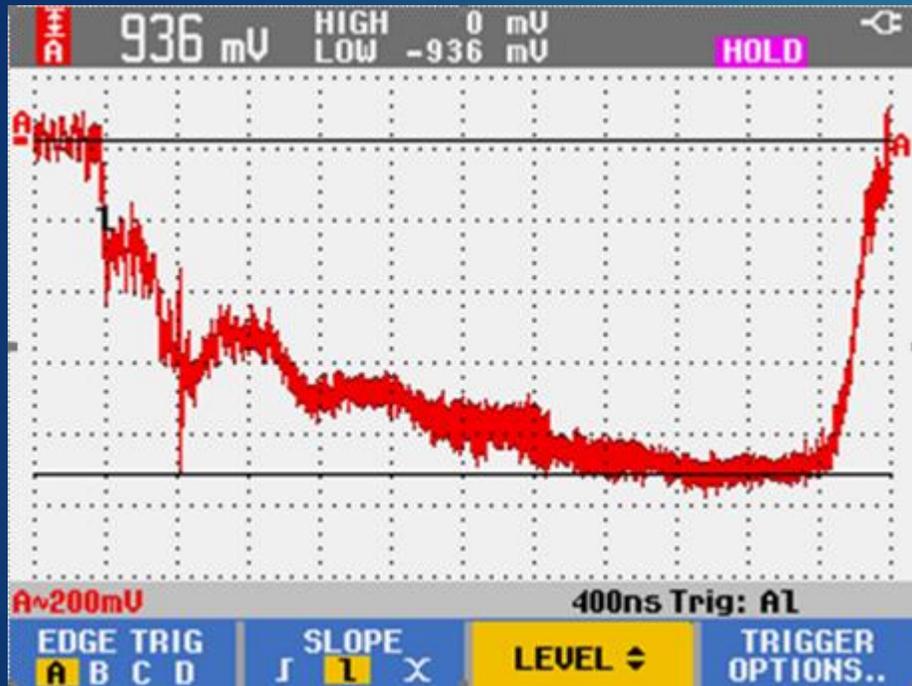
- Частота 2856 МГц
- Мощность 6 МВт
- Средняя мощность 26 кВт
- Напряжение 50 кВ

Клистрон планируется использовать:

- совместно с системой SLED в качестве СВЧ стенда
- для ускорителя с короткими пучками с СВЧ фотопушкой

В настоящее время разрабатывается модулятор.

Ускоритель на основе магнетрона



СВЧ возбуждение



Катод с
закороченным
накалом



- Была получена СВЧ мощность в волноводном тракте.
- При активации катода произошло КЗ накала.
- В настоящее время поставлен новый катод и происходит его активация.

Стенды для СКИФ: измерения ускоряющих структур

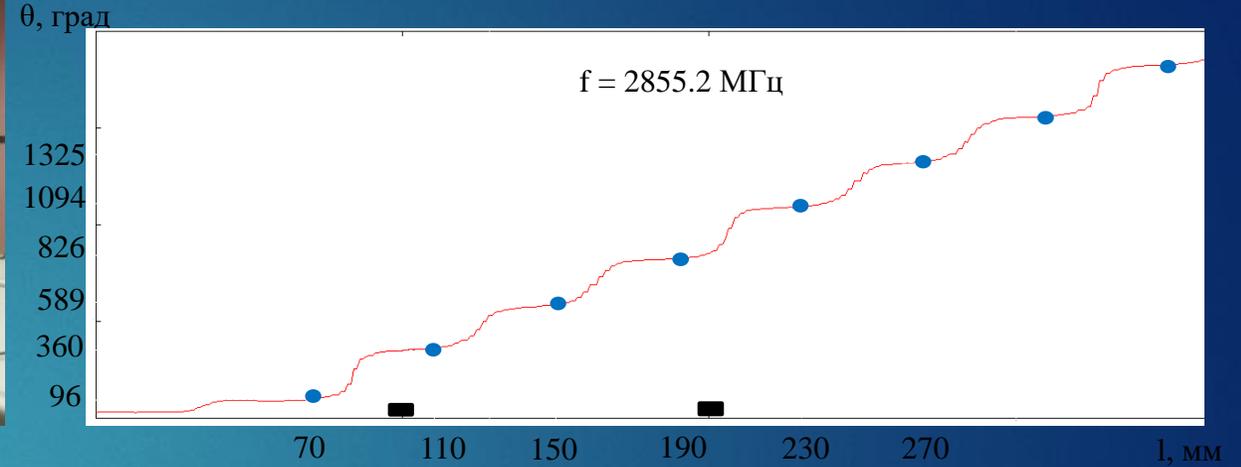
$\kappa_c = 0,023$ – коэффициент связи

$$V_\phi = 2.994 * 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

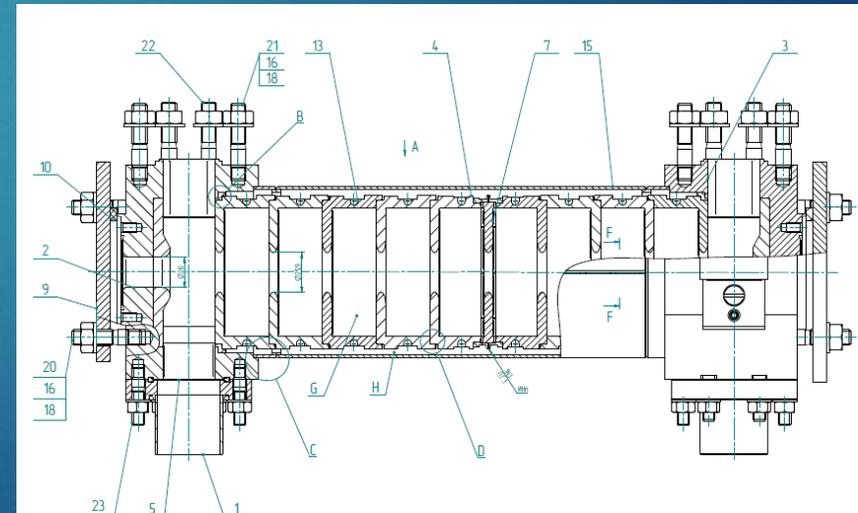
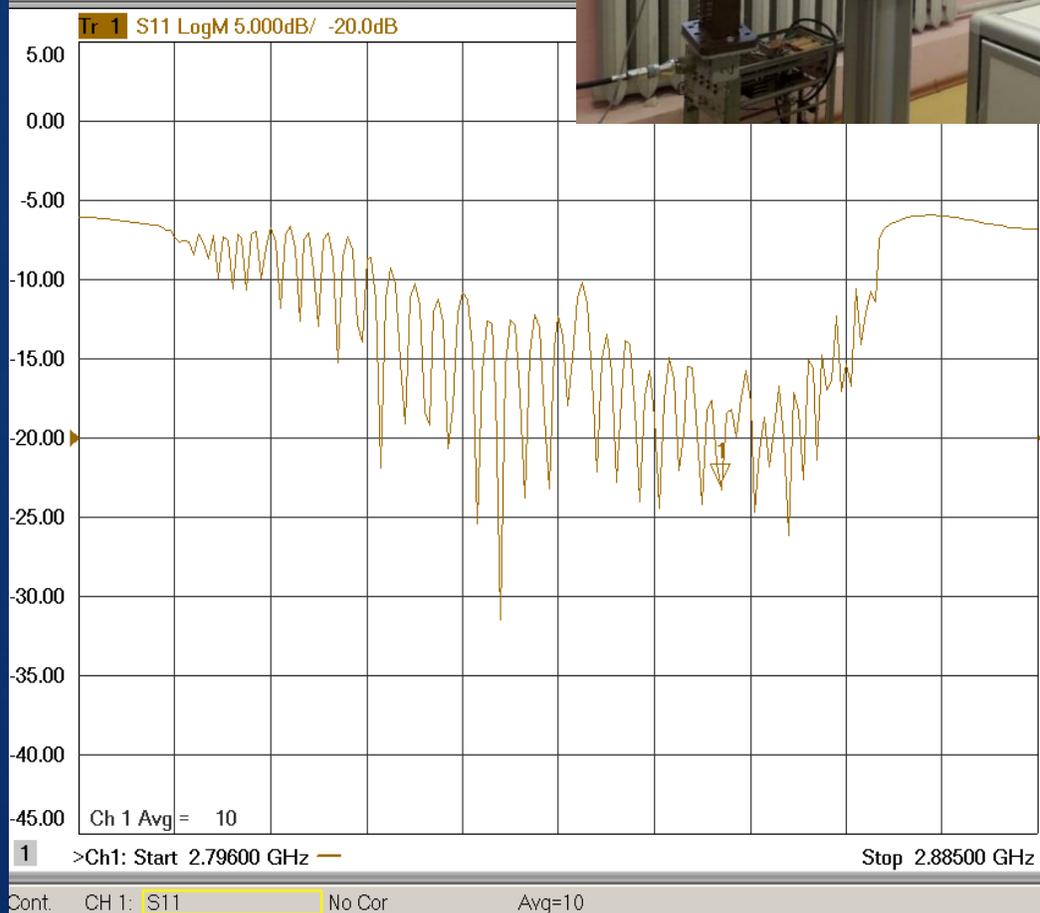
$$V_{гр} = 0.018 \text{с} \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$\tau = \frac{L}{V_{гр}} = 0.276 \text{ мкс} \text{ – время}$$

заполнения



Набег фазы на ячейку. Точность фазового набега в районе 10 град.



Предускоритель-группирователь инжектора СКИФ

Диагностика коротких пучков

Работы ведутся совместно с Институтом Лазерной физики

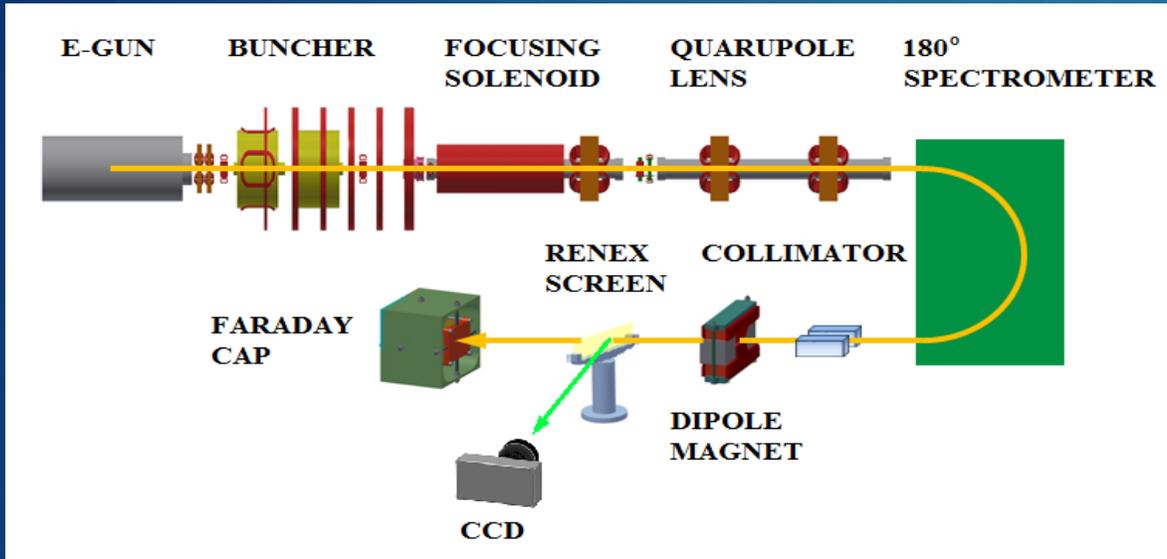
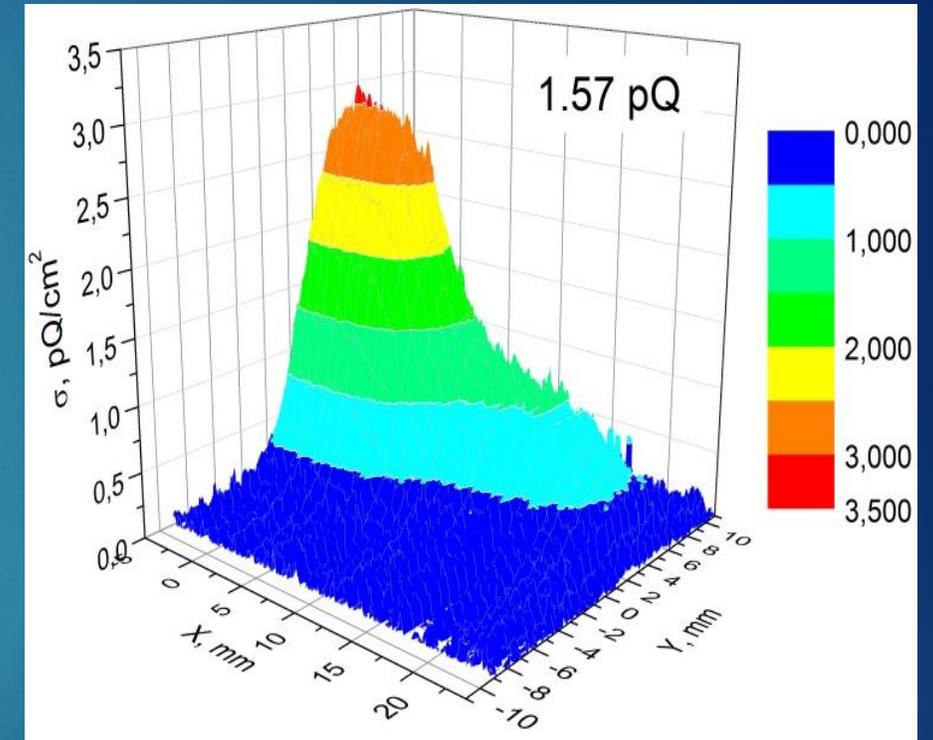


Схема эксперимента на ВЭПП-5 с разработанной диагностикой

- Измерена чувствительность оптического датчика (люминофор + ПЗС камера) $5 \cdot 10^{-3} - 10^{-2}$ пКл/мм², которая соответствует планируемому в эксперименте по кильватерному ускорению в струе газа заряду (1-10 пКл).
- Показана линейность оптической диагностики заряда в диапазоне 1.5 пКл – 1.8 нКл
- Измеренные отклонения электронов в поле магнита спектрометра полностью соответствуют расчетным.
- Экспериментально показана работоспособность вольфрамового коллиматора. Размер пятна на люминофоре с учетом пробега электронов в воздухе соответствует расчетному.



Измерения с помощью оптической
ДИАГНОСТИКИ

Планы на 2018 год

1. Запустить клистрон в диодном и в СВЧ режимах
2. Протестировать макет СВЧ фотопушки и измерить энергию темновых токов
3. Протестировать Ir5Ce катоды на плотность тока при термоэмиссии, квантовую эффективность, деградацию при использовании мощного лазера
4. Запустить в производство рабочий вариант новой СВЧ фотопушки для пучка с низким эмиттансом
5. Начать работать с электронным пучком на ускорителе с магнетронным СВЧ генератором
6. Разработать элементы измерения параметров ультракоротких пучков
7. Довести стенд измерения ускоряющих структур до «рутинного» использования
8. Начать изготовление элементов 200 МэВ-ого модуля
9. Приобрести лазер

Выполнено

Не выполнено

Планы на 2019 год

1. Получить СВЧ мощность клистрона
2. Продолжить эксперименты с разными металлическими катодами с лазером с длиной волны 266 нм
3. Получить пучок для стенда на основе магнетрона
4. Начать тестировать СВЧ усилитель производства ИЯФ
5. Получить СВЧ мощность клистрона КИУ-168, начать собирать СВЧ стенд
6. Начать изготавливать СВЧ пушку с фотокатодом
7. Разработать магнитную систему для ускоряющей структуры миллиметрового диапазона длин волн
8. Запустить модулятор и начать изготовление электронной пушки с интенсивным пучком
9. Изготовить прототип группирователя-предускорителя для инжектора СКИФ

А также

Продолжить работать над инжектором СКИФ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ