

лучший в мире* электрон-позитронный коллайдер

ВЭПП-2000

в 2019 году

Дмитрий Шварц

on behalf of VEPP-2000 team

Научная сессия ИЯФ

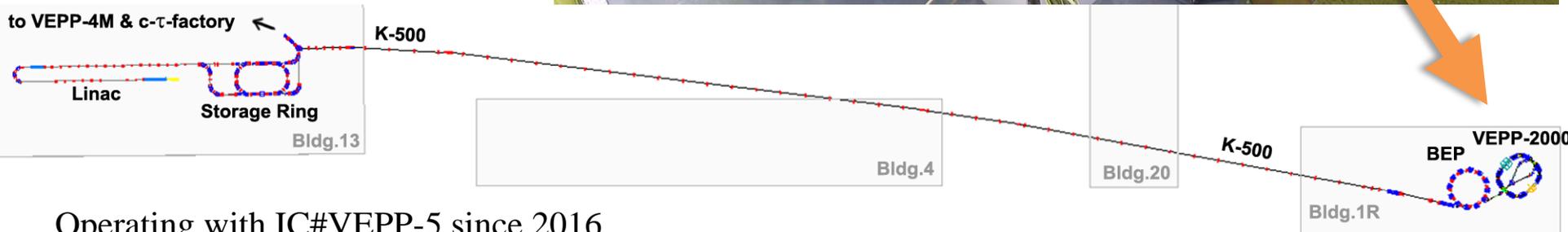
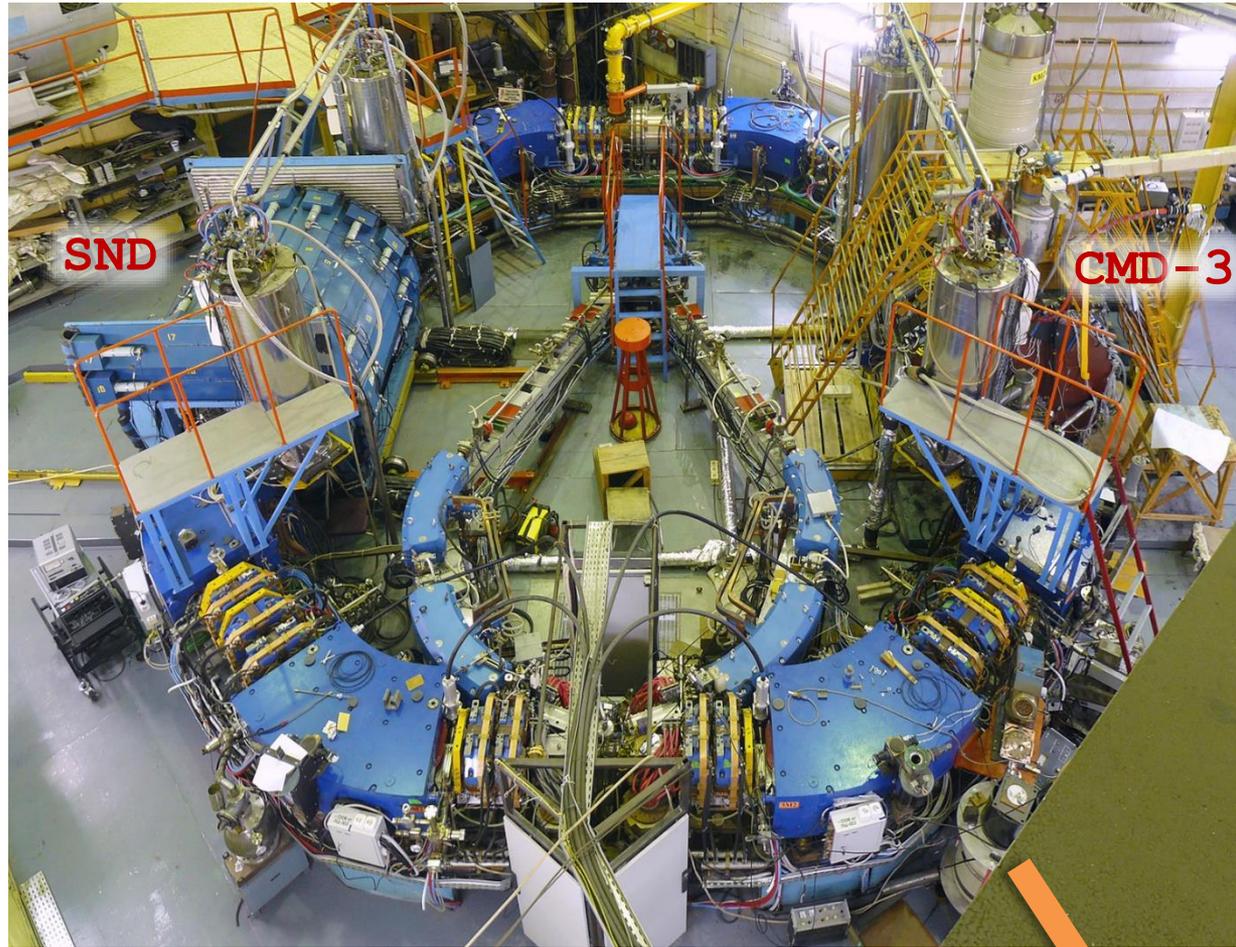
31.01.2020

ВЭПП-2000

Design parameters @ 1 GeV

Circumference	24.388 m
Beam energy	150 ÷ 1000 MeV
N of bunches	1×1
N of particles	1×10 ¹¹
Betatron tunes	4.14 / 2.14
Beta*	8.5 cm
BB parameter	0.1
Luminosity	1×10 ³² cm ⁻² s ⁻¹

- Round beams concept
- 13 T solenoids for FF
- 2.4 NC dipoles @ 1 GeV
- CBS for energy control



Operating with IC#VEPP-5 since 2016

Концепция встречных круглых пучков

Аксиальная симметрия встречного сгустка + X-Y симметрия транспортных матриц IP2IP.



Дополнительный интеграл движения
(продольная компонента момента импульса $M_z = x'y - xy'$)

Нелинейная динамика одномеризуется;

реже резонансная сетка;

выше пороги по эффектам встречи!

Требования к оптике:

- Лобовая встреча
- Равные β -функции в IP:
- Равные поперечные эмиттансы:
- Равные дробные части бетатр. частот:

$$\begin{array}{l} \beta_x = \beta_y \\ \varepsilon_x = \varepsilon_y \\ \nu_x = \nu_y \end{array} \begin{array}{l} \diagdown \\ \diagup \\ \diagdown \\ \diagup \\ \diagdown \\ \diagup \end{array} \begin{array}{l} \text{Круглый пучок} \\ M_x = M_y \end{array}$$

F.M. Izrailev, G.M. Tumaikin, I.B. Vasserman. Preprint INP 79-74, Novosibirsk, (1979).

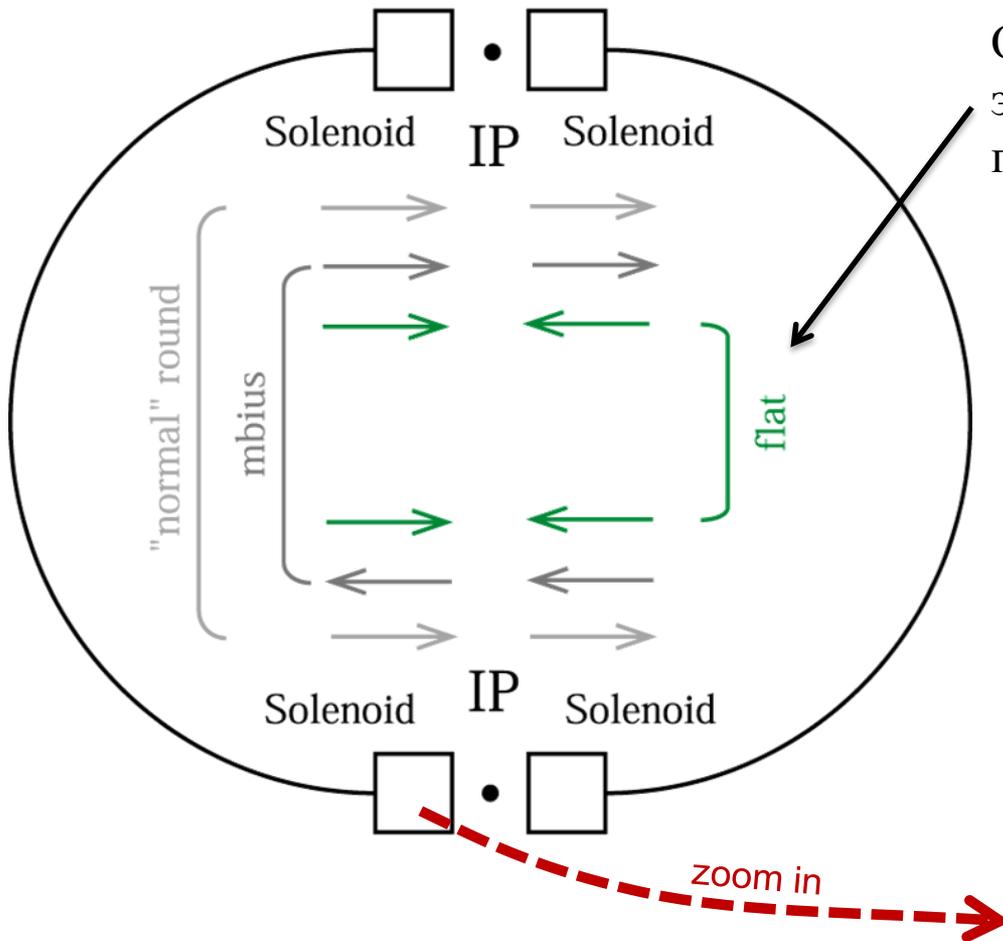
L.M. Barkov, et. al, Proc. HEACC'89, Tsukuba, Japan, p.1385.

S. Krishnagopal, R. Siemann, Proc. PAC'89, Chicago, p.836.

V.V. Danilov et al., EPAC'96, Barcelona, p.1149.

S. Henderson, et al., Proc. PAC'99, New York, p.410.

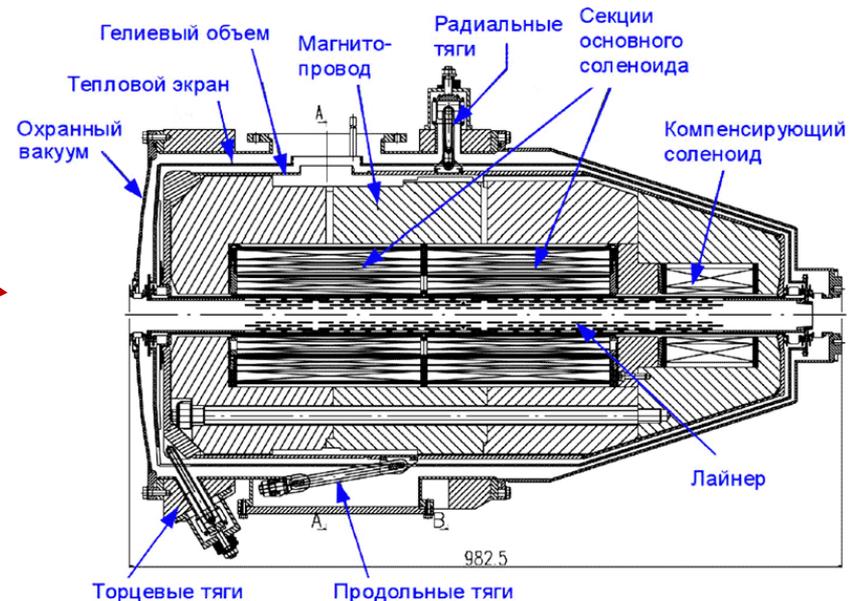
Круглые пучки @ ВЭПП-2000



Оптика плоская, перераспределение эмиттансов за счёт резонанса связи: простейший вариант.

И моделирование, и экспериментальные тесты дают недостаточную ДА в режимах с циркулярными модами.

Короткие соленоиды – ниже 600 МэВ



Смена конфигурации соленоидов (половинки, полярность) требуют их **перевыставки**. (По пучку).

Хронология 2019 (1)

08.01.2019 – начало сканирования от 537.5 МэВ, по программе детекторов (HIGH2019).

18.02.2019 – подмагничивание трансформатора выпускного магнита БЭП М1.

научная сессия 2019

24.02.2019 – срыв соленоидов 3-го квадранта из-за просадки, увеличенный расход LHe.

01.03.2019 – встали на отопрев. При простое – СИ на БЭП.

15.03.2019 – первая битва за Карнавал (течь в бачке).

11.04.2019 – сожгли тиристорные сборки М1.

14.04.2019 – снова вырос расход 3S: работа с дозаправкой в воздухе.

30.04.2019 – чудесное самоисцеление расхода 3S.

16.05.2019 – вторая битва за Карнавал (горелые контакты).

29.05.2019 – срыв соленоидов из-за просадки.

31.05.2019 – дошли до 987.5 МэВ, поехали вниз.

10.06.2019 – встали на 641 МэВ, рожать f1(1285).

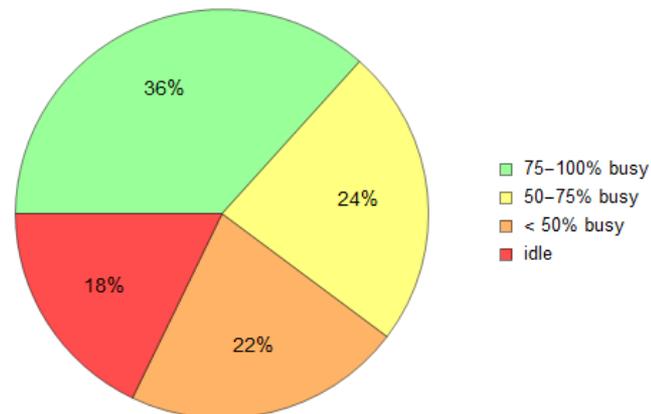
02.07.2019 – выключение комплекса.

Наводка интенсивным пучком
ВЭПП и БЭП на ДК КМД-3

Поломки и простои

Всего за сезон с 13 ноября по 1 июля отработано **224 дня** (не считая перерыв на Новый год - 6 дней).

- Из них **стояли 40 дней** или 18%. (Пережог соленоида, отогрев соленоида, срыв КМД, профилактика ИК, и т.д.)
- Работали в целом меньше **полсуток 49 дней** или 22%.
- Работали не более **3/4 суток 53 дня** или 24%
- Работали с **минимальными** простоями - **82 дня** или 36%.



Число простоев, вызванных поломками по системам (январь-июнь):

1	Магнитная система	0	0	0	0
2	Вакуум	0	0	0	0
3	Криогеника	10	12	5	0
4	Источники питания	42	46	15	0
5	ВЧ	44	34	18	0
6	Импульсные магниты	21	14	5	0
7	Кикеры	13	11	5	0
8	Диагностика	8	7	2	0
9	Автоматизация	36	19	11	0
10	Детекторы	6	11	3	2
11	ИК	9	14	5	0
12	Внешние	5	8	4	0

~3 часа

~9 часов

~15 часов

24+ часа

Хронология 2019 (2)

Авг

Авг – замена компьютеров на пульте.

Сен

13.09.2019 – пучок e- в ВЭПП («тёплая оптика»).

25.09.2019 – Кронос пожирает Зевса (компьютерный апокалипсис, 112-я серия).

30.09.2019 – срыв соленоидов 2-го квадранта из-за размыкателя Quench protection.

Окт

18.10.2019 – поиск утечек гелия в атмосферу: резиновые уплотнения токовводов, и др.

23.10.2019 – начало набора данных от 300 МэВ вниз.

Ноя

xx.xx.xx – тесты “полукруглой” оптики Коопа (другая клетка, 3.14/2.14), для раздувания эмиттанса.

Дек

06.12.2019 – срыв КМД

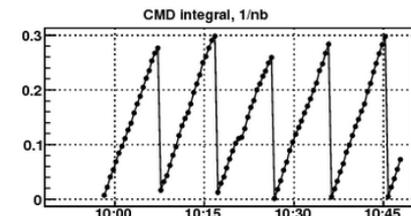
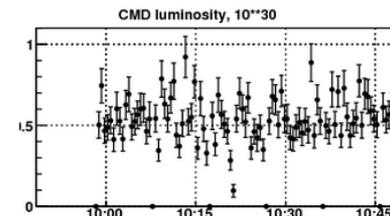
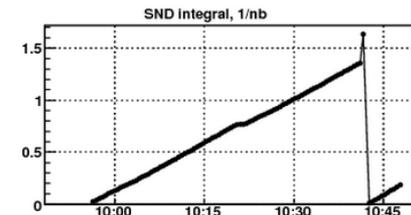
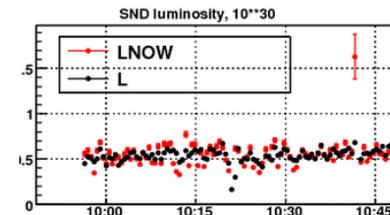
12.12.2019 – 190 МэВ. КМД снизил поле до 10 кГс.

16.12.2019 – остановка по финансовым ограничениям.

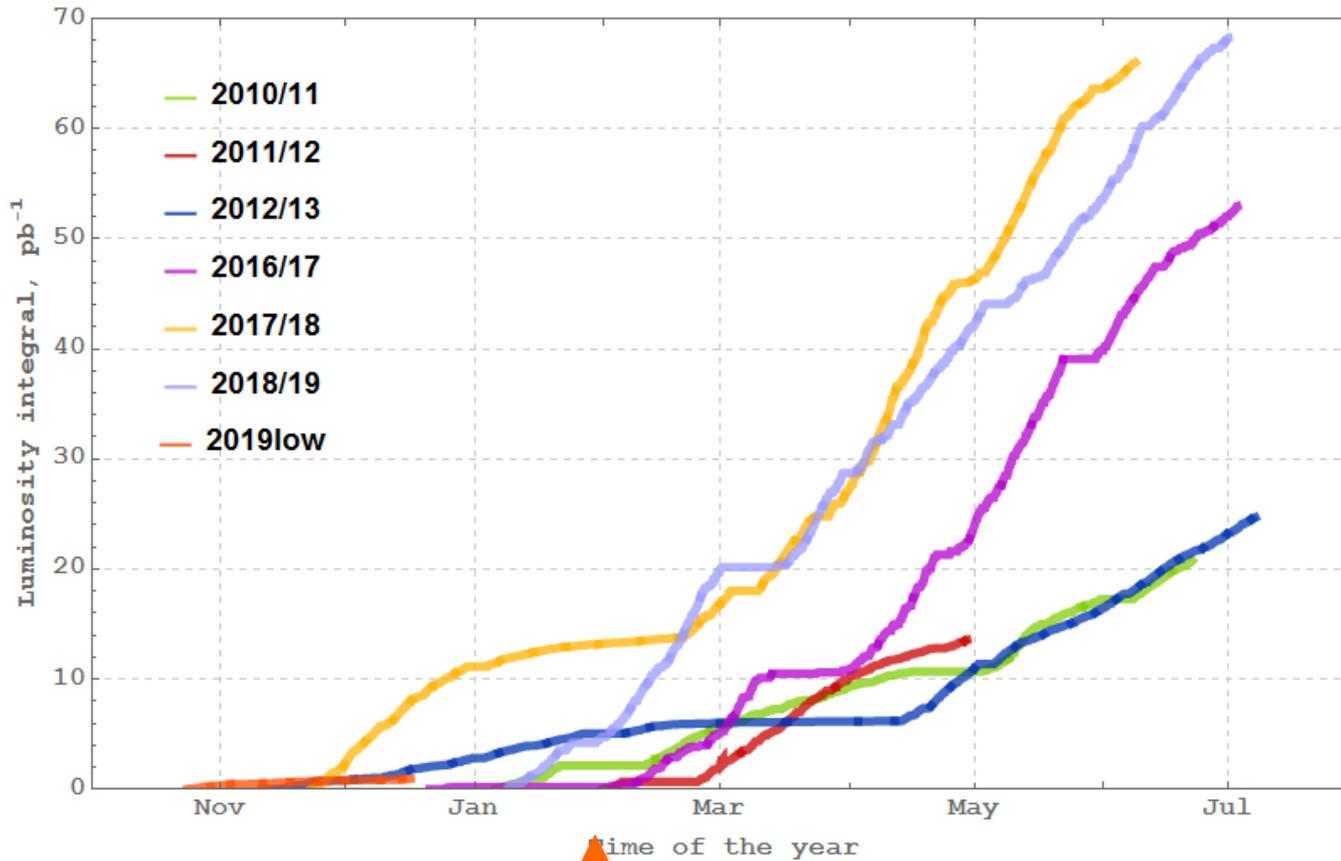
Янв

← We are here!

Фев

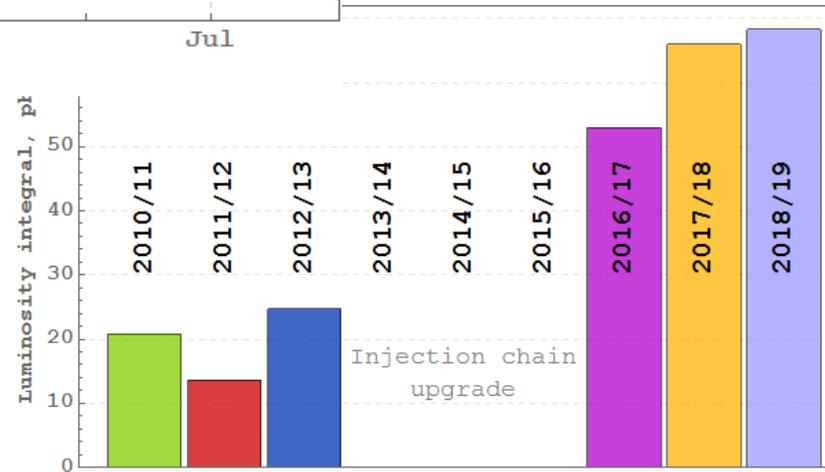


Набор данных

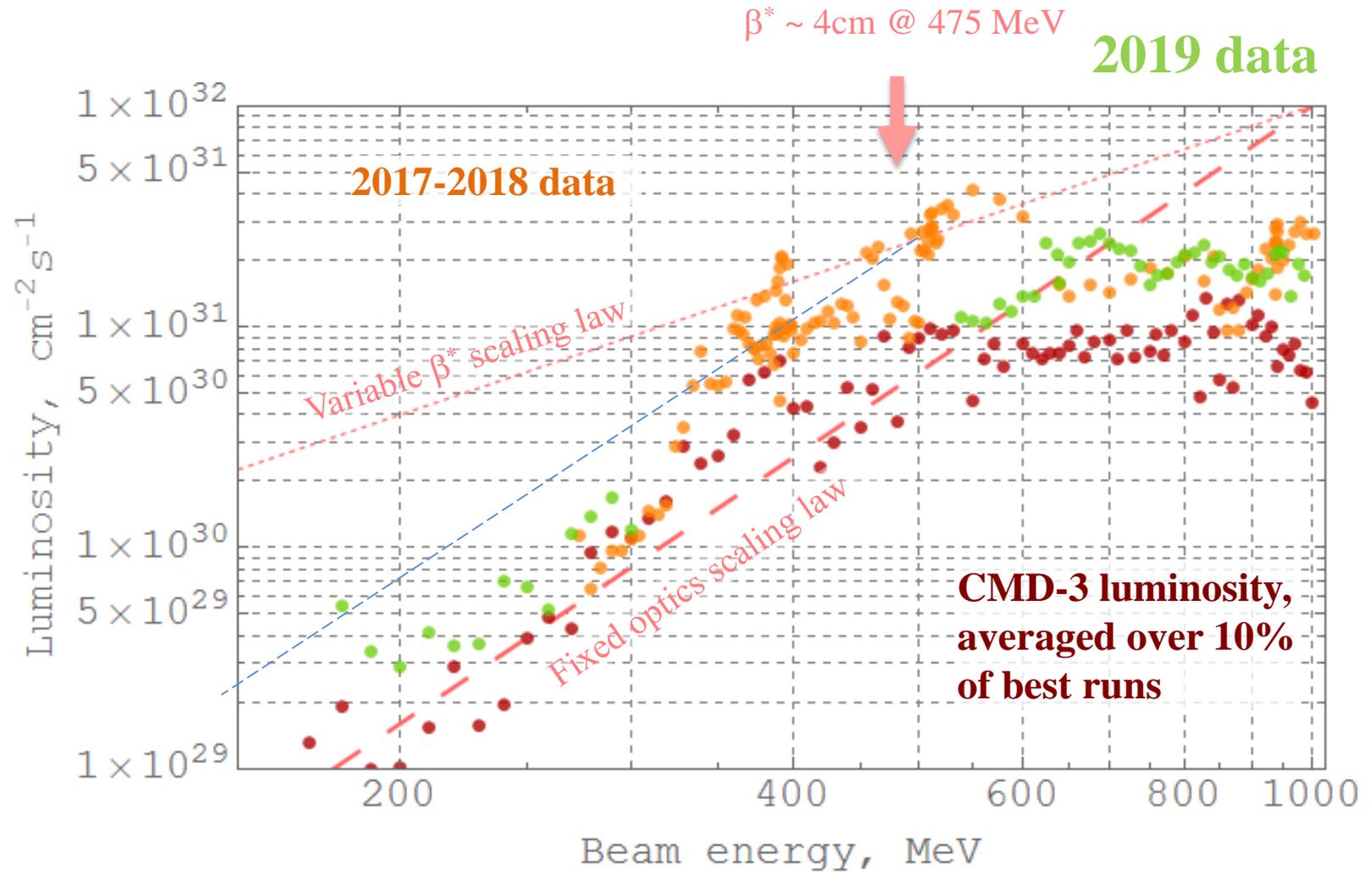


In total:
250 pb^{-1} /detector


We are here

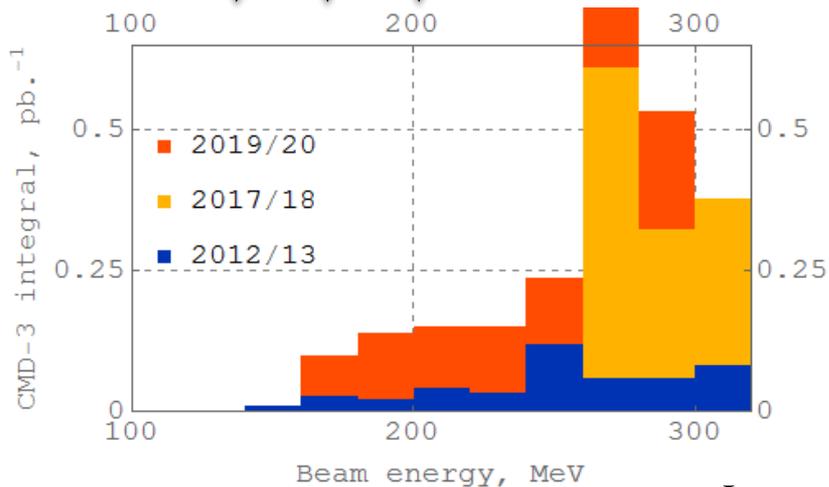
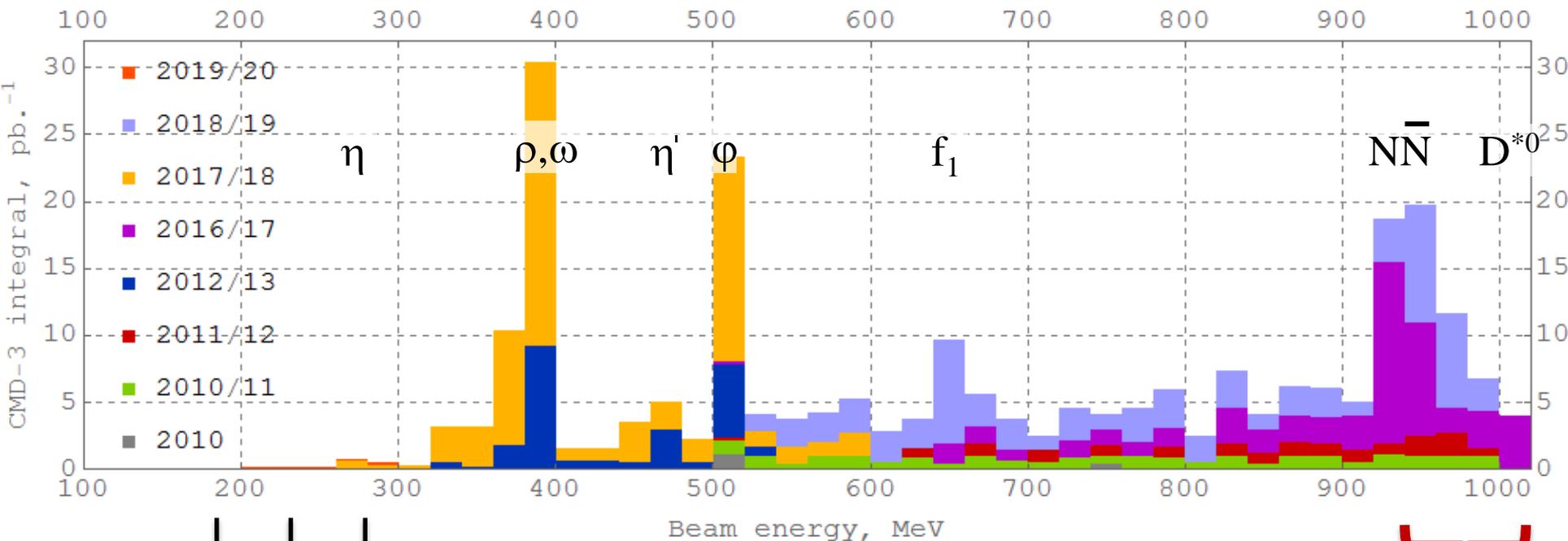


Достигнутая светимость



Текущий абсолютный рекорд пиковой светимости: $L_{\text{peak}} = 5 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1} @ 550 \text{ МэВ}$

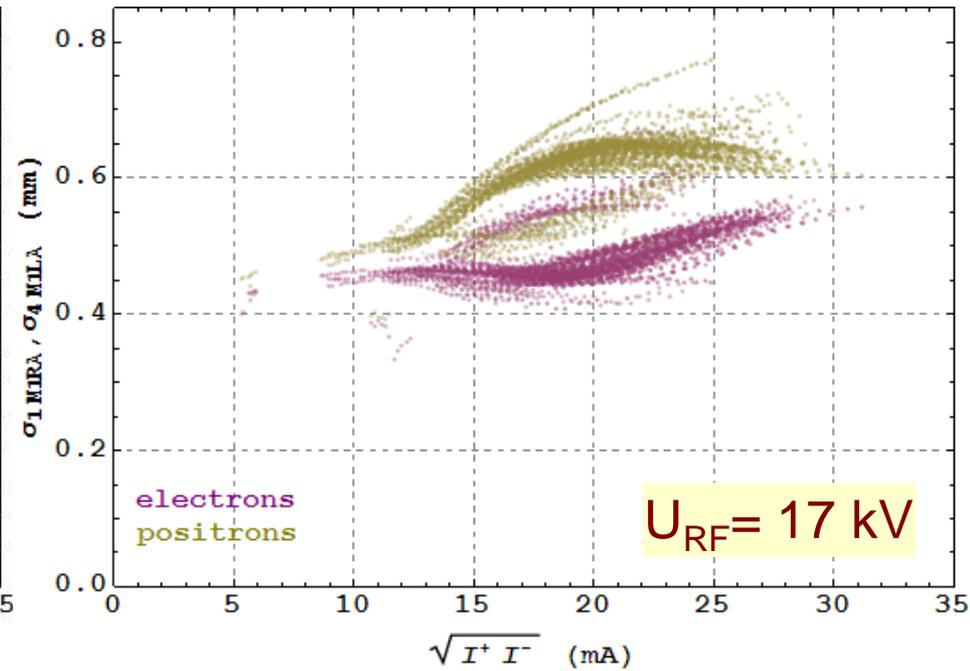
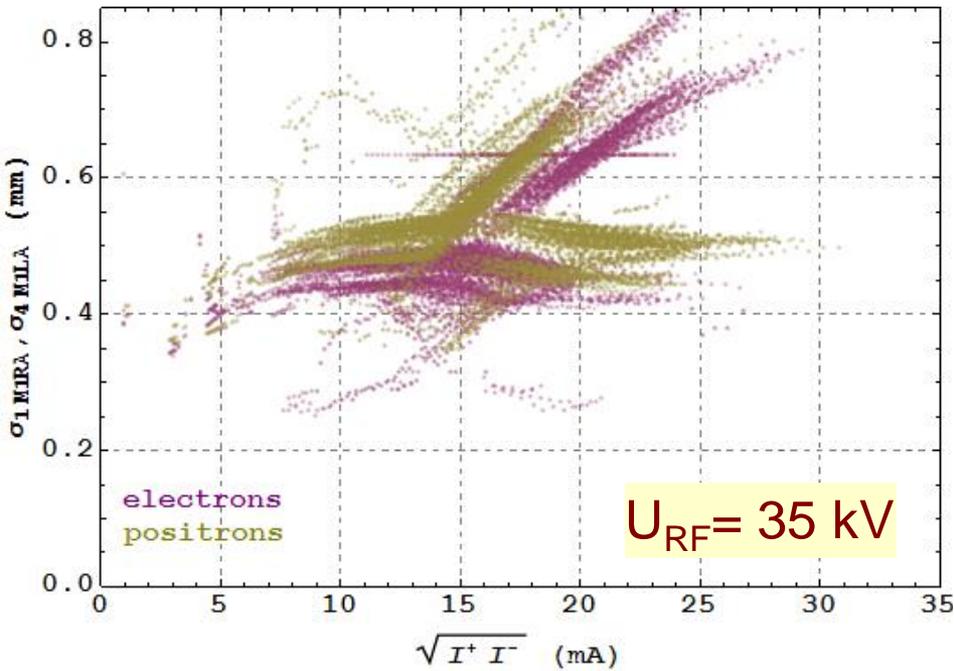
Распределение набранного интеграла



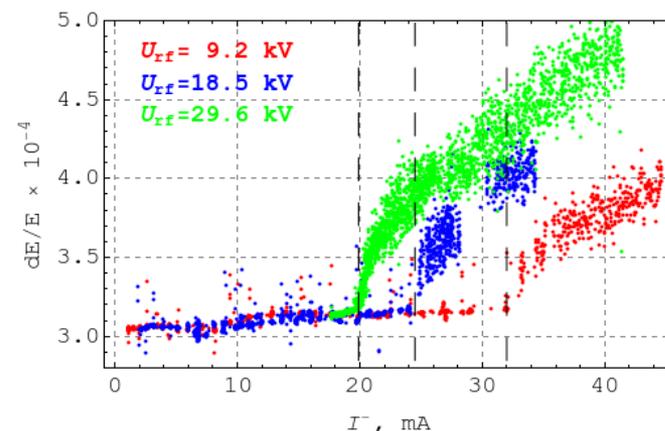
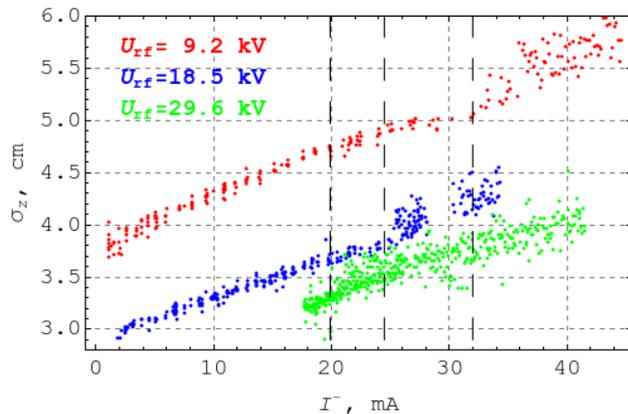
Целевой диапазон
на сезон 2019/2020
(100 pb.⁻¹)

Lowest energy ever obtained in e⁺e⁻ colliders

Изобретение #1: удлинение сгустка (2013)



- Удлинение: уплощение ямы + микроволновая неустойчивость
- Снижение ВЧ доступно только на низкой энергии!



Изобретение #2: BeamShaker (2018)

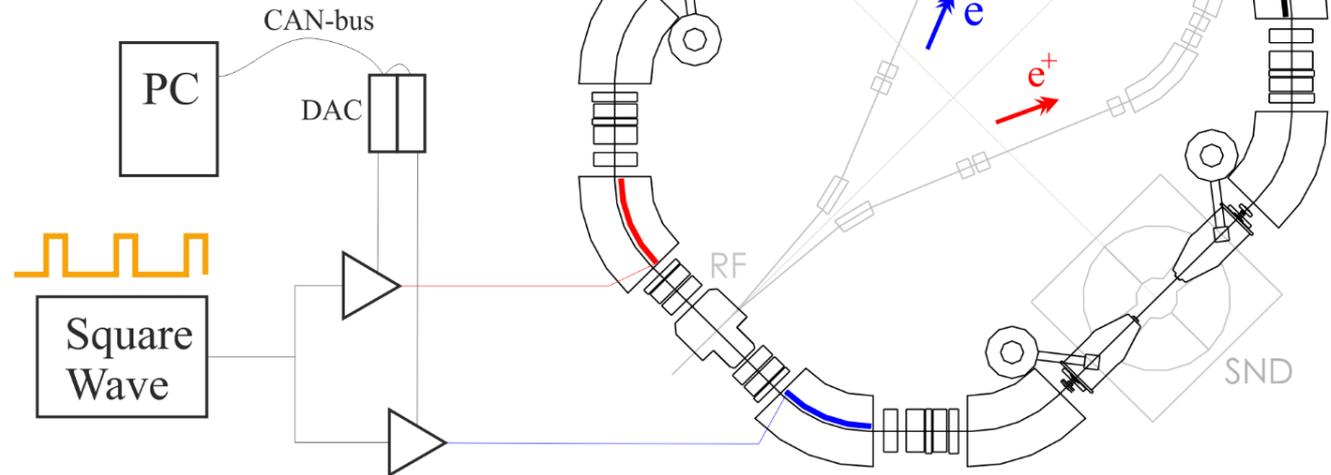
Идея (И.Кооп): когерентные колебания очень быстро расфазировываются в присутствии нелинейного поля встречного сгустка. Если слабо, но часто постукивать по пучку – это раздувает эффективный эмиттанс. Аналогия с излучательной «змейкой».

На низкой энергии можно раздувать эмиттанс пока он влазит в апертуру. Тогда при фиксированном ξ (плотность встречных частиц) можно наращивать ток, а следовательно светимость.

Типичные числа:

50-100 V, 300 ns, 50 μ s

($T_{\text{rev}} = 81.4$ ns)

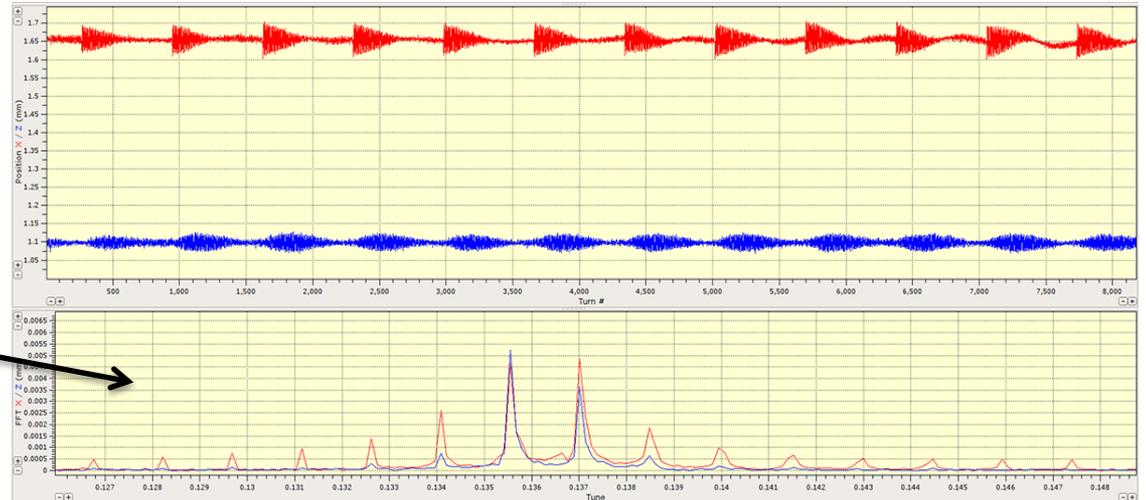


Реальность: шейкер не даёт сжаться «сильному» пучку (например, при инъекции «слабого»), таким образом подавляется флип-флоп, стабилизируется метастабильное состояние с равными размерами.

Вдобавок, сильно лучше время жизни.

Шейкер: как это работает

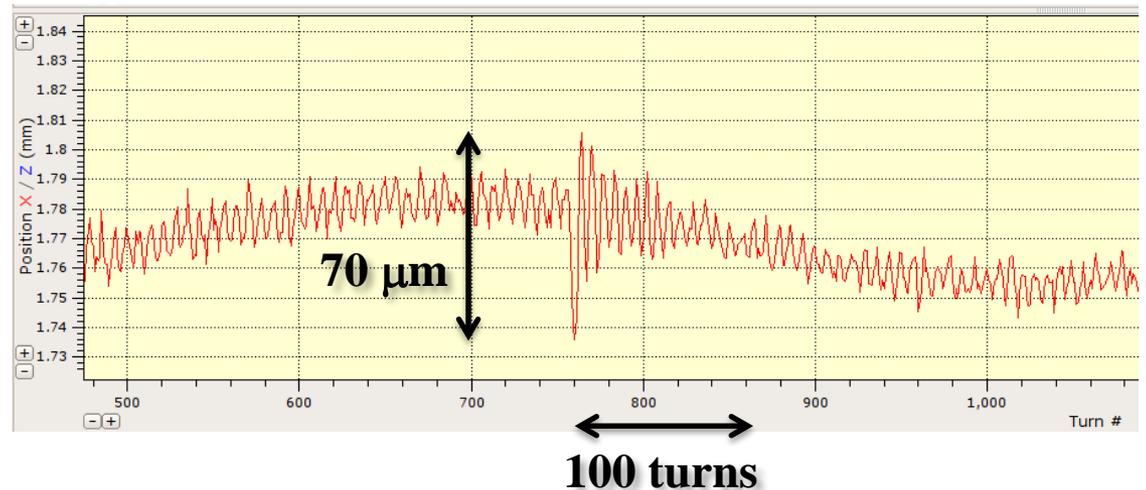
Сигнал на пикапе. Без встречного пучка, 360 МэВ



Линейчатый спектр у
периодически
возбуждаемых колебаний



Сигнал с пикапа со встречным пучком, 274 МэВ



@ 274 MeV:

$\sigma_x = 250 \mu\text{m}$ @ pickup

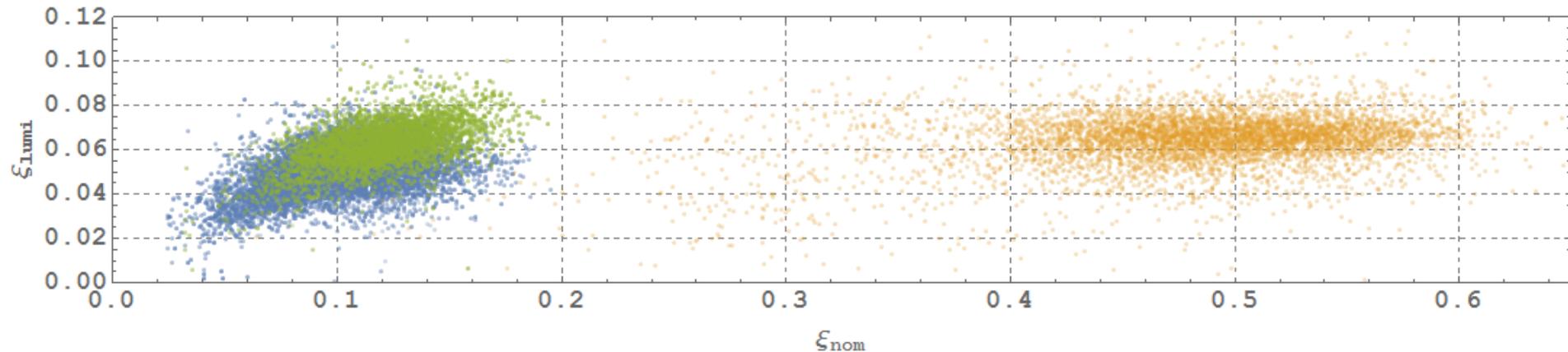
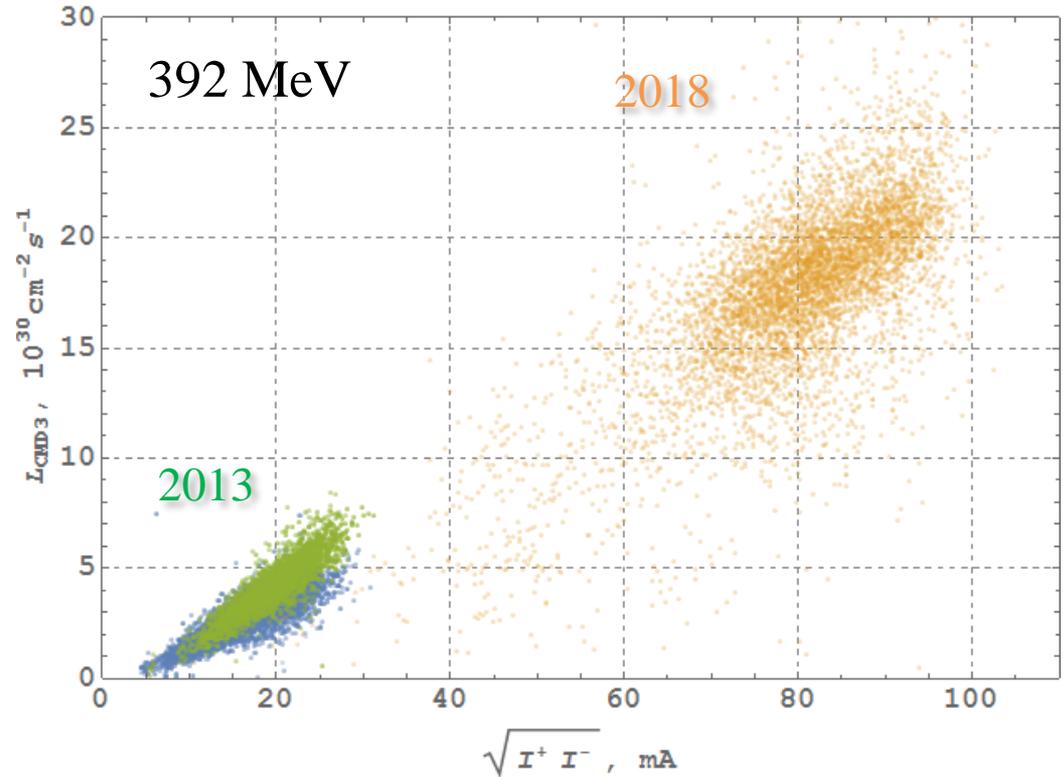
$\tau_{\text{damp}} = 130 \text{ ms} = 1.6 \times 10^6 \text{ turns}$

Светимость и параметр встречи

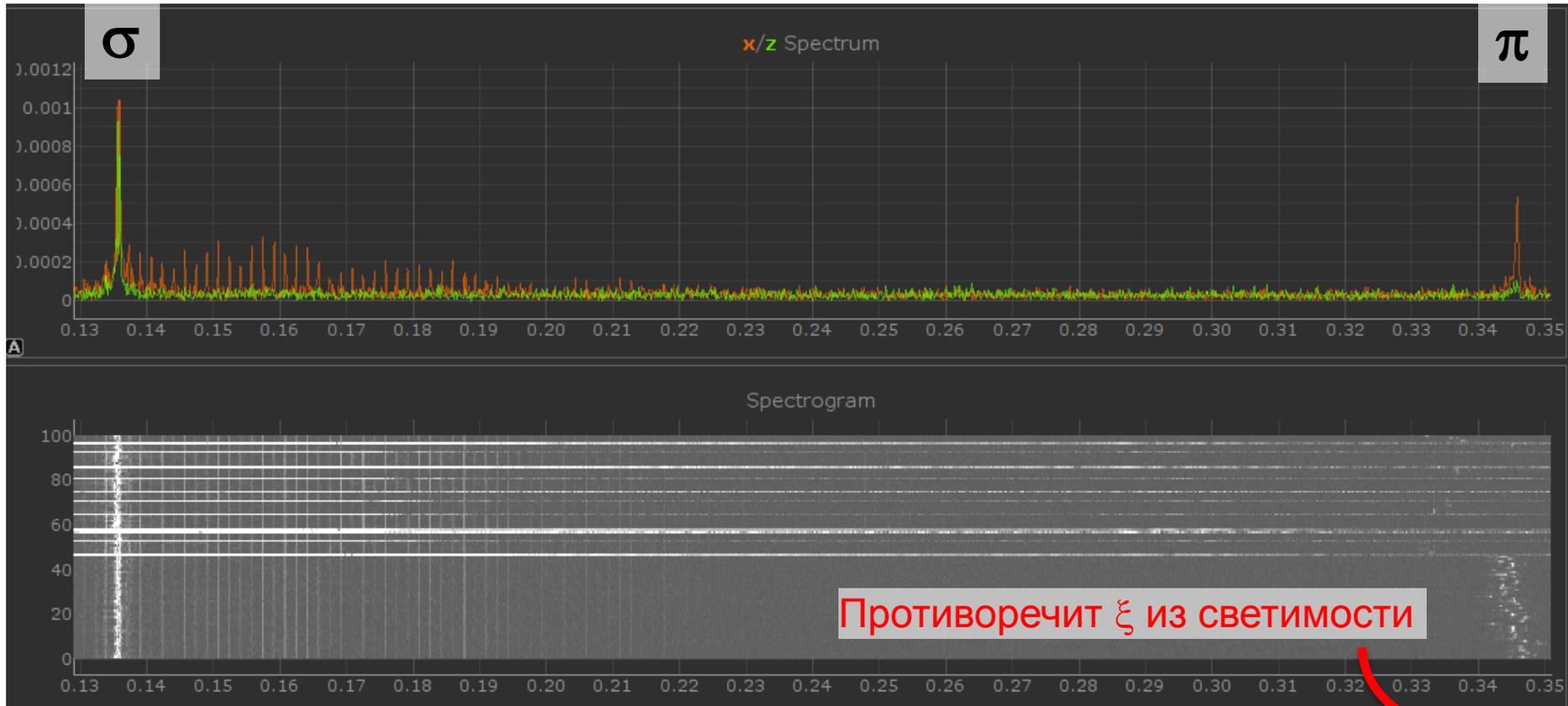
$$\xi_{nom} = \frac{N^- r_e \beta_{nom}^*}{4\pi\gamma\sigma_{nom}^{*2}} \text{ - normalized beam current}$$

$$\xi_{lumi} = \frac{N^- r_e \beta_{nom}^*}{4\pi\gamma\sigma_{lumi}^{*2}} \text{ - "beam-beam parameter"}$$

$$L = \frac{N^+ N^-}{4\pi\sigma^{*2}} f_0 = \frac{N f_0 \gamma}{r_e} \frac{\xi_{lumi}}{\beta_{nom}^*}$$



Когерентные моды встречных пучков



Противоречит ξ из светимости

$$\Delta \nu = \arccos(\cos(\pi \nu_0) - 2\pi \xi \sin(\pi \nu_0)) / \pi - \nu_0$$

$$\nu_\sigma = 0.135, \nu_\pi = 0.345$$

$$\Delta \nu = 0.21 \rightarrow \xi = \mathbf{0.17/IP}$$

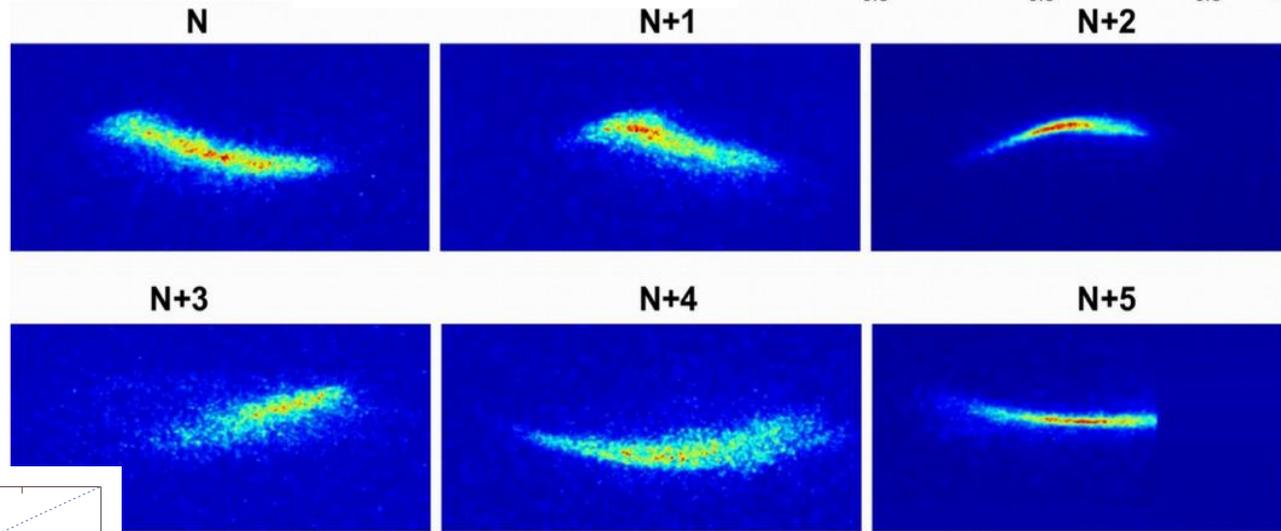
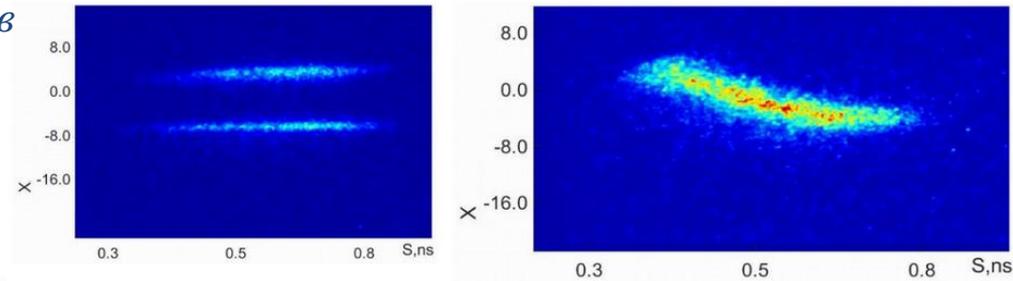
Here the Yokoya factor $Y = 1$, due to fast kick method of eigen modes excitation and due to short period analysis (studied @ VEPP-2M; simulated for VEPP-2000 by D.Shatilov)

Наблюдение стрик-камерой

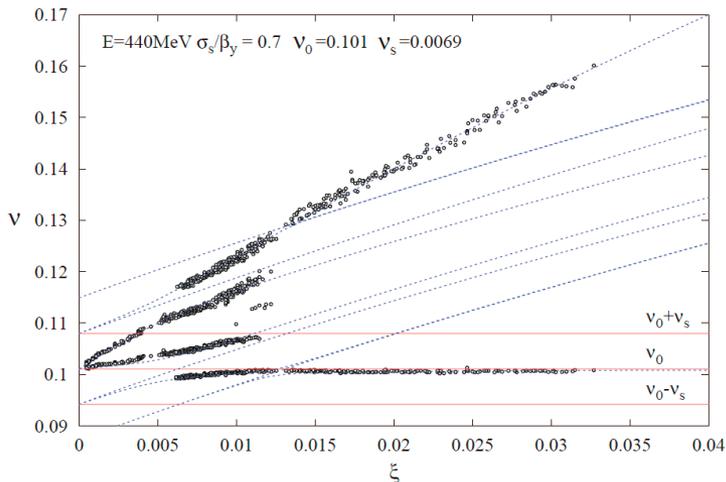
О.Мешков, В.Борин, М.Тимошенко, Ю.Жаринов

Инжекция порции электронов:

1) к электронам, 2) к позитронам



Шесть последовательных оборотов инжектированного сгустка e^- при запредельном токе e^+ .

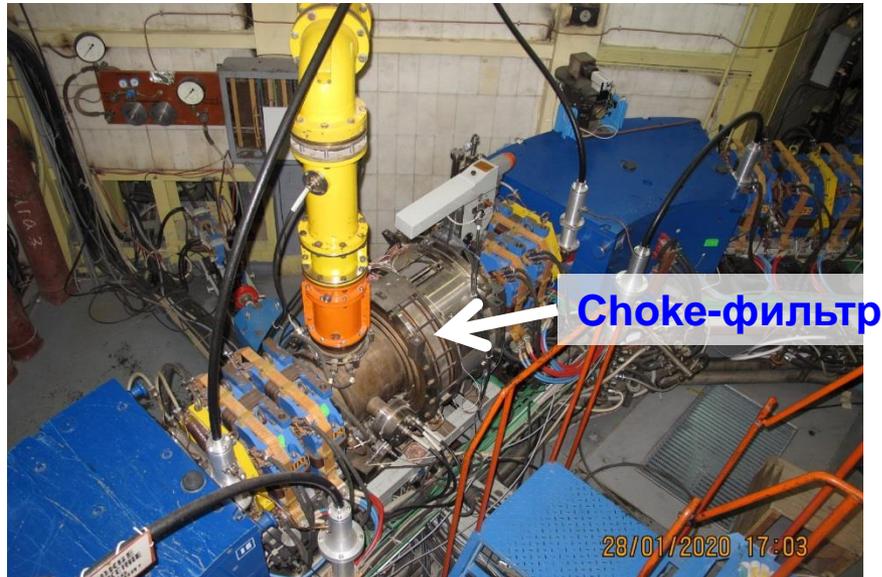


Всё уже изучено до нас:

E.A. Perevedentsev, A.A. Valishev,
Phys.Rev.ST Accel.Beams 4 (2001) 024403

Планы по модернизации ВЧ-систем

«Одномодовый» резонатор ВЭПП-2000



Генератор БЭП



Транзисторный УМ
(пример: НО 700 МГц 20 кВт CW)

(2021) 10M

Другие планы

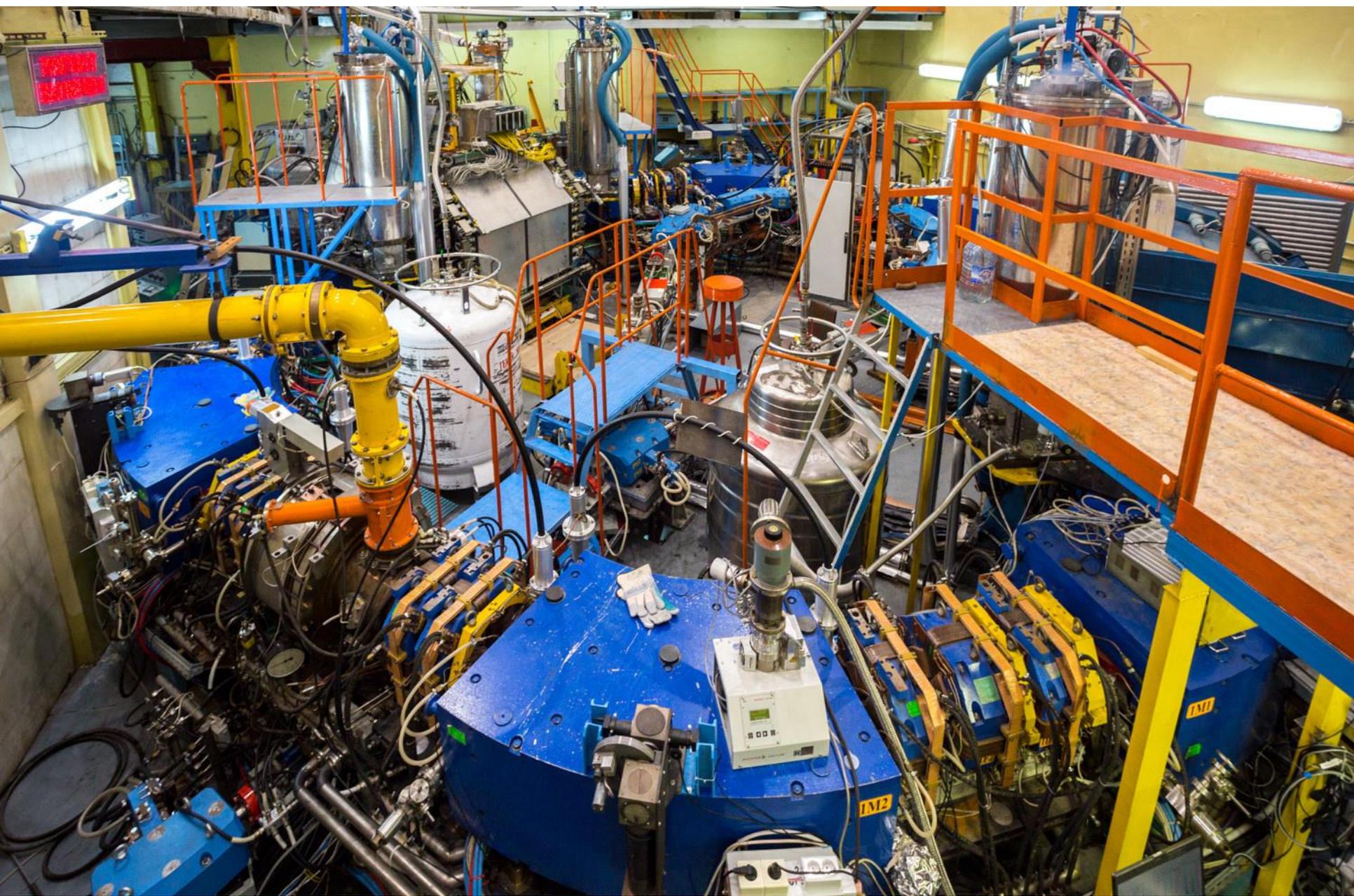
- Получить проектную светимость на 1 ГэВ (2020).
- Набрать 1 фб⁻¹/детектор (2024).
- Новые источники ВЧ-500 (24шт). Ю.Актёршев, О.Беликов (лаб.6.0, 2021)
- Апгрейд 10кА, 2МВт источника питания БЭП (и ВЭПП): новая элементная база + быстрая и надёжная переполюсовка. К.Горчаков (лаб. 6.0, ?).
- Замена источников импульсного питания АККОРД на ГИД-160 (???)
- Апгрейд криогеники: заливка под током + дистанционная заливка. (Е.Пята, ?)
- ~~Второй ВЧ резонатор на ВЭПП-2000 для управления длиной сгустка.~~
(деятельность остановлена)



500А, 20В.

Получено: 2+2.

Опыт эксплуатации 2 шт: keine Probleme



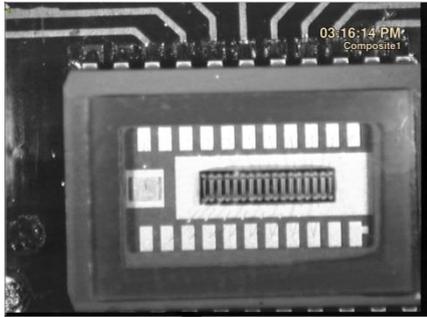
Спасибо всем участникам работы!

backup

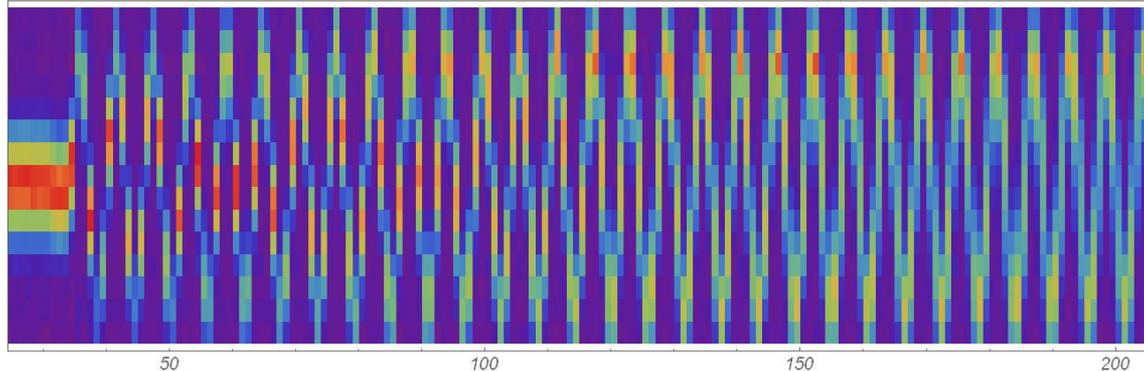
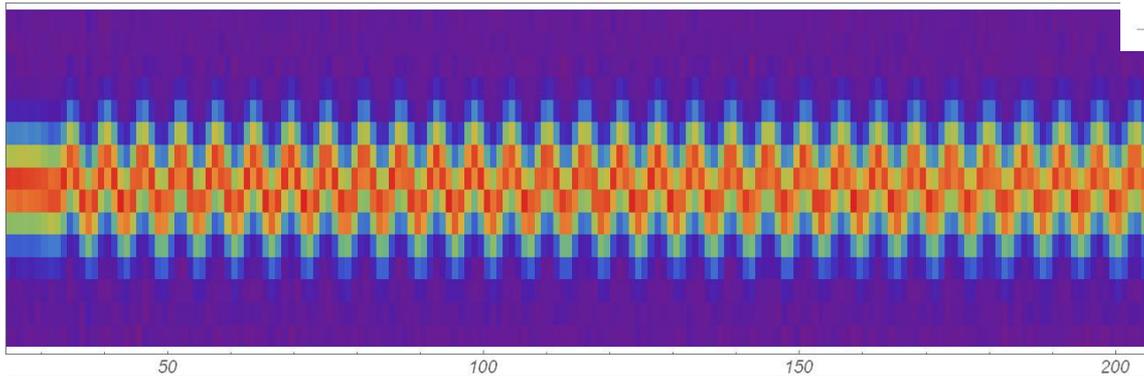
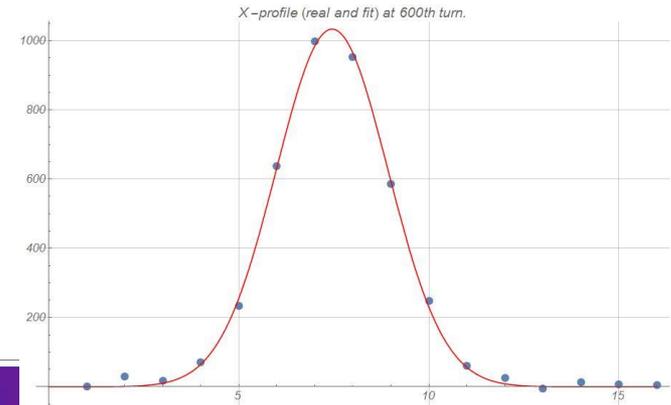
Фотодиодная линейка

О.Мешков, В.Борин, М.Тимошенко, Ю.Жаринов, Г.Карпов

Линейка



Профиль на
600-м обороте



Примеры измерений
ударенного пучка

Позиционирование соленоидов по пучку

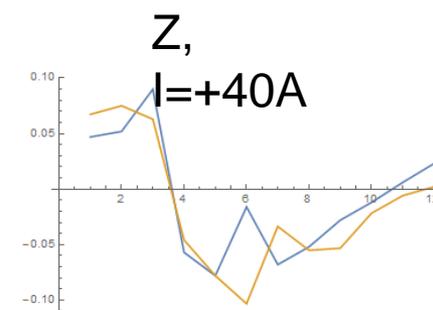
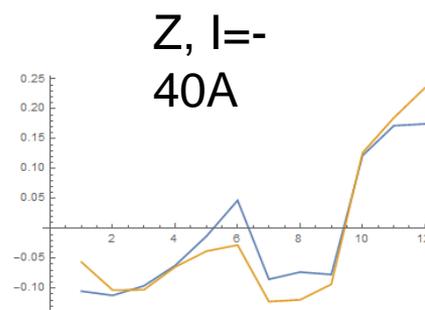
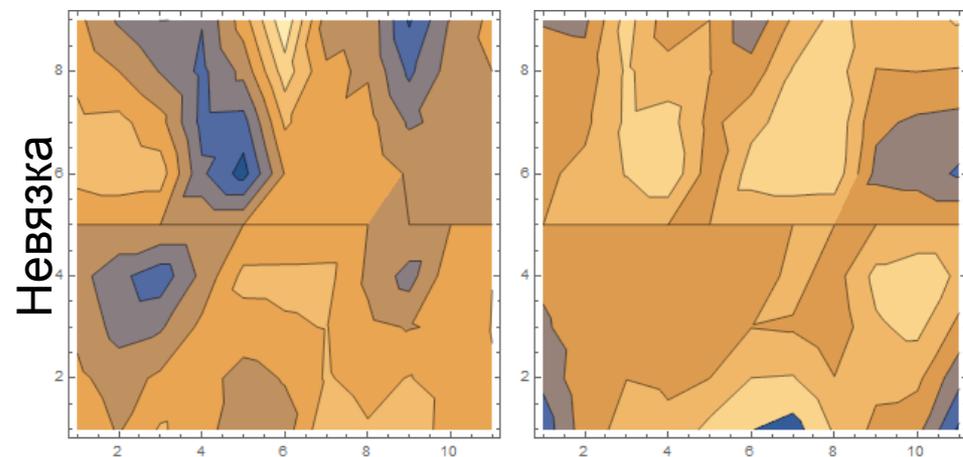
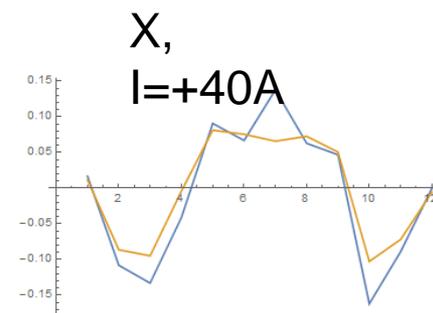
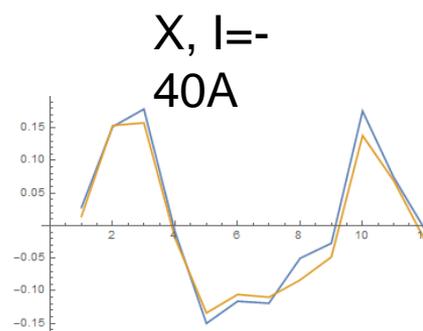
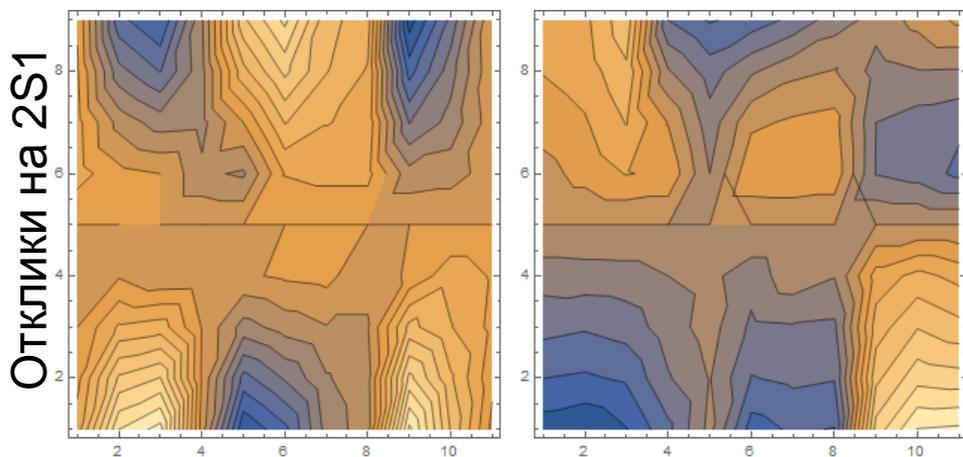
$$\text{diffMatrX} = \text{matrX} - c1 * xRX - c2 * xRDX - d1 * xRZ - d2 * xRDZ;$$

$$\text{diffMatrZ} = \text{matrZ} - c1 * zRX - c2 * zRDX - d1 * zRZ - d2 * zRDZ;$$

$f(c1, c2, d1, d2) = \text{Abs}(\text{diffMatrX}_{ij}) + \text{Abs}(\text{diffMatrZ}_{ij})$ -- функция

цели X

Z



2S1:

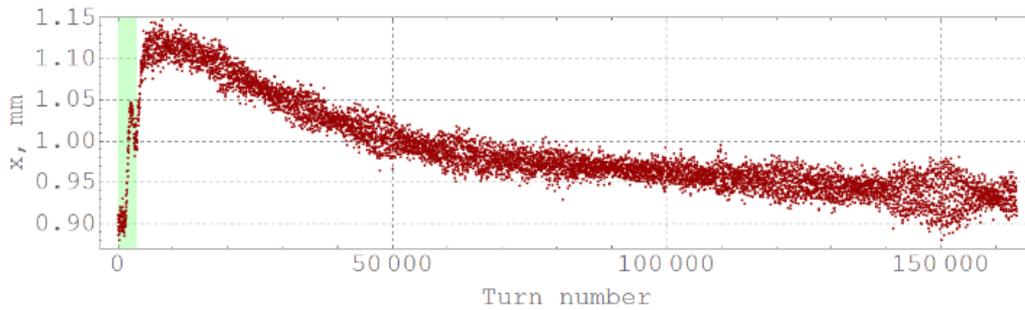
-0.51мм

-0.01мрад

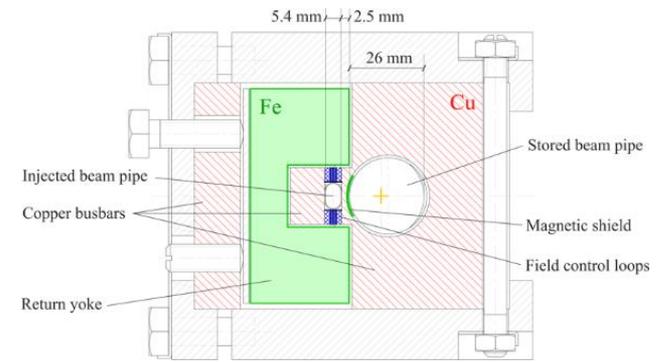
-0.86мм

+0.49мрад

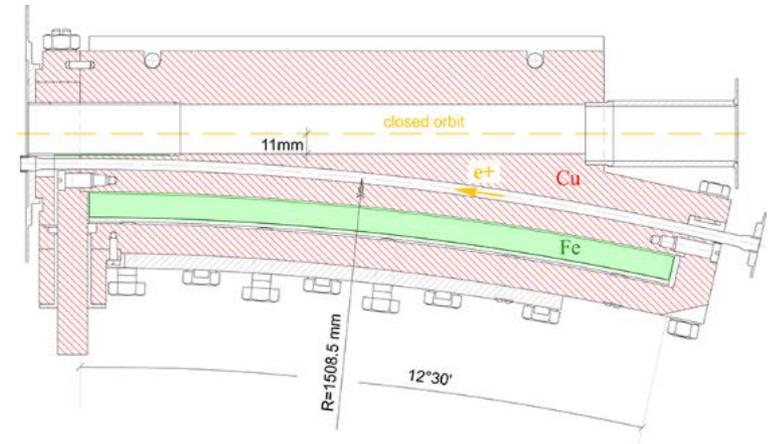
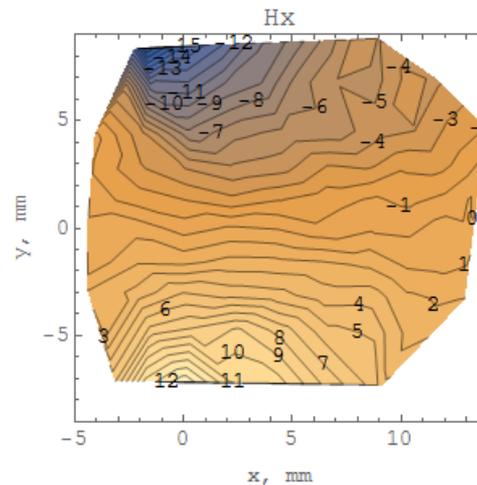
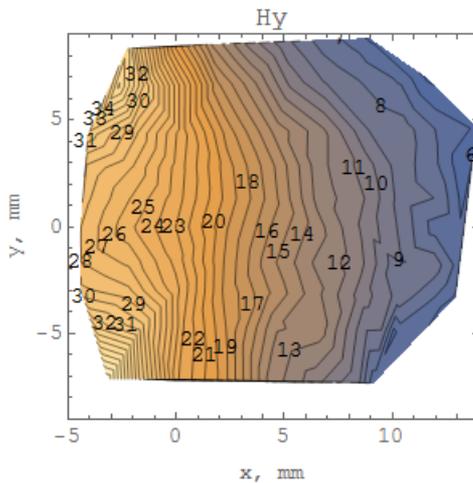
Рассеянные поля септума



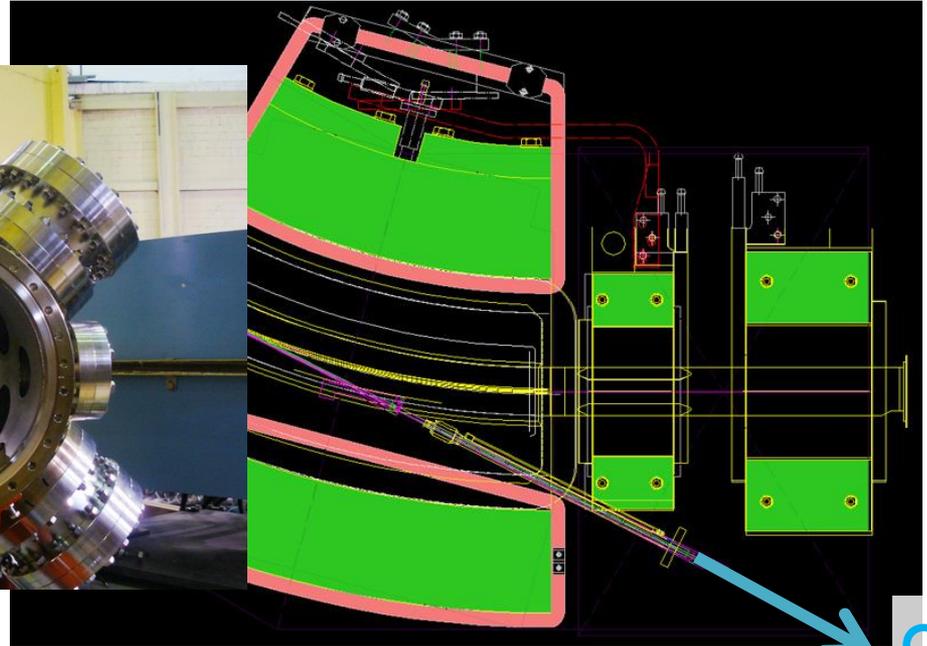
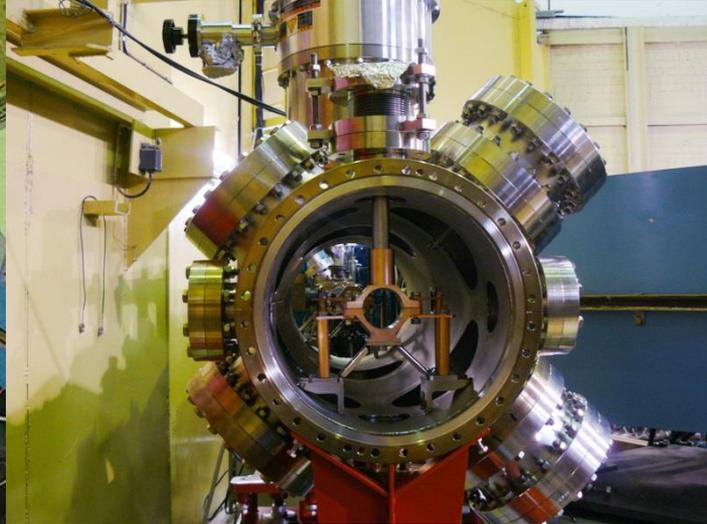
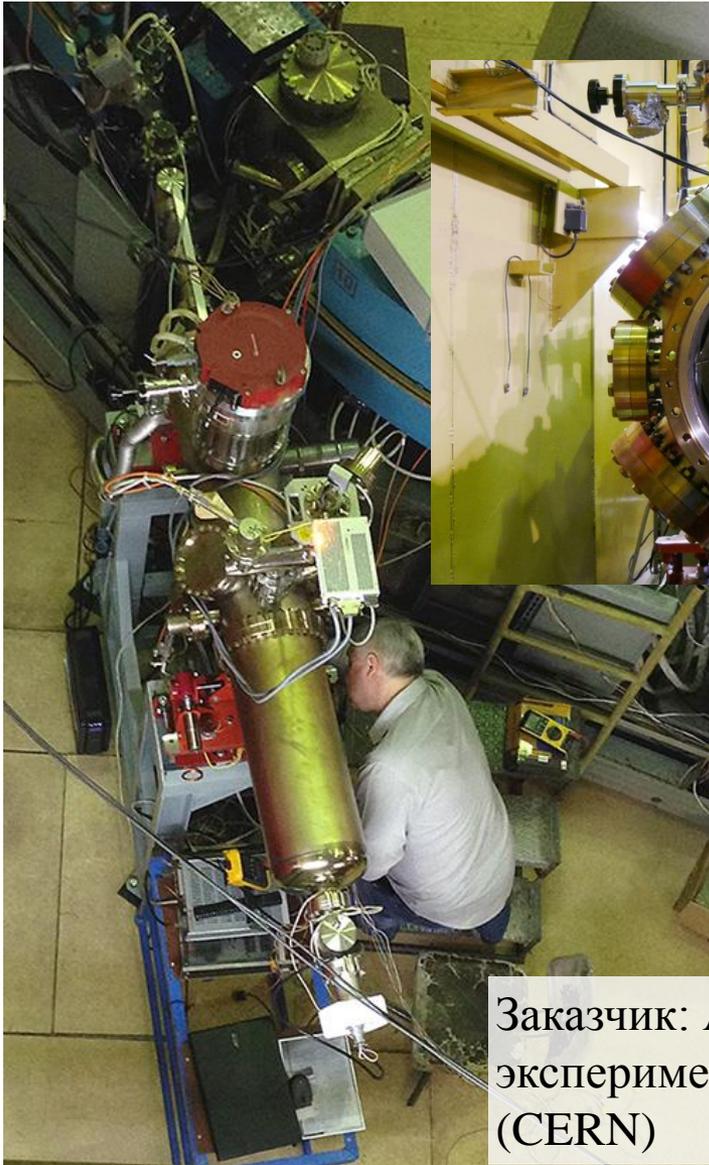
Сигнал с пикапа



Измерения карты поля, по пучку

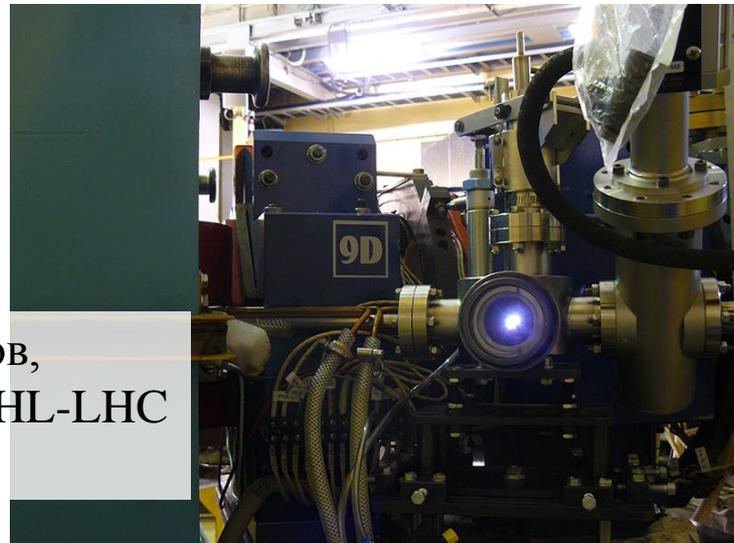


СИ на БЭП



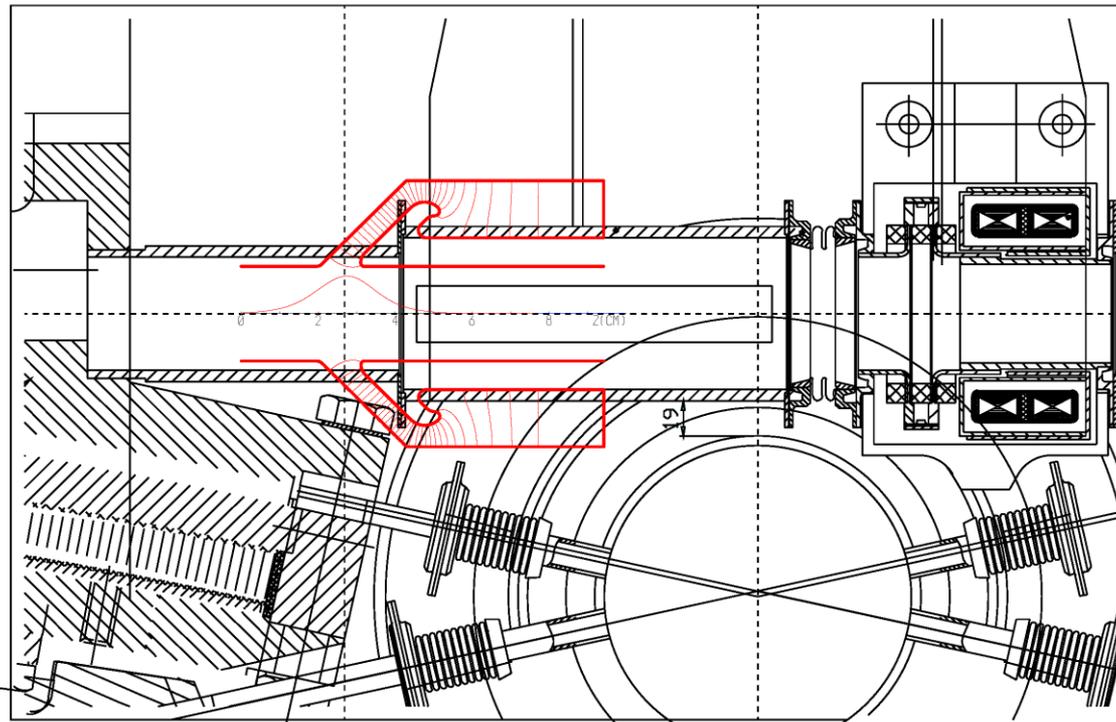
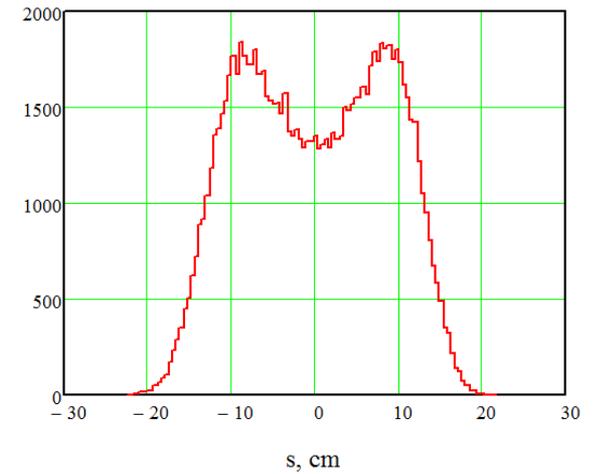
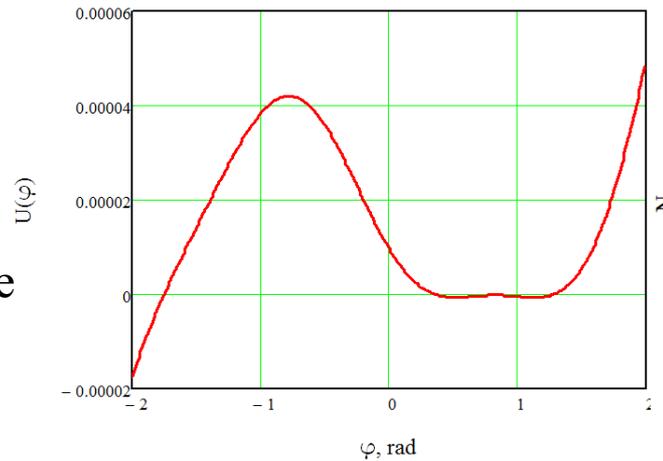
СИ

Заказчик: А.Краснов,
эксперименты для HL-LHC
(CERN)



Пассивный резонатор (?)

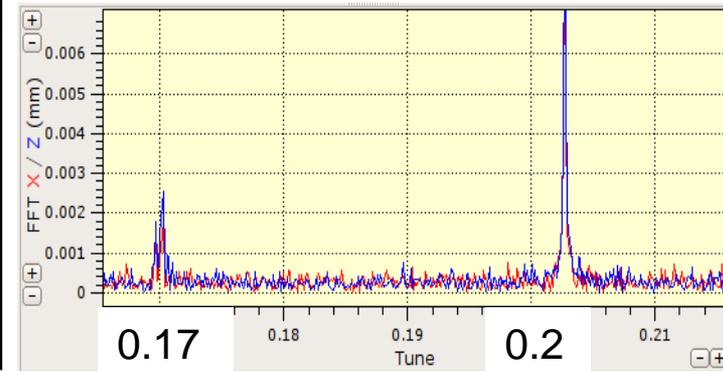
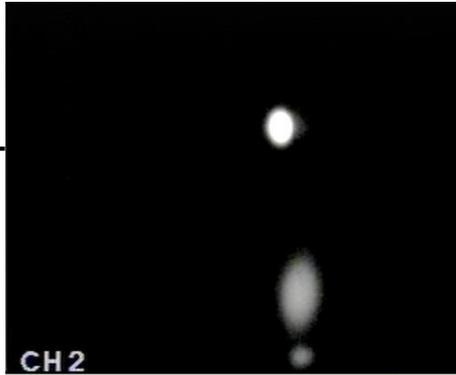
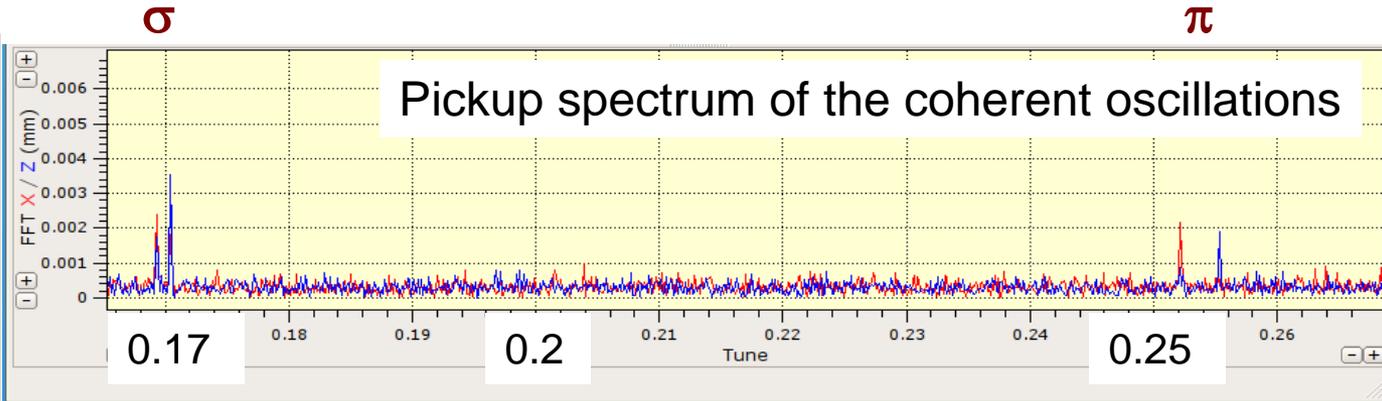
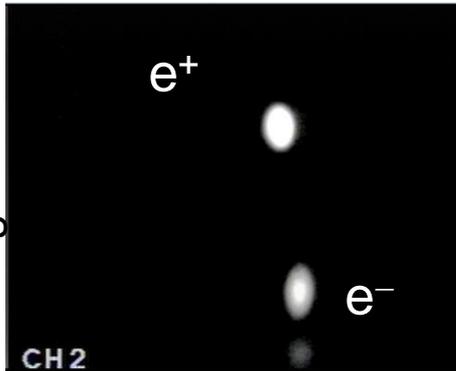
56-я гармоника частоты
обращения:
потенциальная яма и
продольное распределение
(by И.Кооп)



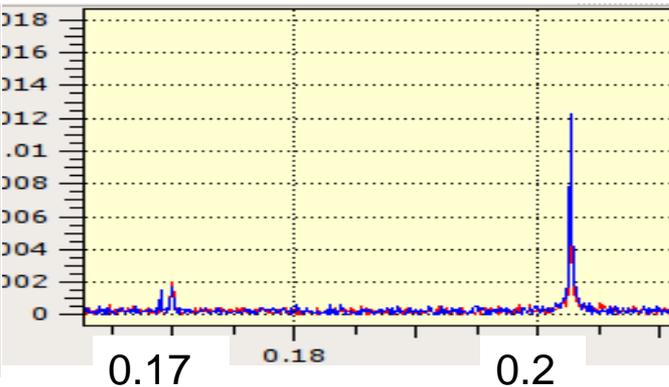
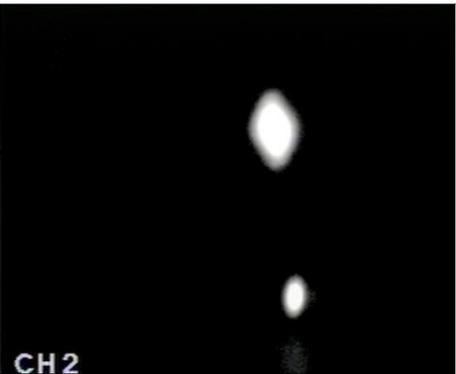
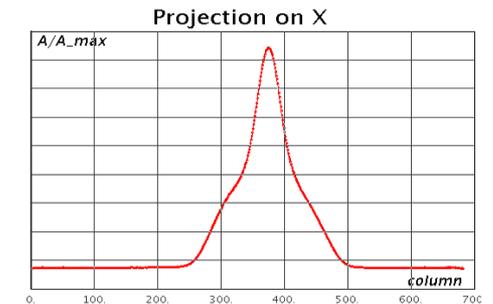
Feasibility study
(by В.Волков)

"Flip-flop" effect

TV



$E = 240$ MeV,
 $I_{\text{beam}} \sim 5 \times 5$ mA



Coherent beam-beam
 π -mode interaction with
machine nonlinear
resonances?