



ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ ВСТРЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ ПУЧКОВ В ИЯФ СО РАН  
(проект)

А.В. Богомялков  
В.А. Киселев  
Е.Б. Левичев  
С.В. Синяткин

# Начальные условия

- ВЭПП-4 старый; через 3 года он, очень вероятно, прекратит свою работу по причинам (1) запуск СКИФ, (2) исчерпается научная программа КЕДР, (3) поддерживать или модернизировать оборудование затратно не имея впереди достойной цели.
- ВЭПП-2000 будет еще несколько лет работать, но его научная программа тоже не бесконечна. Рутинная работа ускорителя вряд ли будет привлекать много молодежи.
- Супер С-Тау фабрика (1) в Сарове, (2) в непонятной перспективе, (3) сложность реализации CW-коллайдеров была недооценена (особенно для низкой энергии), проект долгий и рискованный, если без предварительной проверки основных идей. Мюмюотрон не поддержан физическим сообществом.
- В современных условиях полноценное сотрудничество с Европой, Америкой, Японией в области электрон-позитронных встречных пучков будет, по видимому, надолго ограничено и затруднено.

ИЯФ (и Россия) нуждается в новых проектах развития встречных e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> пучков и экспериментов с ними. Нужно реально оценивать возможности и ресурсы ИЯФ: чем меньше энергия и размер установки, тем проще и быстрее ее построить, однако, тем сложнее придумать интересную экспериментальную программу.

# Круглые или плоские?

## Круглые или плоские пучки – что лучше?

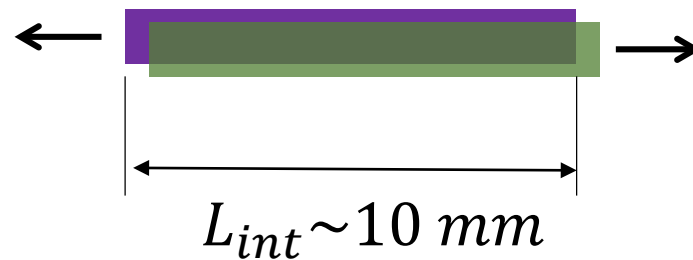
И.А.Кооп, ИЯФ СО РАН, 630090 Новосибирск

Ответ на данный вопрос заранее известен. Конечно же, плоские, пересекающиеся под небольшим углом пучки обещают дать на порядок или даже два большую светимость. И прежде, чем представить сравнительные расчёты для двух концепций коллайдера с энергией электронов и позитронов в районе 1.5 ГэВ, я хочу кратко перечислить основные преимущества и недостатки каждого из этих двух вариантов организации режима столкновения пучков.

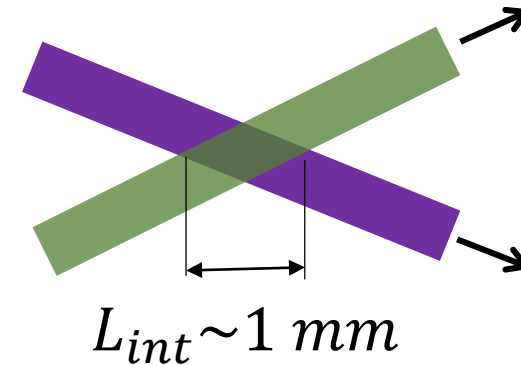
$$\mathcal{L} = \frac{\gamma}{2er_e} J \frac{\xi_y}{\beta_y^*}$$

$$\beta_y^* \approx L_{int}$$

$$\xi_{yround} \approx \xi_{yCW}$$



- + «простые» накопитель и динамика
- + «Тушек» подавлен
- $\beta_y$  большая
- Встреча в лоб, требуется разведение, мало сгустков

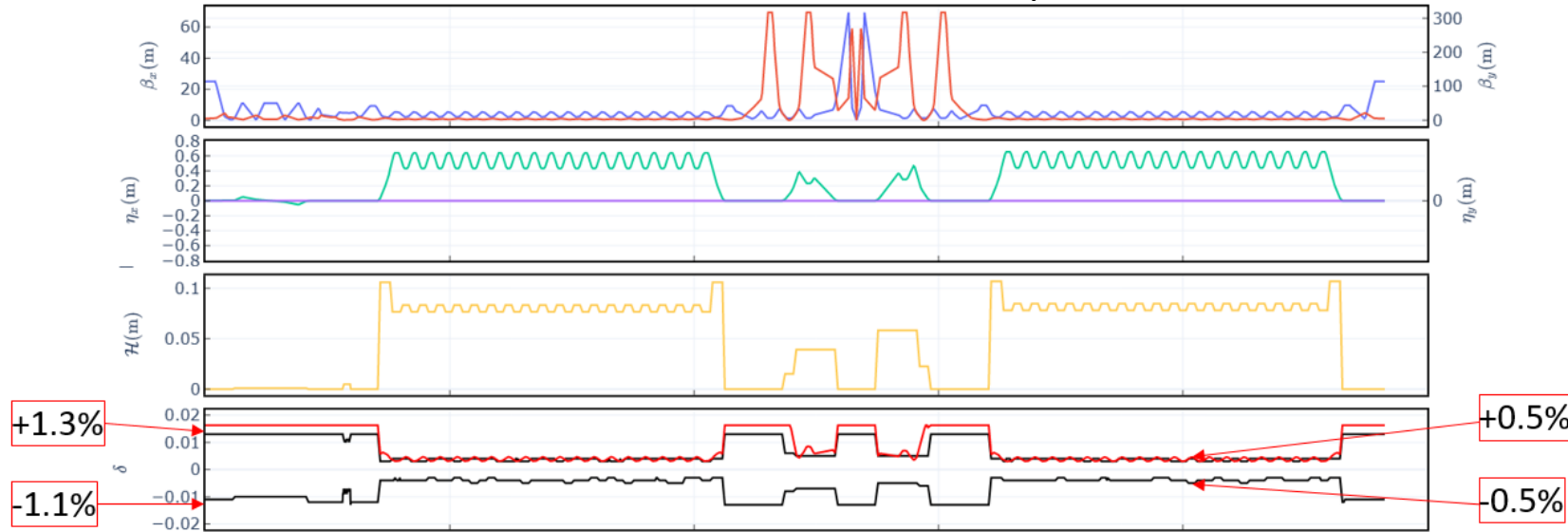


- +  $\beta_y$  маленькая
- + Встреча под углом, много сгустков
- Накопитель и динамика «сложные»
- Сильный «Тушек», проблемы с временем жизни

# Основная проблема CW

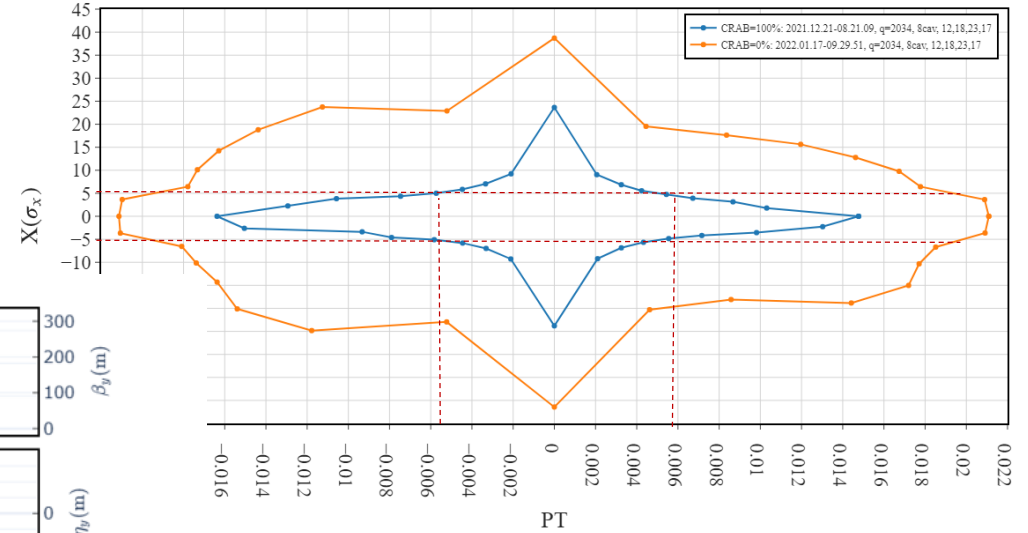
$$\alpha \equiv \tau^{-1} = \frac{r_e^2 c q}{8\pi e \gamma^3 \sigma_z C} \frac{1}{\int_C \frac{F \left( \left[ \frac{\delta_{\text{acc}}(s)}{\gamma \sigma_{x'}(s)} \right]^2 \right)}{\sigma_x(s) \sigma_{x'}(s) \sigma_y(s) \delta_{\text{acc}}^2} ds}$$

VEPP-3.2 local momentum aperture



ВЭПП-3.2 0.5 ГэВ

6d-DA,  $y_0 = \sigma_y, \sigma_x = 3.50e-04m, \sigma_e = 1.14e-03, 2 \text{ GeV}$



↑ Уменьшение динамической апертуры  
Супер С-Тау крабовыми секступолями

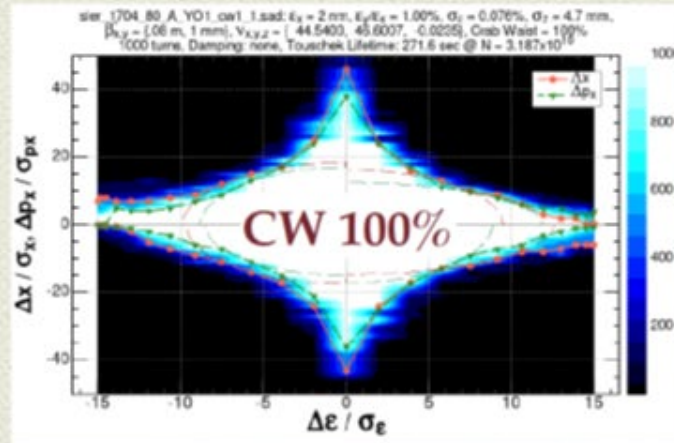
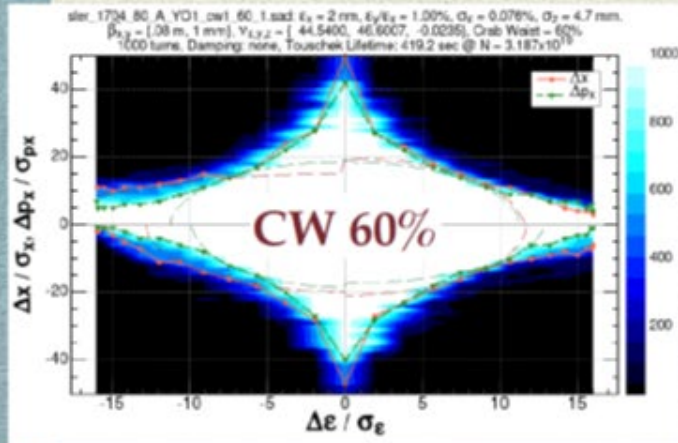
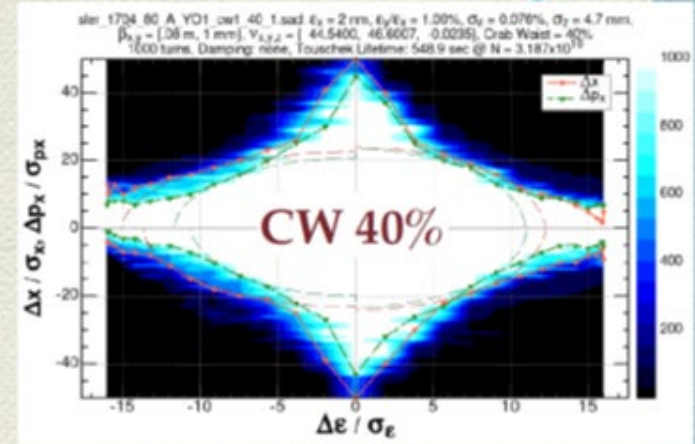
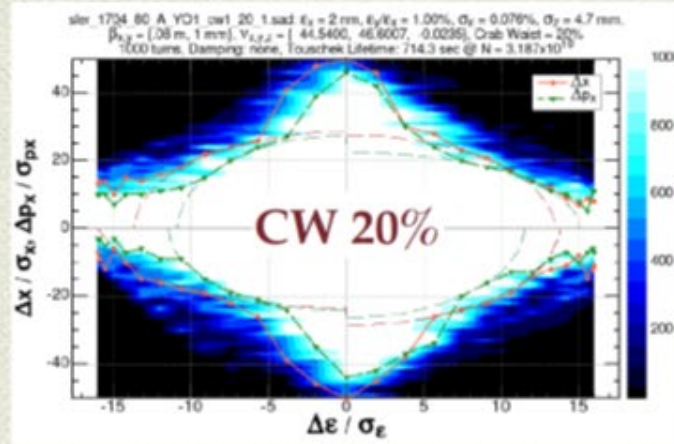
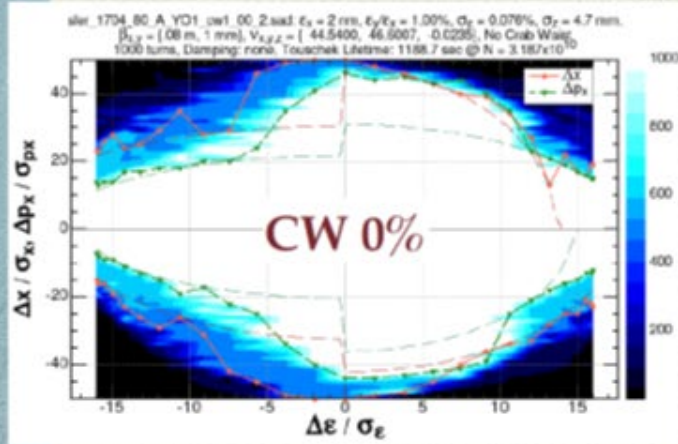
← Локальная энергетическая  
апертура ВЭПП-3.2

ВЭПП-3.2 1.55 ГэВ

	<b>MADX (<math>\delta_{RF} = 1.63\%</math>)</b>	<b>ELEGANT (LMA, <math>\delta_{RF} = 1.63\%</math>)</b>		<b>MADX (<math>\delta_{RF} = 1.58\%</math>)</b>	<b>ELEGANT (LMA, <math>\delta_{RF} = 1.58\%</math>)</b>
<b><math>\tau_{\text{Touschek}}</math> (s)</b>	9879	302	<b><math>\tau_{\text{Touschek}}</math> (s)</b>	9078	566

# Ойдэ, супер кек-б, 2020 г.

Dynamic aperture for various CW ratios ( $\beta_y^* = 1$  mm)



CW%	0	20	40	60	100
Touschek (s)	1190	710	550	420	270
for $N = 3.2 \times 10^{10}$					

$15\sigma_\epsilon = 1.14\%$  !!!!  
E=4 GeV

- chromaticities in  $\alpha^*$ ,  $\beta^*$  are corrected

# Программа развития

Предлагаемая для обсуждения программа предусматривает последовательное и постепенное развитие встречных («крабовых») электрон-позитронных пучков в ИЯФ, **имея конечной целью создание в РФ Супер С-Тау фабрики с рекордными параметрами и минимизированными рисками.** Составляющие программы:

Модернизации ИК (надежность, производство позитронов).

Модернизация инженерных систем ИЯФ.

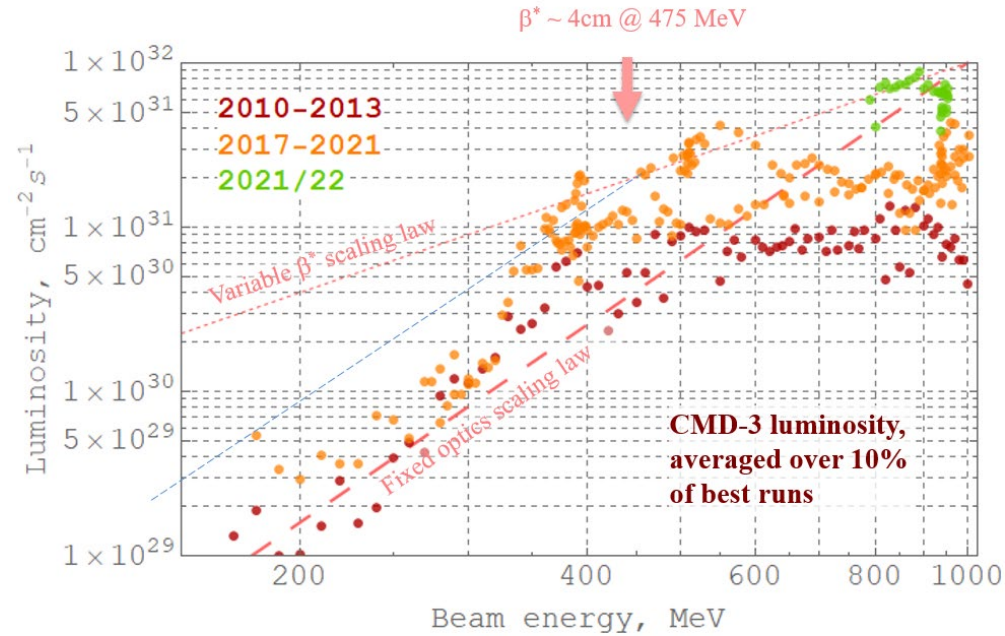
Переделка ВЭПП-4М в тестовую установку для проверки физических и технических аспектов КВ-встречи (ВЭПП-4К?).

Создание бустерного синхротрона с энергией 1.6 – 2 ГэВ.

Создание e+e- коллайдера «от  $\phi$  до  $\psi$ » с энергией пучка от 0.5 ГэВ до 1.6 ГэВ (ВЭПП-3.2?)

Создание Супер Чарм Тау фабрики с энергией пучка от 1.5 ГэВ до 3.5 ГэВ

# Наши маяки



Current absolute record peak luminosity:  $L_{\text{peak}} = 9 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  @ 890 MeV

Best luminosity performances during SIDDHARTA and KLOE-2 experim

Parameter	SIDDHARTA	KLOE-2
Peak luminosity [ $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ]	$4.53 \times 10^{32}$	$2.13 \times 10^{32}$
Electron beam current [A]	1.52	1.13
Positron beam current [A]	1.00	0.88
Number of bunches	105	105
Specific luminosity [ $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ mA}^{-2} / \text{bunch}$ ]	$3.13 \times 10^{28}$	$2.25 \times 10^{28}$
Integrated luminosity [ $\text{pb}^{-1} / \text{day}$ ]	14.98	14.03

DAΦNE 500 МэВ:  $2 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ c}^{-1}$

VEPP-2000 900 МэВ:  $9 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ c}^{-1}$

BEPC II 1550 МэВ:  $3 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ c}^{-1}$

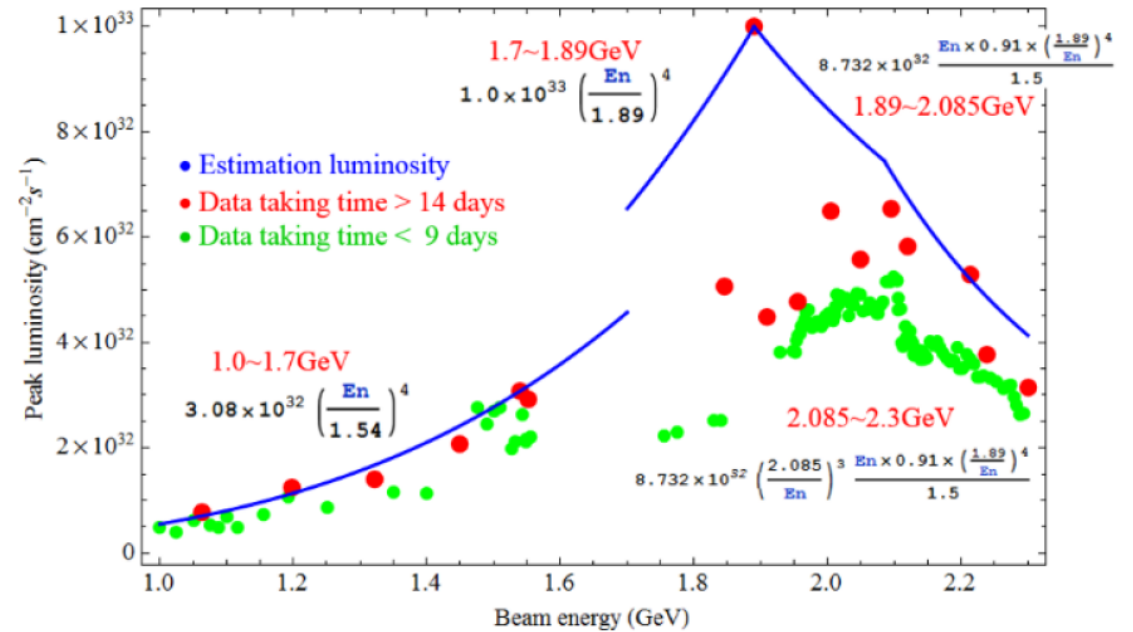
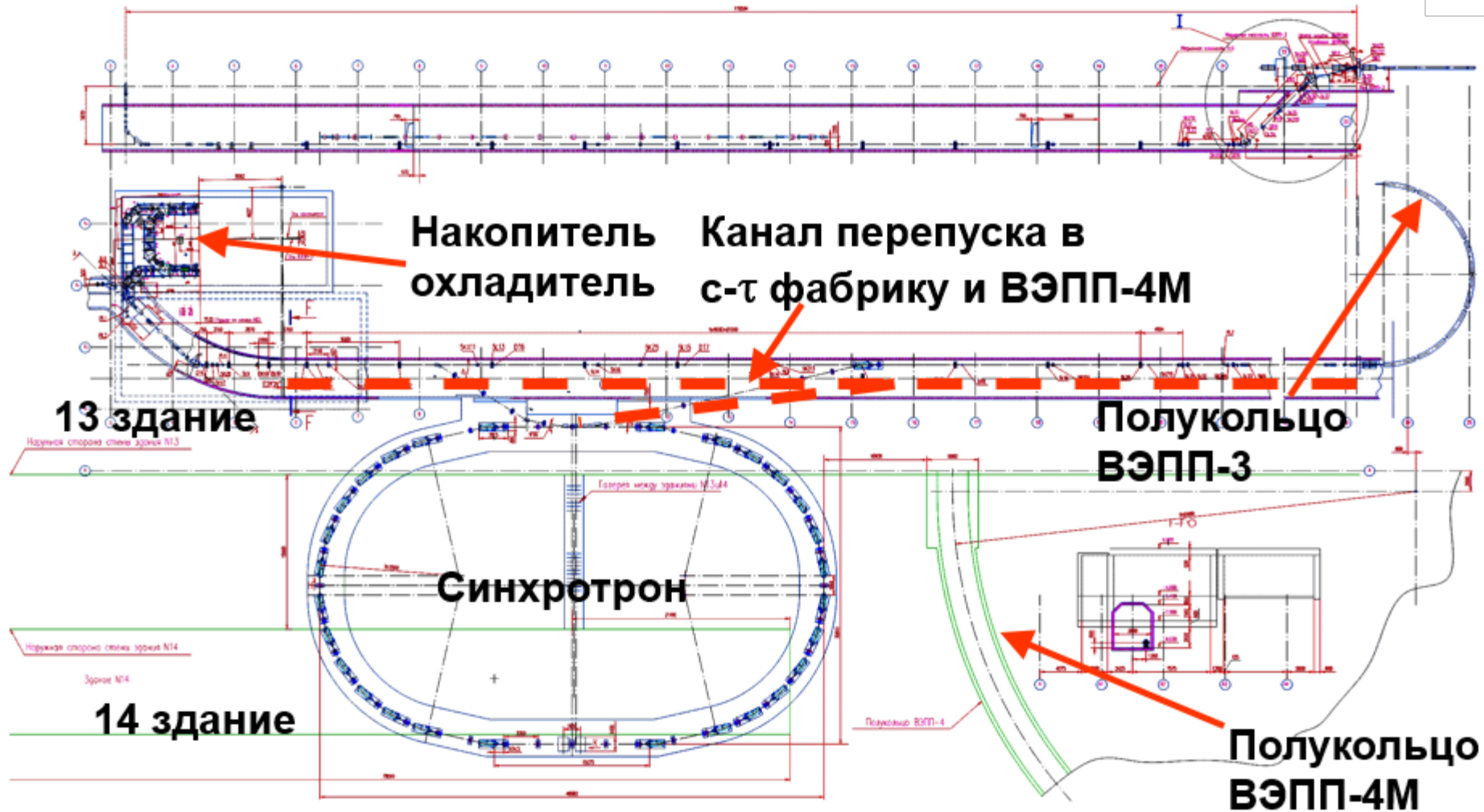


Figure 8: The peak luminosity from 1.0 GeV to 2.3 GeV. BEPCII is optimized at 1.89 GeV

# Синхротрон

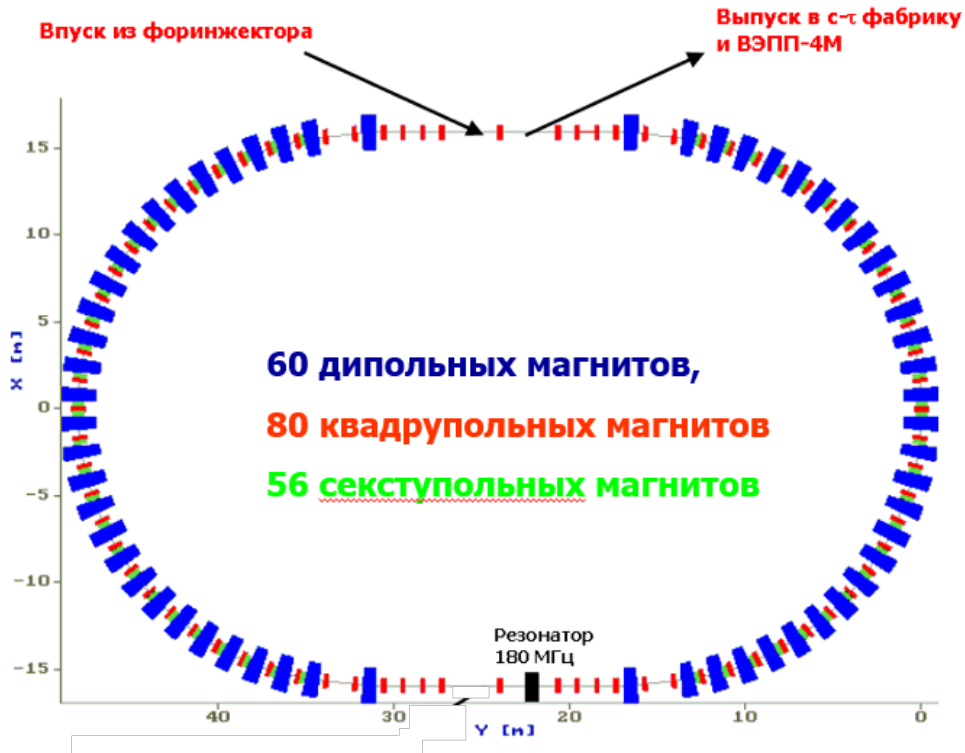
Синхротрон планируется разместить под 13 и 14 зданиями

2004





# Синхротрон



Энергия (МэВ):	510	2500
Периметр (м)	132	
Времена затухания колебаний:		
- вертикальных бетатронных, мс	501	4.259
- радиальных бетатронных, мс	523	4.449
- радиально-фазовых, мс	245	2.085
Радиал.эмиттанс пучка (м рад):	$2.4 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Энергетический разброс (%):	$1.67 \cdot 10^{-4}$	$8.2 \cdot 10^{-4}$
Потеря энергии за оборот, кэВ:	0.859	517
Частота синхротронных колебаний	0.0177	0.0074
Длина сгустка, м	0.0025	0.03

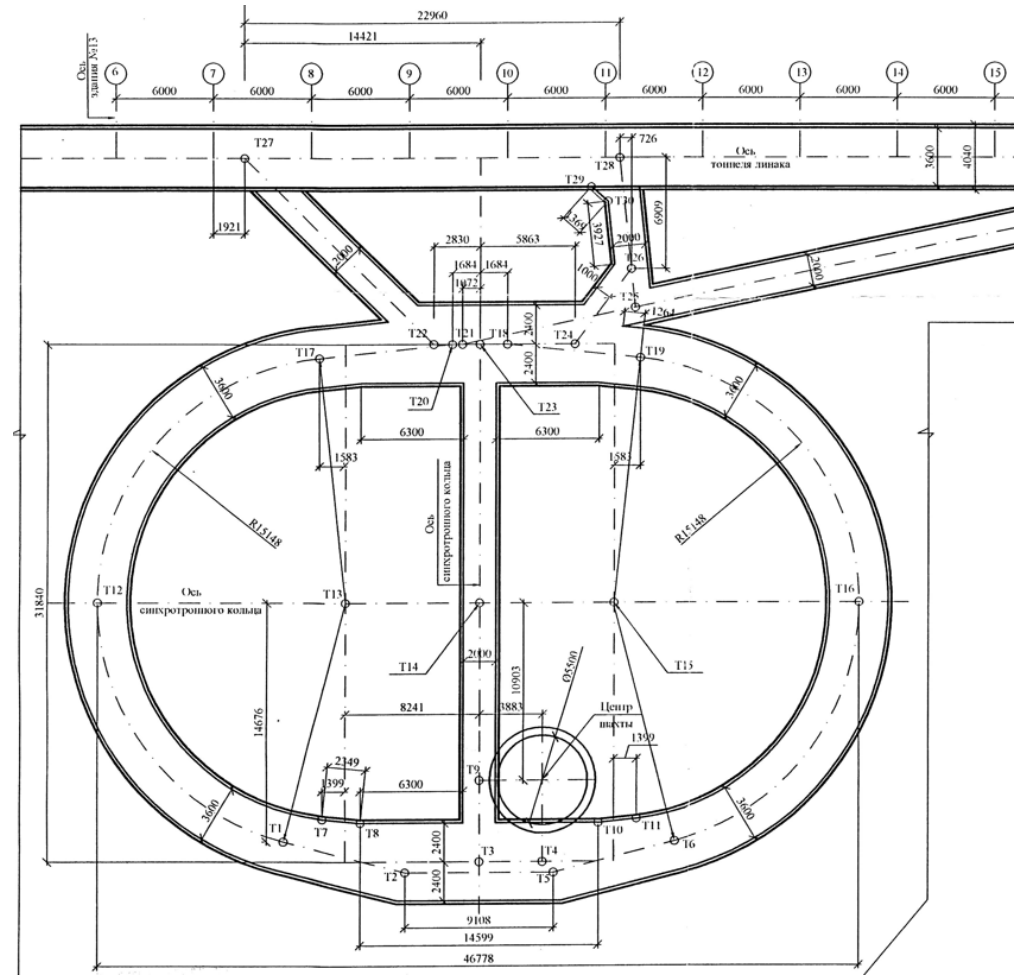
# Синхротрон-бустер СКИФ

Можно сэкономить время и ресурсы путем приспособления оборудования синхротрона-бустера СКИФ. Средний радиус арки бустера СКИФ 18 м, тоннеля бустера ИЯФ – 14-16 м.

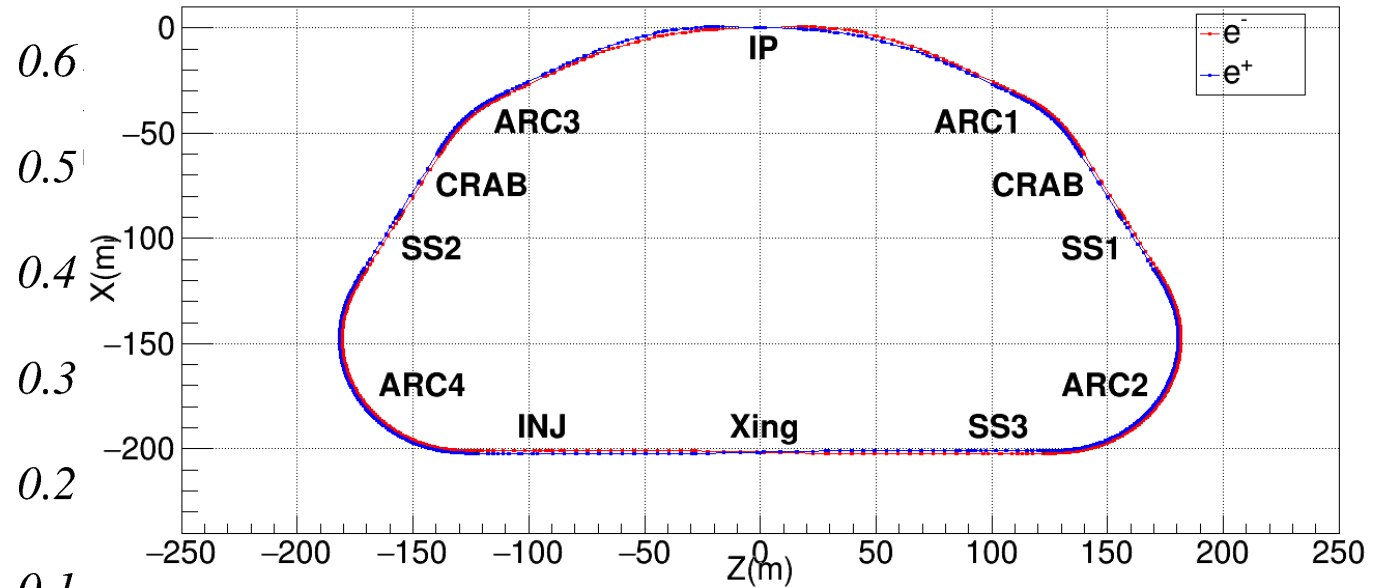
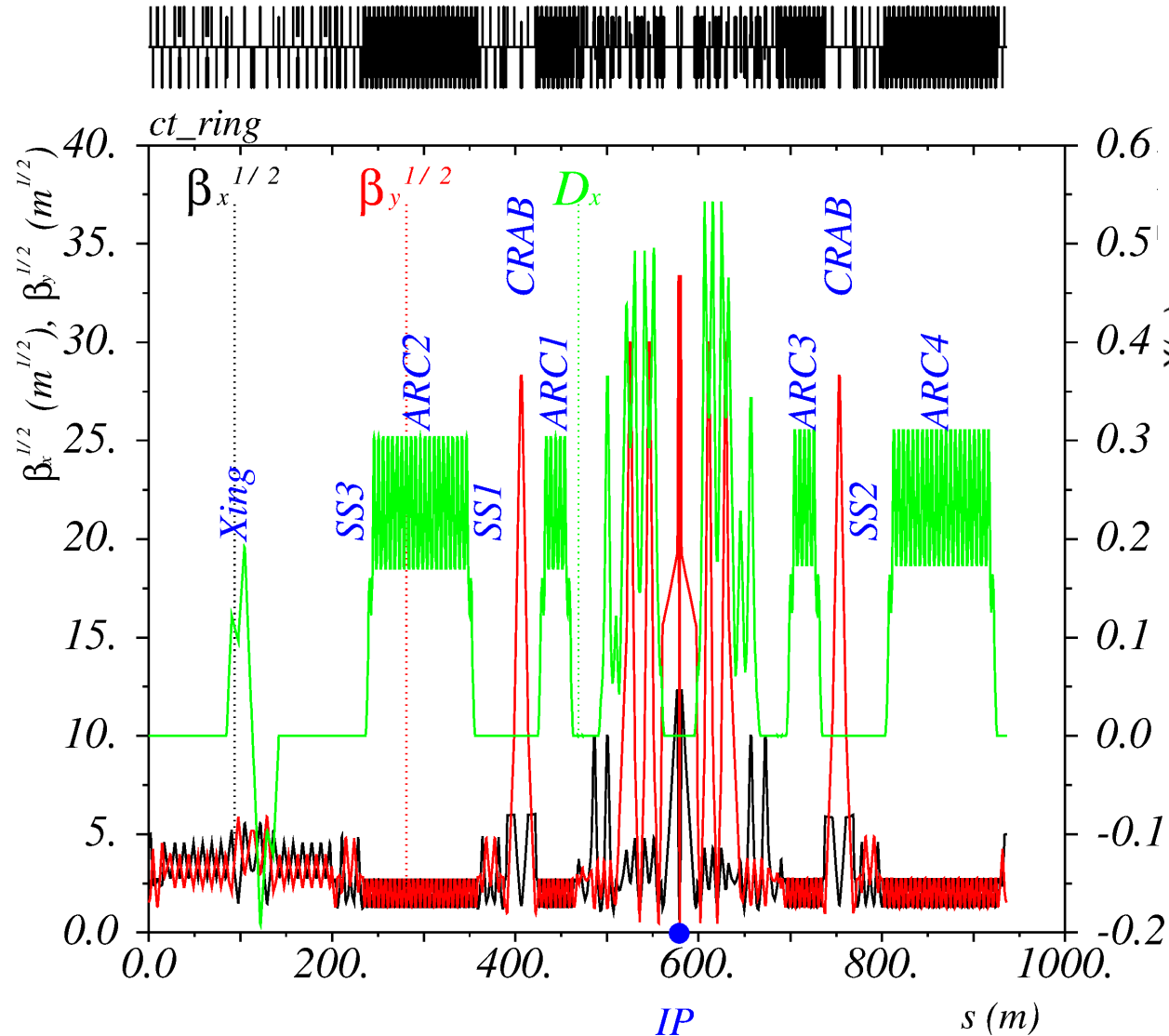
Два поворотных магнита бустера СКИФ имеют радиусы поворота:  $R = 21.7$  м (BF)  $R = 8.8$  м (BD). Уменьшая радиус BF до  $\approx 11-12$  м и правильно подобрав число ячеек в 180-градусной арке, можно «вписаться» в тоннель.

Переделываются: BF, вакуумная камера BF, подставки (?), инжекционный промежуток.

Остальное можно использовать.



# Супер Чарм-Тау фабрика



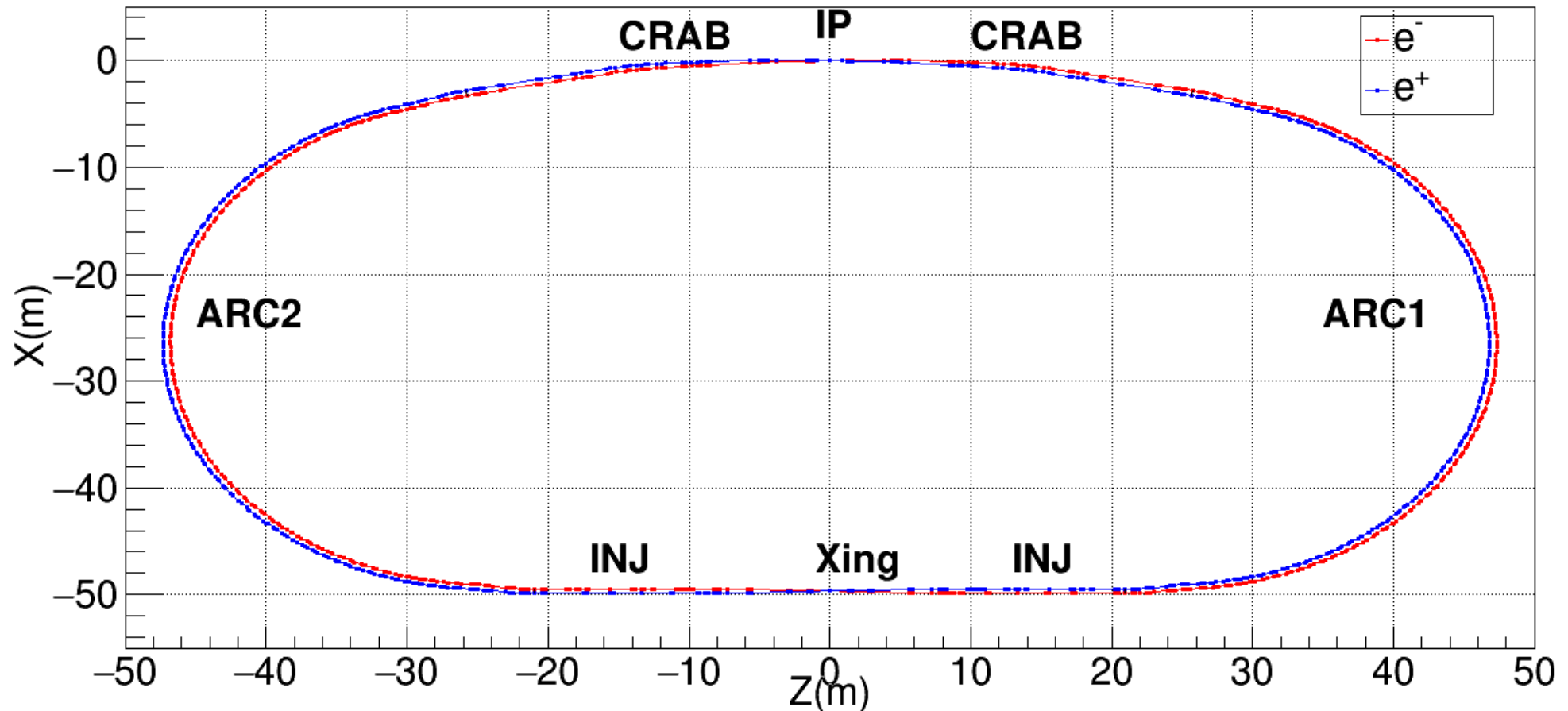
А.В.Богомяков придумал новую конфигурацию промежутка встречи, которая дает лучшие светимость и время жизни по сравнению с предыдущими (Раймонди, Ойдэ).

# СЧТФ параметры при $\tau_{Touschek} \geq 300 \text{ s}$

E(MeV)	1500	2000	2500	3000	3500
$\Pi(\text{m})$	935.874				
$F_{RF}(\text{MHz})$	350				
$2\theta(\text{mrad})$	60				
$\varepsilon_y/\varepsilon_x(\%)$	0.5				
$\beta_x^*/\beta_y^*(\text{mm})$	100/1				
I(A)	0.65	1.64	2.5	2.7	2.9
$N_{e/bunch} \times 10^{-10}$	1.3	3.25	5	5.3	5.8
$N_b$	941	983	983	983	974
$U_0(\text{keV})$	91	288	504	820	1266
$V_{RF}(\text{kV})$	1500	2000	3000	3900	5000
$\nu_s$	0.0153	0.0152	0.0166	0.0172	0.018
$\delta_{RF}(\%)$	1.98	1.83	1.97	1.97	1.98
$\sigma_e \times 10^3$ (SR/IBS+WG)	0.27/0.9	0.36/1.1	0.5/1.2	0.5/1.2	0.6/1.3
$\sigma_s(\text{mm})$ (SR/IBS+WG)	3.6/12	4.7/15	6/14	7/14	8/14
$\varepsilon_x(\text{nm})$ (SR/IBS+WG)	2.0/3.9	3.5/3.5	5.5/3.2	7.9/4.1	11/5.7
$L_{HG} \times 10^{-35} (\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1})$	0.075	0.4	1	1	1
$\xi_x/\xi_y$	0.001/0.04	0.002/0.06	0.002/0.08	0.002/0.065	0.002/0.05
$\tau_{Touschek} (\text{s})$	312	304	302	560	1100
$\tau_{Luminosity} (\text{s})$	10000	5000	3000	3200	3500

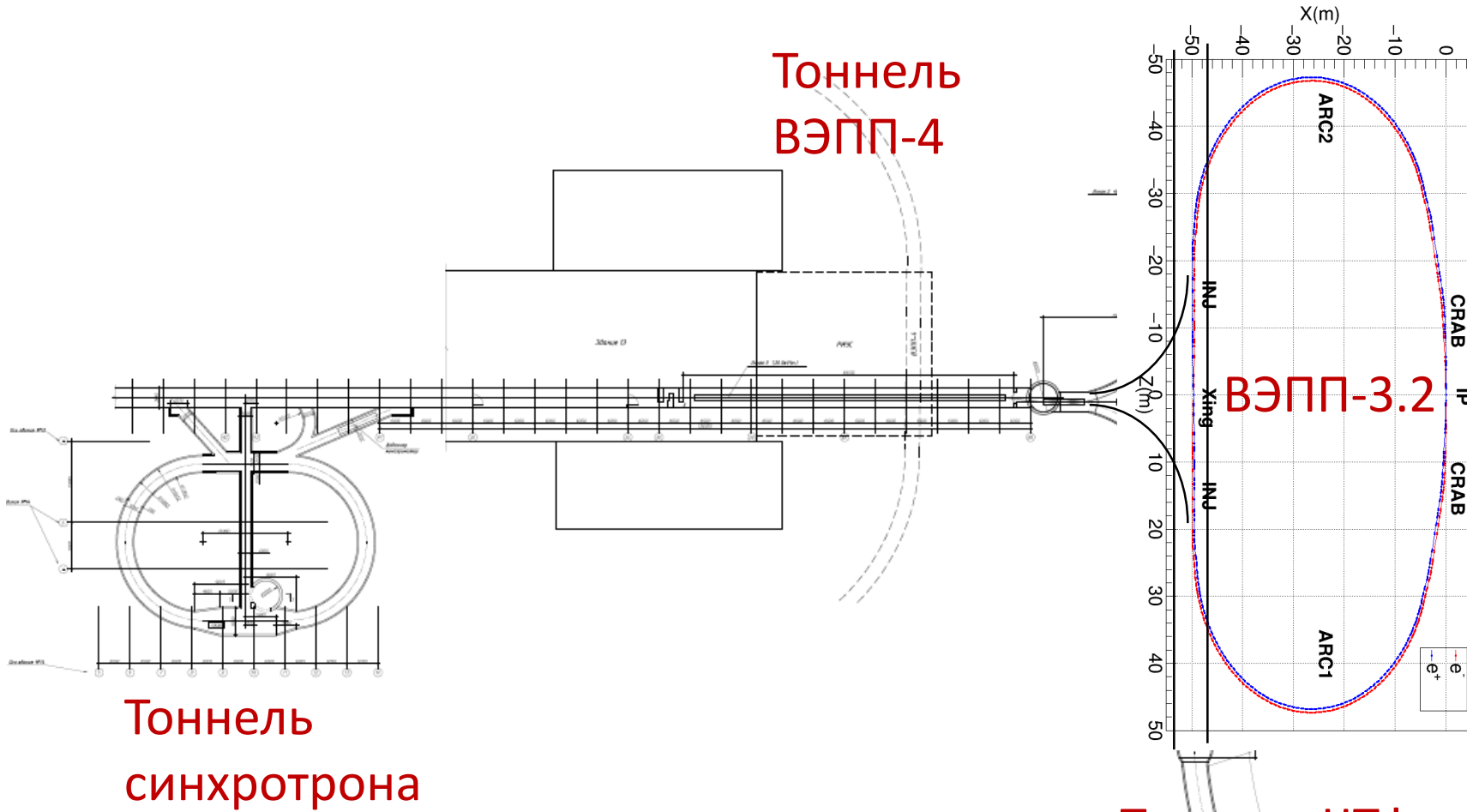
# ВЭПП-3.2 («от $\phi$ до $\psi$ »)

Подход: не гнаться за рекордной светимостью, а получив приемлемые «ускорительные» параметры (апертуру, время жизни, поля магнитов, инжекцию, приемлемую для нашего ИК и т.п.), посмотреть, какая светимость получается?



# ВЭПП-3.2 – размещение

$e^+e^-$  от ИК →



Тоннель ЧТФ  
(800 м)

# ВЭПП-3.2 – параметры

E, MeV	500.	500.	500.	500.	1000.	1000.	1550.	1550.
П, m	241.285	241.285	241.285	241.285	241.285	241.285	241.285	241.285
θ, rad	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
f0, Hz	$1.24249 \times 10^6$	$1.24249 \times 10^6$	$1.24249 \times 10^6$	$1.24249 \times 10^6$	$1.24249 \times 10^6$	$1.24249 \times 10^6$	$1.24249 \times 10^6$	$1.24249 \times 10^6$
I, A	0.125897	0.241722	0.251793	0.503587	0.428049	0.981994	1.49285	0.995231
N	$2.5 \times 10^9$	$4.8 \times 10^9$	$5. \times 10^9$	$1. \times 10^{10}$	$8.5 \times 10^9$	$1.95 \times 10^{10}$	$5. \times 10^{10}$	$4. \times 10^{10}$
Nb	253.	253.	253.	253.	253.	253.	150.	125.
q	282.	282.	282.	282.	282.	282.	282.	282.
Frf, Hz	$3.50381 \times 10^8$	$3.50381 \times 10^8$	$3.50381 \times 10^8$	$3.50381 \times 10^8$	$3.50381 \times 10^8$	$3.50381 \times 10^8$	$3.50381 \times 10^8$	$3.50381 \times 10^8$
U0, keV	1.904	1.904	1.904	1.904	30.468	30.468	144.331	144.331
Vrf, keV	700.	700.	700.	700.	1400.	1400.	2270.	2270.
φs, deg	179.844	179.844	179.844	179.844	178.753	178.753	176.355	176.355
η	0.0118734	0.0118734	0.0118734	0.0118734	0.011786	0.011786	0.0118742	0.0118742
νs	0.027314	0.027314	0.027314	0.027314	0.0272102	0.0272102	0.027909	0.027909
δrf	0.0162803	0.0162803	0.0162803	0.0162803	0.0160952	0.0160952	0.0158489	0.0158489
αE	0.000573973	0.000549565	0.000631956	0.00060721	0.000625948	0.000623487	0.000795806	0.000795517
αS	0.00958145	0.009174	0.0105494	0.0101363	0.0104118	0.0103708	0.0130022	0.0129975
ex, m rad	$2.44313 \times 10^{-8}$	$2.04073 \times 10^{-8}$	$3.10614 \times 10^{-8}$	$2.63273 \times 10^{-8}$	$1.17027 \times 10^{-8}$	$1.06086 \times 10^{-8}$	$2.51427 \times 10^{-8}$	$2.5069 \times 10^{-8}$
ey, m rad	$4.88625 \times 10^{-10}$	$2.04073 \times 10^{-9}$	$6.21229 \times 10^{-10}$	$2.63273 \times 10^{-9}$	$2.34053 \times 10^{-10}$	$1.06086 \times 10^{-9}$	$5.02853 \times 10^{-10}$	$5.01381 \times 10^{-10}$
ey/ex	0.02	0.1	0.02	0.1	0.02	0.1	0.02	0.02
CRAB	1.	1.	0.6	0.6	1.	1.	1.	1.
IBS	ON	ON	ON	ON	ON Elegant	ON Elegant	ELEGANT	ELEGANT
WIG	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
βx, m	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
βy, m	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
ψy, m	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
Lint, m	0.00239278	0.00219295	0.00269389	0.00248677	0.00168761	0.00160861	0.00246146	0.00245795
L1, cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	$5.84985 \times 10^{31}$	$1.12015 \times 10^{32}$	$1.84351 \times 10^{32}$	$3.79159 \times 10^{32}$	$9.59556 \times 10^{32}$	$2.39568 \times 10^{33}$	$1.01714 \times 10^{34}$	$5.43622 \times 10^{33}$
L0, cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	$6.52426 \times 10^{31}$	$1.23256 \times 10^{32}$	$2.09893 \times 10^{32}$	$4.25591 \times 10^{32}$	$1.02195 \times 10^{33}$	$2.53917 \times 10^{33}$	$1.13973 \times 10^{34}$	$6.08992 \times 10^{33}$
L1/L0	0.896632	0.908803	0.878307	0.890901	0.938949	0.943489	0.892444	0.892658
ξx	0.00292508	0.00616023	0.00481125	0.0104787	0.00437324	0.0101351	0.0105378	0.00843704
ξy	0.0143454	0.0141152	0.0230754	0.0233945	0.0330446	0.035789	0.0681742	0.0546414
ξs	-0.000195368	-0.000411445	-0.000321347	-0.000699882	-0.000291049	-0.000674511	-0.000688867	-0.000551538
φ	3.87745	4.06214	3.7862	3.95152	6.08794	6.36903	5.1868	5.19252
νs/ξx	9.33788	4.43393	5.67711	2.60661	6.22197	2.68475	2.64847	3.30791
τL, s	70237.7	70426.8	44575.9	43346.4	14558.7	13377.7	4789.98	5974.86
τT, s	302.	300.	389.	373.	305.	305.	566.	705.
τX, s	0.422504	0.422504	0.422504	0.422504	0.0528061	0.0528061	0.0172784	0.0172784
τY, s	0.422709	0.422709	0.422709	0.422709	0.0528317	0.0528317	0.0172867	0.0172867
τZ, s	0.211406	0.211406	0.211406	0.211406	0.0264223	0.0264223	0.00864538	0.00864538

500 МэВ

1000 МэВ

1550 МэВ

При  $\tau_{Touschek} \geq 300$  s

можно рассчитывать на  
светимость:

500 МэВ:  $1 \div 3 \cdot 10^{32}$  см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>

≈ 1 · DAPHNE

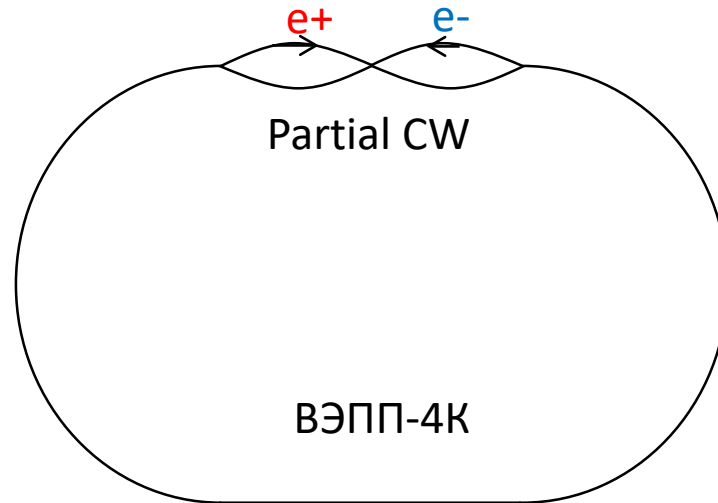
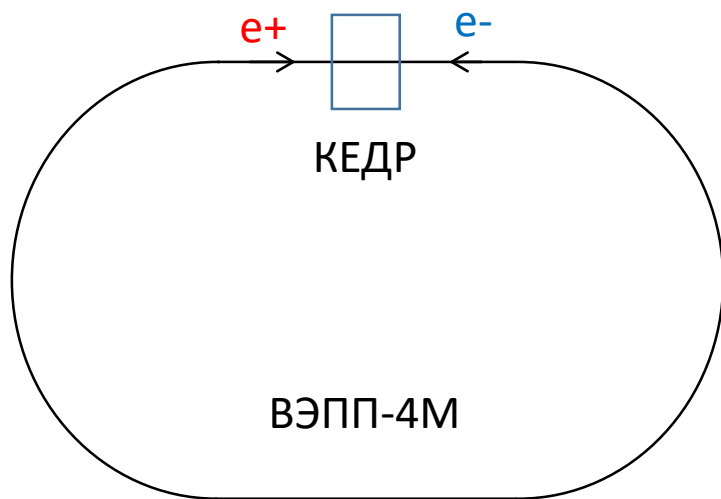
1000 МэВ:  $1 \div 2 \cdot 10^{33}$  см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>

≈ 10 · VEPP-2000

1550 МэВ:  $0.5 \div 1 \cdot 10^{34}$  см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>

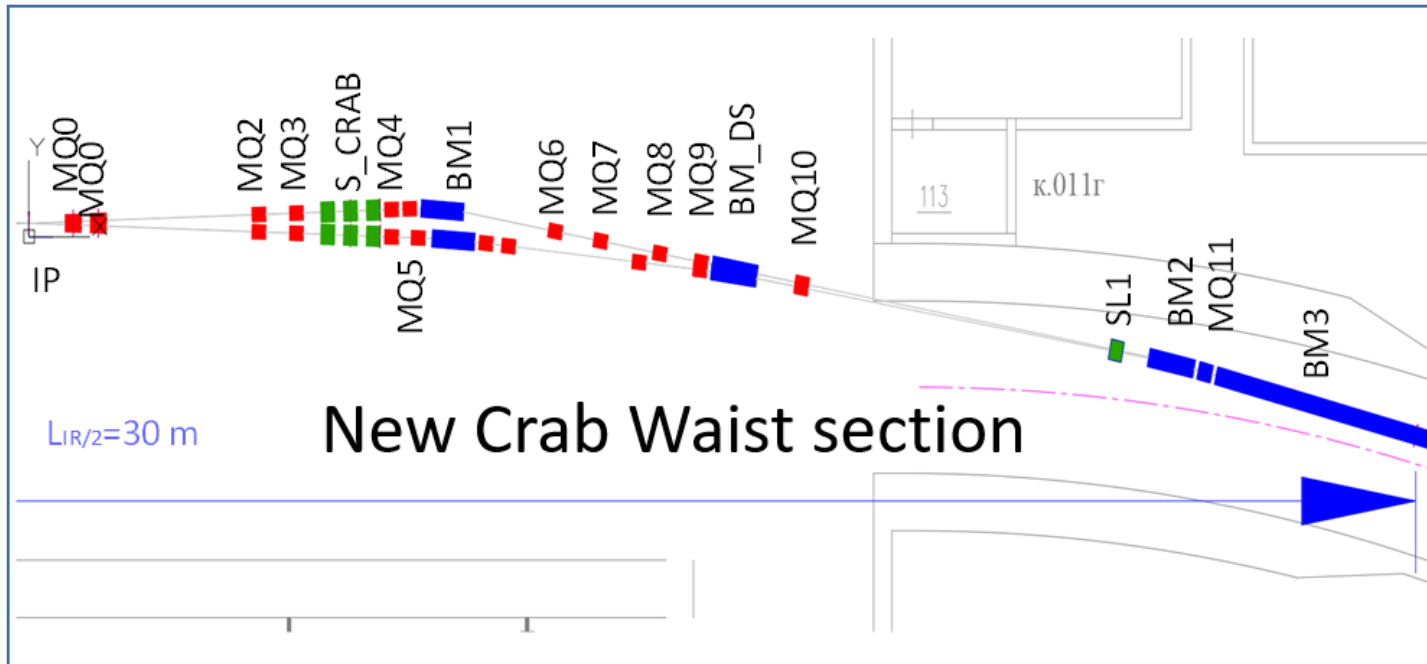
≈ 20 · BEPCII

# ВЭПП-4К. Частичный краб-вэйст



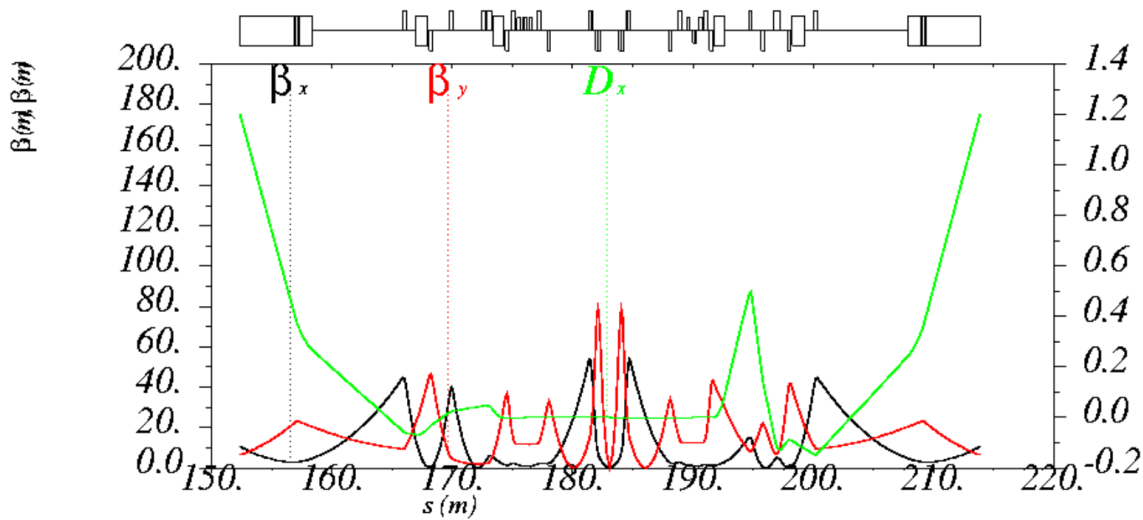
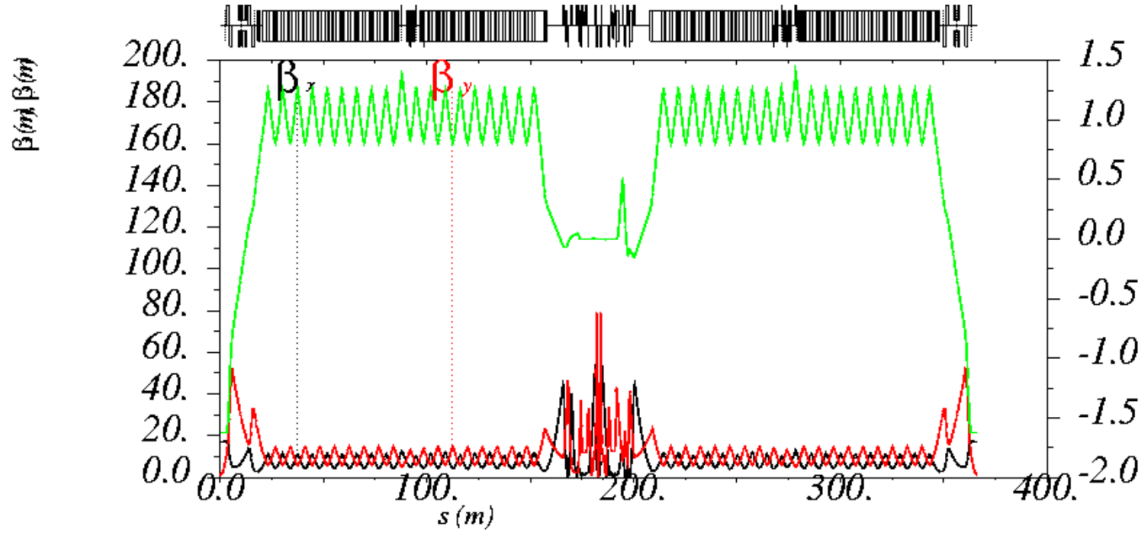
Модифицируется экспериментальный промежуток под частичный КВ. Добавляется несколько секступолей. Что можно проверить:

- Финальный фокус (конструкция, сборка, механическая стабильность).
- Криогенная система
- Эффекты встречи, предельный  $\xi$ .
- Параметры при изменении энергии.
- Влияние поля детектора на поля ФФ.
- Влияние и оптимизация «крабовых» секступолей
- Вакуумная камера промежутка встречи.
- Импедансы промежутка встречи.
- Нелинейная динамика.
- Потери частиц и сверхпроводимость.
- Фоны детектора.
- Измерение светимости.
- Автоматическая настройка встречи.
- И т.д.





# ВЭПП-4К. Параметры

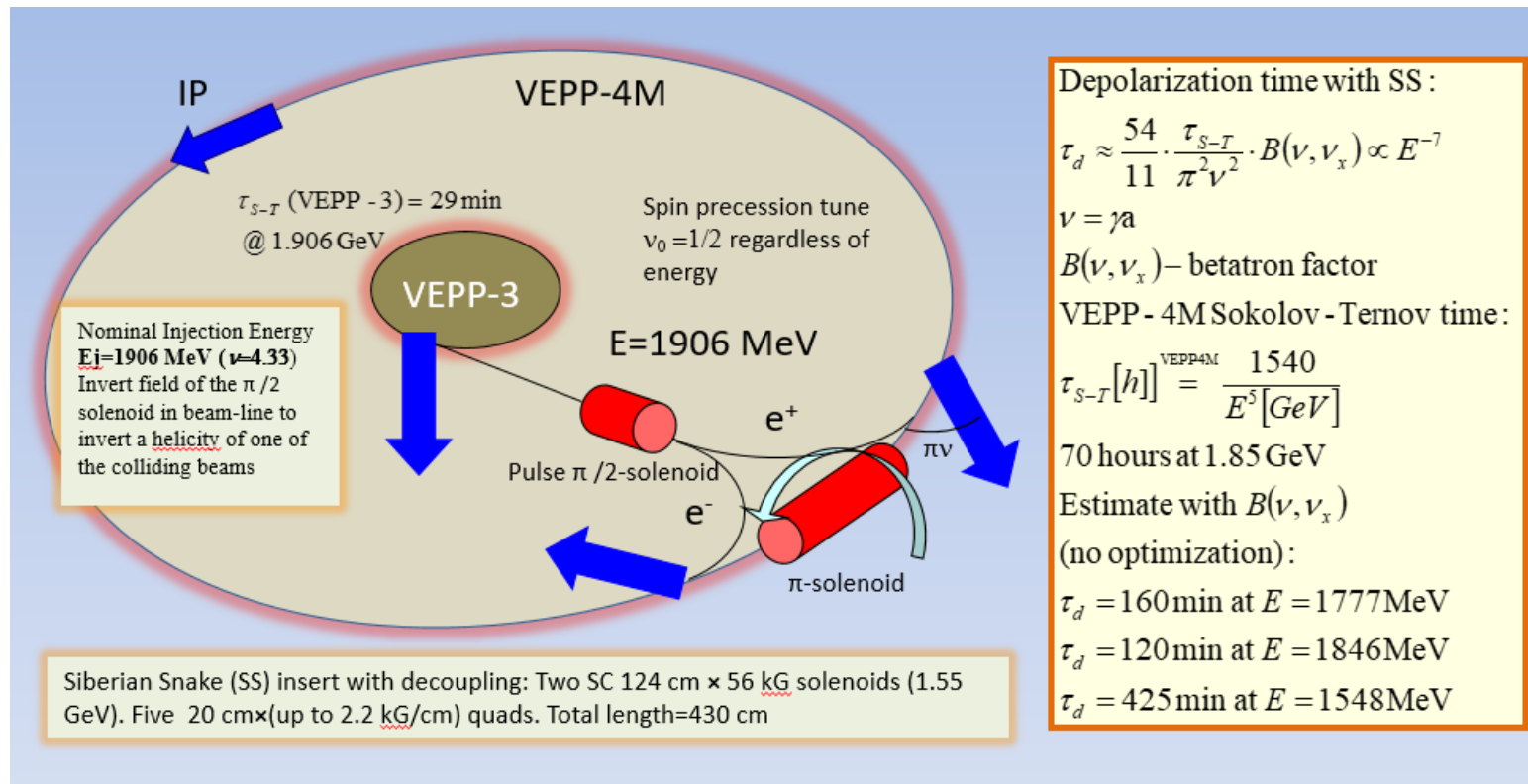


	ВЭПП-4М	ВЭПП-4К	ВЭПП-4К
Е, ГэВ	1.85		
П, м	366.09	366.21	366.21
θ, мрад	0	±30	±30
I, мА	3.3	15.7	15.7
$N_e \times 10^{-10}$	2.5	12	12
$N_b$	1	1	1
$Q_x/Q_y$	8.54/7.58	11.54/7.58	11.54/7.58
$C_x/C_y$	-14/-20	-27/-43	-27/-43
$\alpha \times 10^2$	1.7	1.6	1.6
$\varepsilon_x$ , нМ	25.8	23.8	25.6
κ	0.1	0.05	0.025
$\sigma_e \times 10^4$	3.2	4.4	4.6
$\sigma_s$ , мм	27.8	26.8	26.3
$\beta_x^*/\beta_y^*/D^*$ , см	75/7/83	15/1/0	15/1/0
$\xi_x/\xi_y$	0.026/0.051	0.002/0.038	0.003/0.072
$\tau_x/\tau_y/\tau_e$ , с	0.12/0.13/0.07	0.09/0.11/0.06	0.11/0.11/0.06
$L$ , $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1} \times 10^{-30}$	1	24	46

# ВЭПП-4К. Продолжение

Если получится частичный CW, почему не сделать полный двухколечный вариант? Сто сгустков дают 1-1.5 А полный ток и светимость  $1-3 \times 10^{33} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Уменьшить эмиттанс и  $\beta_y^*$ , и т.д. **Проблемы:** (а) светимость все еще не больше, чем на ВЕРСИИ, (б) переделывать канал инжекции, (в) непонятно, можно ли разместить в тоннеле два кольца.

Продолжать тему тест-фасилити. Вспомнить про продольную поляризацию.



С.А. НИКИТИН

# Выводы

- Модернизации ИК (надежность, производство позитронов).
  - Модернизация инженерных систем ИЯФ.
  - Переделка ВЭПП-4М в тестовую установку для проверки физических и технических аспектов КВ-встречи.
- Детализация, принятие решения – конец 2023  
Изготовление, закупки – конец 2026  
Остановка, монтаж – конец 2027  
Работа с пучком – 2027...
- Создание бустерного синхротрона с энергией 1.6 – 2 ГэВ.
  - Создание e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> коллайдера «от φ до ψ» с энергией пучка от 0.5 ГэВ до 1.6 ГэВ.
  - Создание двухкольцевого коллайдера в тоннеле ВЭПП-4
- Разработка, концептуальное проектирование, принятие решения – середина 2024
- Создание Супер Чарм Тау фабрики с энергией пучка от 1.5 ГэВ до 3.5 ГэВ
- Продолжение работ с НЦФМ
- Другое
- ??????