



Супер С-τ Фабрика V2.0

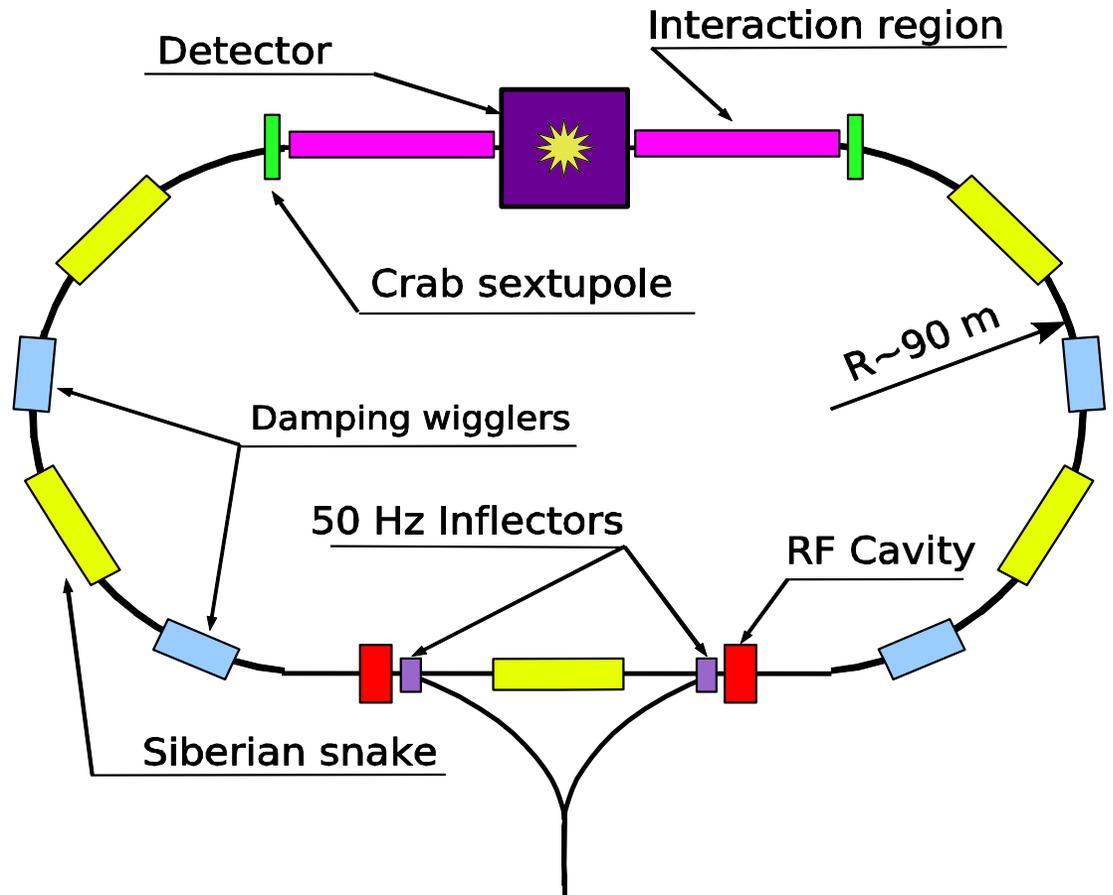
А. Богомягков
Е. Левичев
С. Синяткин

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, $P = 1$ км)
- Реалистичный проект области пересечения. $L^* = 0.6$ м \rightarrow 0.9 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

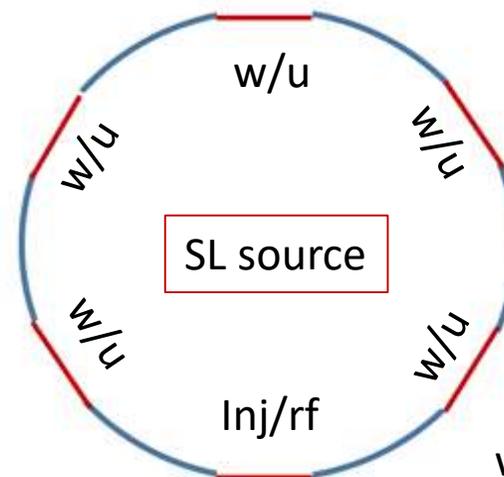
$E = 1-3 \text{ ГэВ}$

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

$P \leq 800 \text{ м}$

6 промежутков ($\sim 5 \text{ м}$)

Типичный источник
СИ третьего
поколения



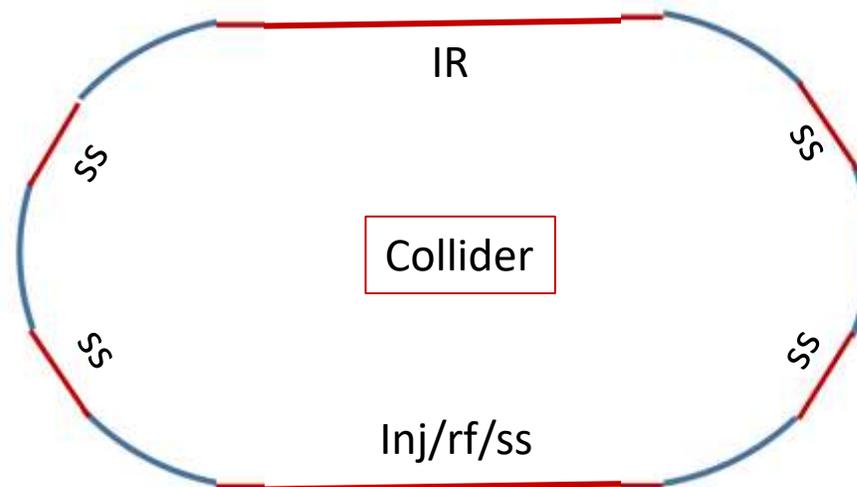
w/u – wiggler/undulator
ss – Siberian snake

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.

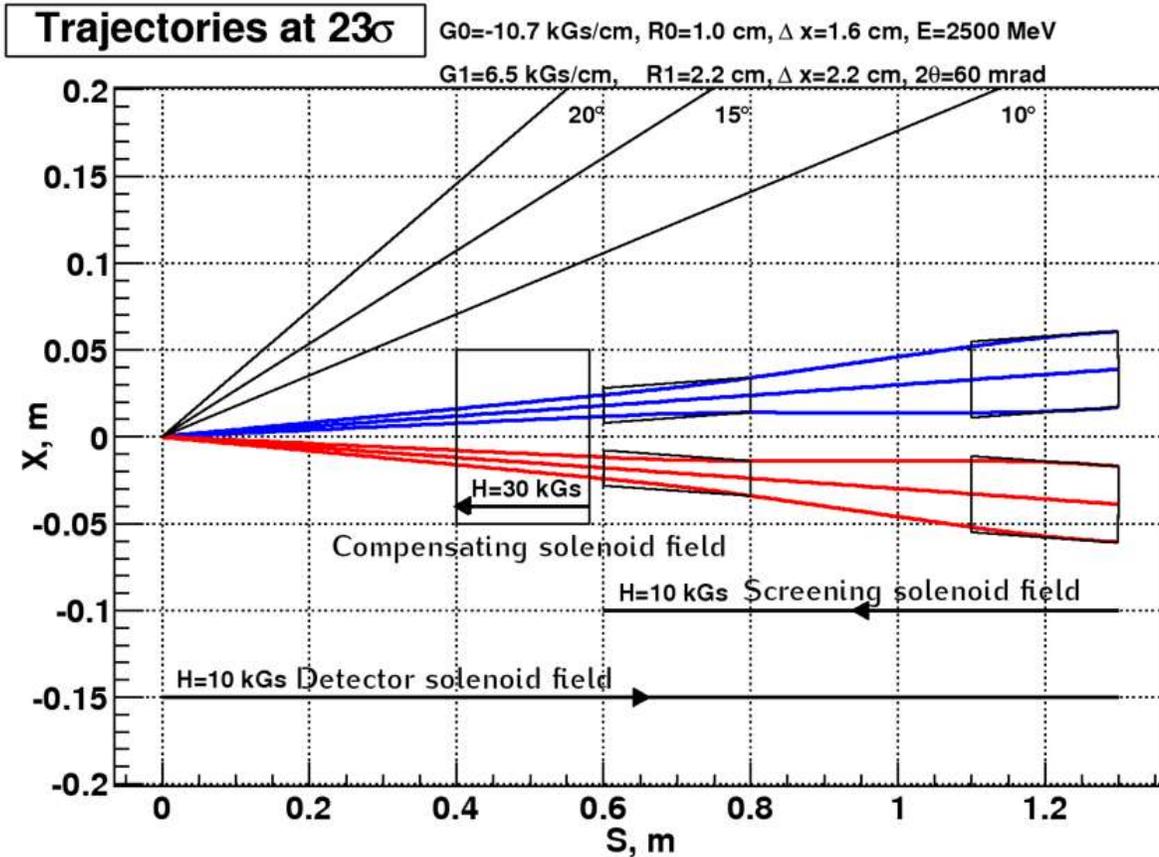


Супер С-т фабрика – это источник
синхротронного излучения с высокой
светимостью

~~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

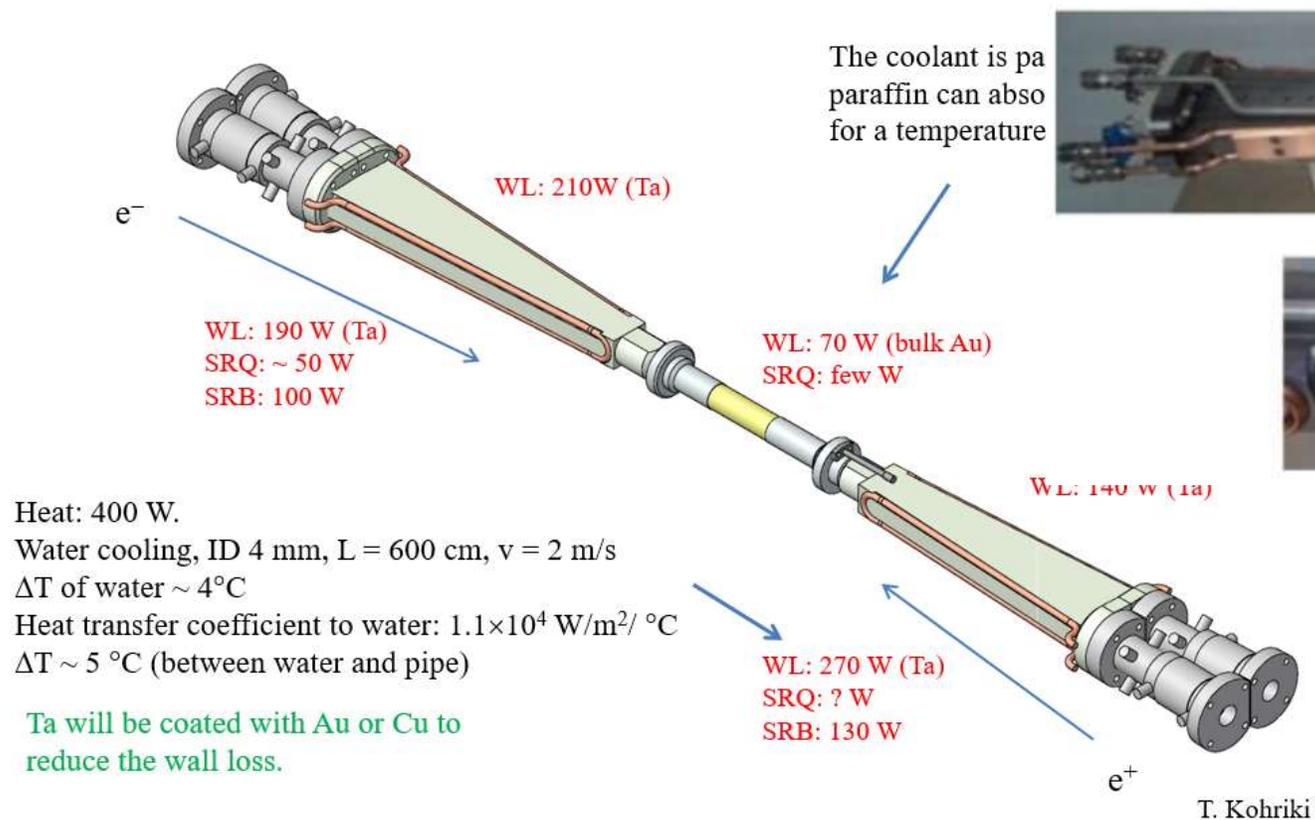
$$\mu' \approx -\frac{L^*}{\beta^*}$$

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...

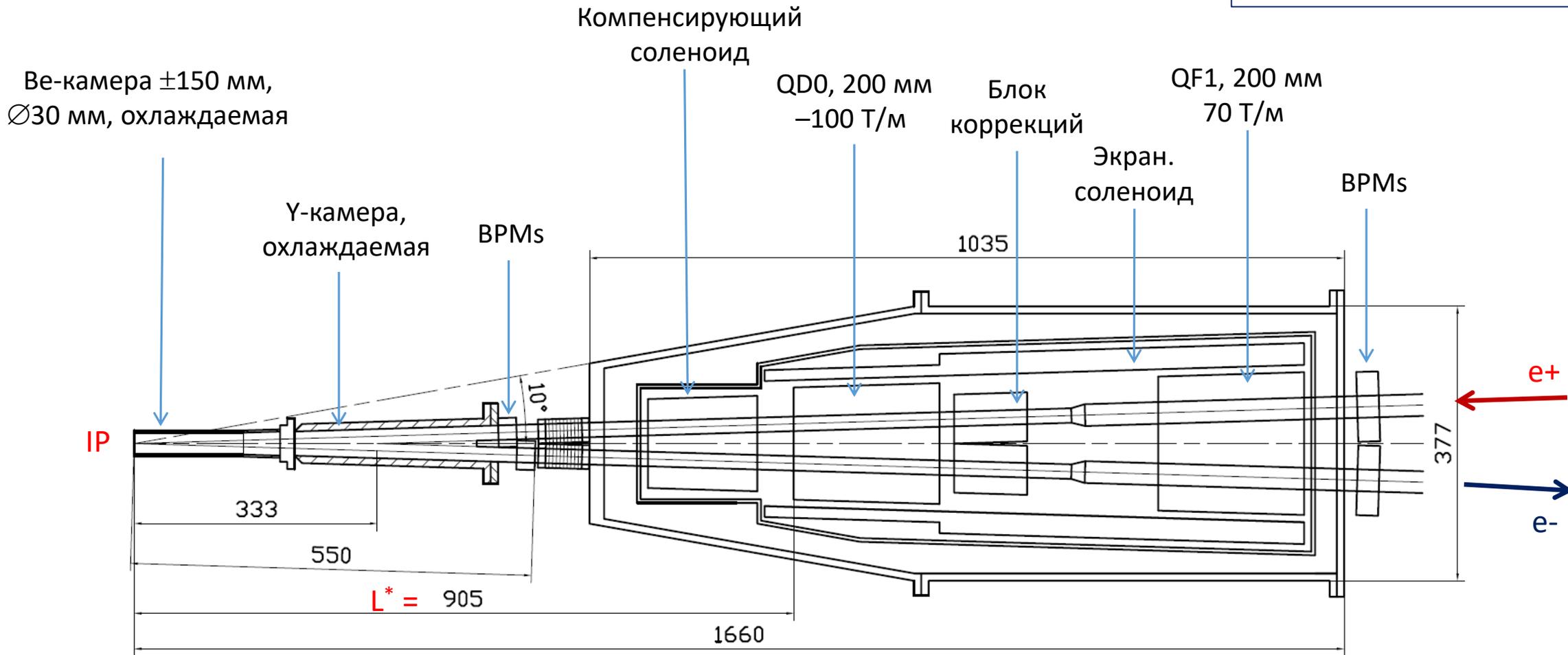
Как это делают в Японии?



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

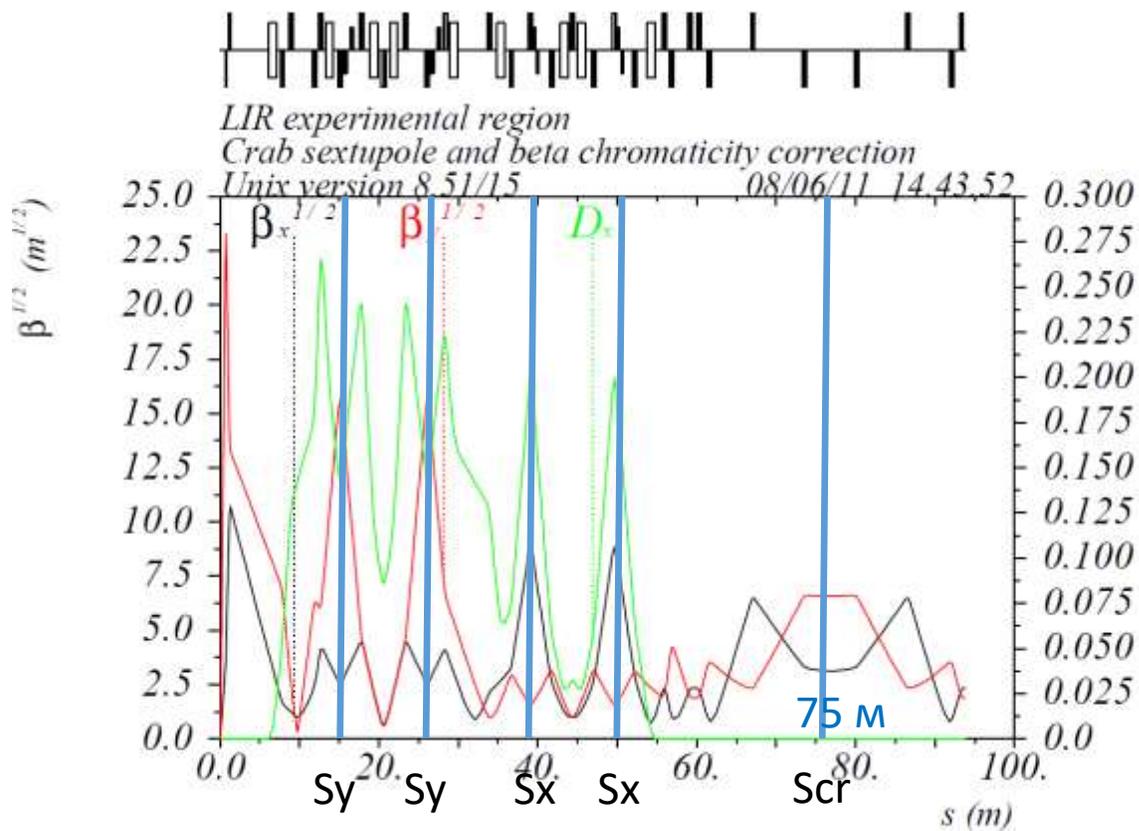
Градиенты для 3 ГэВ



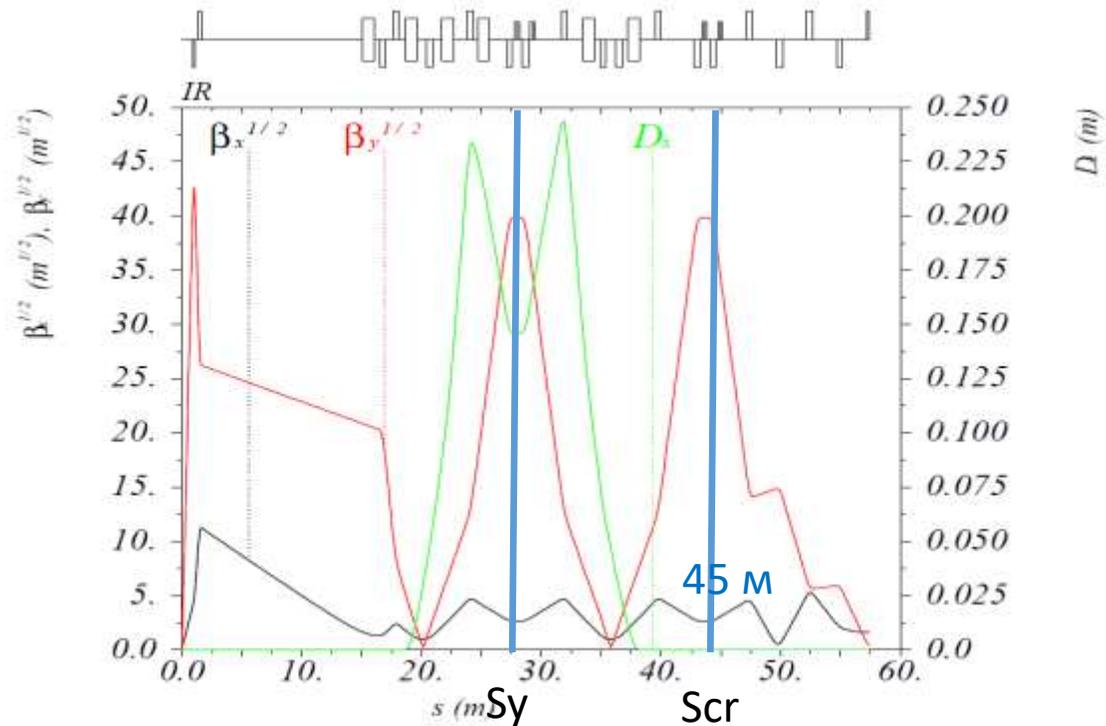
С. Глуховченко

Укороченный IR

«Классический» IR



Укороченный IR (К.Ойдэ для FCC-ee)



СП «змейки-затухатели»

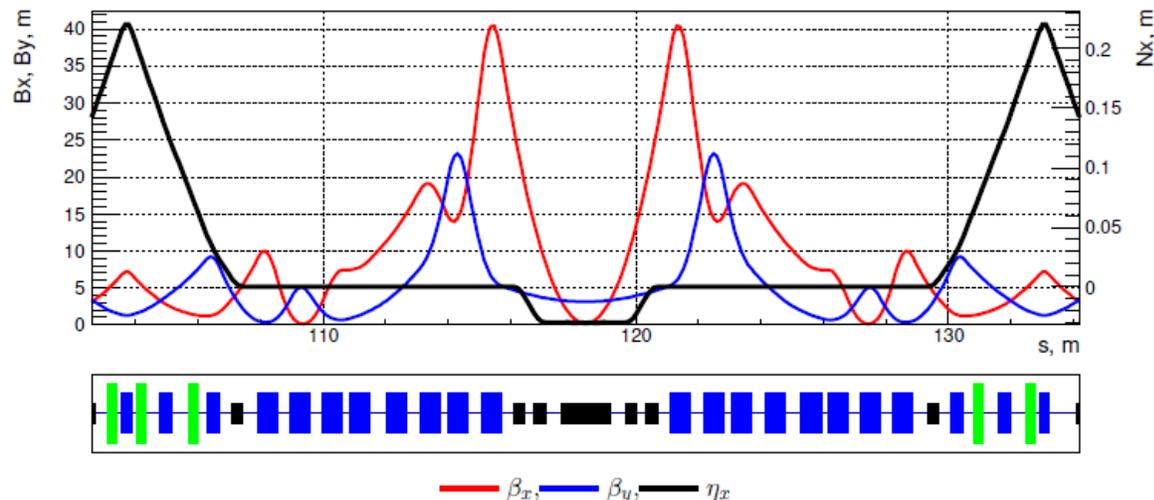
Для управления радиационными параметрами пучка планируется поставить 4 СП вигглера ($\approx 2 \text{ м} \times 5 \text{ Т}$, для 1 ГэВ нужно 7 Т, но не получается).

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

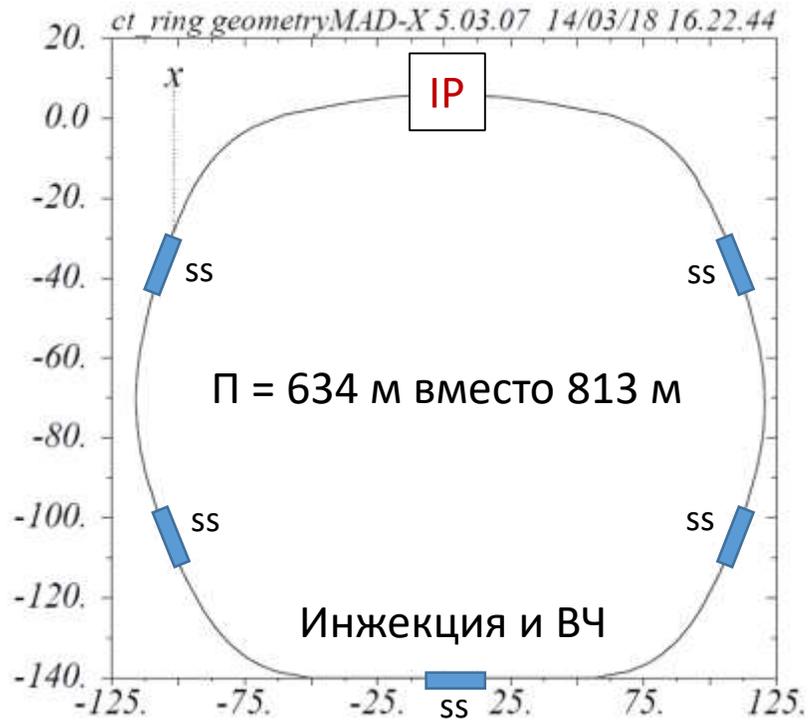
$$\varepsilon_x, \sigma_E^2 \propto E^2 \quad \sigma_z \propto \sigma_E \propto E$$

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

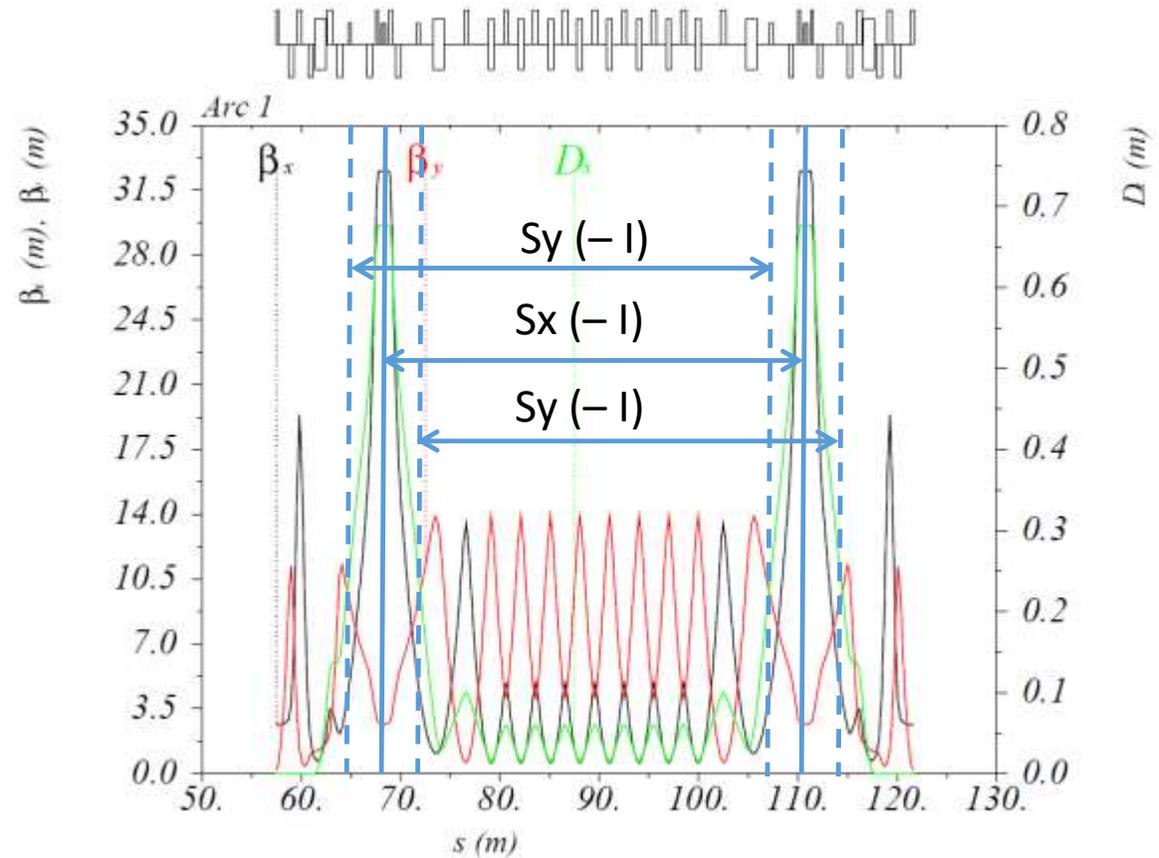
$$L = \frac{\gamma f_0}{2r_e} \cdot \frac{N_b \xi_y}{\beta_y^*} \propto E^4$$



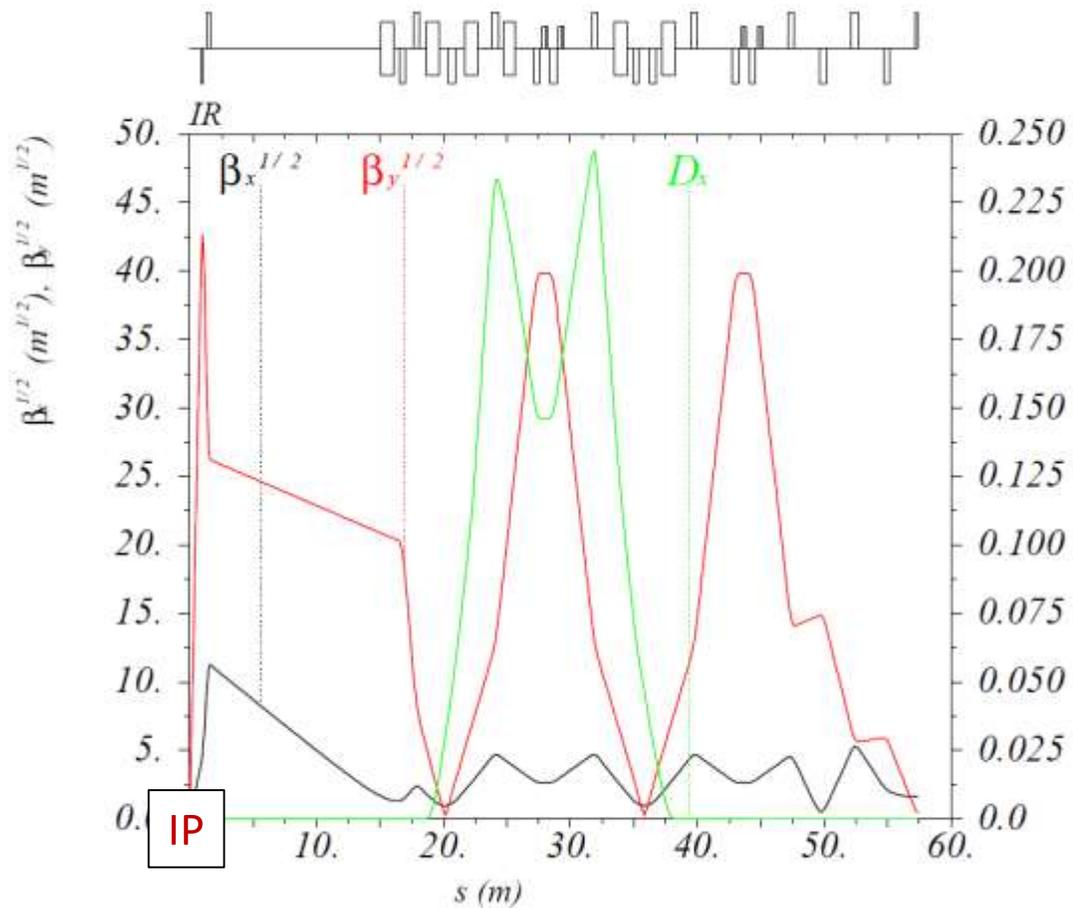
Структура Супер С-τ V.2 (1)



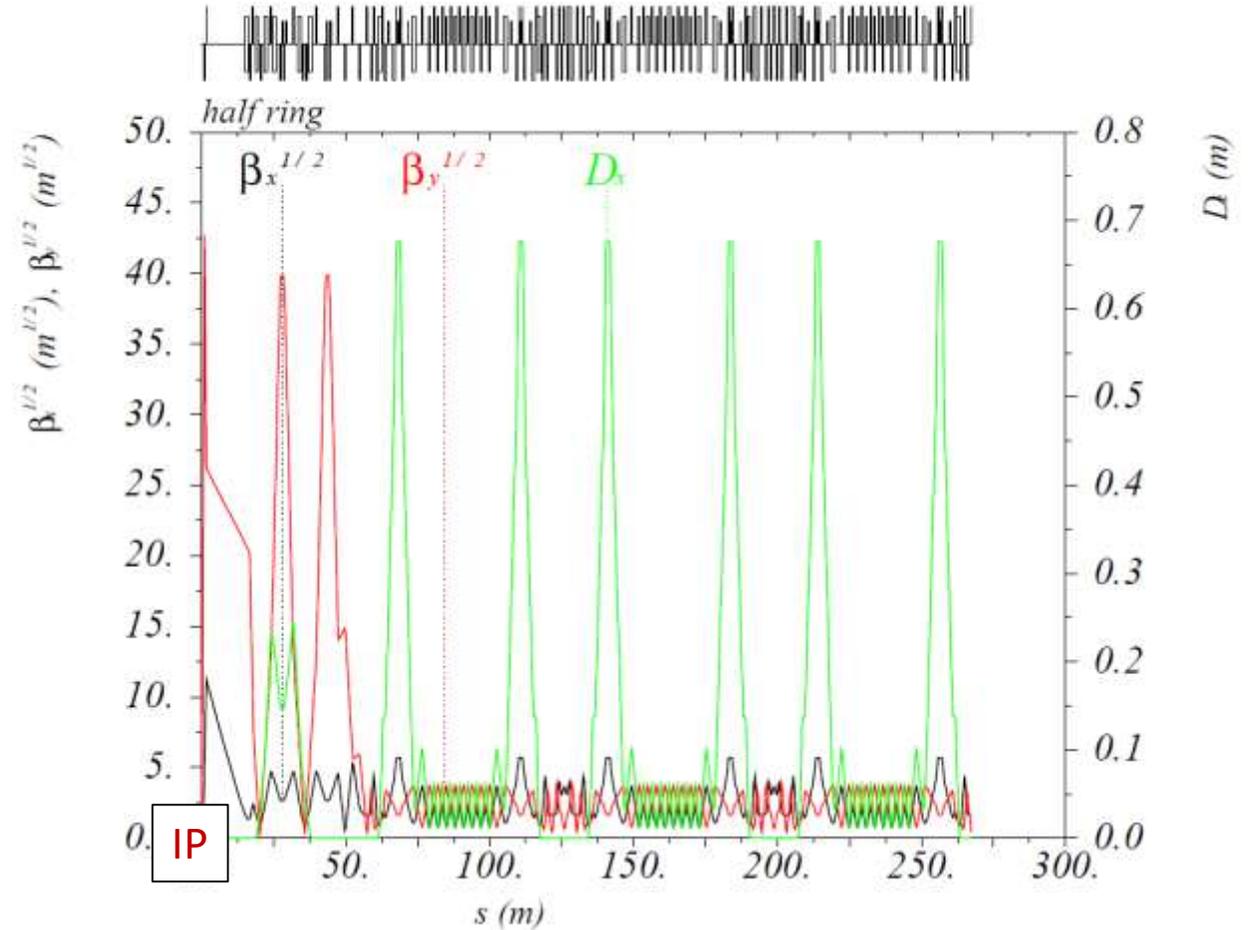
6 суперпериодов НМВА (как для ESRF)



Структура Супер С-τ V.2 (2)



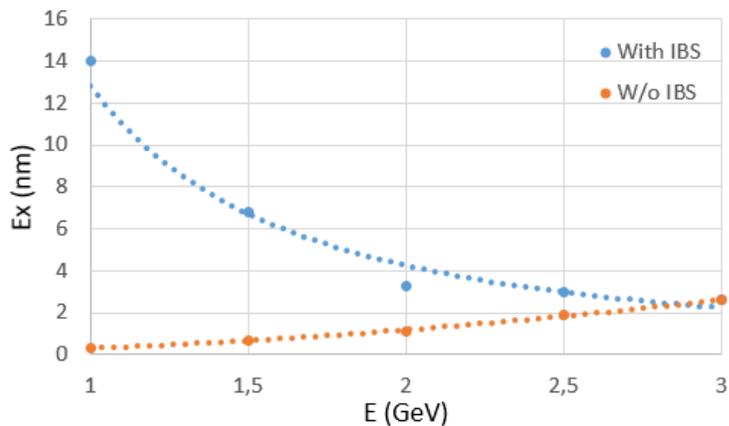
Промежуток встречи



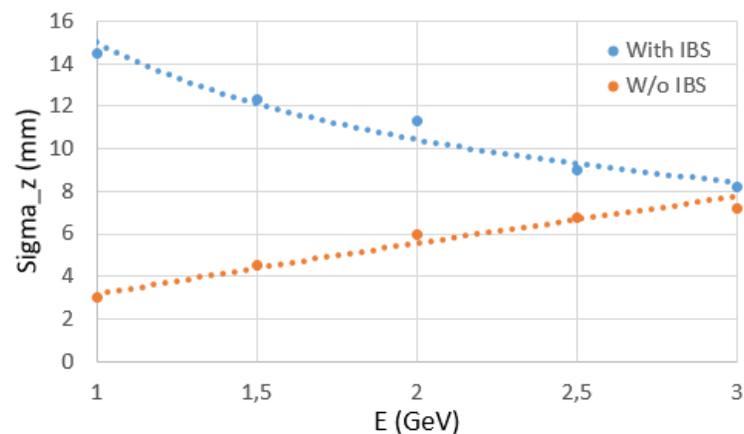
½ кольца

Параметры Супер С-τ V.2

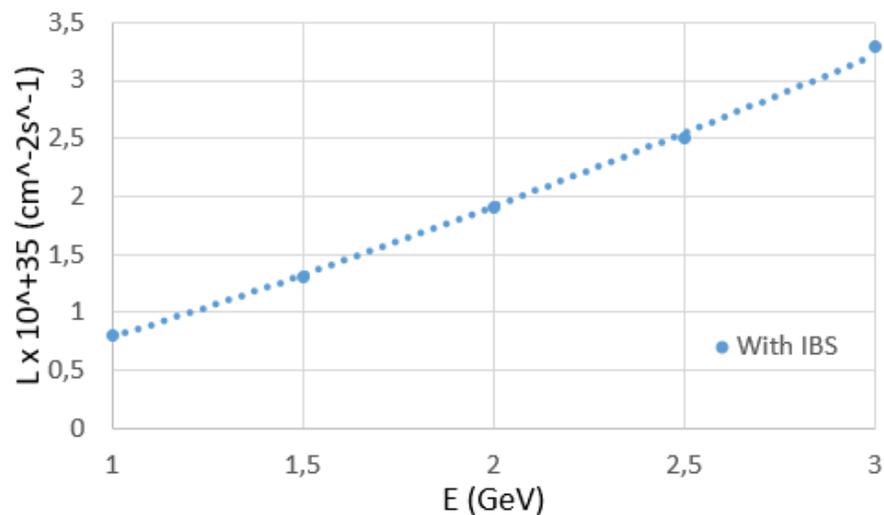
Emittance vs E



Bunchlength vs E



Luminosity vs E



В таблице:

0.3/14

Без IBS

С IBS

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

Что сделано в v.2?

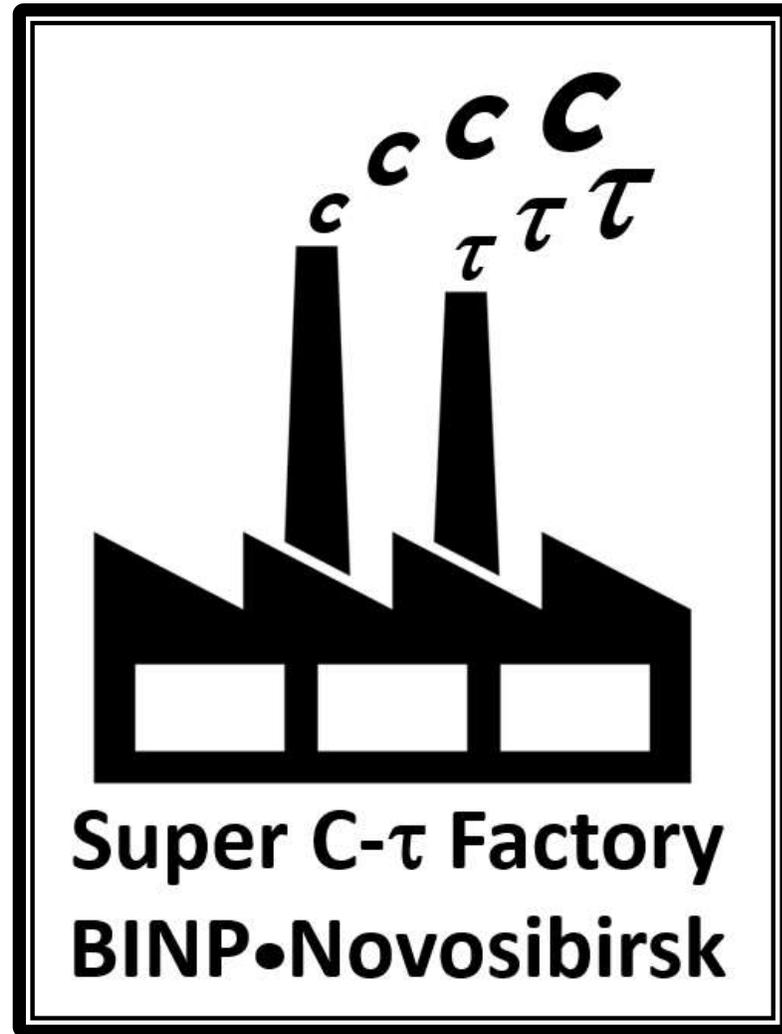
- Максимальная энергия увеличена до 3 ГэВ.
- Спроектирован реалистичный участок пересечения, хорошо согласующийся с детектором.
- Укорочен промежуток встречи.
- Спроектировано (в нулевом приближении) кольцо коллайдера с требуемыми параметрами и конфигурацией.
- Показано, что высокую светимость можно 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 μ -трон.



Фабрики ученым!