

Длинноимпульсный электронный пучок с плазменным эмиттером

(Работа выполняется при поддержке РФФИ проект № 05-08-33664-а)

А.В.Бурдаков, А.А.Иванов: **инициирование и поддержка работы, полезные обсуждения.**

Ю.А. Трунев: **проведение экспериментов.**

В.И.Давыденко, Г.Е. Деревянкин,
Л.Н. Вячеславов, А.Л. Санин: **полезные обсуждения, помощь в работе.**

В.Б. Бобылев, В.А. Капитонов: **конструирование и изготовление узлов стенда.**

А.С. Донин, В.Я. Савкин: **наладка систем питания стенда (шкаф «СТАРТ-2»).**

А.В.Аверков, А.А. Орлов: **лаборантские работы.**

Мотивация

Для инъекции в плазму установки ГОЛ–3 требуется мощный электронный пучок длительностью 100 и более микросекунд, с током ~ 10 кА и энергией электронов 200 кэВ (или выше).

Пучок должен генерироваться и далее адиабатически сжиматься в магнитном поле до плотности тока > 1 кА/см² (в поле 5 Т). Это условие накладывает ограничение на минимальную стартовую плотность тока и максимальную угловую расходимость пучка.

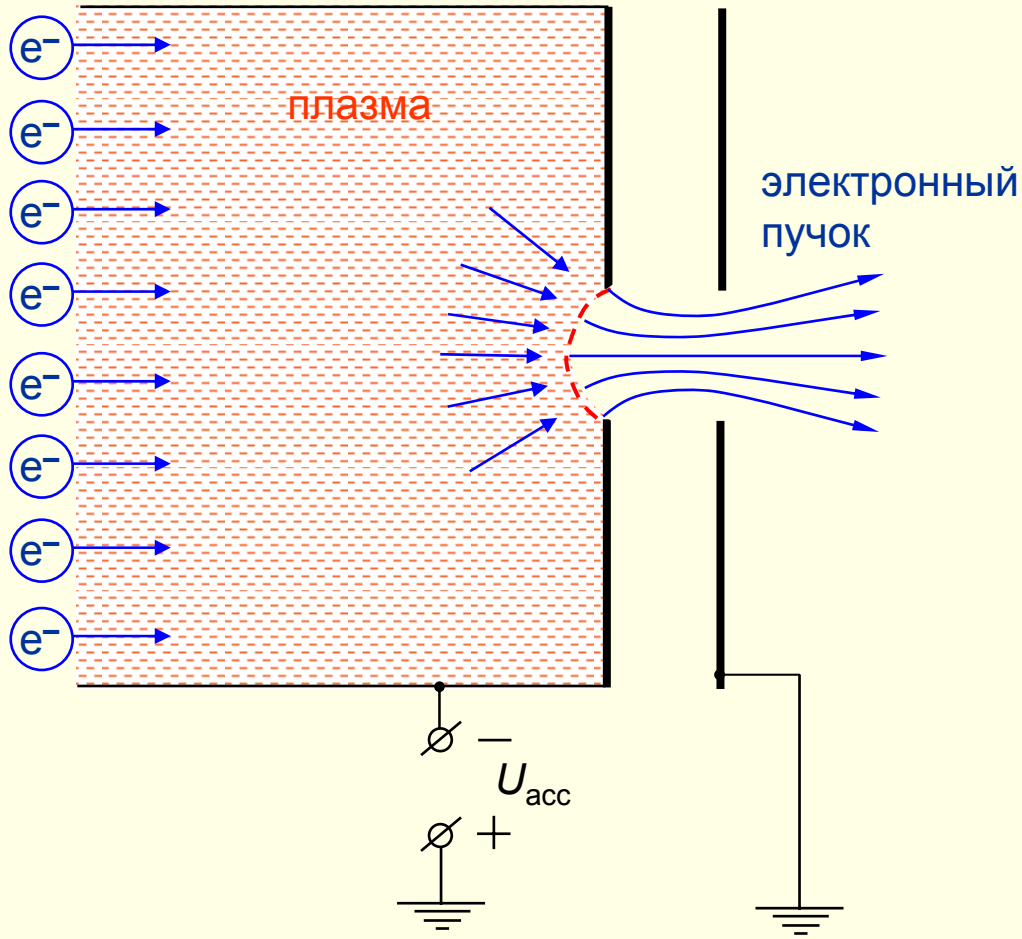
Создание эмиттера, способного обеспечить пучок с требуемыми параметрами, является ключевой проблемой.

Выбор эмиттера электронов

Возможные типы эмиттеров, исходя из совокупности требований к пучку:

- термозэмиссионный
- взрывозэмиссионный
- плазменный

Плазменный эмиттер (концепция).



Эмиттирующая граница плазмы подстраивается так, чтобы обеспечить баланс между поступлением электронов из плазмы и током по закону «3/2» в зазоре (нулевое электрическое поле на границе плазмы).

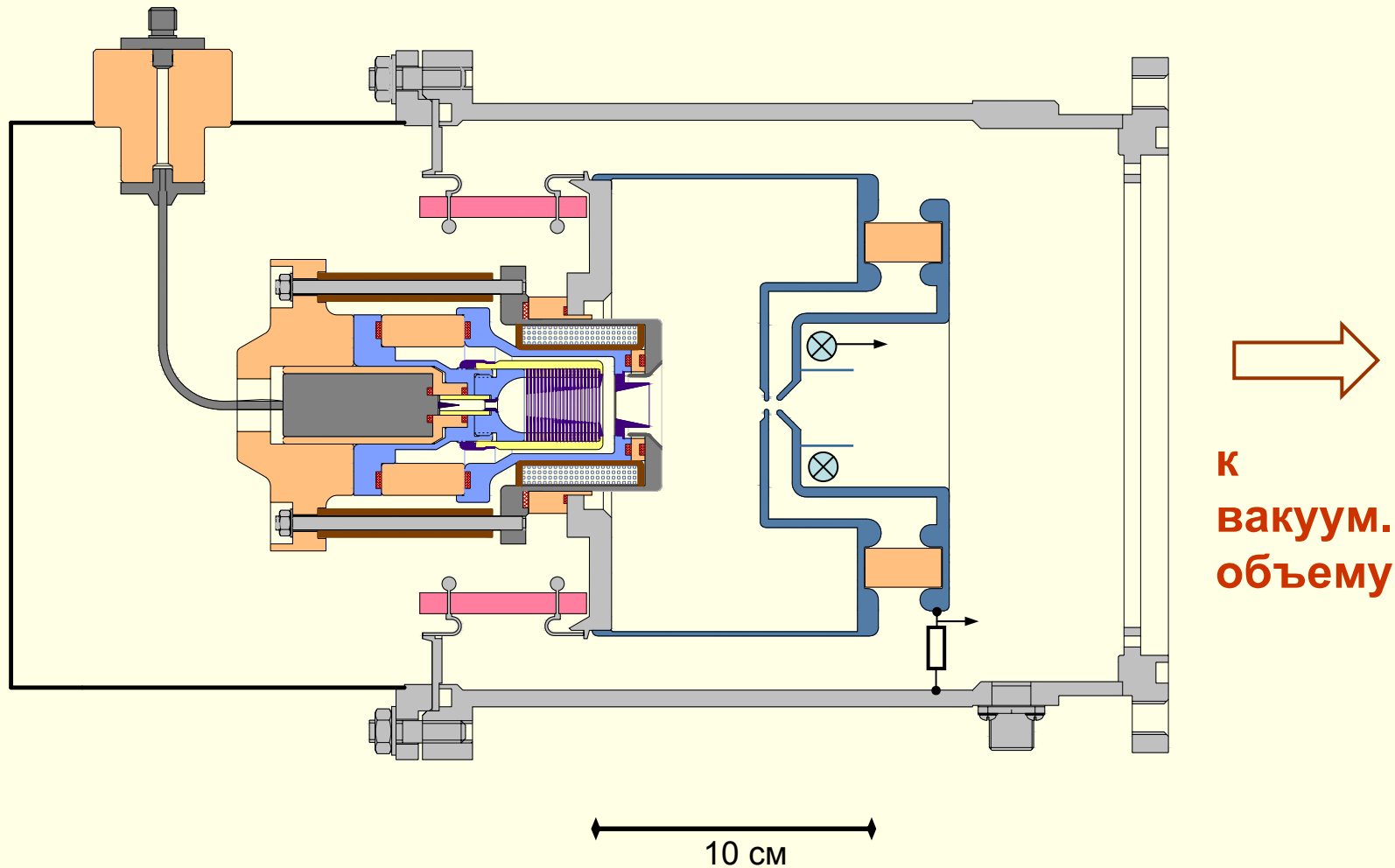
Для получения большого тока в пучке следует использовать источники плазмы с большим электронным током в разряде (дуговые, с накаливаемым катодом и т. п.).

Цели начального этапа экспериментов:

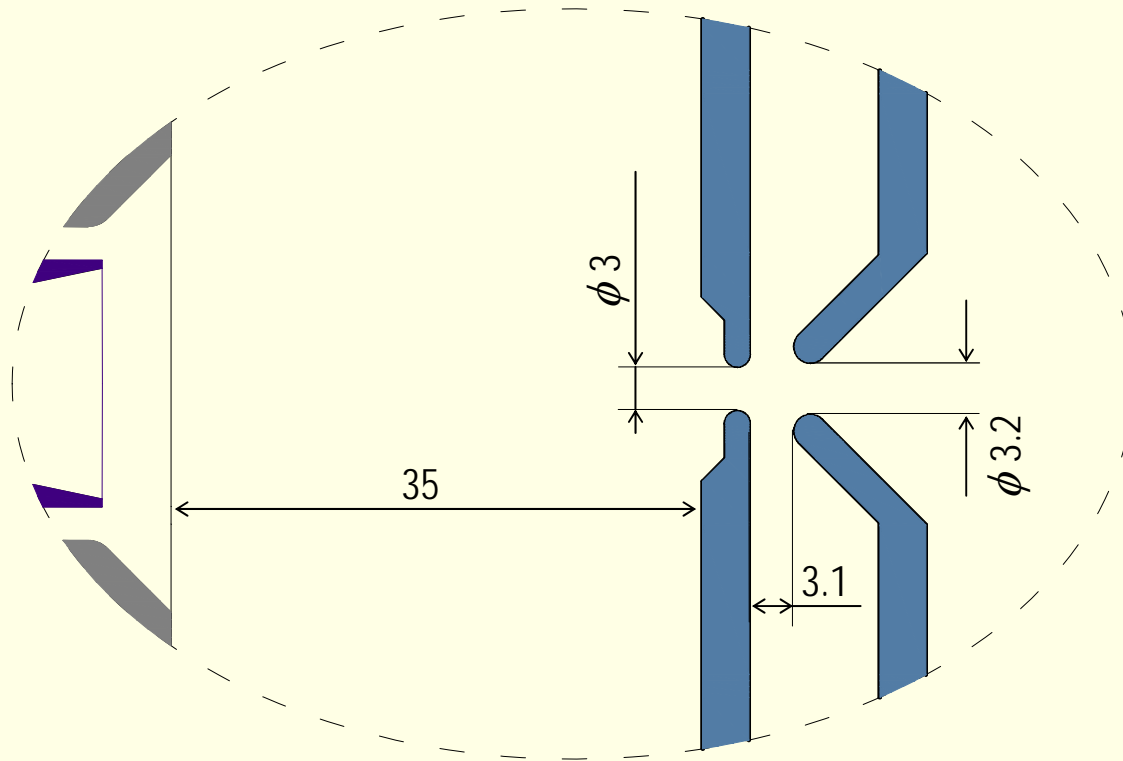
- ✓ Создать стенд для испытания плазменного эмиттера электронов на основе импульсного дугового генератора плазмы.
- ✓ Исследовать генерацию пучка с максимально достижимой плотностью тока в простой двухэлектродной системе с одной ускоряющей апертурой.
- ✓ Изучить электрическую прочность ускоряющего зазора в условиях генерации длинноимпульсного электронного пучка с плазменным эмиттером.

Конструкция источника электронного пучка

H_2 , $1.3 \div 1.8 \times 10^{18}$ молек./имп



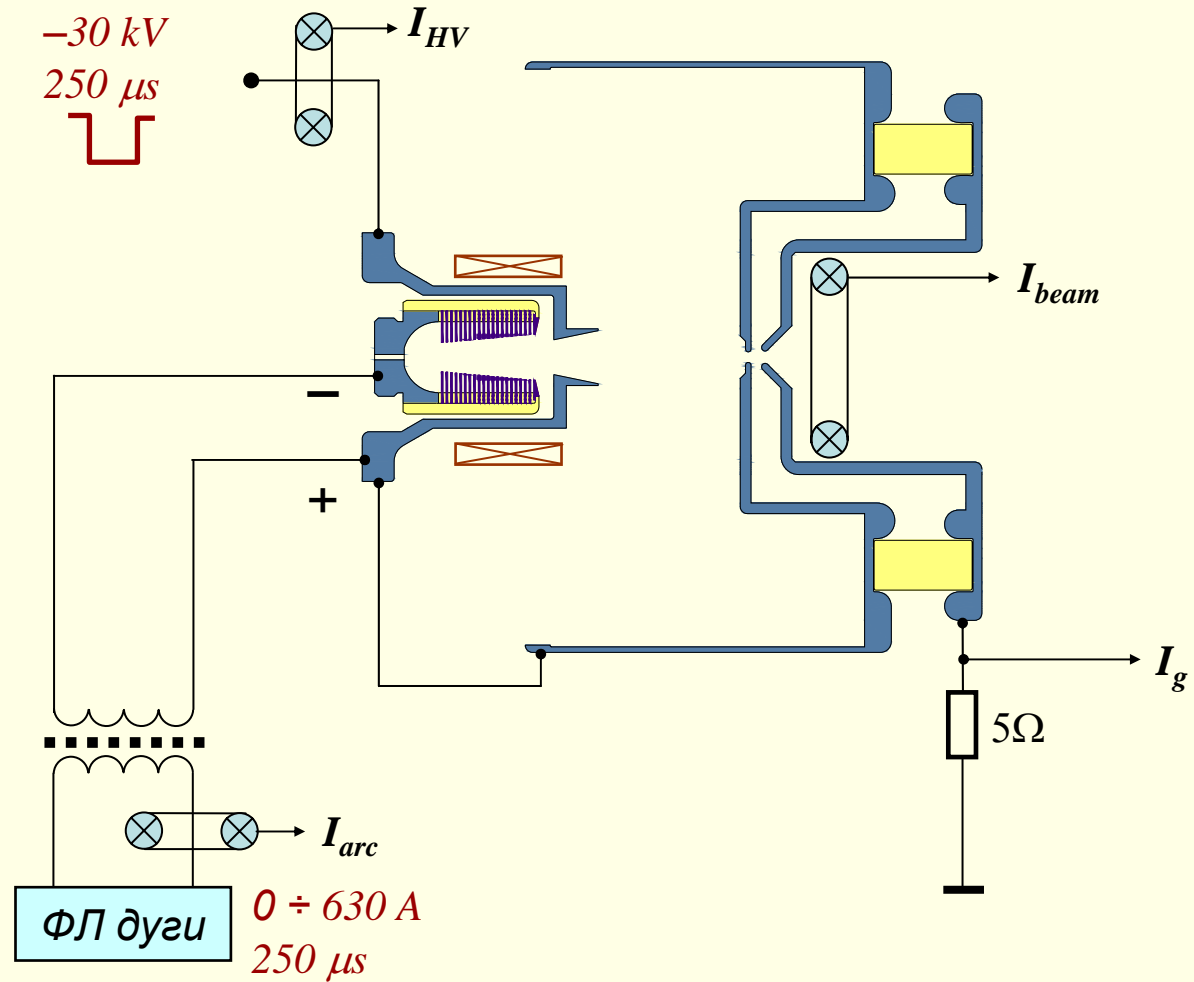
Геометрия ускоряющего зазора



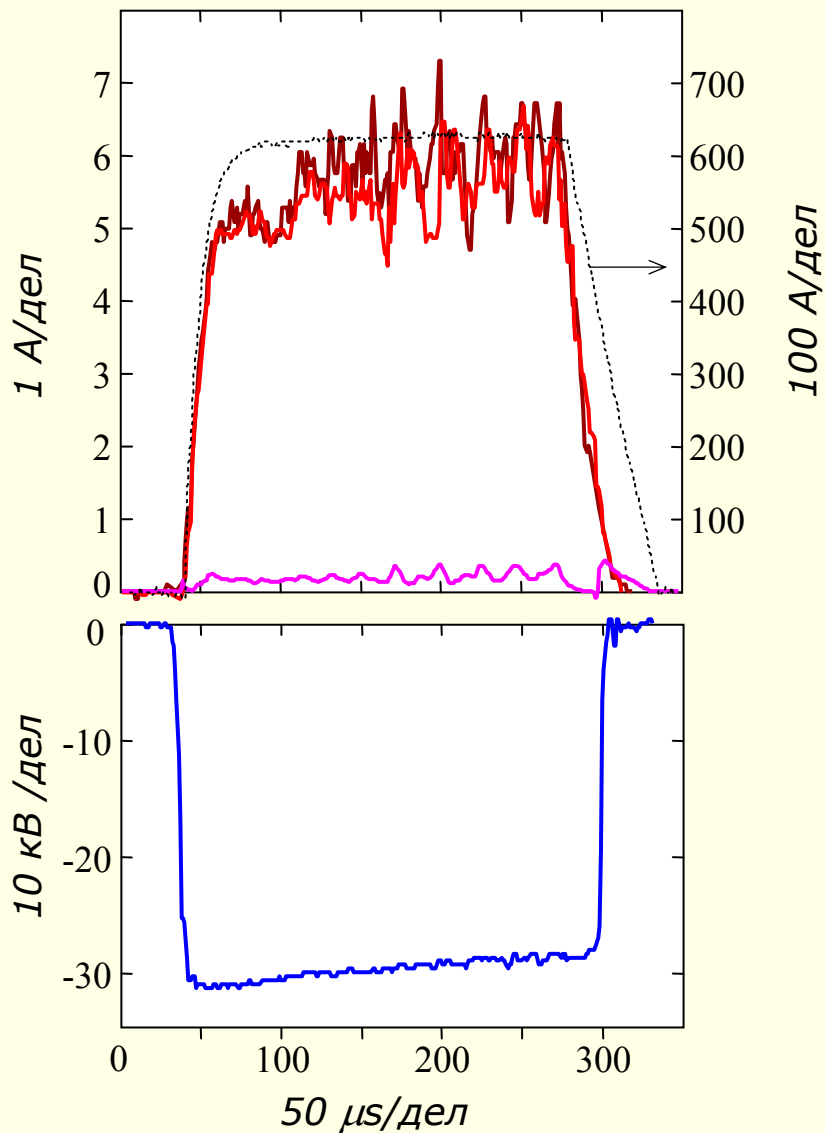
Материал электродов: сталь 12X18Н9Т

Принципиальная электрическая схема (1)

Использован шкаф
питания инжектора
«СТАРТ-2»!



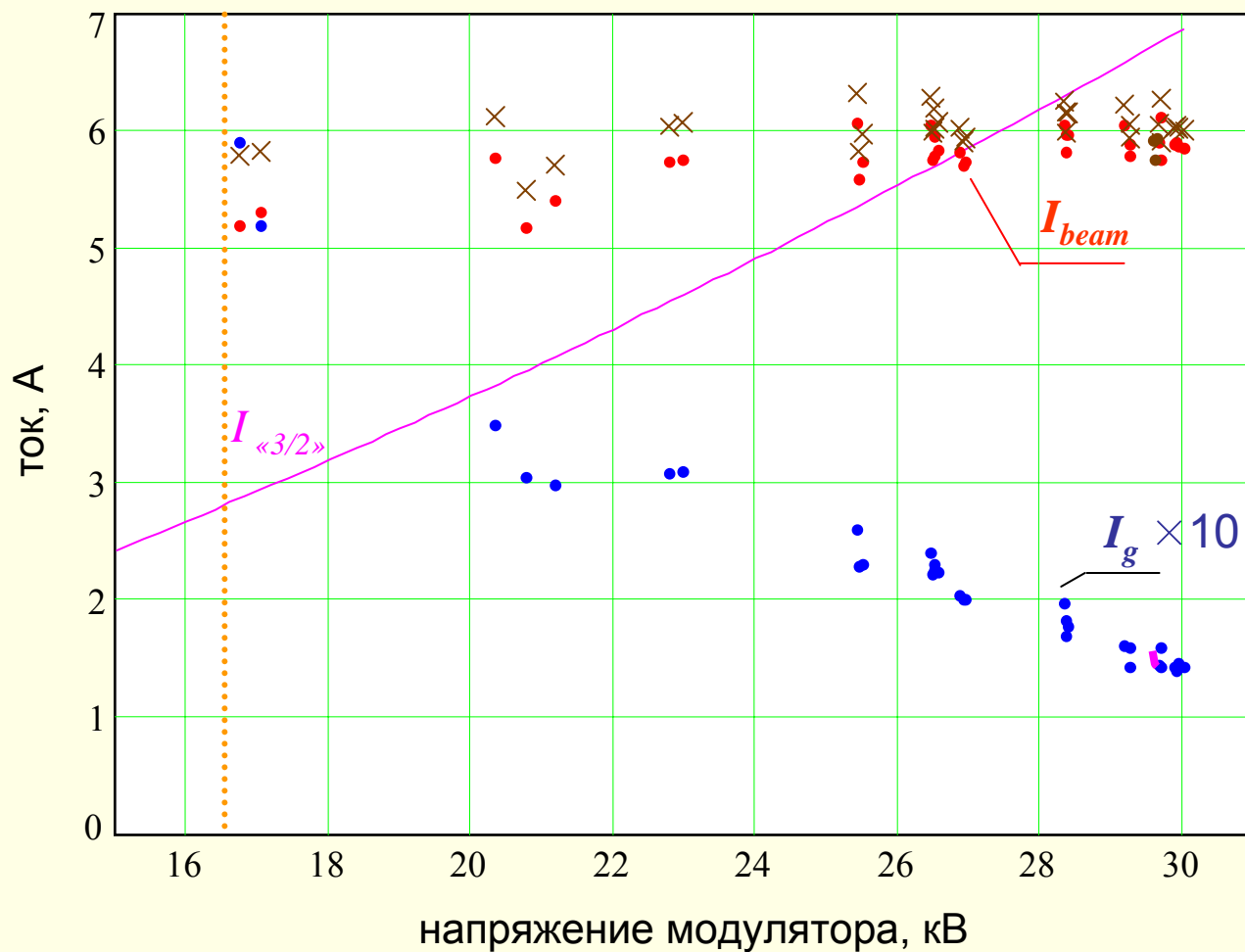
Характерные осциллограммы пучка



Измерения тока пучка подтверждаются калориметром

- — напряжение модулятора U_{HV}
- - - ток дуги I_{arc}
- — ток ускоренного пучка I_{beam}
- — ток эмиссии I_{HV}
- — ток на ускоряющий электрод I_g

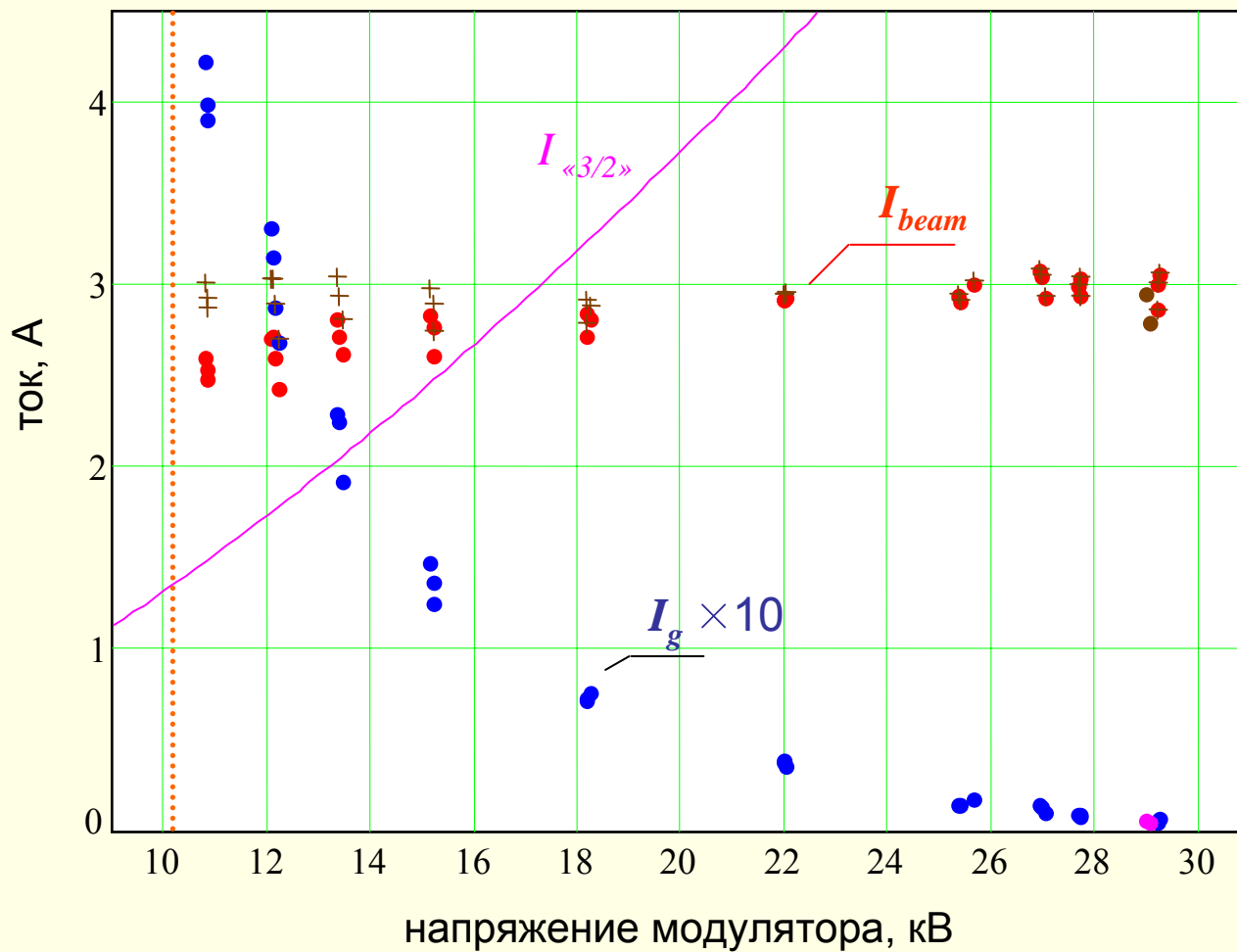
Типичная вольтамперная характеристика пучка



С 26,4 кВ начинается сокращение длительности импульса. При 18 кВ импульс короче 100 мкс.

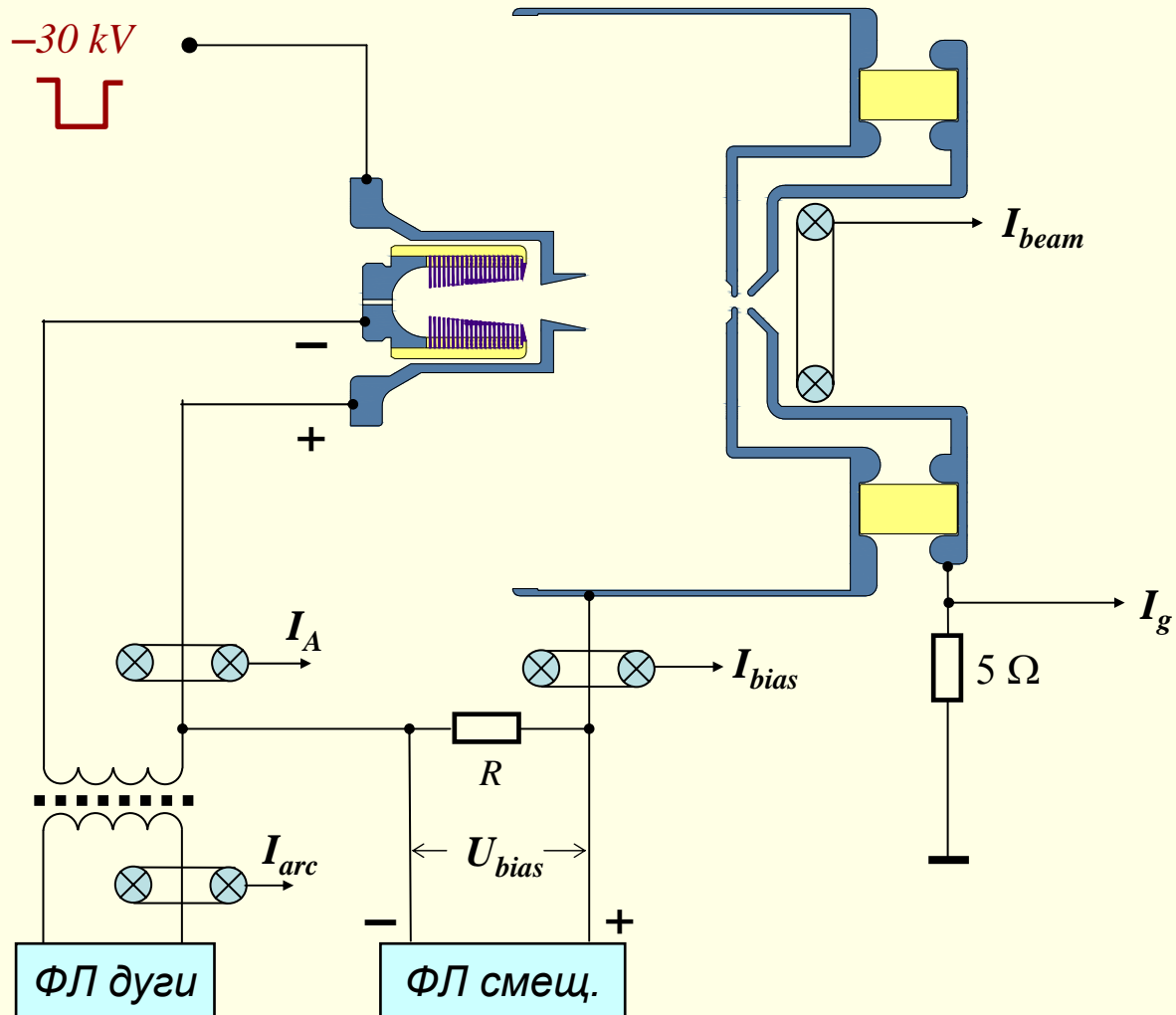


Типичная вольтамперная характеристика пучка



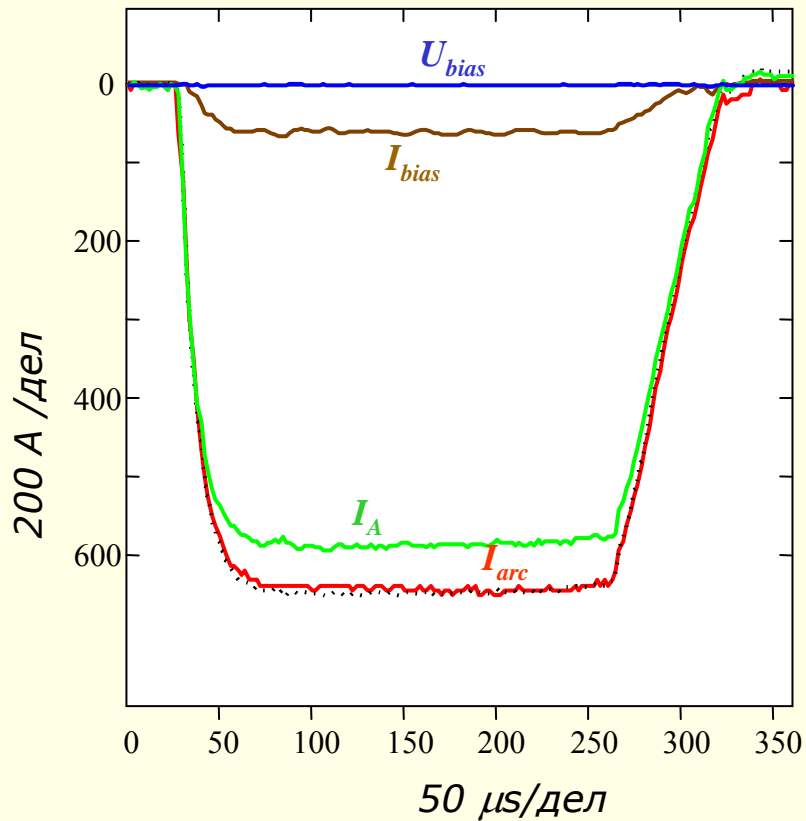
импульс устойчиво короче 50 мкс при 10 кВ.

Принципиальная электрическая схема (2)

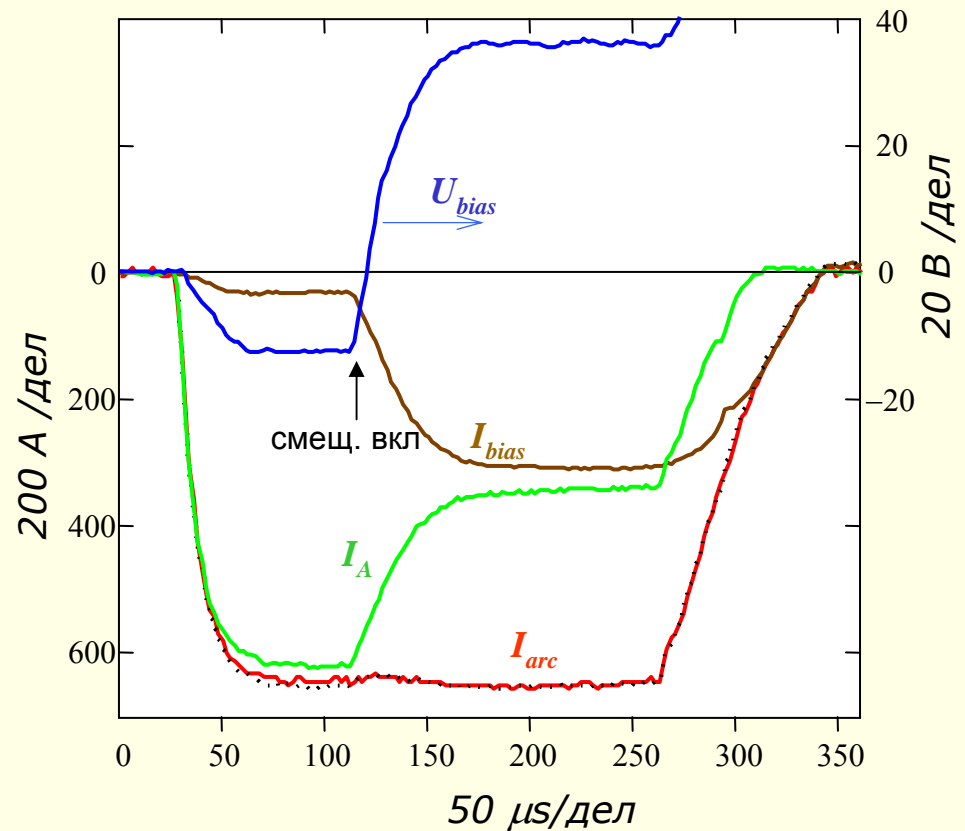


Переключение дуги на эмиссионный электрод

эмиссионный электрод накоротко соединен с анодом дуги ($R = 0$)

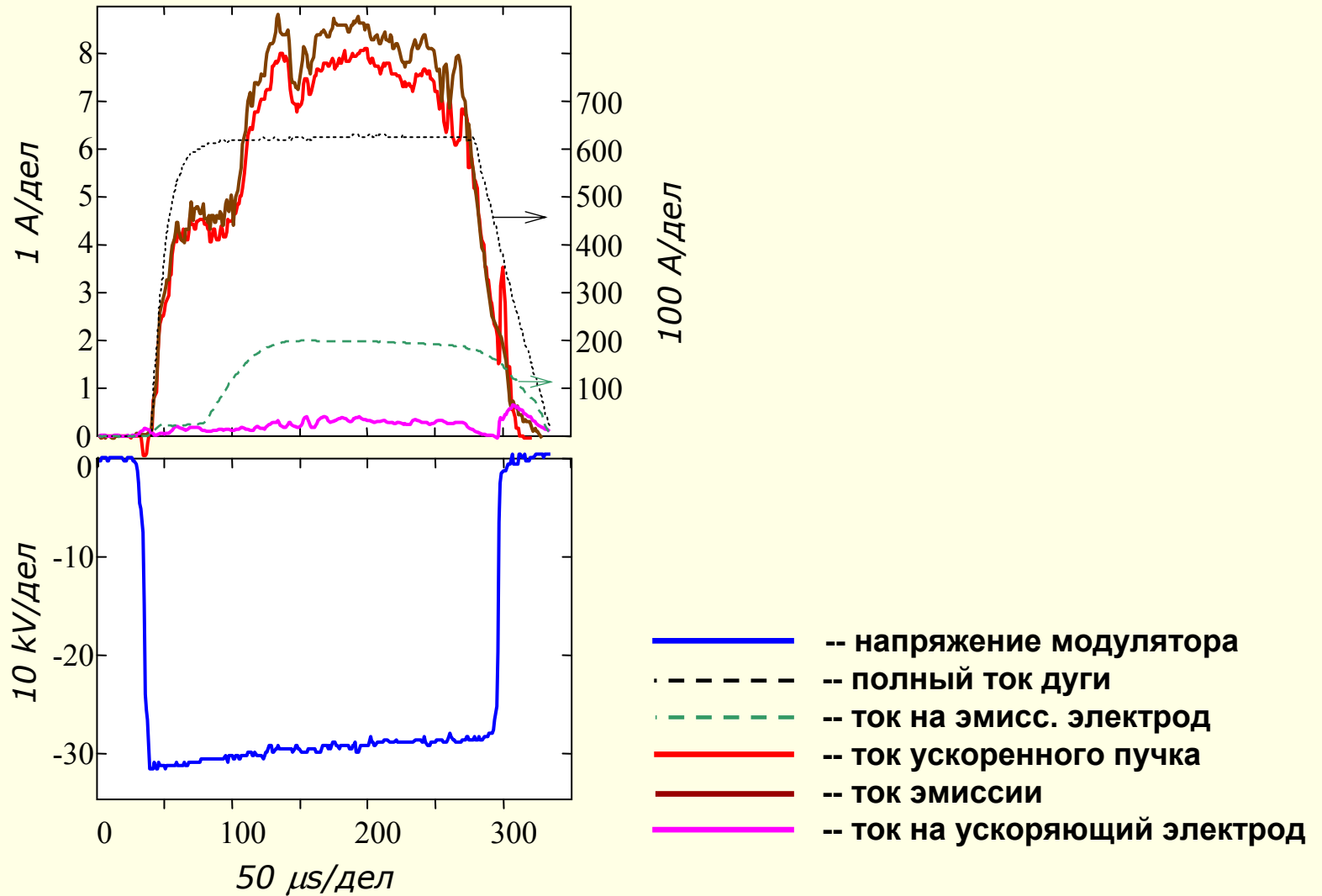


эмиссионный электрод с положительным смещением относительно анода дуги ($R = 0.4 \Omega$)

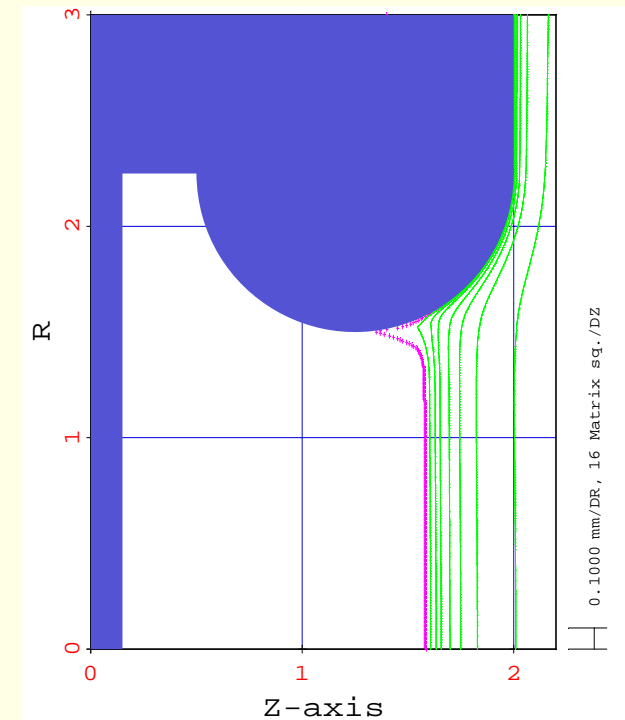
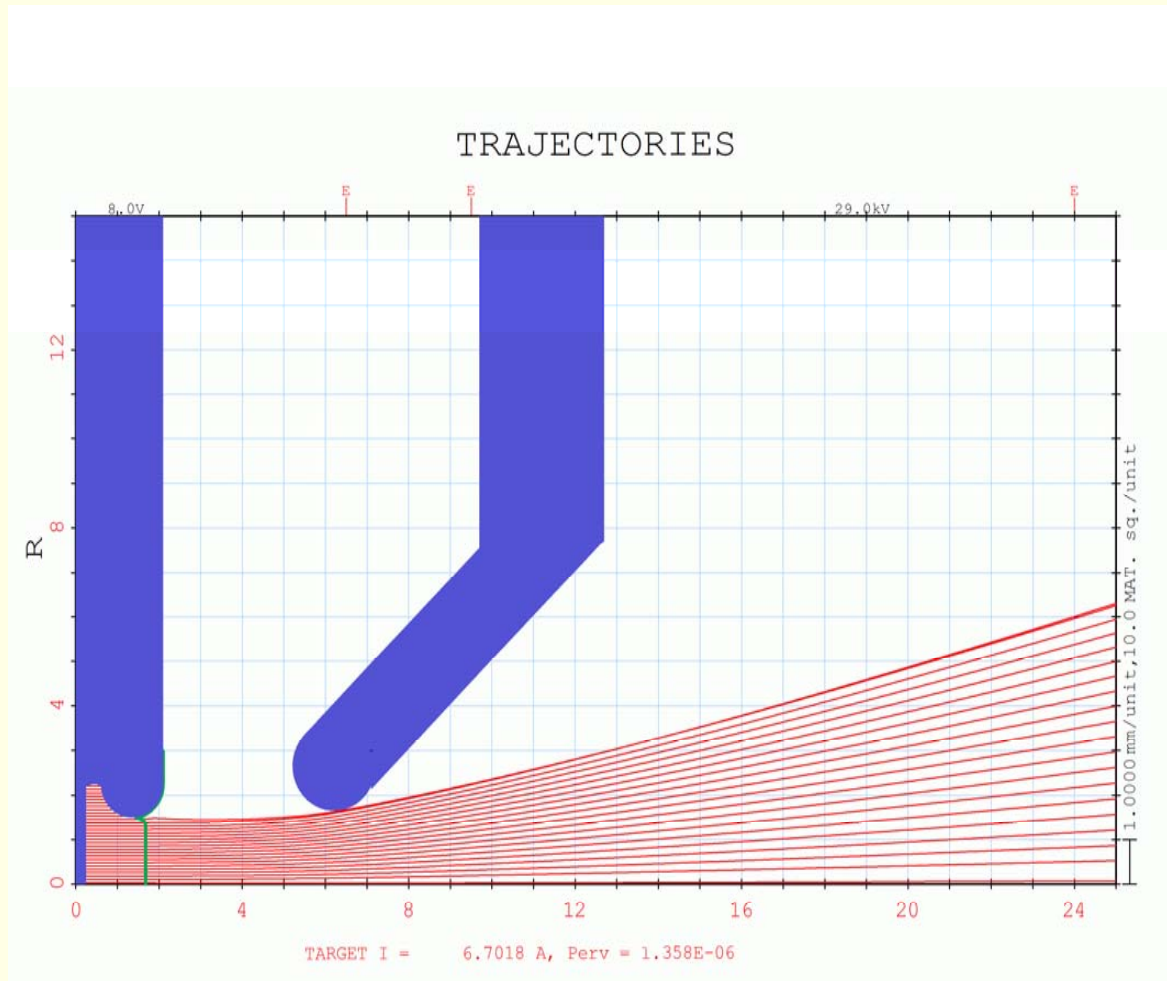


Характерные осциллограммы пучка

(положительно смещенный эмитсионный электрод)



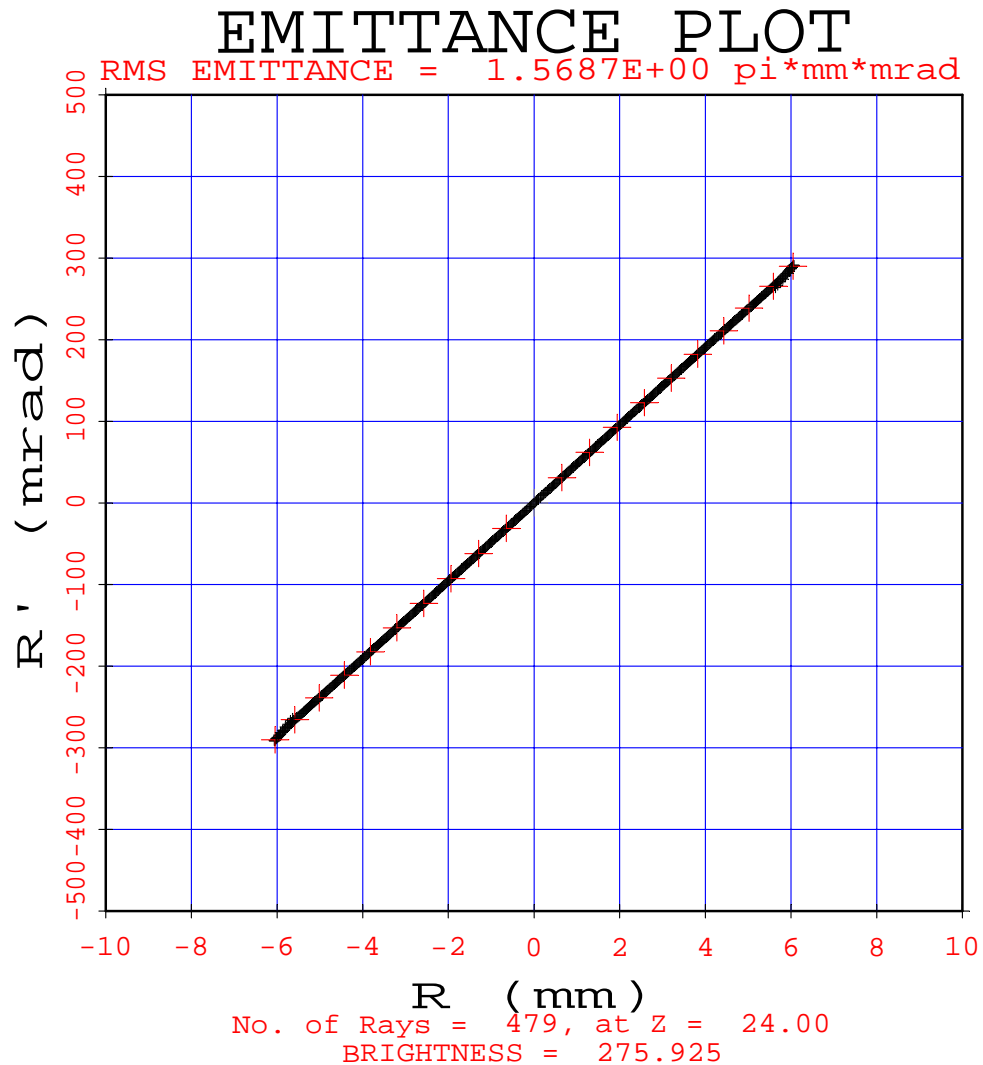
Траектории пучка и положение плазменной границы (вакуумный ток)



$$U = 29 \text{ кВ}, \quad I_{\text{beam}} = 6.7 \text{ A}, \quad P = 1.36 \text{ }\mu\text{perv}$$



Эмиттанс пучка (вакуумный диод)



Alpha
-211.026230
Beta - mm/mrad
4.427128
Gamma - mrad/mm
10059.132800
Prime Beam Curr. - A
6.701881

Отпечаток пучка на фольге



Отпечаток пучка на фольге



Отпечаток пучка на фольге



Изображение пучка на люминофорном экране



Люминофор экрана
телевизионной трубки
закрит фольгой $Al\ 9\mu m$

Экран расположен в **60 см**
от анодного отверстия

3 см

Резюме

- ✓ Проведены первые эксперименты на стенде с плазменным эмиттером электронов на основе импульсного дугового источника.
- ✓ В ускоряющей системе с одиночной круглой апертурой диаметром 3 мм получен пучок длительностью 250 мкс, с плотностью тока ~ 100 А/см² и полным током >7 А, при напряжении на зазоре 30 кВ. Напряженность электрического поля в зазоре ~ 100 кВ/см.
- ✓ Переключение дуги на эмиссионный электрод («удаленный анод») позволяет поднять плотность тока в пучке, не увеличивая газовую нагрузку на ускоряющий зазор.
- ✓ Плазма, возникающая в заанодном пространстве, оказывает, по-видимому, существенное влияние на параметры пучка.