

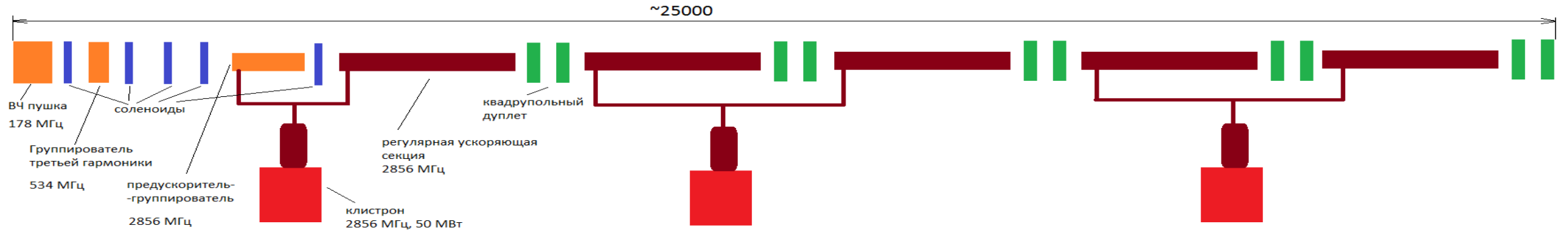
# Линейный ускоритель СКИФ

А.Е.Левичев, В. Волков, С. Самойлов, А. Барняков, К. Гришина, Д. Чекменев

[A.E.Levichev@inp.nsk.su](mailto:A.E.Levichev@inp.nsk.su)

21.03.2019

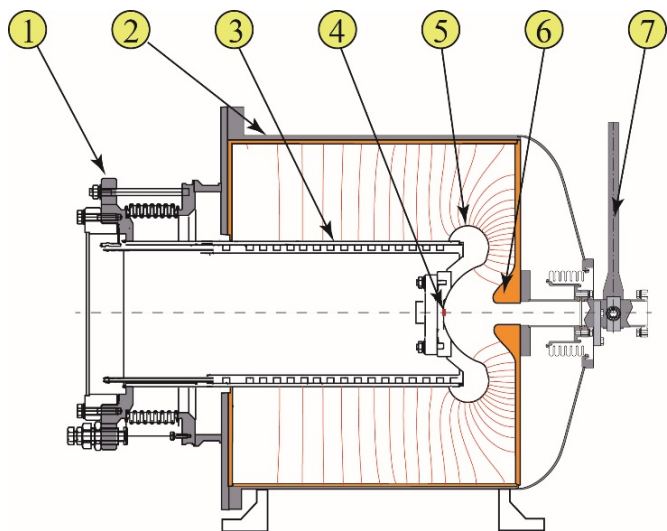
# Общая схема ускорителя с энергией 200 МэВ



Название	Описание	Кол-во
Источник электронов	СВЧ пушка на основе термо-катодного сеточного узла частота 178 МГц,	1
Группирующий резонатор 1	Резонатор с частотой 534 МГц	1
Группирователь-предускоритель	Структура с параллельной связью с частотой 2856 МГц	1
Ускоряющая структура	Частота 2856 МГц, длина 3 м, структура на бегущей волне с видом колебания $2\pi/3$	5
Источник мощности резонатора СВЧ пушки	Частота 178 МГц, мощность 1 МВт	1
Модулятор источника электронов		1
Источник СВЧ мощности резонатора группирователя	Частота 534 МГц, мощность 10 кВт	1
Клистрон	Частота 2856 МГц, мощность 50 МВт	3
Предусилитель мощности для клистрона	Частота 2856, мощность 500 Вт	3
Модулятор клистрона	350 кВ высокое напряжение, 120 МВт импульсная мощность	3
Термостабилизация	?? kW	1
Соленоидальные фокусирующие элементы	соленоид с максимальным полем 700 Гс	5
Квадрупольные линзы	Линзы регулярных ускоряющих структур	10

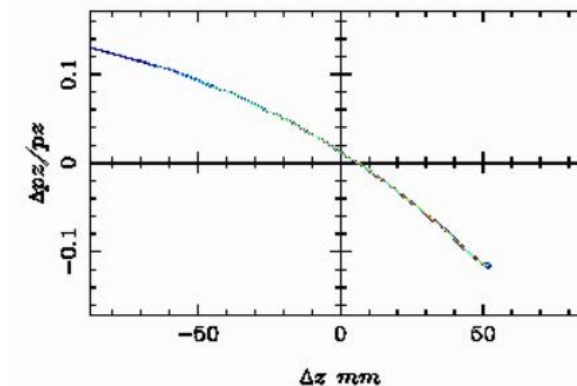
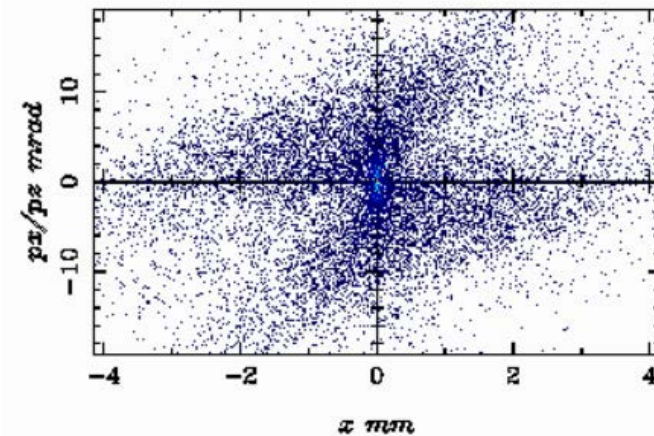
# Источник электронов

(данные В.Н. Волкова)

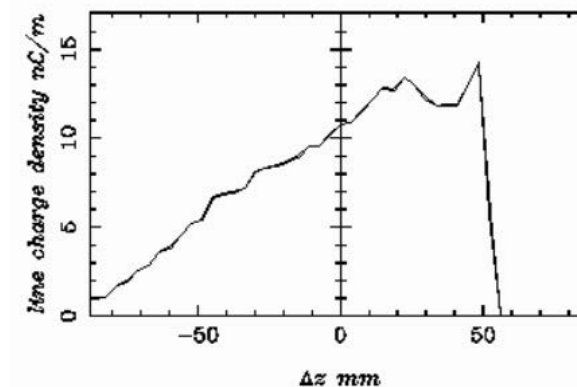


Геометрия ВЧ резонатора пушки. 1-Узел крепления вставки; 2-Корпус резонатора; 3-Вставка; 4-катодно-сеточный узел; 5-Электрод; 6-«Нос»; 7-Механизм перестройки частоты

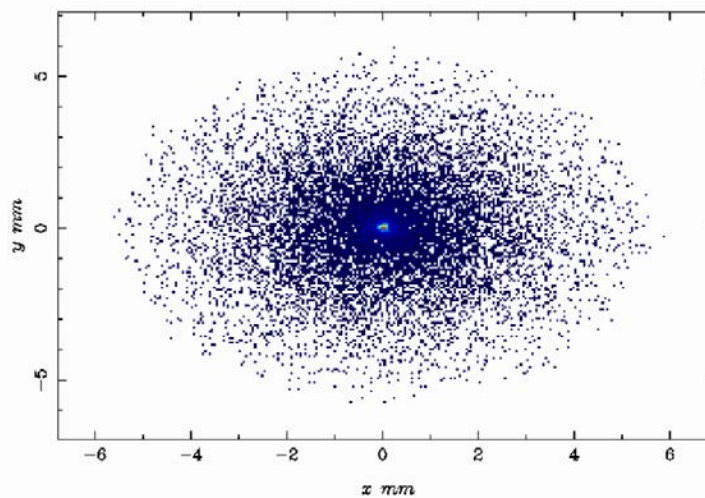
Particles taken into account	N =	14599	
total charge	Q =	-1.174	nC
horizontal beam position	x =	9.2275E-05	mm
vertical beam position	y =	3.7991E-03	mm
longitudinal beam position	z =	0.2500	m
horizontal beam size	sig x =	1.660	mm
vertical beam size	sig y =	1.651	mm
longitudinal beam size	sig z =	35.11	mm
average kinetic energy	E =	0.6840	MeV
energy spread	dE =	66.70	keV
average momentum	P =	1.080	MeV/c
transverse beam emittance	eps x =	23.91	pi mrad mm
correlated divergence	cor x =	1.608	mrad
transverse beam emittance	eps y =	23.78	pi mrad mm
correlated divergence	cor y =	1.555	mrad
longitudinal beam emittance	eps z =	399.3	pi keV mm
correlated energy spread	cor z =	-65.72	keV
emittance ratio eps y/eps x	=	1.005	



Longitudinal Distribution

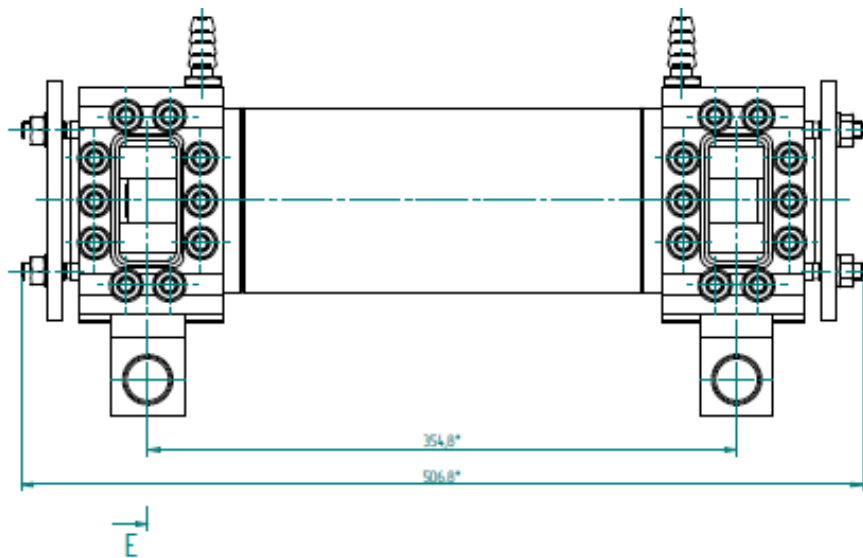
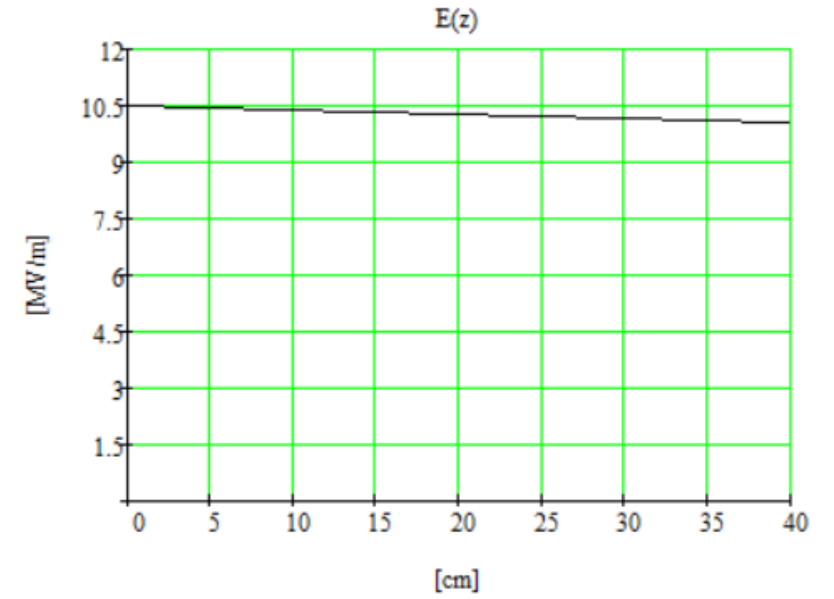
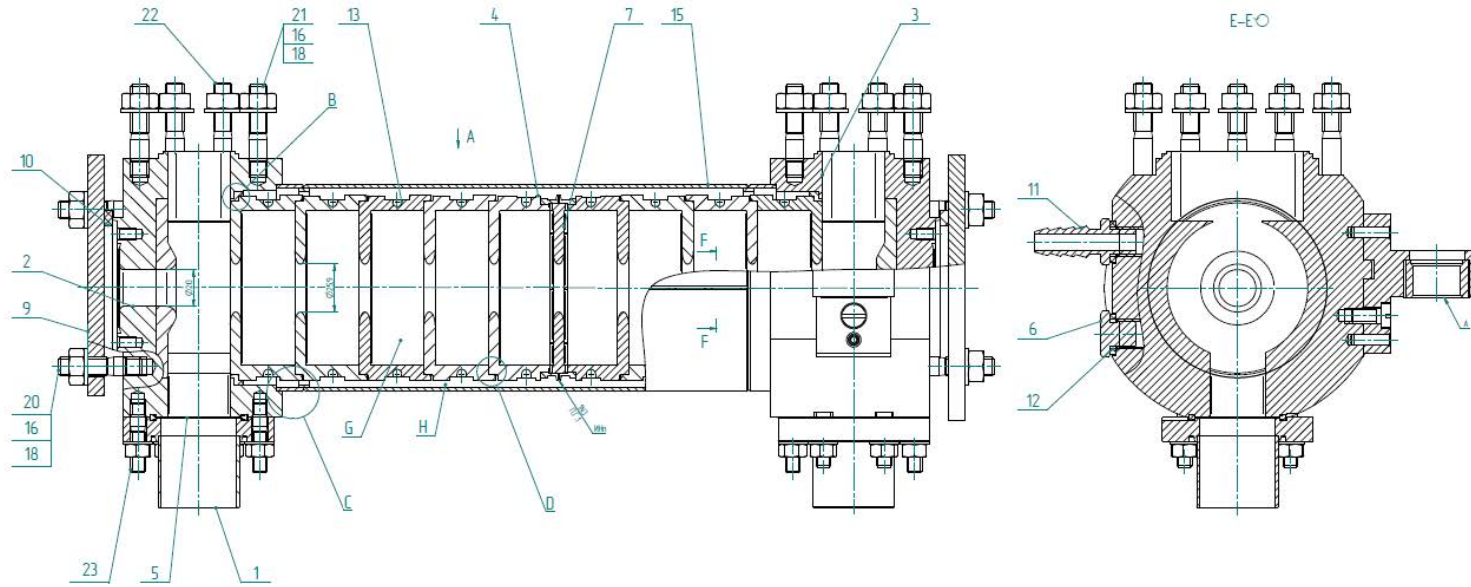


Резонансная частота, МГц	178
Напряжение резонатора, кВ	822
Макс. Электрическое поле, МВ/м	50
Электрическое поле на сетке, МВ/м	5.45
Характеристич. Сопротивление, Ом	32.5
Добротность	10300
Импульсная мощность, кВт	1005



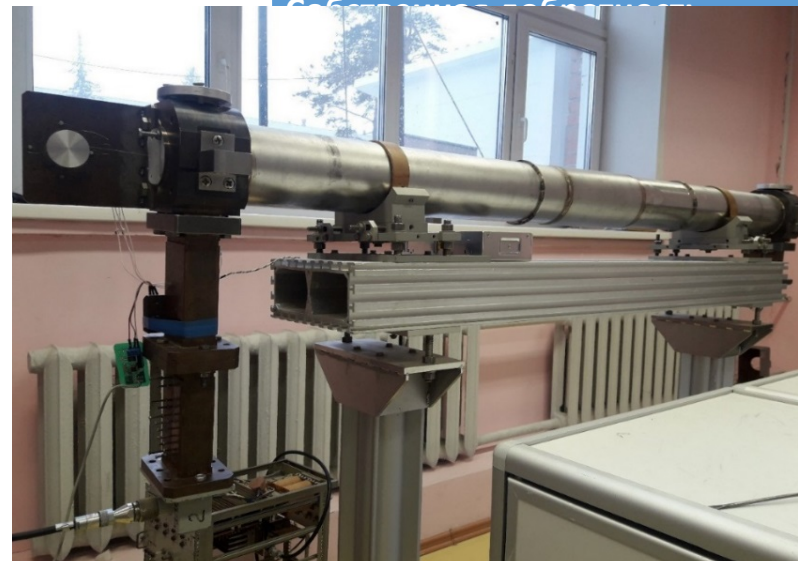
Управление током пушки происходит по сетке отдельным модулятором, что позволяет получать любую последовательность ступков с возможностью управления тока пучка

# Группирователь-предускоритель

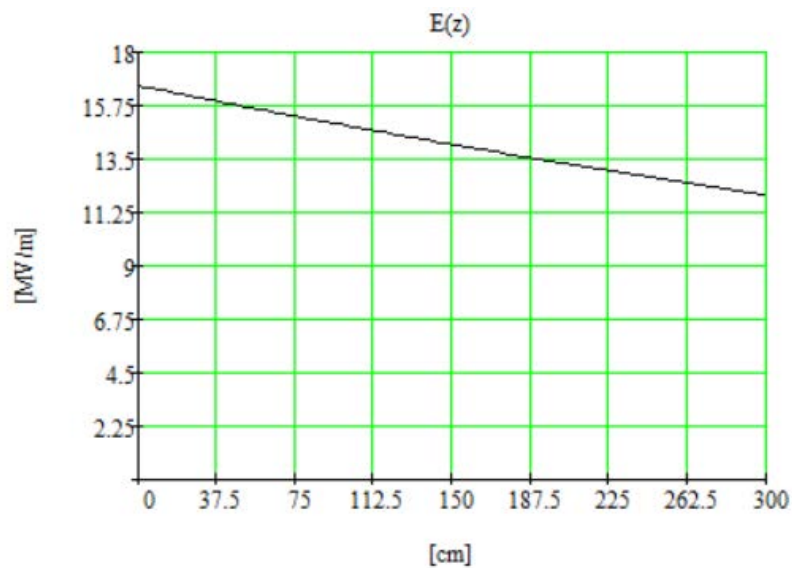


**Мощность 10 МВт, максимальная энергия пучка 4 МэВ**

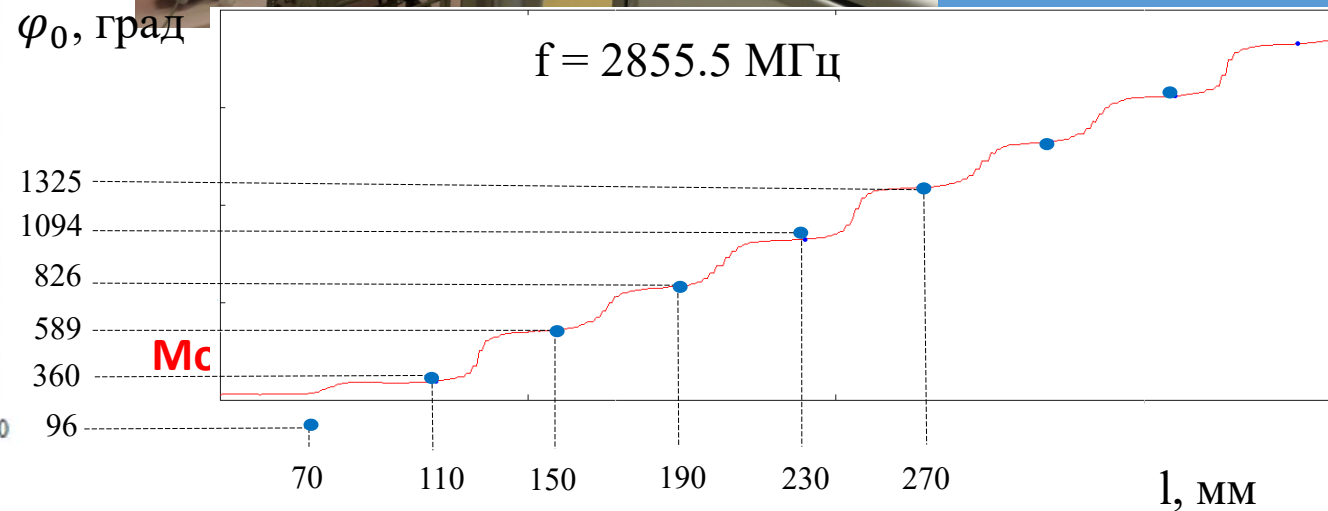
# Регулярные ускоряющие структуры



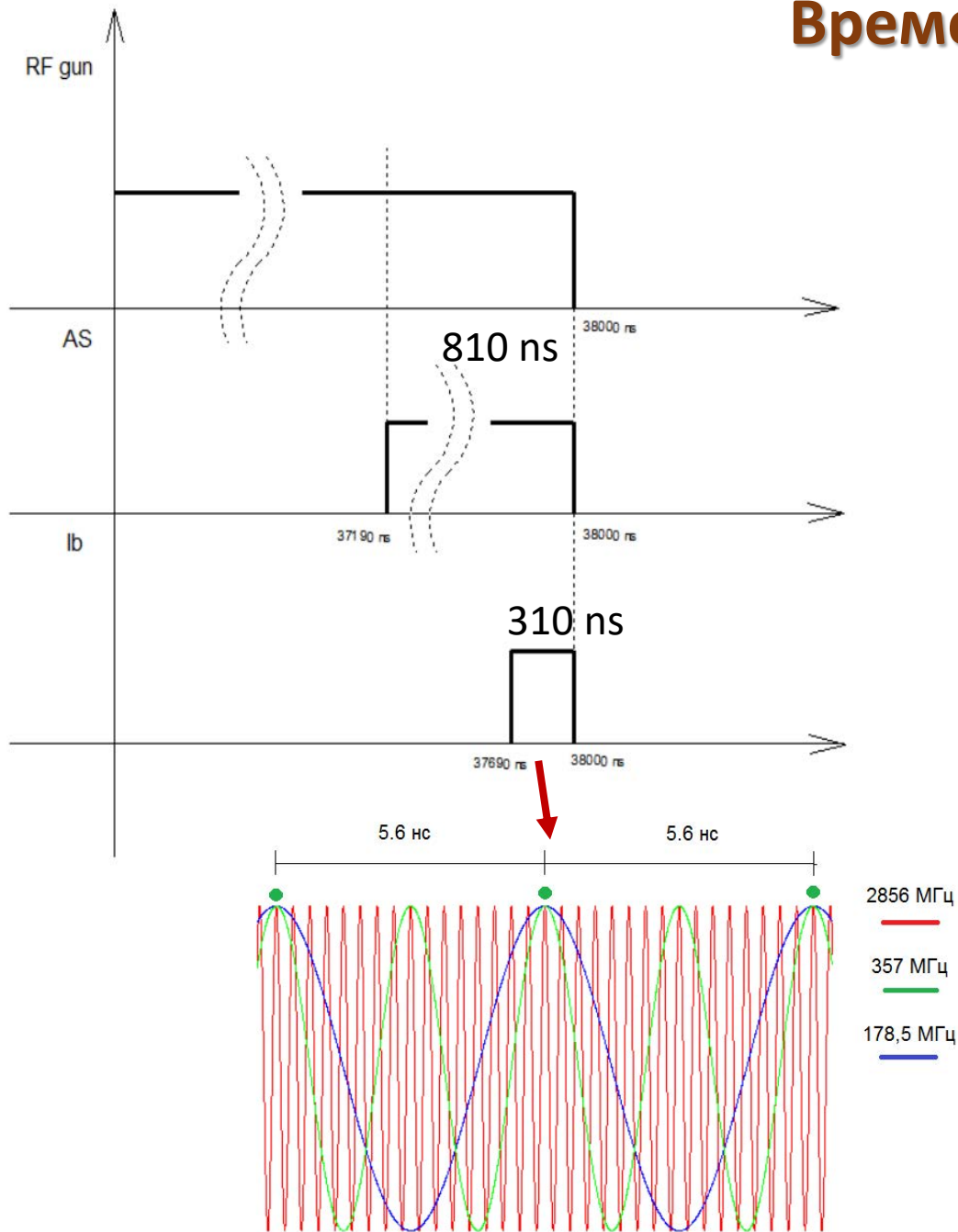
Параметры	Значения
Рабочая частота	2855.5 МГц
Рабочий вид колебаний	$2\pi/3$
Собственная частота	$1.32 \cdot 10^4$
Скорость фазового фронта	0.021·С
Импеданс	51 МОм/м
Длина элементарной структуры (УС)	1.47 мкс
Полученное поле	0.108 1/м
Средняя длина волны	0.316
Средняя частота	0.465 мкс
Средняя длина волны	34.98 мм
Средняя частота	83.8 мм
Средняя длина волны	25.9 мм
Средняя частота	6 мм
Средняя длина волны	1.7



$\varphi_0$ , град



# Временная схема работы



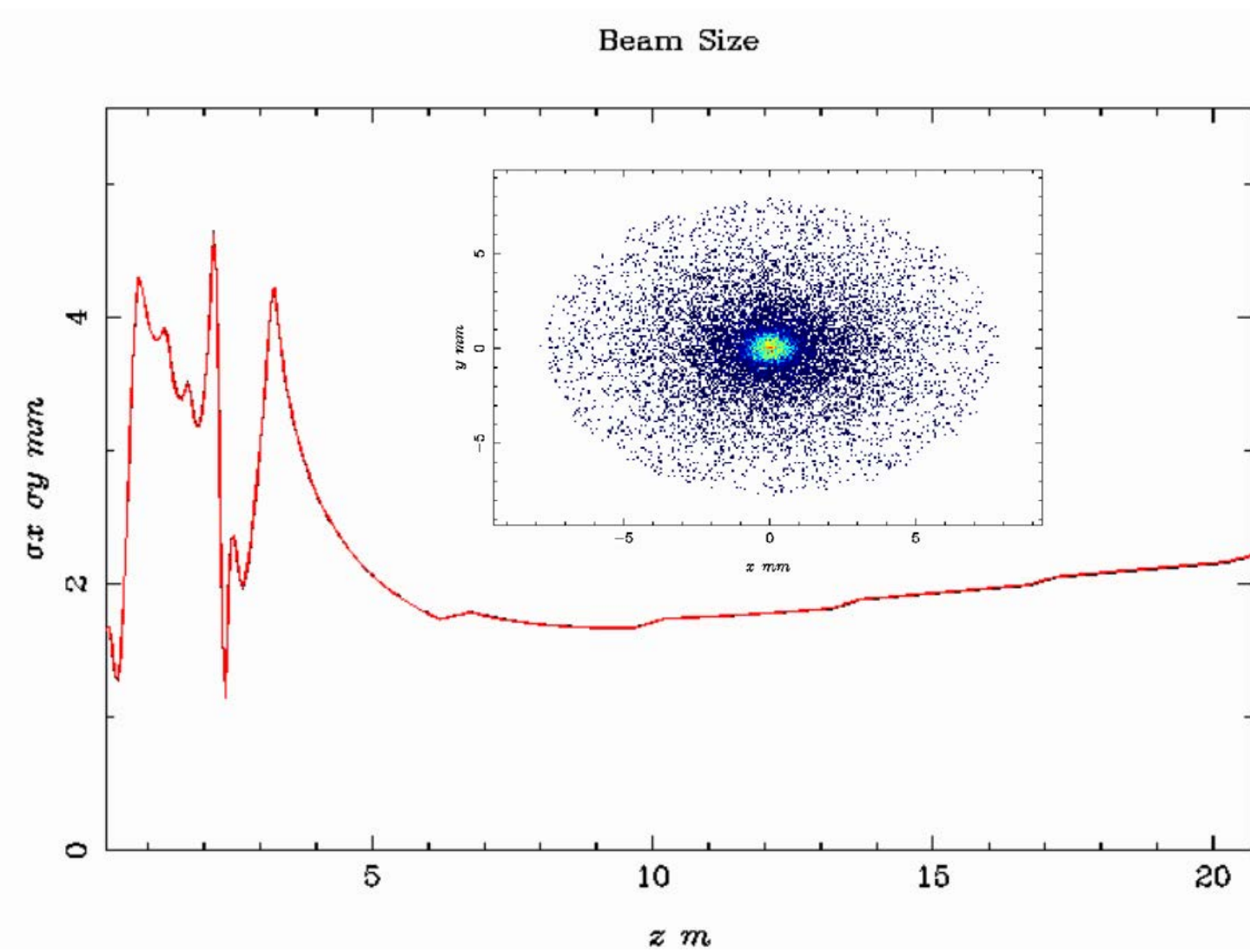
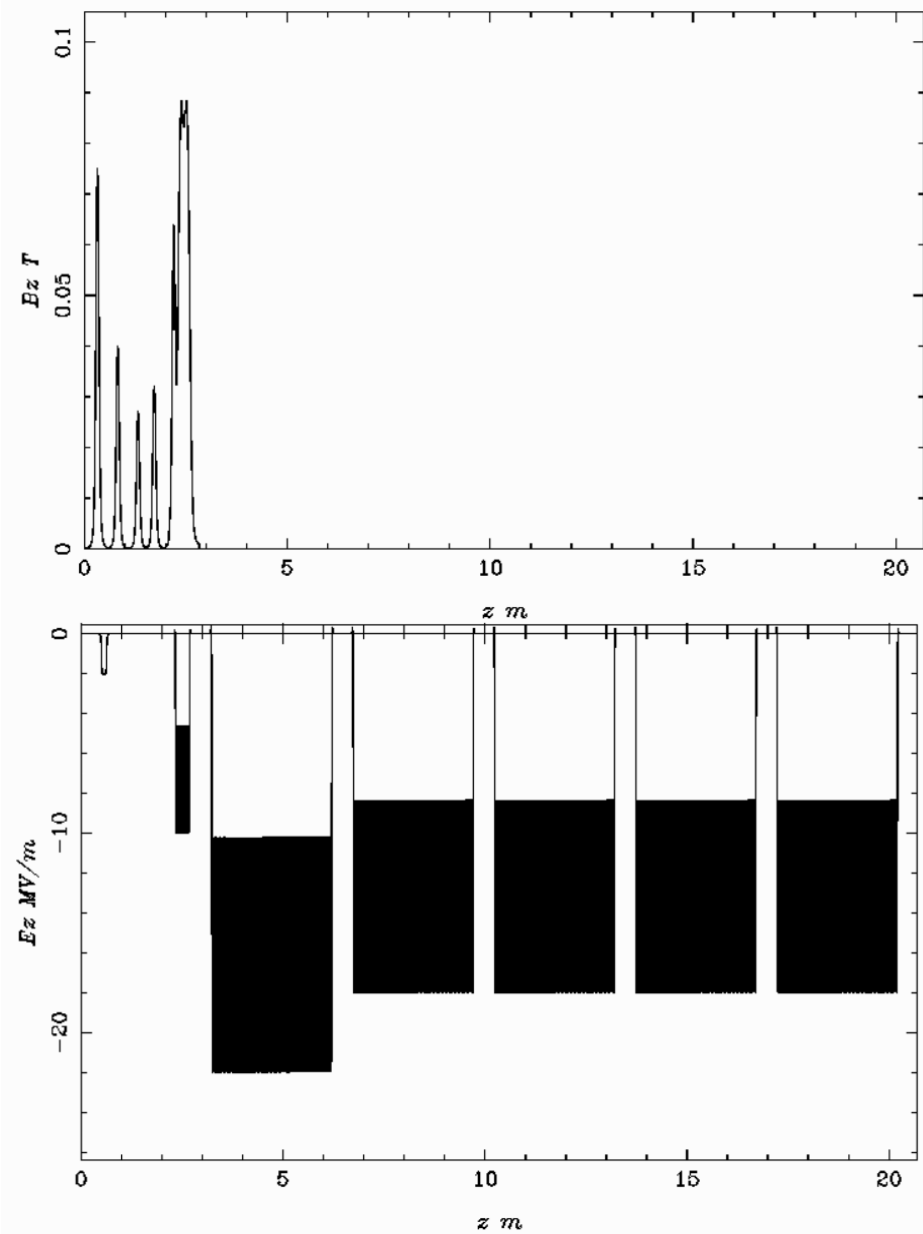
## Пользовательские режимы (А. Журавлев)

Режим	Ток, мА	Заряд в одной сгустке, нКл	Время между сгустками, нс
Режим 1 - общий	400	0.7	5.6
Режим 2 - односгустковый	5	1	
Режим 3	5	1	22.409 (5.6x4)
Режим 4	5	1	100.84 (5.6x18)
Режим 5	5	1	134.454 (5.6x24)
Режим 6	5	1	201.681 (5.6x36)

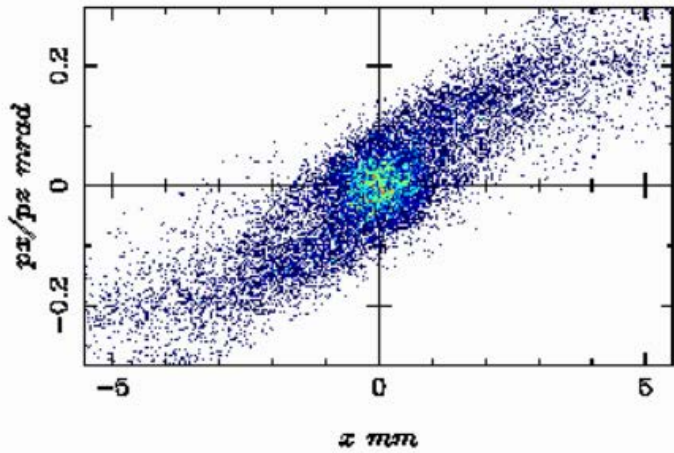
## Режимы линейного ускорителя

Режим	Ток, мА	Заряд в одной сгустке, нКл	Время между сгустками, нс
Режим 1 - общий	400	0.24	5.6
Режим 2 - односгустковый	5	1	
Режим 3	5	1	22.409 (5.6x4)
Режим 4	5	1	100.84 (5.6x18)
Режим 5	5	1	134.454 (5.6x24)
Режим 6	5	1	201.681 (5.6x36)

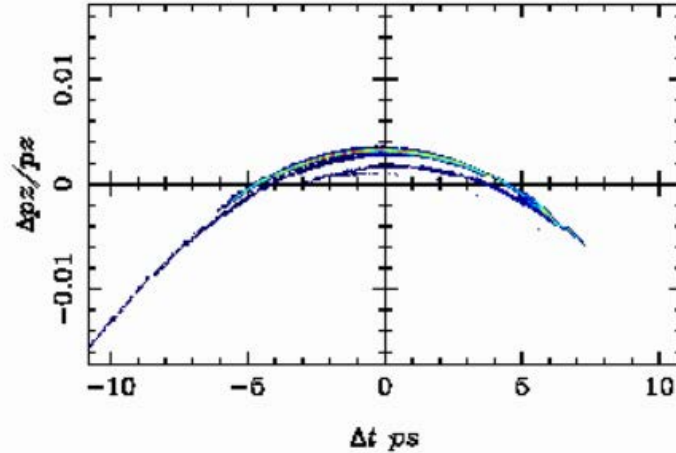
# Расчет динамики с зарядом 1.1 нКл



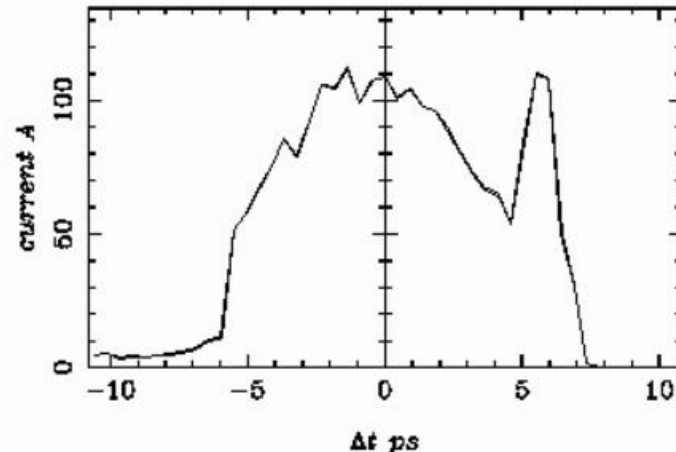
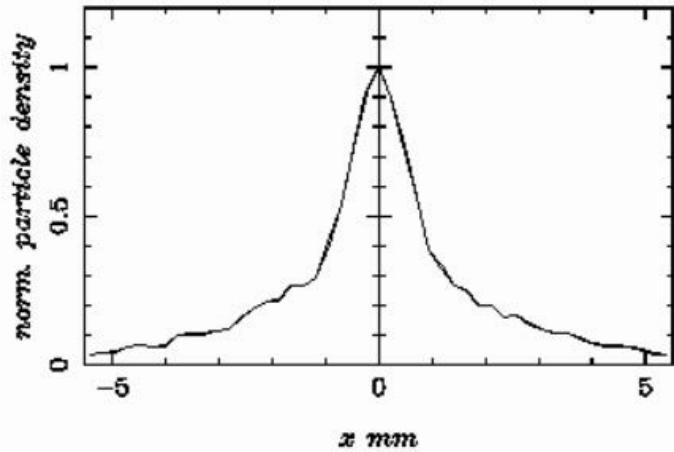
# Расчет динамики с зарядом 1.1 нКл



Transverse Distribution



Longitudinal Distribution



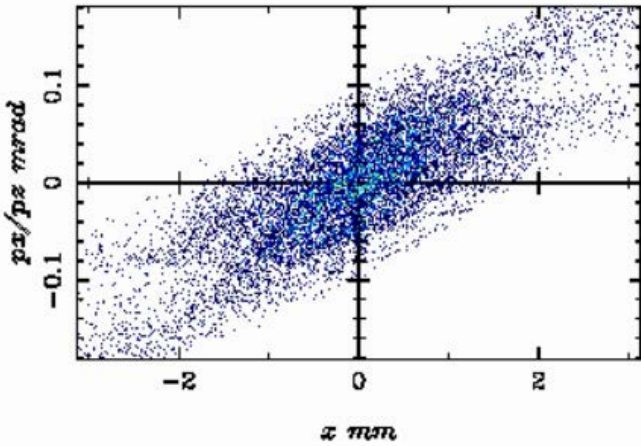
Particles taken into account	N =	14143	
total charge	Q =	-1.137	nC
horizontal beam position	x =	-1.5425E-03	mm
vertical beam position	y =	-8.2505E-03	mm
longitudinal beam position	z =	20.70	m
horizontal beam size	sig x =	2.209	mm
vertical beam size	sig y =	2.216	mm
longitudinal beam size	sig z =	1.296	mm
average kinetic energy	E =	210.9	MeV
energy spread	dE =	1448.	keV
average momentum	P =	211.4	MeV/c
transverse beam emittance	eps x =	53.57	pi mrad mm
correlated divergence	cor x =	0.1040	mrad
transverse beam emittance	eps y =	53.87	pi mrad mm
correlated divergence	cor y =	0.1049	mrad
longitudinal beam emittance	eps z =	1673.	pi keV mm
correlated energy spread	cor z =	655.1	keV
emittance ratio eps y/eps x	=	0.9943	

0.7%

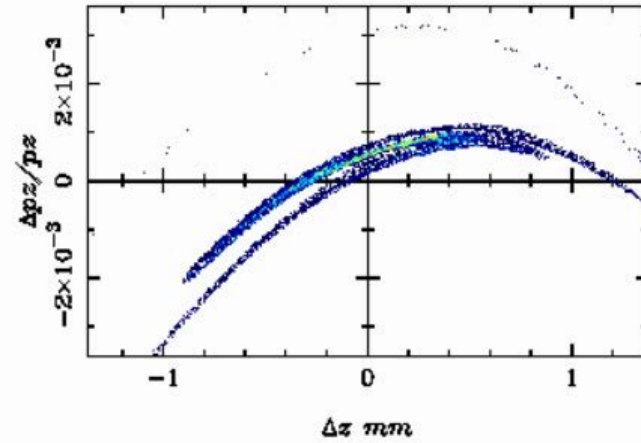
Geometry emittance 126 π nm



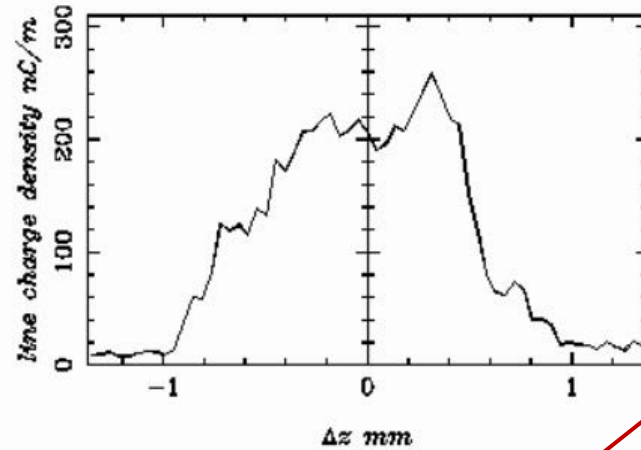
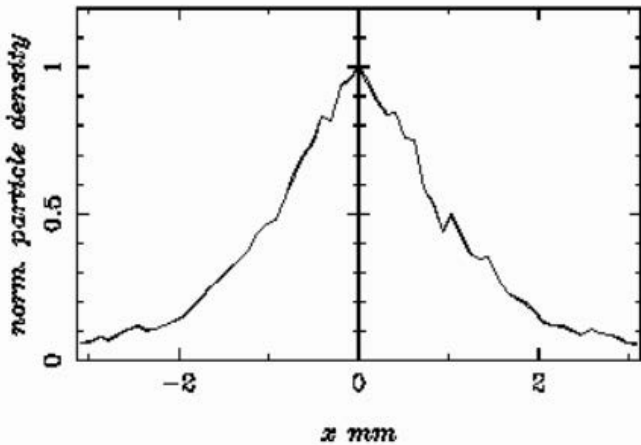
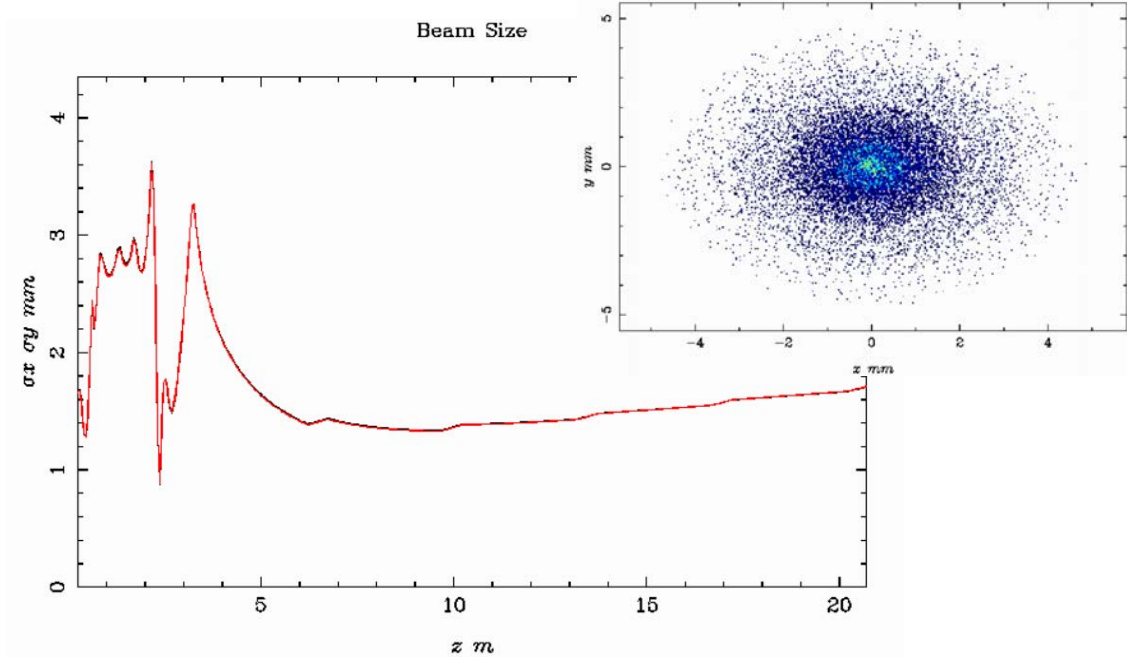
# Расчет динамики с зарядом 0.3 нКл



Transverse Distribution



Longitudinal Distribution



Particles taken into account	N =	18591	
total charge	Q =	-0.2989	nC
horizontal beam position	x =	3.3498E-03	mm
vertical beam position	y =	3.6744E-04	mm
longitudinal beam position	z =	20.70	m
horizontal beam size	sig x =	1.255	mm
vertical beam size	sig y =	1.249	mm
longitudinal beam size	sig z =	0.5482	mm
average kinetic energy	E =	211.6	MeV
energy spread	dE =	305.8	keV
average momentum	P =	212.1	MeV/c
transverse beam emittance	eps x =	20.14	pi mrad mm
correlated divergence	cor x =	6.1382E-02	mrad
transverse beam emittance	eps y =	20.10	pi mrad mm
correlated divergence	cor y =	6.1067E-02	mrad
longitudinal beam emittance	eps z =	124.4	pi keV mm
correlated energy spread	cor z =	204.9	keV
emittance ratio eps y/eps x	=	1.002	

0.14%

Geometry emittance  $47 \pi \text{ nm}$


# Клистроны

PULSED KLYSTRON AMPLIFIER  
E3730A

## Параметры:

Частота 2856 МГц  
Импульсная мощность 50 МВт  
Длительность импульса 3-5 мкс  
Частота повторения 25 Гц

## TOSHIBA

Image	Model Name	Fre- quency (MHz)	Output Power (MW)	Effi- ciency (%)	Gain (dB)	Pulse Length ( $\mu$ s)	Pulse- Rate (pps)	Beam Volt. (kV)	Beam Curr. (A)	Weight (kg)	Length (m)
	E3730A	2,856	50	45	51	4	50	312	362	140	1.4



## THALES

RF performance	TH 2128 E	TH 2128	TH 2128 C/D	
Frequency	2 856	2 856	2 856	MHz
RF output power:				
• peak	30	35	45.5	MW
• average	24	17.5	10	kW
Peak RF drive power	200	200	200	W max.
Instantaneous bandwidth (- 1dB)	10	10	10	MHz min.
RF pulse duration	5	5	4.5	$\mu$ s max.
Saturated gain	52	53	54	dB typ.
Efficiency	43	43	43	% typ.



## BINP



Расчетная мощность 50 МВт  
В процессе изготовления.

## Кто еще? – НПП Торий (?)

Таблица 12. Параметры электронной пушки

Параметр	Обозначение	Значение	Единицы измерения
Диаметр катода	$D_k$	35	мм
Диаметр анодного отверстия (канала)	$D_a$	20	мм
Напряжение катода	$U_k$	280	кВ
Парциальный ток катода	$I_k$	60	А
Первеанс одного луча	$p_k$	0,405	мкА/В <sup>3/2</sup>
Заполнение	k	0,5	-
Количество лучей	N	6	-

- выходную импульсную мощность
- КПД
- уровень оптимальной входной мощности
- коэффициент усиления

не менее 50 МВт;  
не менее 50%;  
не более 350 Вт;  
не менее 55 дБ.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

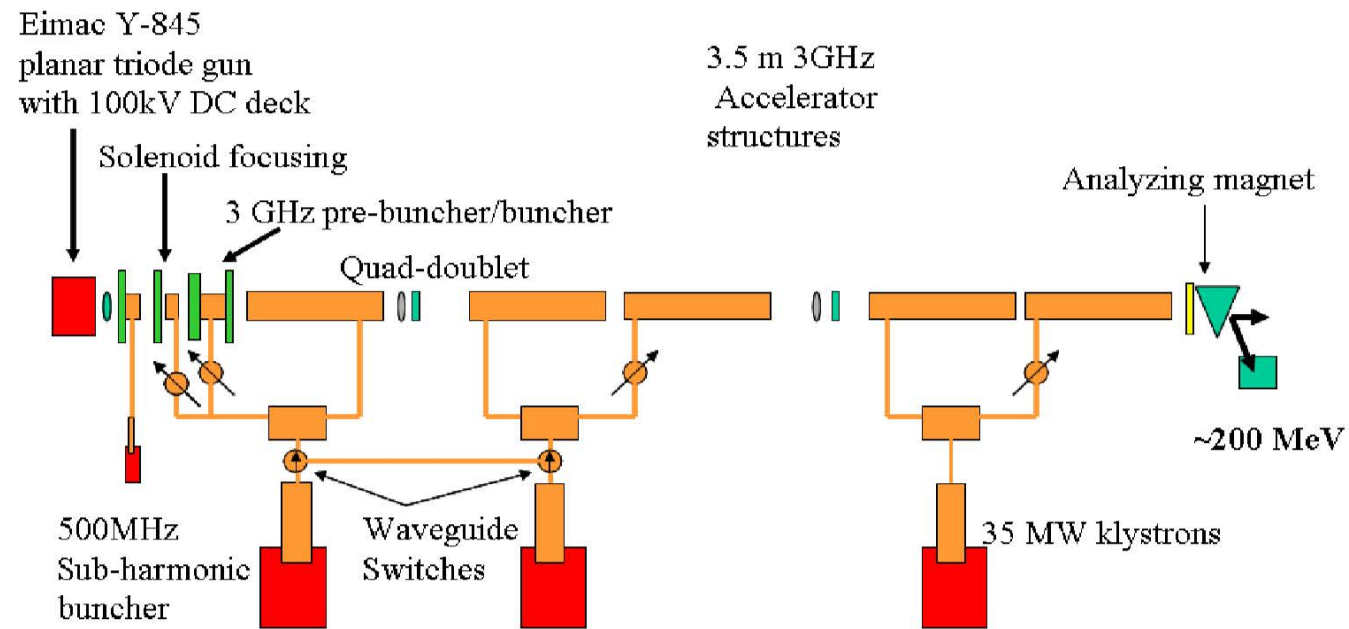


Figure 5.2.1 Layout of the 200 MeV linear accelerator.

Линак (200 МэВ, 15 нК, 1 Гц) состоит из:

- 100 кВ триодная пушка с 500 МГц модуляцией
- 4 экранированные линзы между пушкой и банчером
- 500 МГц предбанчерный резонатор с +/- 25 кВ модуляцией
- 3 ГГц предбанчерный резонатор с +/- 10 кВ модуляцией (100 Вт)
- 3 ГГц стационарный волновой банчер с 2-мя экранированными катушками (1,2 м длиной, 5,5 МВт, рост энергии 15 МэВ)
- 5 ускорительно-волновых структур при 3 ГГц и  $2\pi/3$  моде с длиной 3,5 м (между фланцами)
- Глазер линзы между банчером и первой ускорительной структурой
- 2 фокусирующих дуплета
- 3 клистрона (ТН2100, 35 МВт) с модуляторами
- контроль низкого ВЧ уровня