



# Супер С-τ Фабрика V2.0

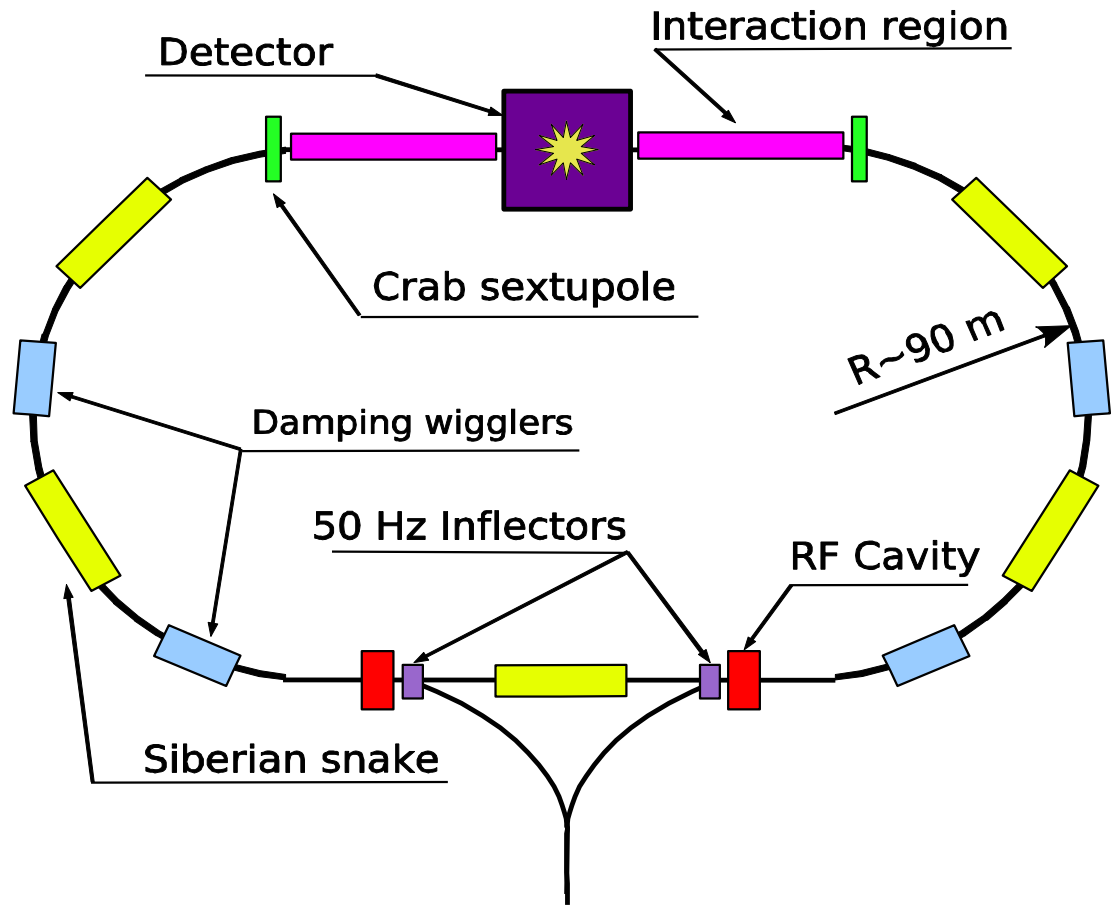
А. Богомягков  
Е. Левичев  
С. Синяткин

Научная сессия ИЯФ, 16 марта 2018 г.

# Once upon a time...

7 ноября 2006 г. – первое совещание:

- $2E = 3 \div 4.5$  ГэВ
- Crab Waist метод встречи
- Светимость  $10^{35} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$
- Поляризованные электроны
- Симметричная встреча
- Без монохроматизации
- Калибровка по ОКР
- Модернизация ИК до  $1 \cdot 10^{11} \text{ e}^+/\text{с}$



# Параметры v.1

Energy	1.0 GeV	1.5 GeV	2.0 GeV	2.5 GeV
Circumference	780 m			
Emittance hor/ver	8 nm/0.04 nm @ 0.5% coupling			
Damping time hor/ver/long	30/30/15 ms			
Bunch length	16 mm	11 mm	10 mm	10 mm
Energy spread	$10.1 \cdot 10^{-4}$	$9.96 \cdot 10^{-4}$	$8.44 \cdot 10^{-4}$	$7.38 \cdot 10^{-4}$
Momentum compaction	$1.00 \cdot 10^{-3}$	$1.06 \cdot 10^{-3}$	$1.06 \cdot 10^{-3}$	$1.06 \cdot 10^{-3}$
Synchrotron tune	0.007	0.010	0.009	0.008
RF frequency	508 MHz			
Harmonic number	1300			
Particles in bunch	$7 \cdot 10^{10}$			
Number of bunches	390 (10% gap)			
Bunch current	4.4 mA			
Total beam current	1.7 A			
Beam-beam parameter	0.15	0.15	0.12	0.095
Luminosity	$0.63 \cdot 10^{35}$	$0.95 \cdot 10^{35}$	$1.00 \cdot 10^{35}$	$1.00 \cdot 10^{35}$

IP:  $\beta_y=0.8$  mm,  $\beta_x=40$  mm

# Что изменилось за 10 лет?

- Активно ведутся эксперименты на BES III, LHCb.
- В стадии запуска Super KEKB.
- Интенсивно развиваются накопители электронов с малым и супермалым эмиттансом (источники СИ).
- Интенсивно развивается FCC-ее, и ИЯФ там активно участвует.

Позитивное влияние FCC-ее на проект Супер С-т Фабрики в Новосибирске очень велико – ЦЕРН является богатой «копилкой» знаний в области ускорительной науки и техники. Лаборатории мира охотно сотрудничают с ЦЕРНом и делятся опытом. **Сотрудничество, несомненно, должно продолжаться.**

# Позыв к модернизации

Мотивация:

- Увеличение энергии пучка до 3 ГэВ согласно просьбе физиков. (Китай – 3.5 ГэВ, П = 1 км)
- Реалистичный проект области пересечения.  $L^* = 0.6 \text{ м} \rightarrow 0.9 \text{ м}$ .
- Короткий промежуток встречи (a la Katsunobu Oide).
- Желание отказаться от вигглеров-затухателей.
- Слегка ужесточить параметры (увеличить светимость).
- Получить нужные ДА, МА, время жизни с учетом внутрисгусткового рассеяния и, в конечном итоге, большую светимость.

# Конфигурация кольца

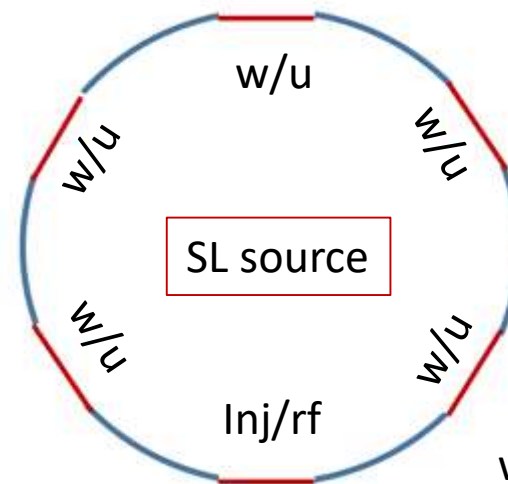
$E = 1-3 \text{ ГэВ}$

$\varepsilon_x \approx 2 \div 3 \text{ нм}$

$P \leq 800 \text{ м}$

6 промежутков ( $\sim 5 \text{ м}$ )

Типичный источник  
СИ третьего  
поколения



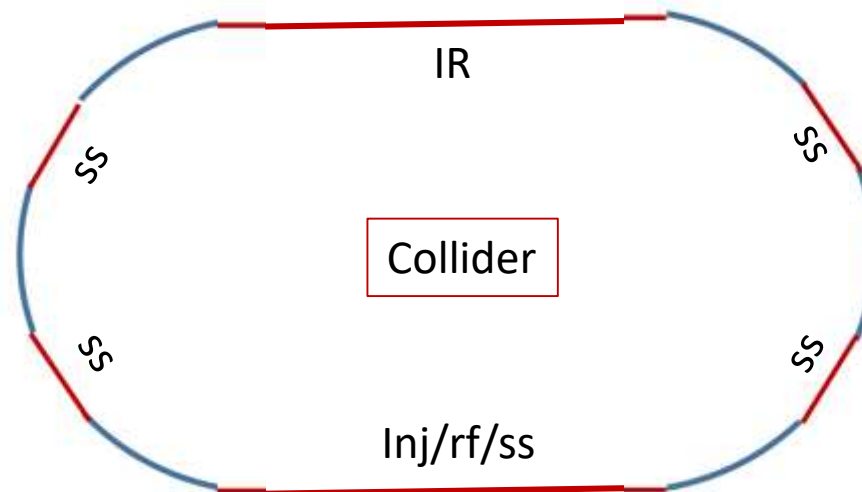
w/u – wiggler/undulator  
ss – Siberian snake

Отличия:

Большой ток ( $\sim 2 \text{ А}$  вместо  $\sim 0.5 \text{ А}$ )

Большой дополнительный хроматизм места  
встречи и сибирских змеек – должен быть  
потенциал для компенсации.

Большой диапазон по энергии.

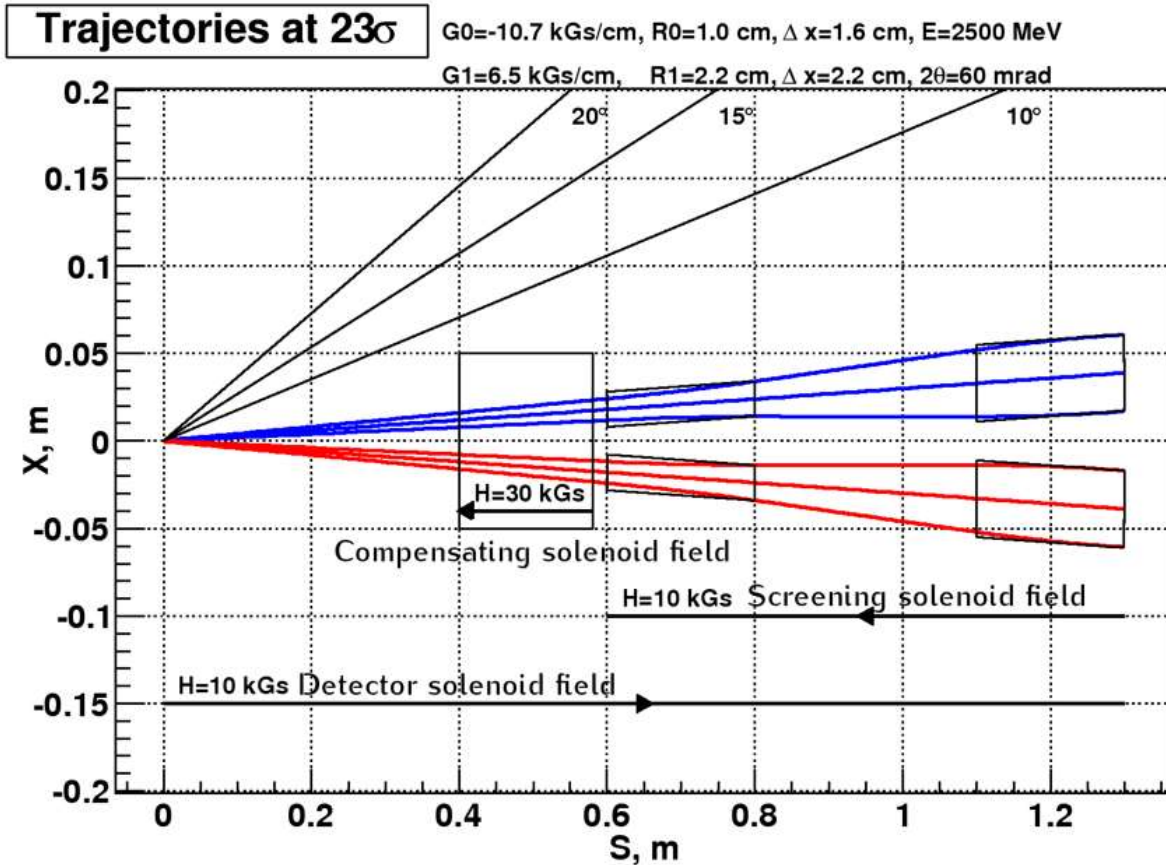


Супер С-т фабрика – это источник  
синхротронного излучения с высокой  
*светимостью*

~~яркостью~~

За прошедшее десятилетие техника разработки и создания источников СИ развилась чрезвычайно. Грех не воспользоваться...

# Конфигурация места встречи



Основной вопрос – расстояние  $L^*$  от IP до первой (дефокусирующей линзы) QD0.

Сила QD0 (та же сила для 3 ГэВ):

$$(K_1 L) \approx -\frac{2}{L^*}$$

Натуральный хроматизм QD0

$$\mu' \approx -\frac{L^*}{\beta^*}$$

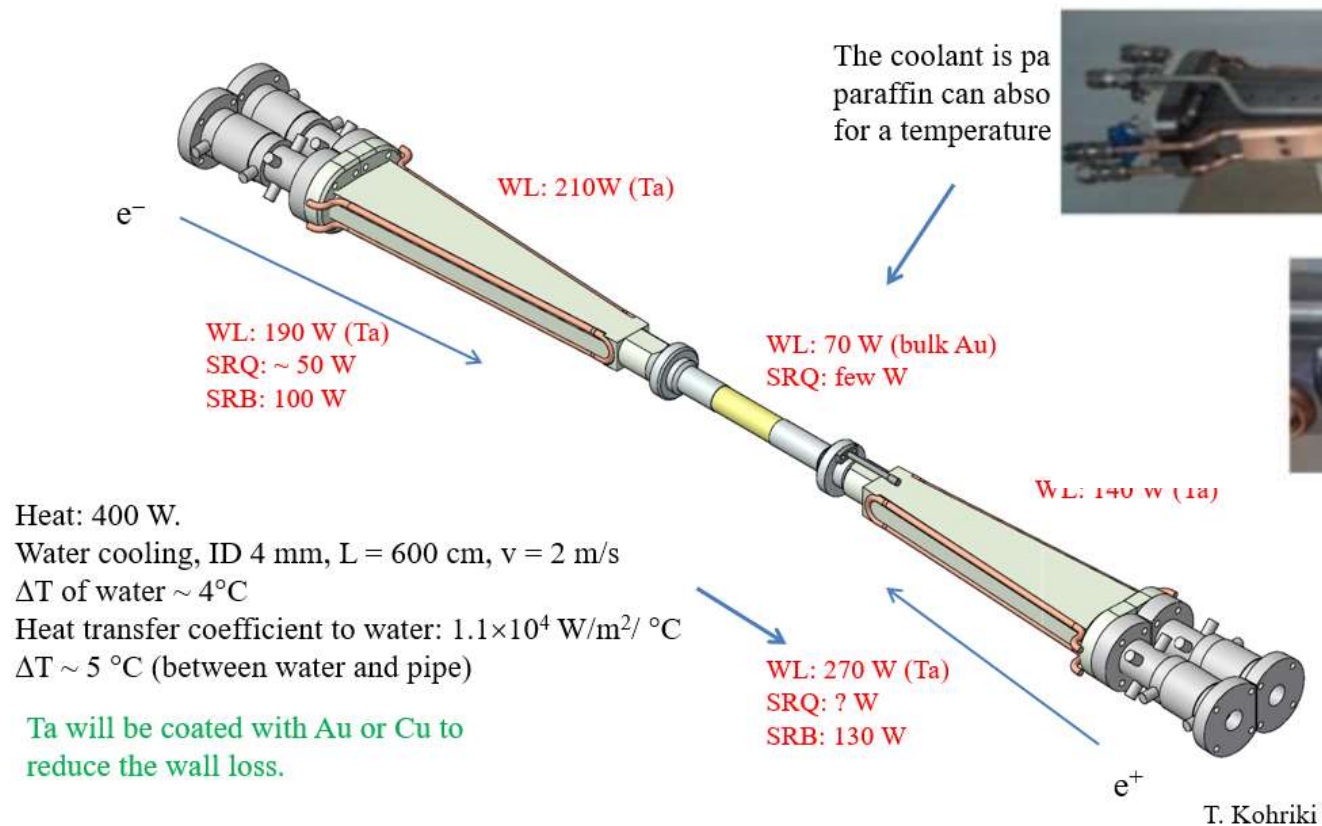
Вертикальная нелинейность края QD0

$$\alpha_{yy} \approx -\frac{1}{4\pi} K_1 \frac{L^{*3}}{\beta^{*2}}$$

Чем ближе QD0 к IP, тем лучше! Однако...



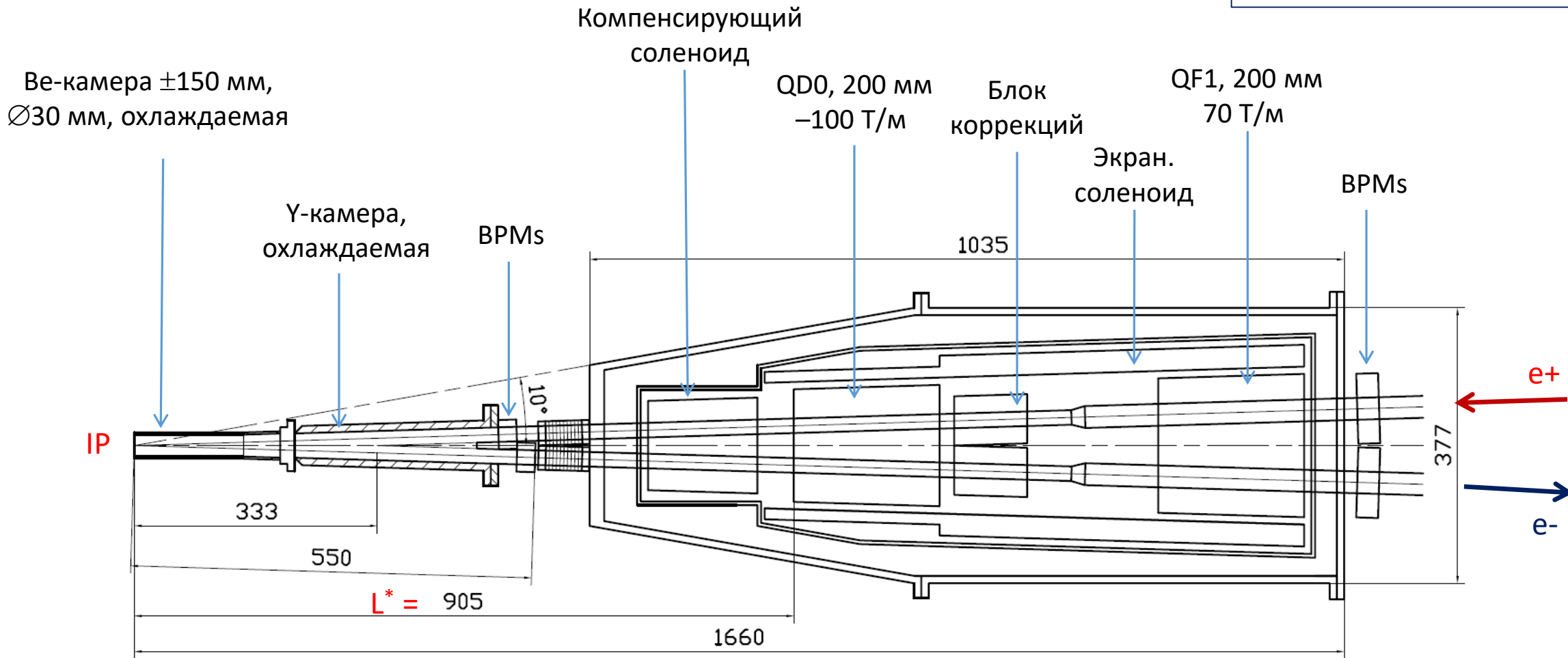
# Как это делают в Японии?



Поперечные размеры камер и магнитов IP для FCC-ee и Супер С-т примерно одинаковые – можно использовать найденные там решения и наоборот...

# Схема участка встречи Супер С-τ

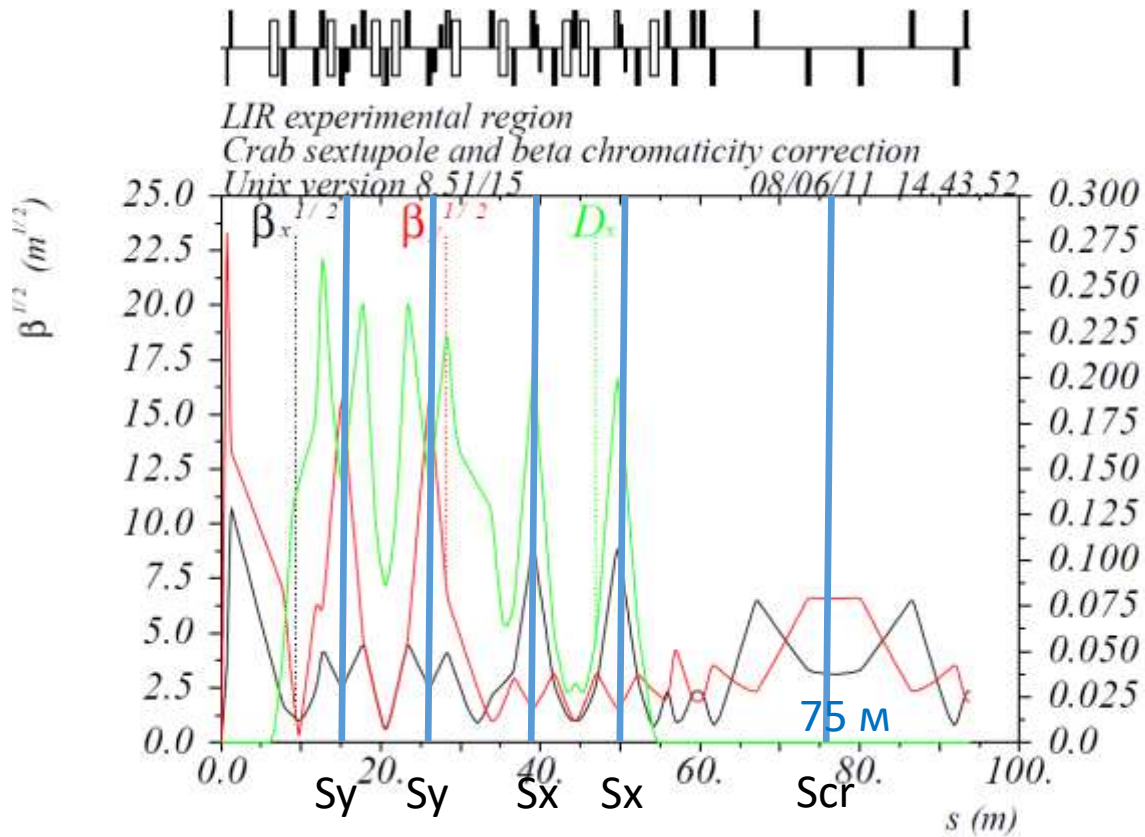
Градиенты для 3 ГэВ



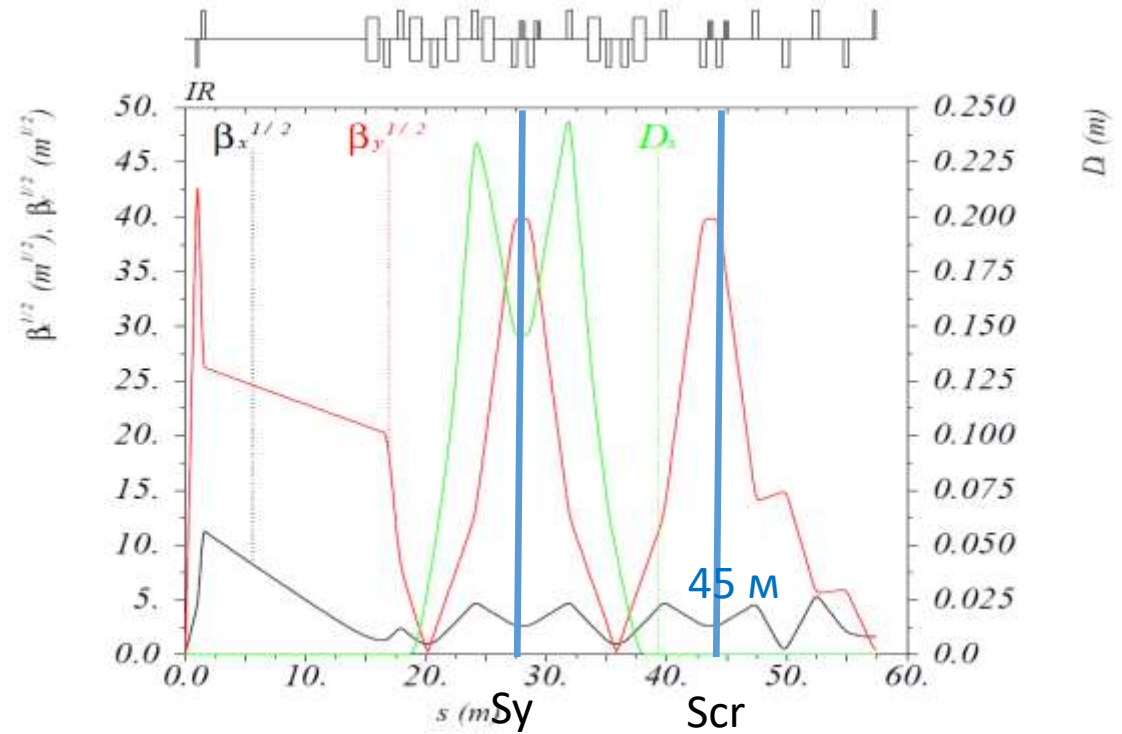
С. Глуховченко

# Укороченный IR

«Классический» IR



Укороченный IR (К.Ойдэ для FCC-ee)



# СП «змейки-затухатели»

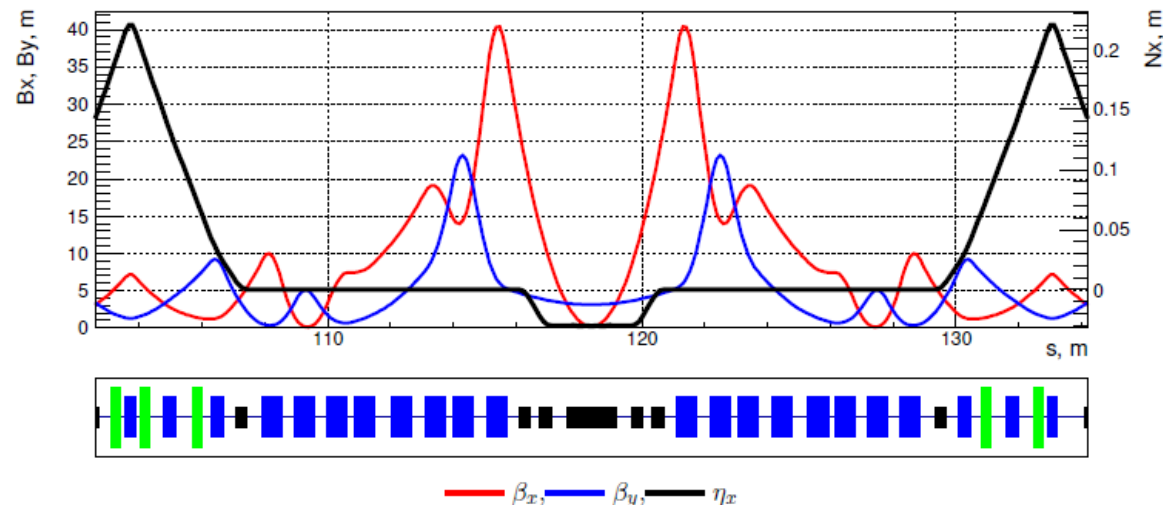
Для управления радиационными параметрами пучка планируется поставить 4 СП вигглера ( $\approx 2 \text{ м} \times 5 \text{ Т}$ , для 1 ГэВ нужно 7 Т, но не получается).

- Сложно
- Дорого
- Занимает много места ( $\approx 100 \text{ м}$ )
- Искажает оптику, влияет на динамику (нелинейности!)
- Как кажется, не нужно.

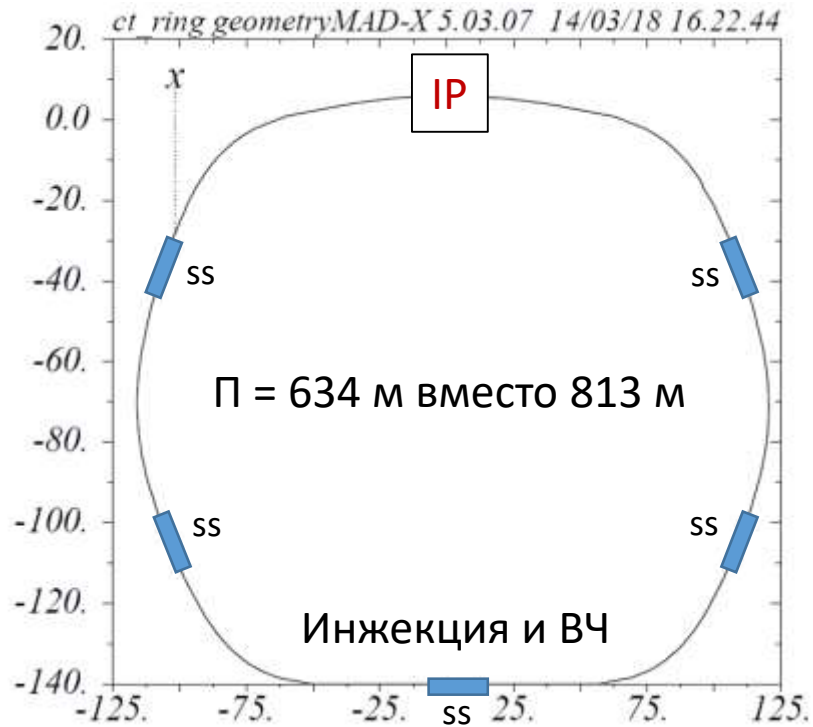
$$\varepsilon_x, \sigma_E^2 \propto E^2 \quad \sigma_z \propto \sigma_E \propto E$$

$$\xi_y = \frac{N_b r_e}{2\pi\gamma} \cdot \frac{\beta_y^*}{\sigma_y \sigma_z \theta} \propto E^{-3} = \text{const} \rightarrow N_b \propto E^2$$

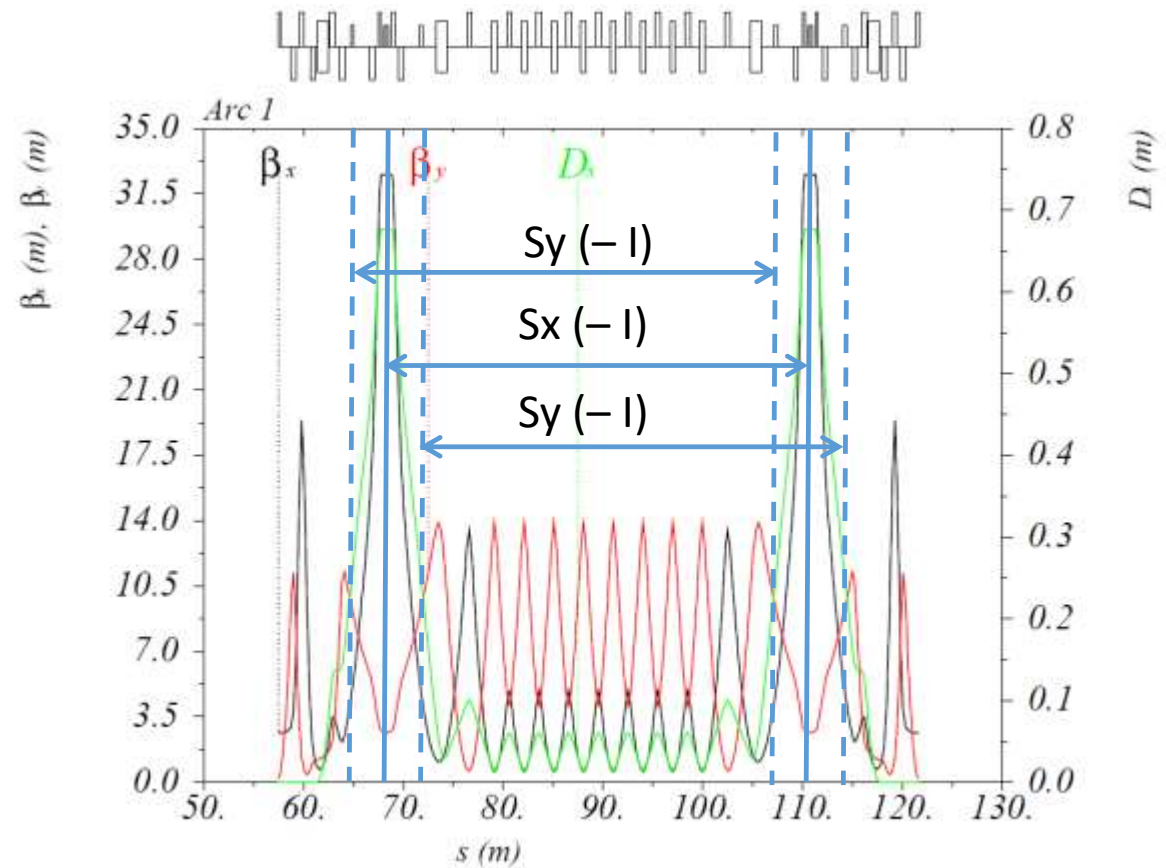
$$L = \frac{\gamma f_0}{2r_e} \cdot \frac{N_b \xi_y}{\beta_y^*} \propto E^4$$



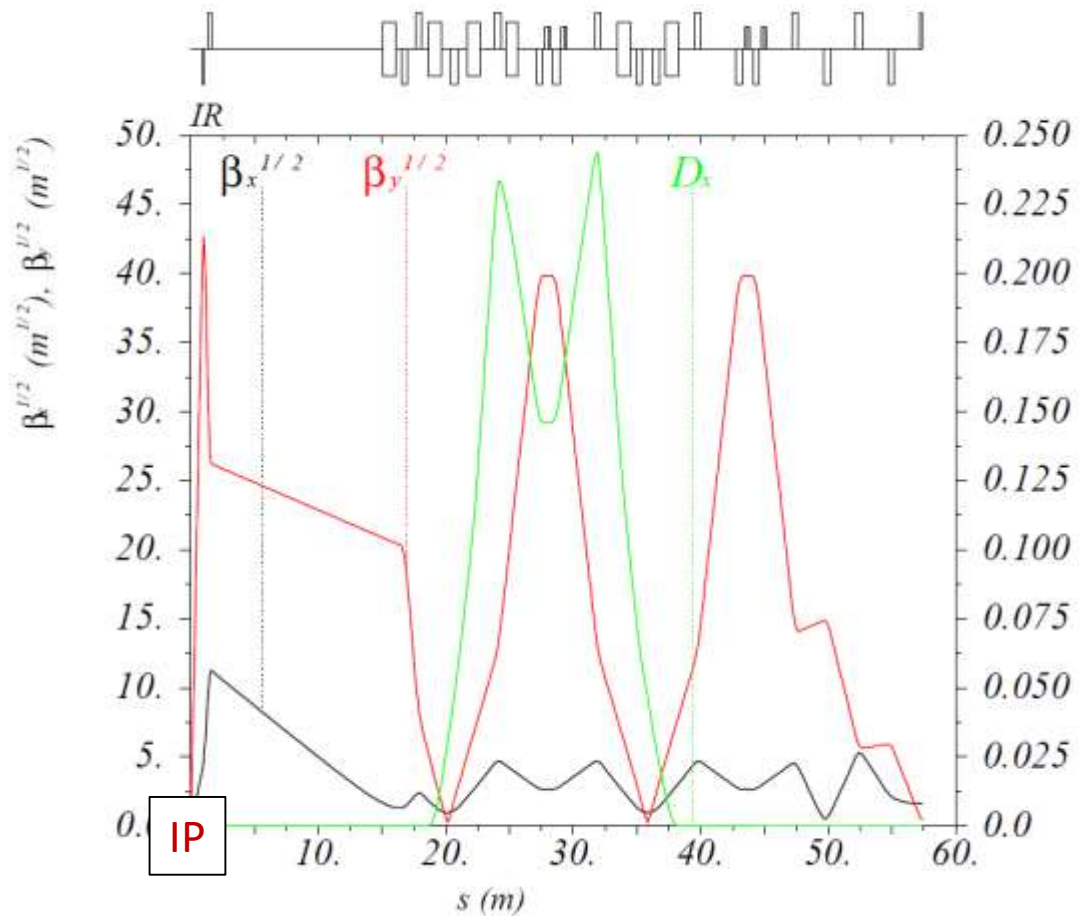
# Структура Супер С-τ V.2 (1)



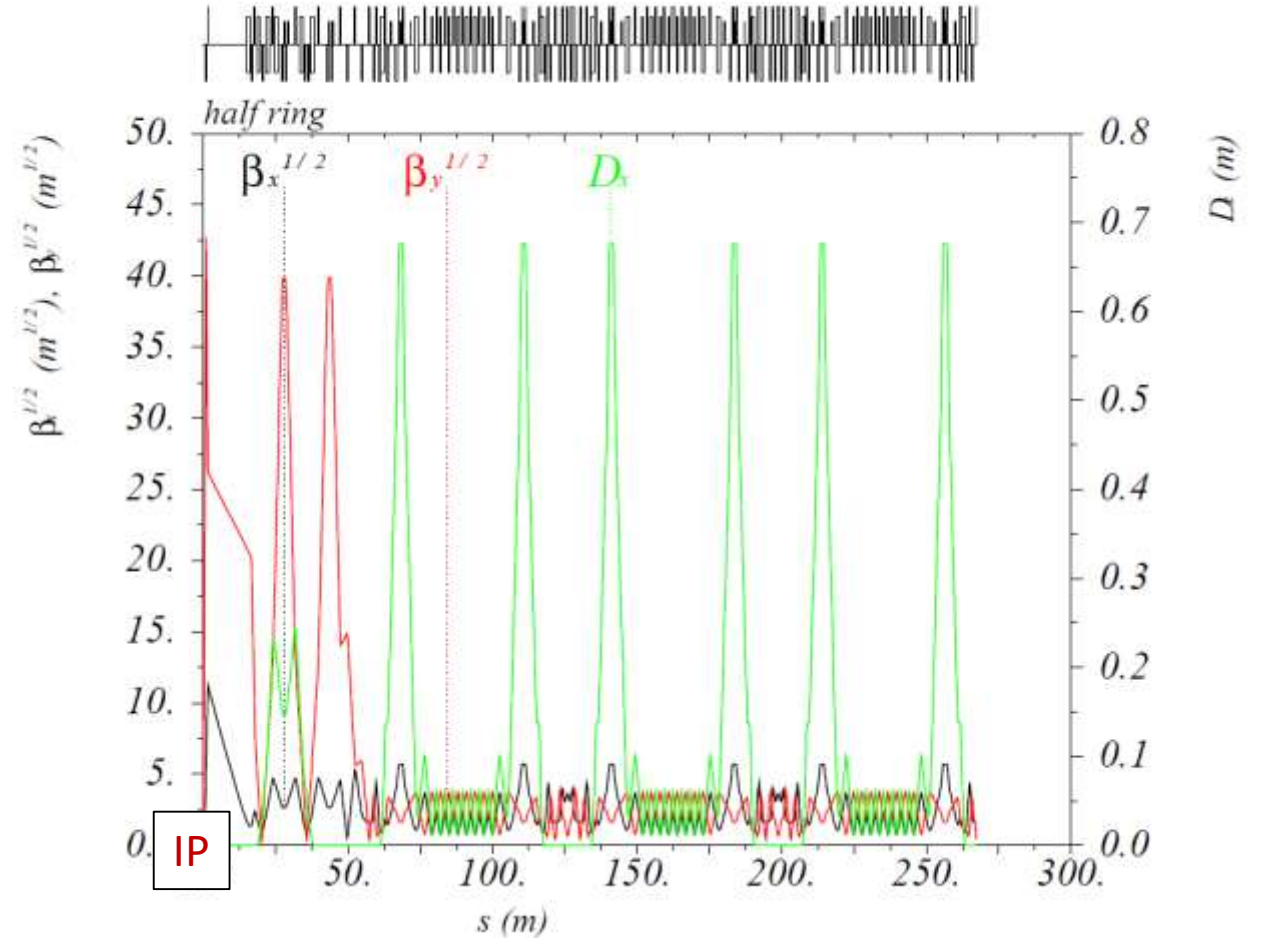
6 суперпериодов НМВА (как для ESRF)



# Структура Супер С-τ V.2 (2)



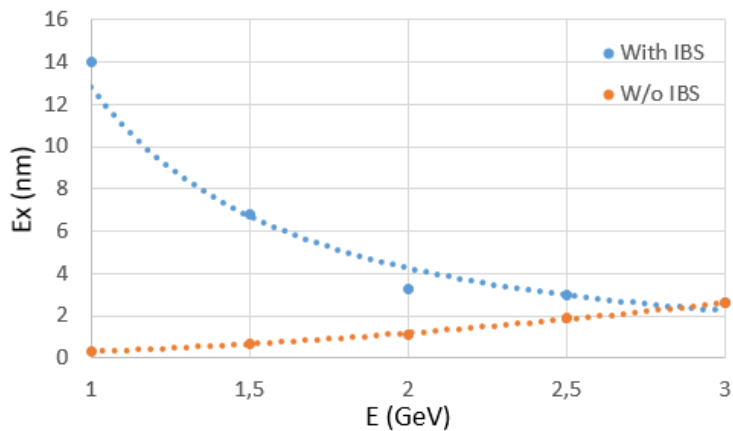
Промежуток встречи



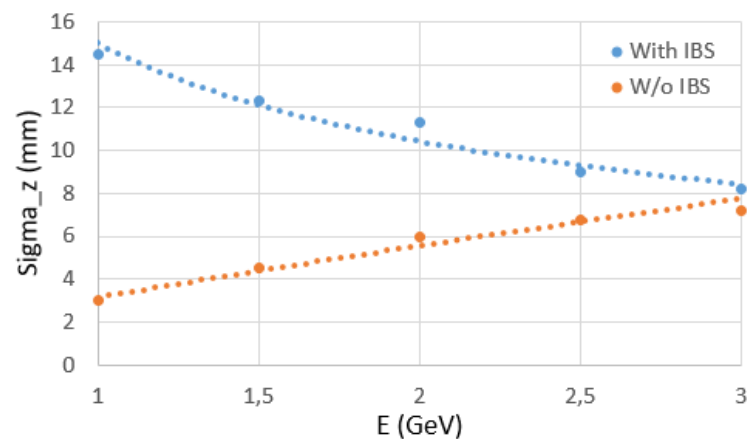
½ кольца

# Параметры Супер С-τ V.2

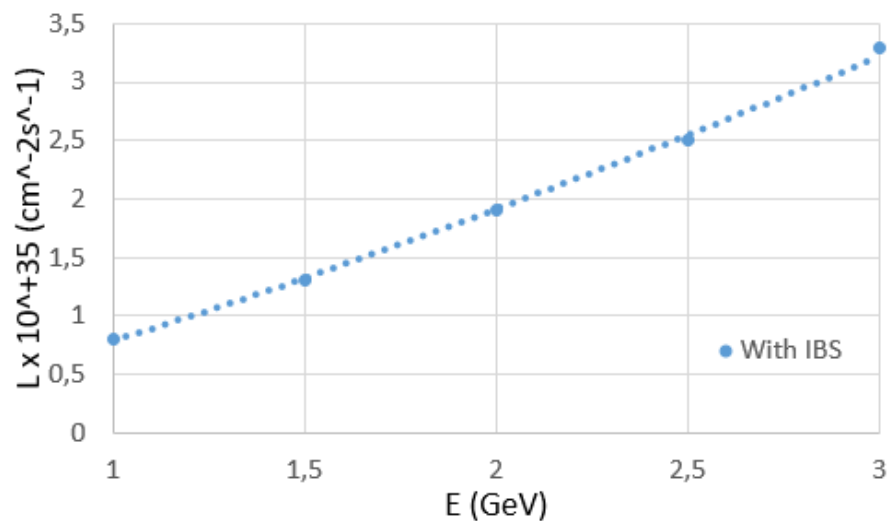
Emittance vs E



Bunchlength vs E



Luminosity vs E



В таблице:

0.3/14

Без IBS

С IBS

E (MeV)	1000	2000	3000
Π (m)	634		
F <sub>RF</sub> (MHz)	354.1		
q	750		
θ (mrad)	±30		
κ (%)	0.5		
β <sub>x</sub> <sup>*</sup> (cm)	5		
β <sub>y</sub> <sup>*</sup> (mm)	0.5		
I (A)	2.18	2	2.2
N <sub>e/bunch</sub> × 10 <sup>10</sup>	8	7	6.5
N <sub>b</sub>	360	390	450
U <sub>0</sub> (keV)	10	160	808
V <sub>RF</sub> (kV)	560	460	1200
v <sub>s</sub> × 10 <sup>-3</sup>	4.05	2.5	2.9
δ <sub>RF</sub> (%)	4.3	2	1.6
σ <sub>E</sub> × 10 <sup>-3</sup>	0.3/2.3	0.6/1.1	0.97/0.97
σ <sub>s</sub> (mm)	3/14.5	6/11.3	7.2/8.2
ε <sub>x</sub> (nm)	0.3/14	1.1/3.3	2.6/2.6
L <sub>HG</sub> × 10 <sup>35</sup> (cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	0.8	1.9	3.3
HG (%)	74	89	90
ξ <sub>x</sub> × 10 <sup>-3</sup>	4.8	3.4	4.1
ξ <sub>y</sub>	0.11	0.13	0.12
φ	16	26	22
τ <sub>L</sub> (s)	2610	960	630

# Что сделано в v.2?

- Максимальная энергия увеличена до 3 ГэВ.
- Спроектирован реалистичный участок пересечения, хорошо согласующийся с детектором.
- Укорочен промежуток встречи.
- Спроектировано (в нулевом приближении) кольцо коллайдера с требуемыми параметрами и конфигурацией.
- Показано, что высокую светимость можно получить без использования сложных, дорогих, сильно влияющих на динамику пучка и занимающих много места сверхпроводящих змеек.
- Коллайдер сделан существенно компактнее и, тем самым, дешевле.
- Применены идеи современных источников СИ, что позволяет (а) некоторые элементы разрабатывать совместно с командой Новосибирского источника СИ и (б) привлечь к коллаборации лаборатории СИ, используя их опыт.

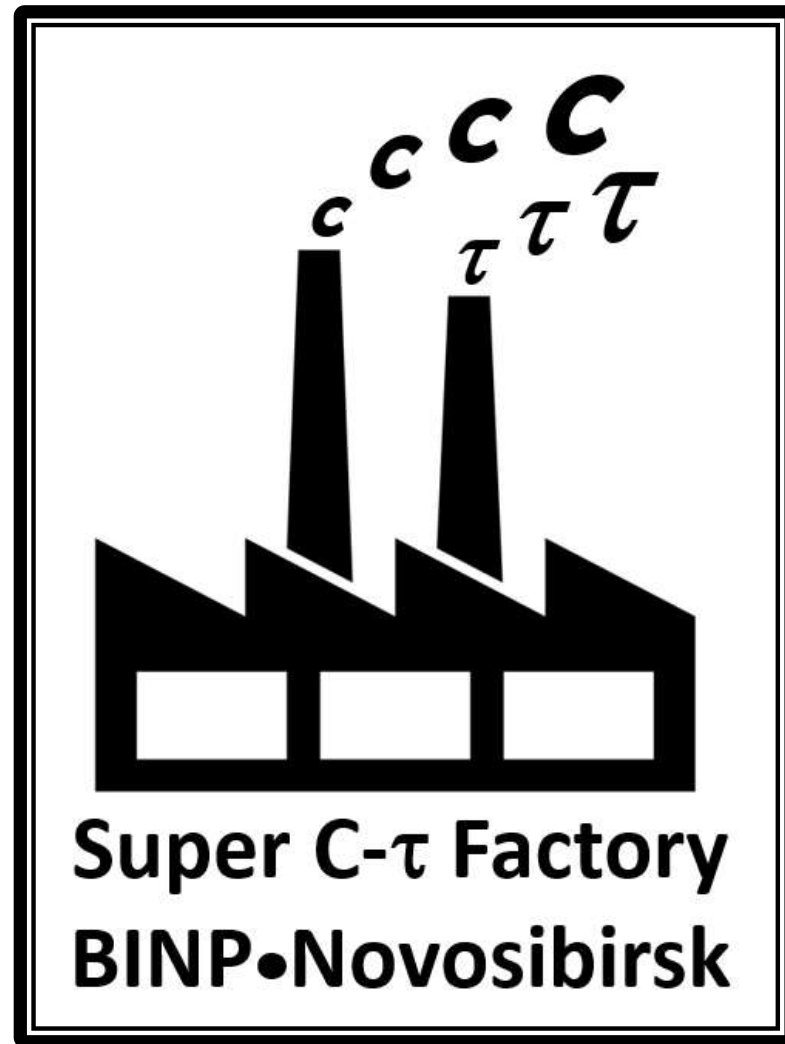


# Что предстоит сделать в v.2?

- Закончить двухколечную конфигурацию.
- Рассчитать степень поляризации.
- Скорректировать хроматизм и с учетом всех элементов получить требуемые динамические апертуру и энергетический акцептанс.
- Разработать схему инжекции.
- Исследовать светимость и эффекты встречи.
- Рассчитать магнитные элементы и убедиться в их реализуемости.

# Что бы нужно сделать независимо от V.?

- Подробно спроектировать промежуток пересечения и его интерфейс с детектором (маски СИ, вакуумную камеру, магнитные элементы, механику и т.п.).
- Изготовить ключевые элементы (линзы ФФ, может, вплоть до реального криостата, вакуумные камеры и т.п.).
- Промоделировать взаимодействие сильных токов с элементами вакуумной камеры IP. Оптимизировать.
- Экспериментально научиться работать с большими токами, многосгустковым режимом, двумя кольцами, инъекцией top-up и т.д., построив и запустив  $\mu$ -трон.



Фабрики ученым!