

ВЭПП-2000

в 2022 году

Юрий Роговский

on behalf of VEPP-2000 team

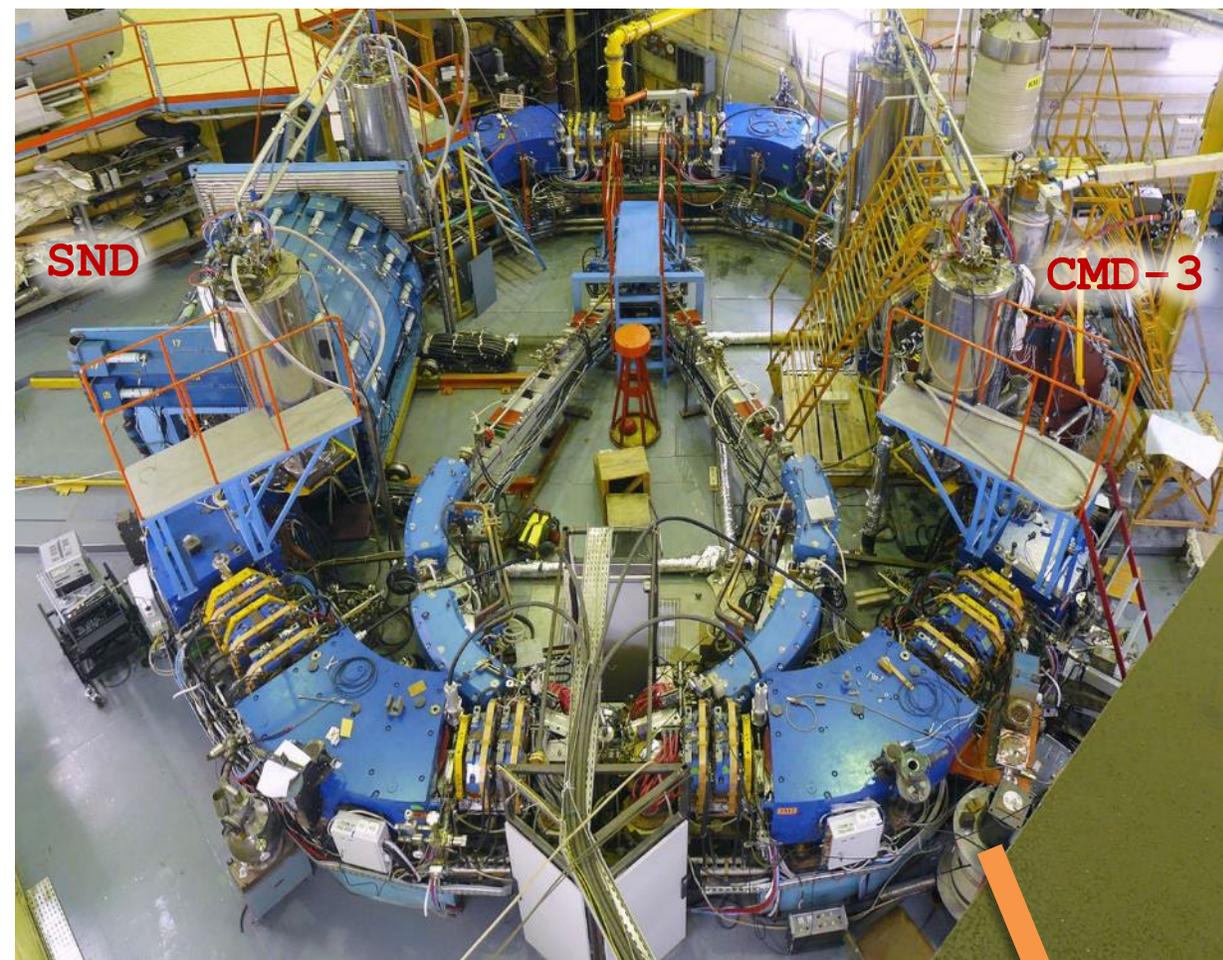
и большого коллектива ИЯФ работающего в интересах
комплекса ВЭПП-2000

Научная сессия ИЯФ

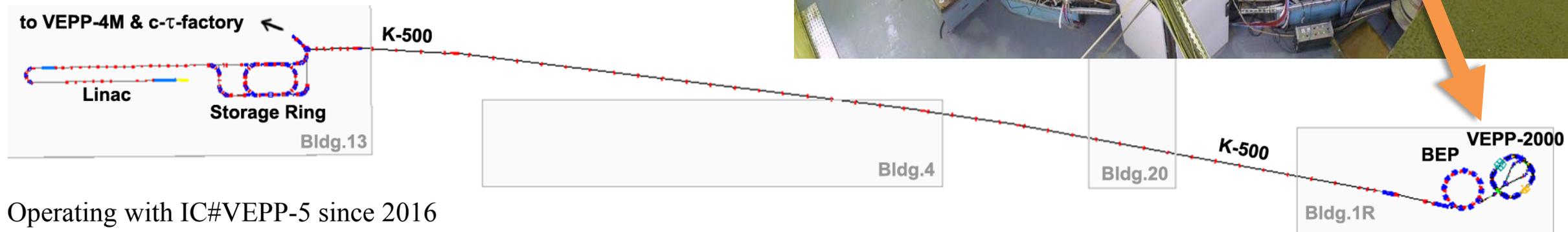
02.03.2023

ВЭПП-2000 в 2021 году

Design parameters @ 1 GeV		@ 2021
Circumference	24.388 m	
Beam energy	150 ÷ 1000 MeV	160-1005
N of bunches	1×1	
N of particles	1×10 ¹¹ / 200 mA	0.9×10¹¹
Betatron tunes	4.14 / 2.14	0.17-0.18
β^*	8.5 cm	
BB parameter	0.1	0.06
Luminosity	1×10 ³² cm ⁻² s ⁻¹	0.5×10³²



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



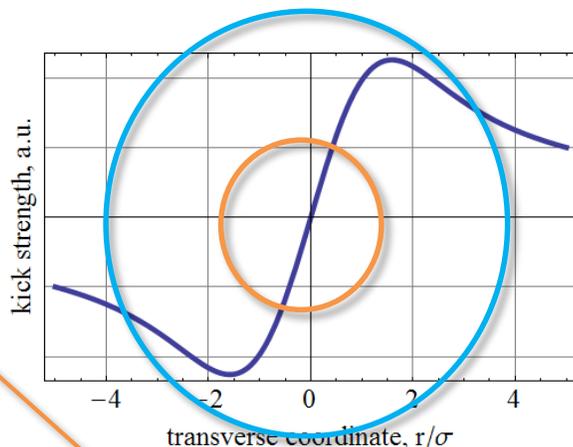
Operating with IC#VEPP-5 since 2016

Эффекты встречи сталкивающихся сгустков

How many interacts? $\frac{L \cdot \sigma_{process}}{f_0} \sim \frac{10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2}{12 \cdot 10^6 \text{ Hz}} \sim 10$ Compare to $N_{bunch} \sim 10^{11}$

Particles unlikely interact with each other. Instead the particle every turn interact with collective field of the charged opposite bunch: beam-beam effects

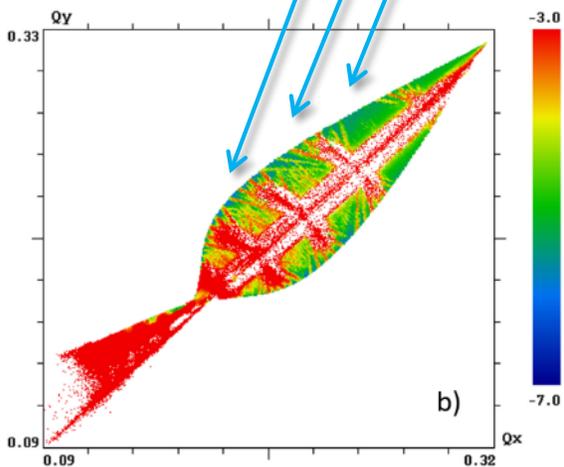
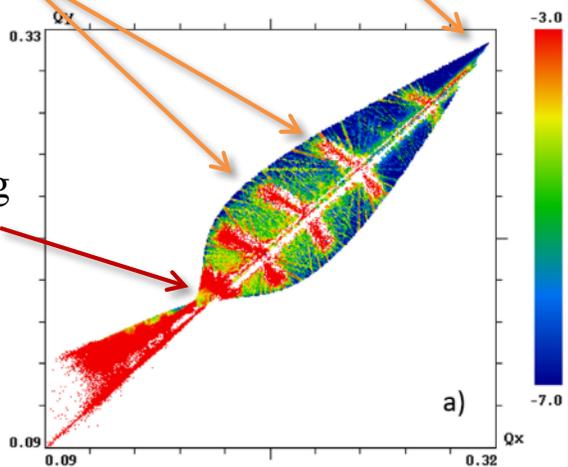
Linear beam-beam: tune shift



Nonlinear beam-beam:
tune spread (footprint)
&
high-order resonance grid

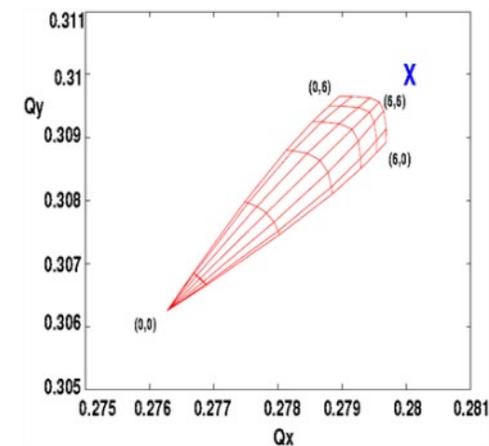
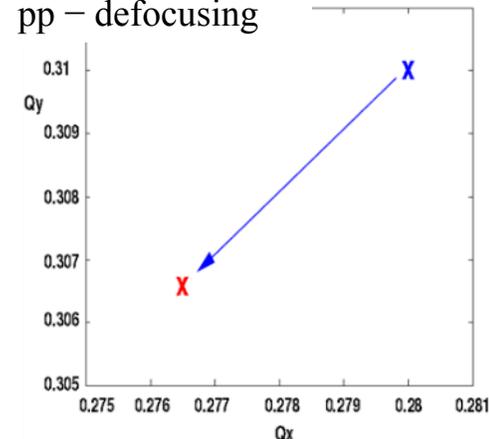
Resonances

Design working point



FMA:
beam-beam
simulations
by Lifetrac

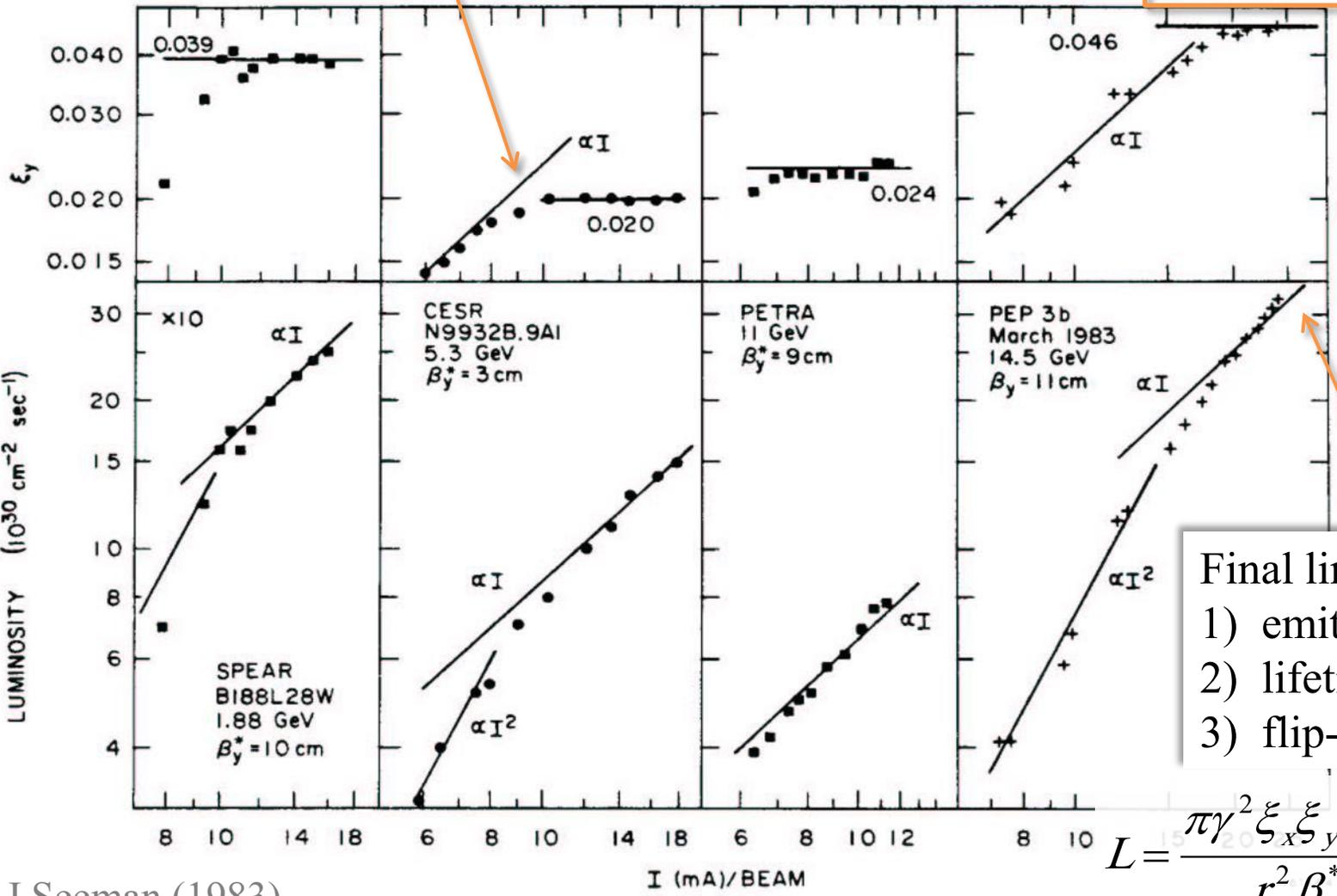
LHC example:
pp – defocusing



Ограничения по эффектам встречи в коллайдерах

Beam-beam parameter saturation,
emittance (and beam size) growth

$$\xi_{x,z} = \frac{r_e \beta_{x,z}^*}{2\pi\gamma} \cdot \frac{N_2}{\sigma_{x,z}(\sigma_x + \sigma_z)}$$



Specific luminosity vs
beam current @ VEPP-2M

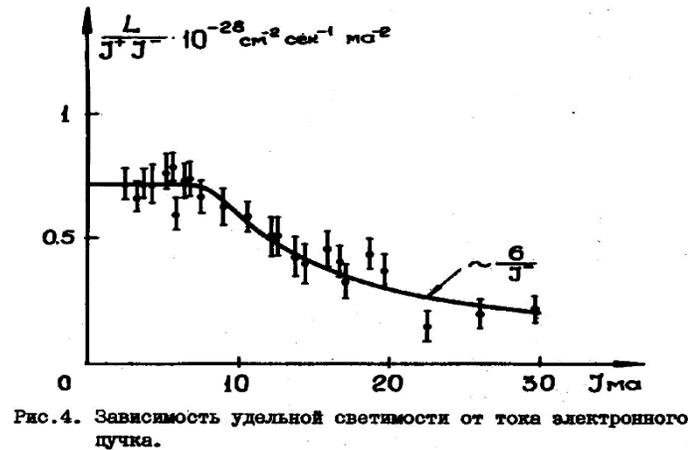


Рис.4. Зависимость удельной светимости от тока электронного пучка.

Final limit:
1) emittance blowup,
2) lifetime reduction,
3) flip-flop effect

$$L = \frac{\pi\gamma^2 \xi_x \xi_y \epsilon_x f}{r_e^2 \beta_y^*} \left(1 + \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \right)^2$$

Концепция встречных круглых пучков

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



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).

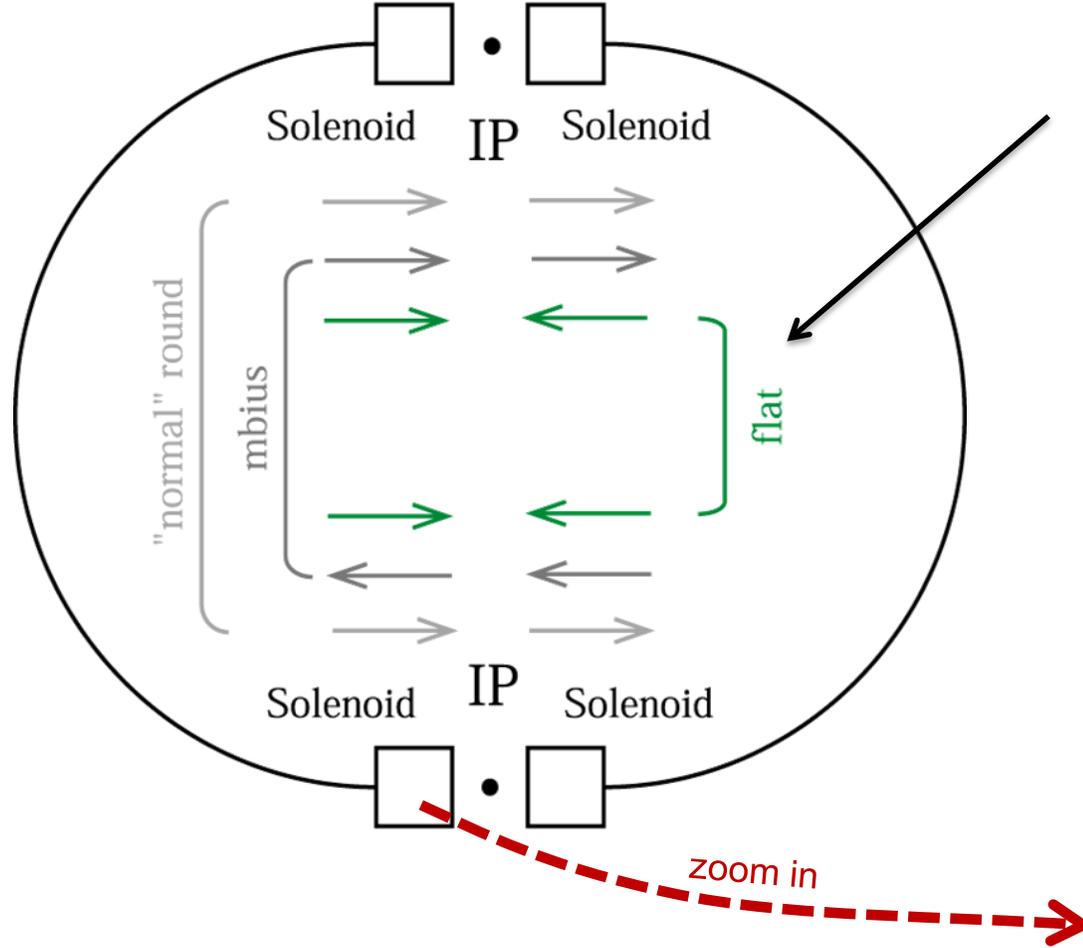
L.M. Barkov, et. al, Proc. HEACC'89, Tsukuba, Japan, p.1385.

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.

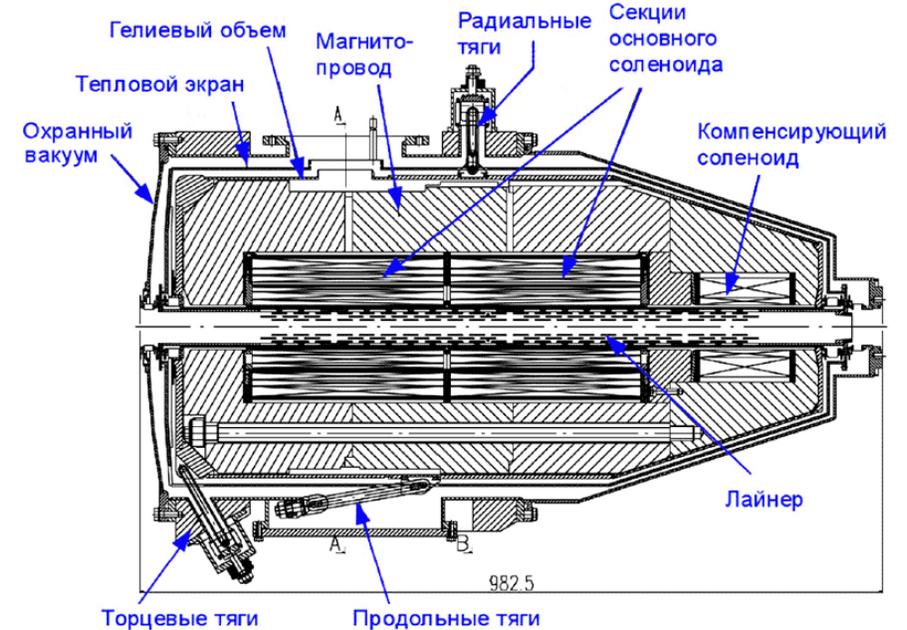
Круглые пучки @ ВЭПП-2000



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

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

Короткие соленоиды – ниже 600 МэВ



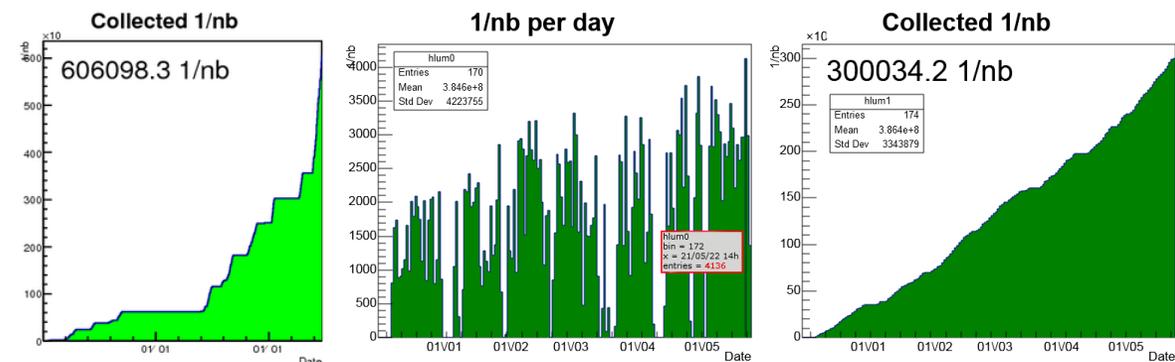
Хронология 2022 (1)

- 25.12.2021 – сочинили ручку, симметризирующую набег фаз IP-IP. Светимость $5 \cdot 10^{31}$.
- 12.01.2022 – прошли отметку 400пб-1
- 13.01.2022 – 1.5пб-1 за смену. Дек-Фев – проблемы с ВЧ ВЭПП...
- 03.02.2022 – Сместили частоту обращения. Светимость $6 \cdot 10^{31}$. Ток 410мА.
- 04.02.2022 – светимость $7 \cdot 10^{31}$. Ток до 450мА.
- 06.02.2022 – 1.6пб-1 за смену.
- 19.02.2022 – отгорел контакт на MP5. Долго и мучительно разбирали-собирали
- 02.03.2022 – 2пб-1 за смену
- 04.03.2022 – прошли отметку 500пб-1
- 12-15.03.2022 – крио-авария КМД
- 16-21.03.2022 – авария на ИК
- 21.03.2022 – отгорели контакты 1SQ3 на клемнике в подвале.
- 25.03.2022 – обнаружены отгоревшие нагрузки ("ромашки" Жаринова) на полосках. Нагрузки на каждую фишку + больше охлаждения
- 01.04.2022 – энергия 935 МэВ, суммарный ток 450мА
- 08-13.04.2022 – профилактика и ремонт ИК
- 14.04.2022 – преодолели 200пб-1 за сезон.
- 22.04.2022 – 900 МэВ
- 27.04.2022 – энергия 890 МэВ, светимость $\sim 9 \cdot 10^{31}$ см-2с-1
- 30.04.2022 – суммарный ток до 500мА
- 06.05.2022 – энергия 860 МэВ. Прошли 250пб-1/сезон и 600пб-1 всего
- 21.05.2022 – рекордный интеграл за сутки 4.14пб-1 (820 МэВ). Интеграл за сезон перевалил 300пб-1
- 04.06.2022 – ИК перестал выдавать пучок. Клистрон №1 фактически не работает
- 14.06.2022 – выключение комплекса

Контакт импульсного магнита



Охлаждение ФЗ



Еще проблемы и ограничения

- Кикеры впуск-выпуск ВЭПП-2000 – долговременная стабильность / надёжность
- ВЧ ВЭПП – немотивированные отключения, медленная настройка (пьезотюнеры)
- На верхней энергии регулярные квенчи: 7 срывов за 3 недели
- **Фоновые условия детекторов (в основном СНД)**
- **Электромагнитная наводка на элементы ДК КМД-3**
- Проблемы интенсивного пучка: нагрев полосковой линии, феррозонда (aka DCCT)
- Расход гелия на 2-м криостате. Зависит от тока пучка, феномен не изучен, эксперимент кончился квенчем.
- Перепуски БЭП-ВЭПП: 50-60% в пустое кольцо, 5-15% в рабочем режиме, феномен не изучен

Полосковая линия



Расход гелия

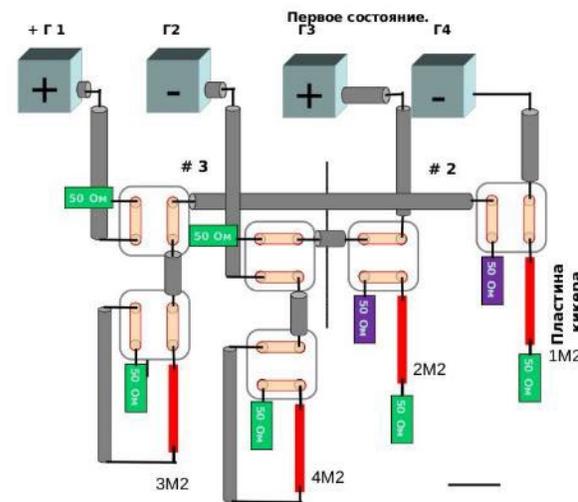
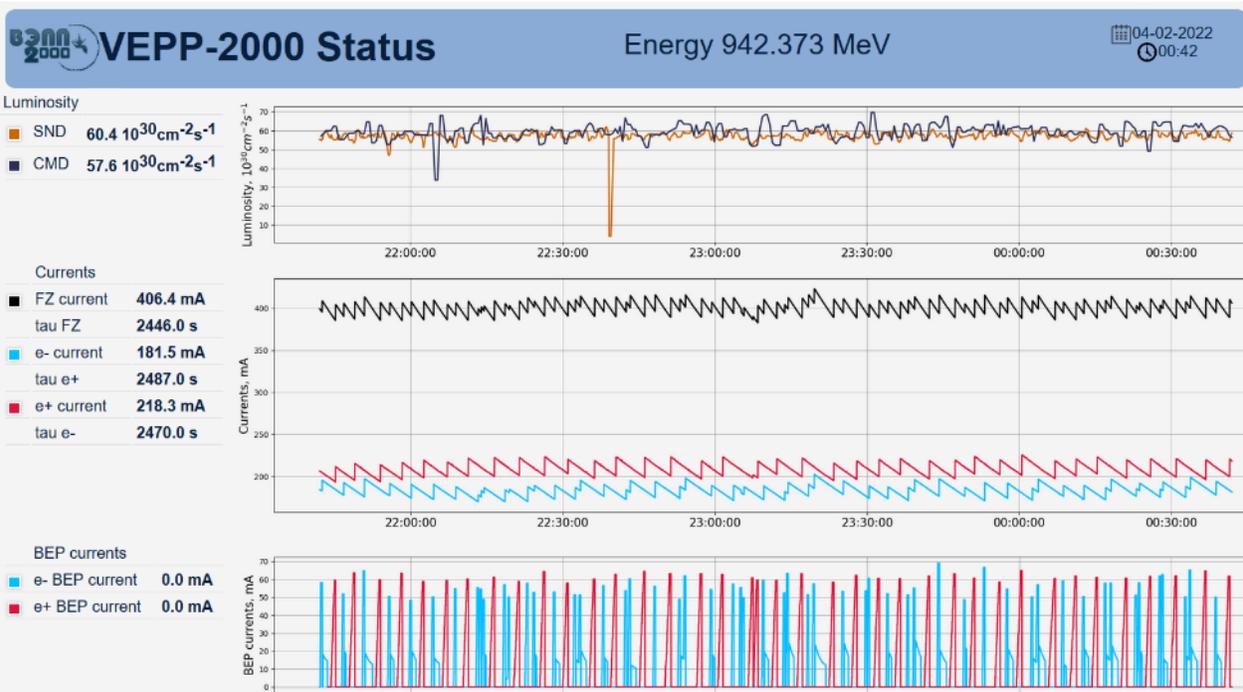


Схема коммутаторов кикеров

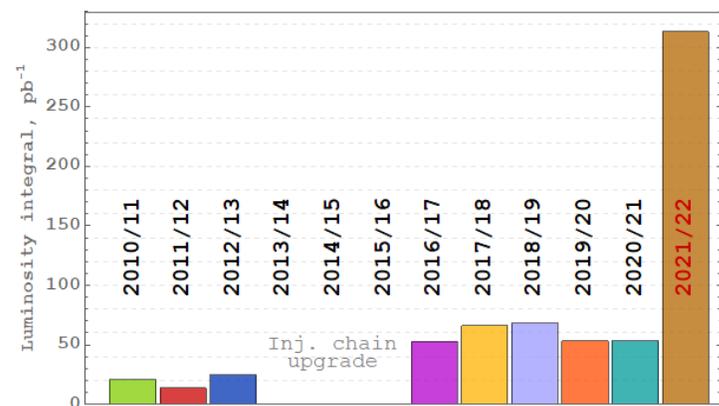


Охлаждение ФЗ

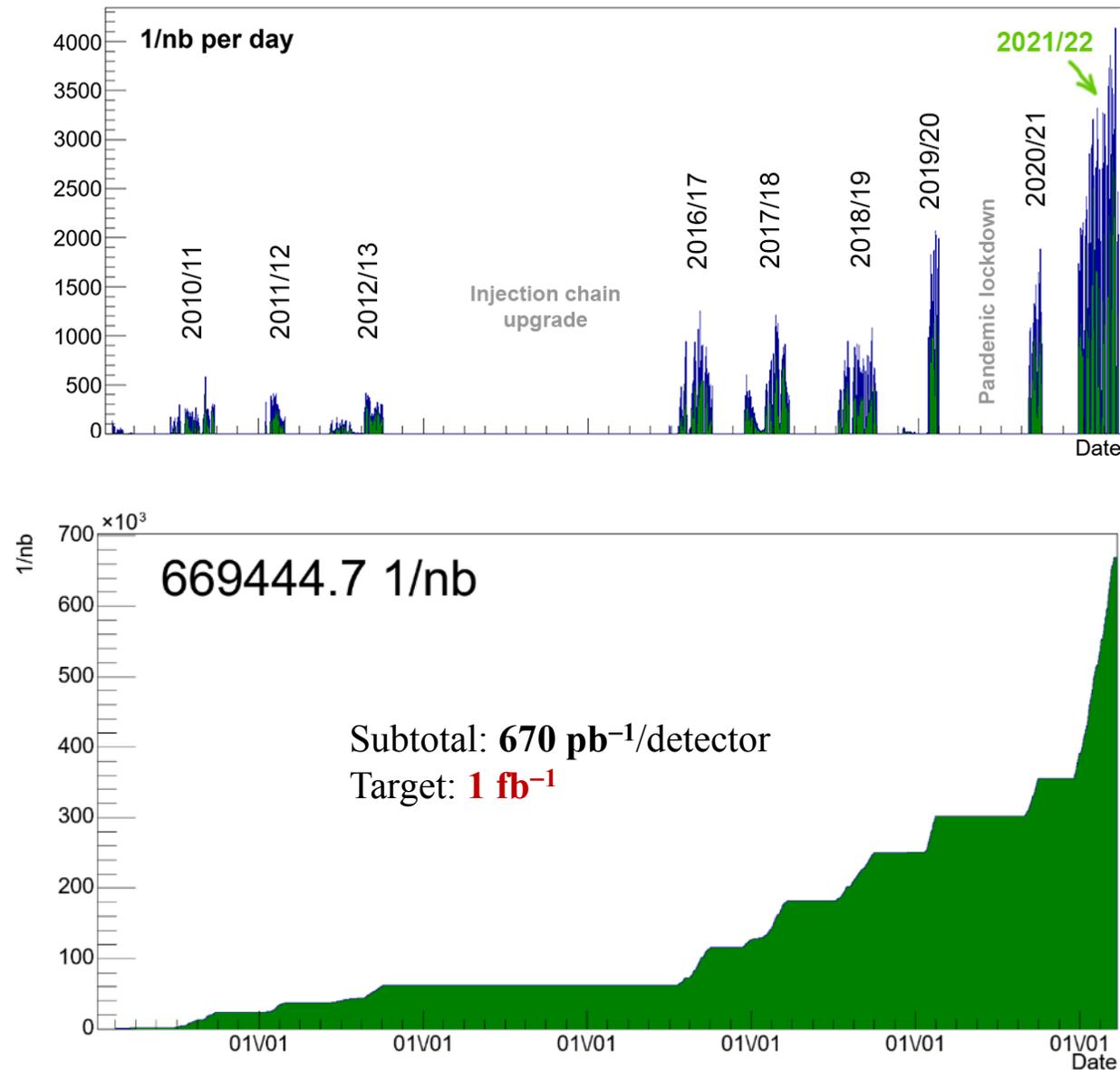
Набор данных



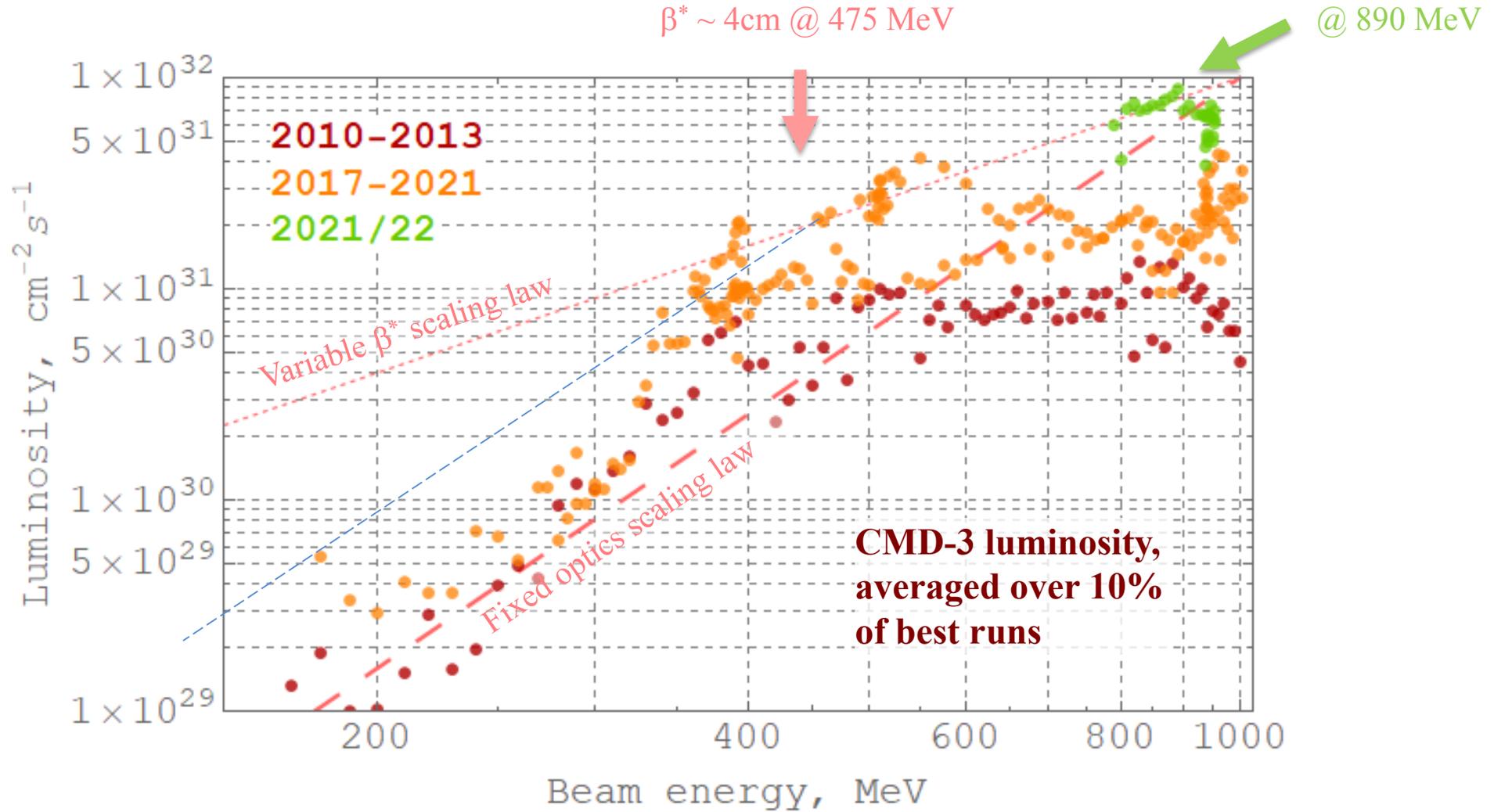
Скриншот статусной страницы регулярной работы коллайдера на пороге рождения нейтрон-антинейтронных пар. 02 Апреля 2022.



Наибольший суточный интеграл: 4.14 pb^{-1} ,
получен 21.05.2022

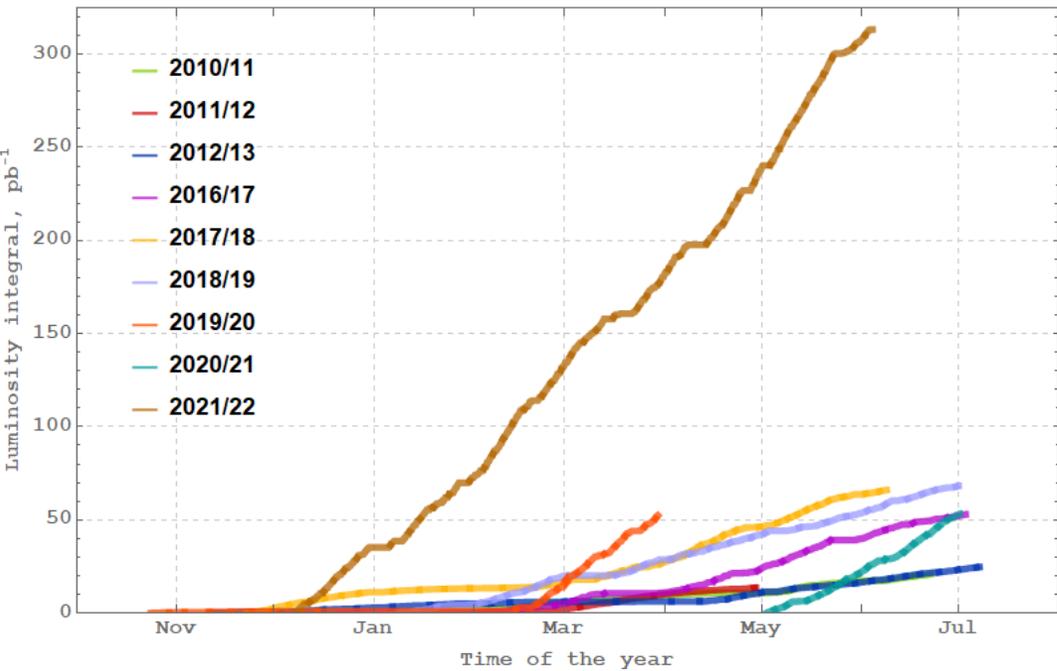


Достигнутая светимость



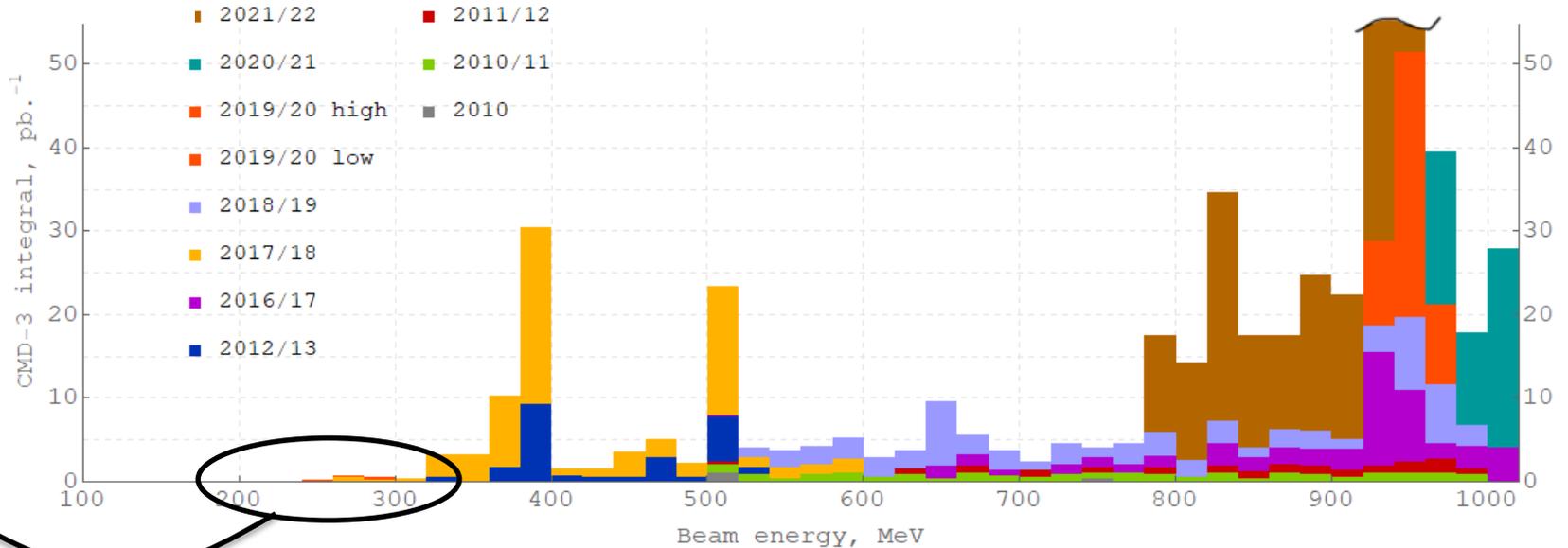
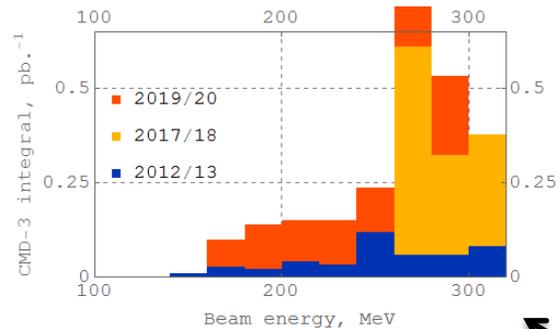
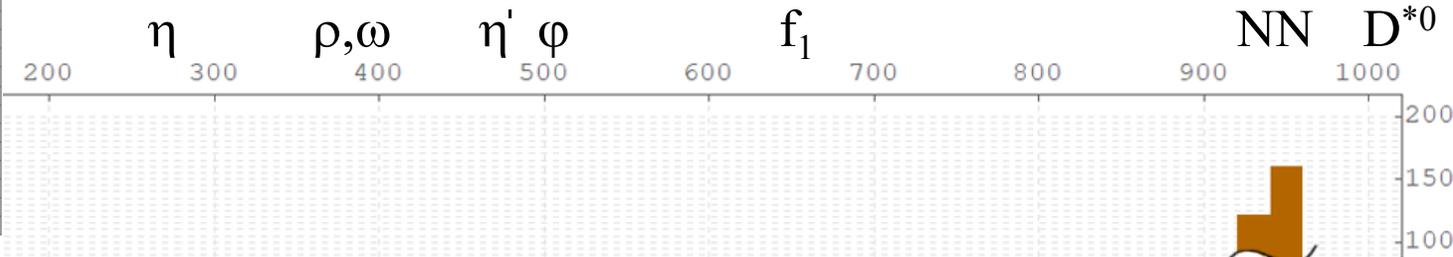
Текущий абсолютный рекорд пиковой светимости: $L_{\text{peak}} = 9 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ @ 890 MeV

Распределение набранного интеграла

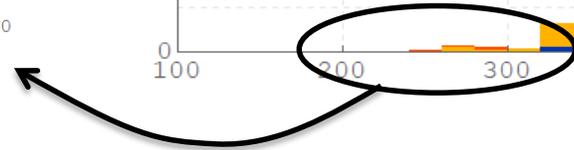


Reasons for data taking rate progress @ high energies:

- β^* increase $\sim 10\%$ (better top-up injection efficiency)
- Accurate IP-IP betatron phase advance tuning (emit. blow-up supp.)
- RF-frequency change (detectors background suppression)
- New PS for f1-quads (freedom for achromats tuning)
- IC stable & plentiful e^+ provision (peak2mean Lum $< 10\%$)



Lowest energy ever obtained in e^+e^- colliders



Хронология 2022 (2)

- Авг-Нояб. – ремонт в 3-ем блоке 1-го здания ИЯФ – экспериментальный зал ИЯФ
- 22.11.2022 – вскрытие и ремонт клистрона №1 на ИК
- 20.12.2022 – электроны перед подъемом в БЭП (энергия ~ 395 МэВ)
- 21.12.2022 – начало ремонта стойки ВС-37 (АККОРД, элементы КБВ)
- 26.12.2022 – электроны в ВЭПП-2000, проверка подсистем после ремонта в здании
- 27.12.2022 – электроны, 370 мА в ВЭПП, теплая оптика
- 28.12.2022 – конец сезона
- Новогодние каникулы, ИК вывел клистрон №1 на рабочий режим
- 11.01.2023 – начало сезона, старт захолаживания соленоидов
- 18.01.2023 – соленоиды заправлены, первое включение, выход из строя ВЧ-300-8R
- 20.01.2023 – начало починки ГИД-3600 для 6М9 (пропала стабильность, нет заряда банок)
- 30.01.2023 – первая светимость в ВЭПП-2000, сезон открыт
- 02.02.2023 – 2 пб-1 за смену @ 790 МэВ
- 06.02.2023 – 1.5 пб-1 за смену @ 780 МэВ, светимость 0.5
- 16.02.2023 – 2 пб-1 за смену @ 797 МэВ, светимость 0.6
- 23.02.2023 – вакуумная авария на ИК, ВЧ резонатор накопителя
- 02.03.2023 – ИК обезгаживает кольцо накопителя малым током

Из записей в одном журнале.... 03.02.2023

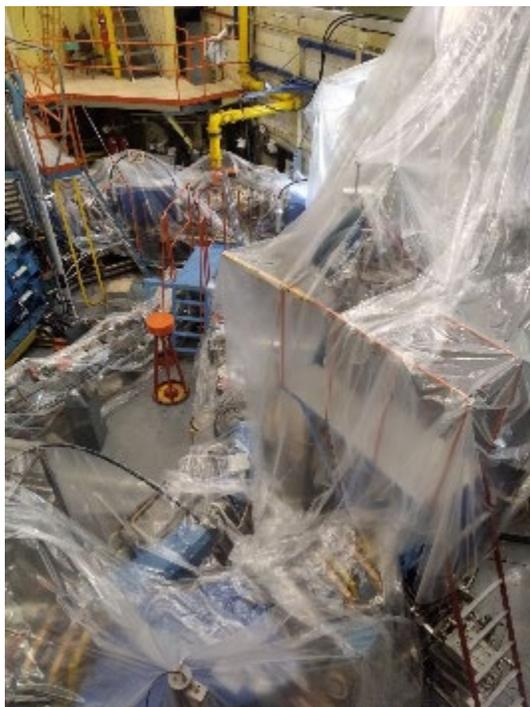
День. 790 МэВ

February 3rd, 2023  Operator  Edit this entry  Print This Post

Приходил дежурный СНД (Д.), далее диалог со мной (Тимошенко - Я):
Д: Какие планы?
Я: Заправка закончится и начинаем светить
Д: Светимость будем поднимать?
Я: Хотелось бы, но нас ограничивает КМД и их зашкаливающий триггер
Д: ОК

Posted in [ВЭПП](#)
 No Comments

Ремонт кровли и экспериментального зала ВЭПП-2000



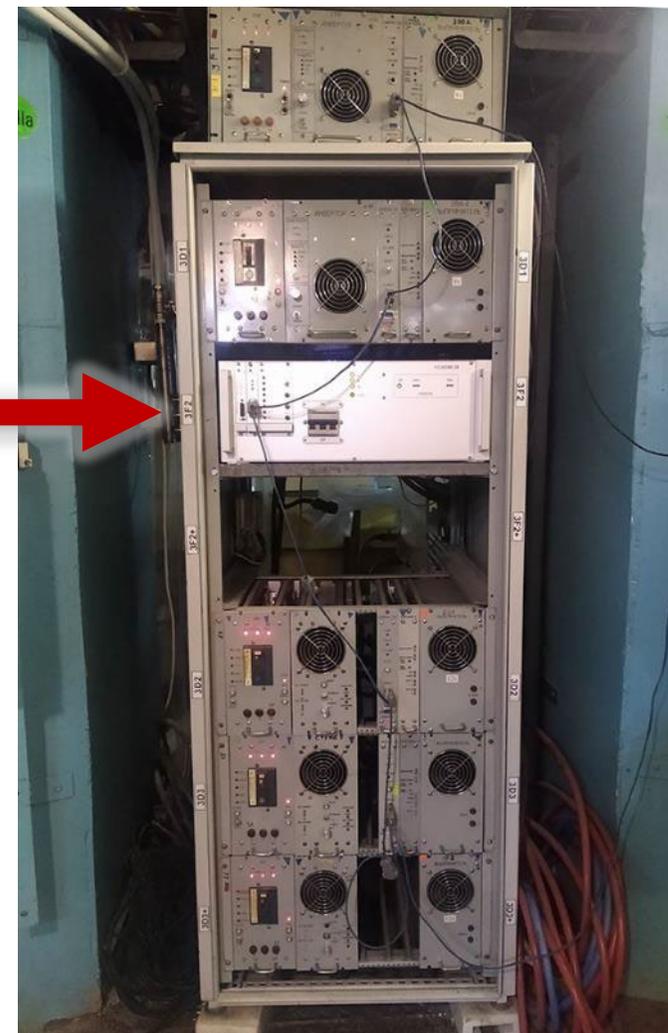
Праздник в отдельно взятом подвале

Ждём в 2022 году:

- 1) Остальные ВЧ-500 (> 20шт)
- 2) Первую партию ГИД-160 (импульсное питание на замену Аккордов)
- 3) Полупроводниковый усилитель ВЧ БЭП
- 4) Новые источники соленоидов (12шт)



ВЧ-500-20 (4шт), семейство f3 @ 2022



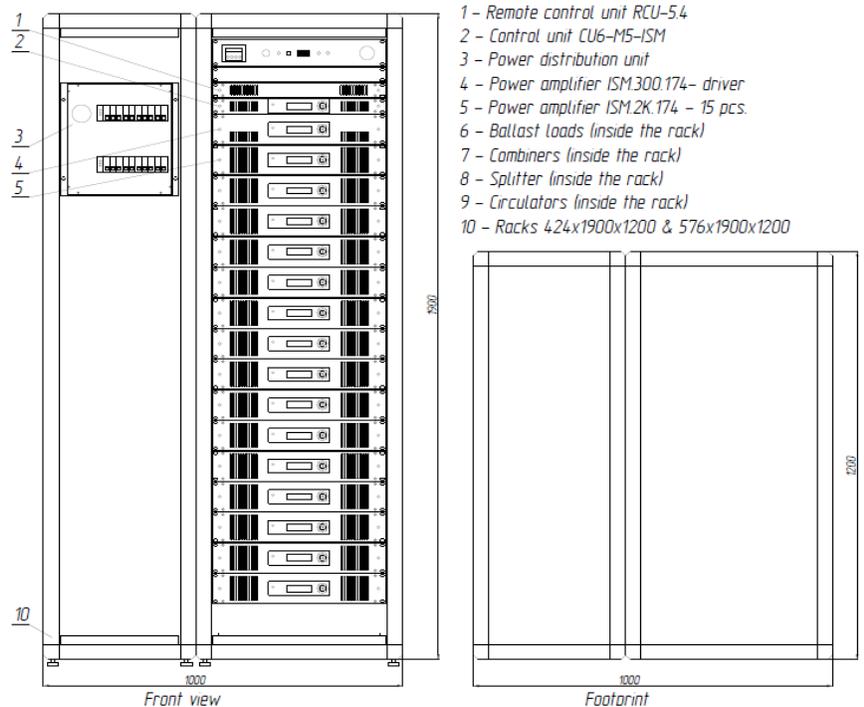
Ждём в 2023 году:

- Остальные ВЧ-500 (21 шт)
- Собраны в РМ
- Отданы для настройки в лаб.6
- Будут передаваться группами по 6 шт. для установки прямо во время работы в сезоне

Модернизация: ВЧ выходного каскада бустера БЭП

№ п / п	Наименование характеристики	Значение (описание)
1	Диапазон рабочих частот	172÷176 МГц
2	Максимальная выходная мощность.	30 кВт
3	Режим работы.	Непрерывный
4	Кoeffициент усиления.	45 дБ (уровень входного сигнала ~1 Вт)
5	Сопrotивление фидерной линии.	50 Ом
6	Требования к выходной мощности в различных режимах работы усилителя.	Рабочий режим усилителя лежит в диапазоне от 1% до 100% номинальной мощности
7	Питание от 3-х фазной сети.	400В±10% 50 Гц
8	Габаритные размеры ГхШхВ	1500x1000x1900 мм
9	Охлаждение водяное, дистиллятом. Расход воды 60л/мин.	Усилитель подключается непосредственно к системе охлаждения ускорительного комплекса.
10	Избыточное рабочее давление в охлаждающем трубопроводе.	300 кПа
11	Максимальная температура воды на входе усилителя.	35°C

ISM.30K.174

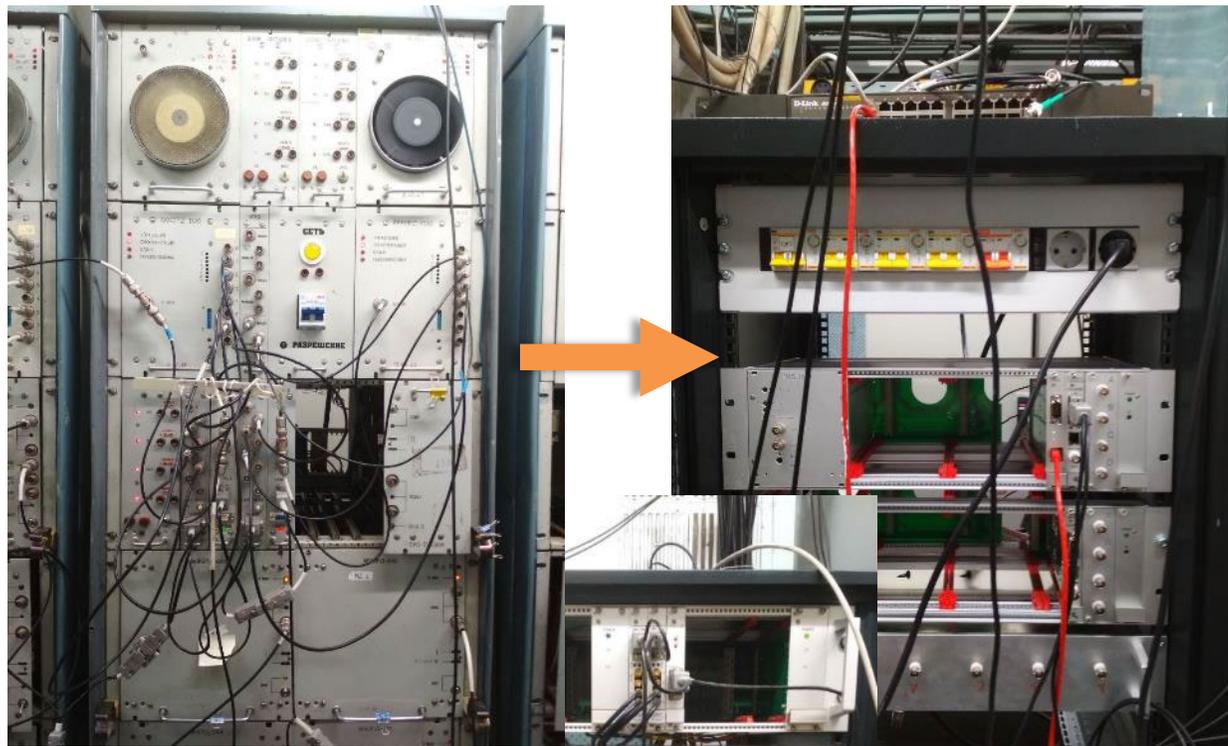


Triada-TV



Delivered to BINP @ December 2022 (??)
 Total price – 10.000k rub.
 Tested @ low level @ TriadaTV site

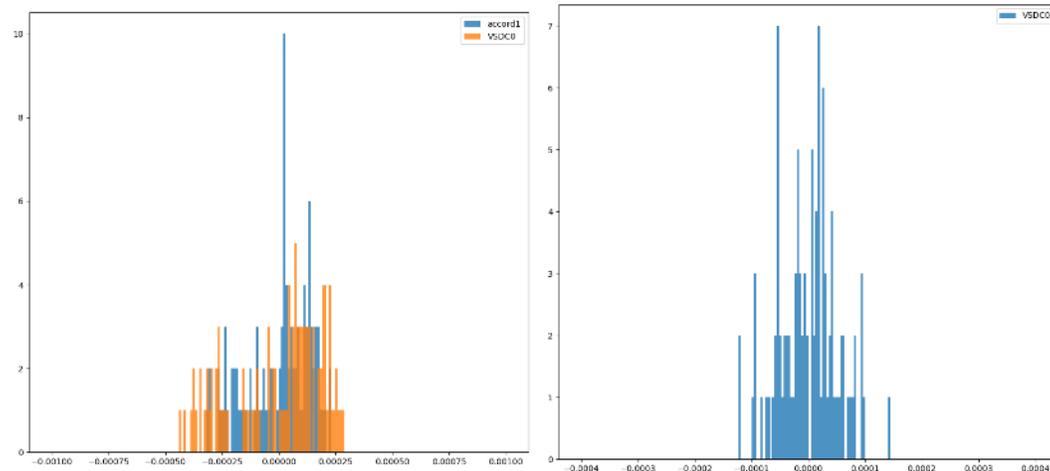
Модернизация: АККОРД => ГИД-160 элементов КБВ



АКОРД: 2 channels

ГИД-160: 1 channel

ГИД-25: 8 channels



АКОРД: stability $2 \cdot 10^{-3}$

ГИД-160: stability $2 \cdot 10^{-3}$

Delivered FOS to BINP @ 2022
Total price – 3.000k rub.

- ✓ Комплектация для 3 корзин
- ✓ Проверена стабильность
- × Долговременный дрейф

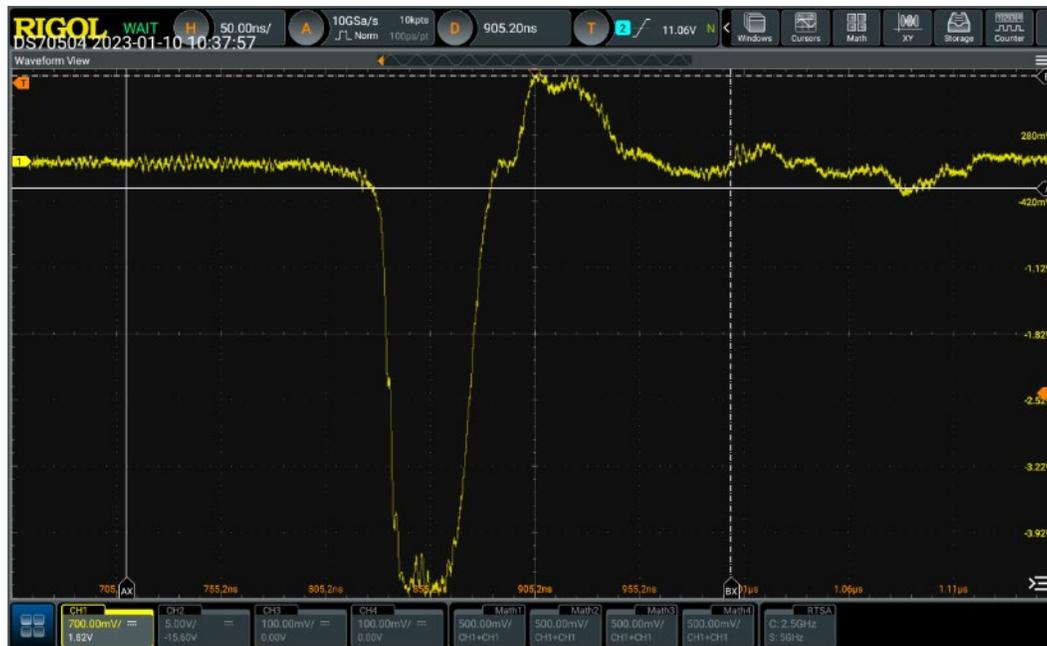
- ✓ ПО управления
- × Интеграция в СУ ВЭПП-2000

Модернизация: ГИН системы впуска-выпуска ВЭПП-2000



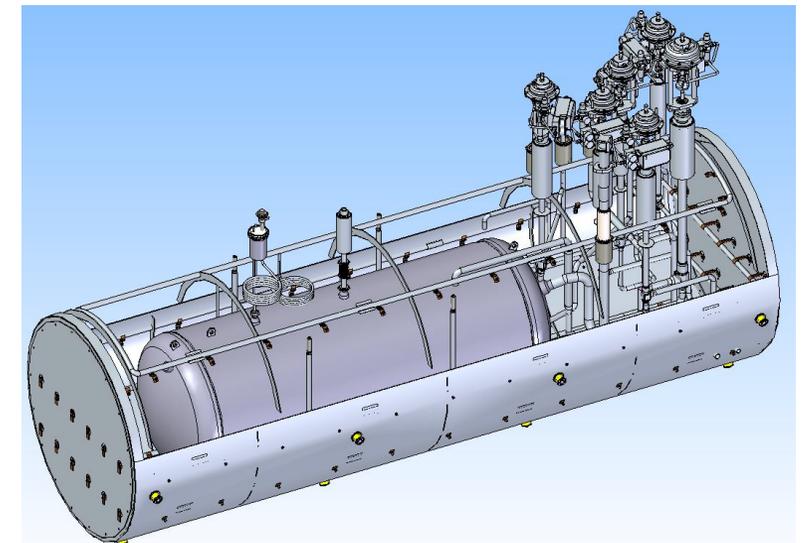
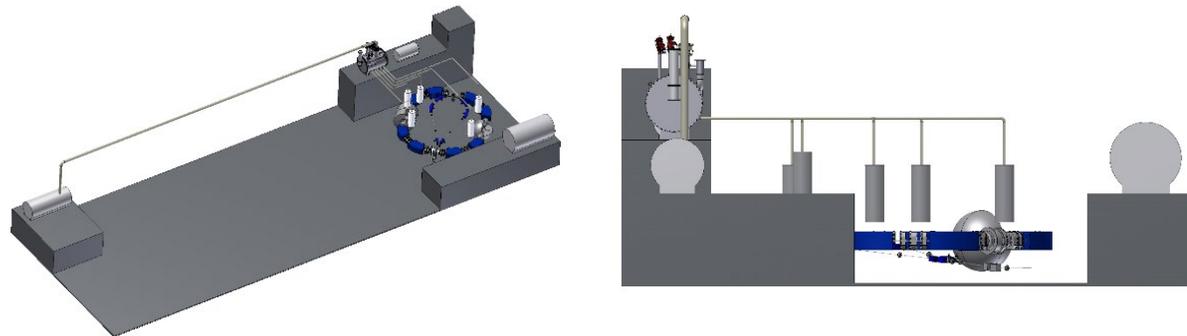
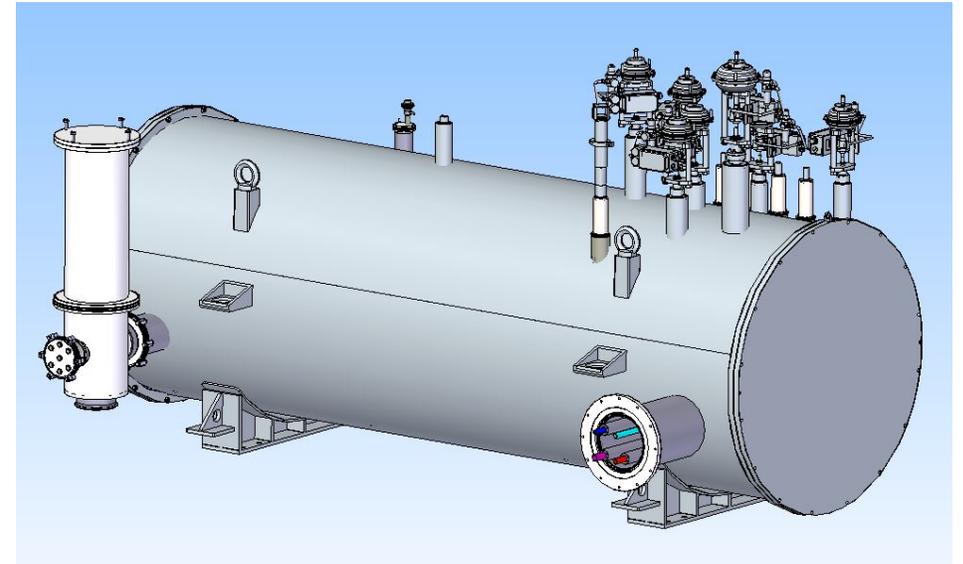
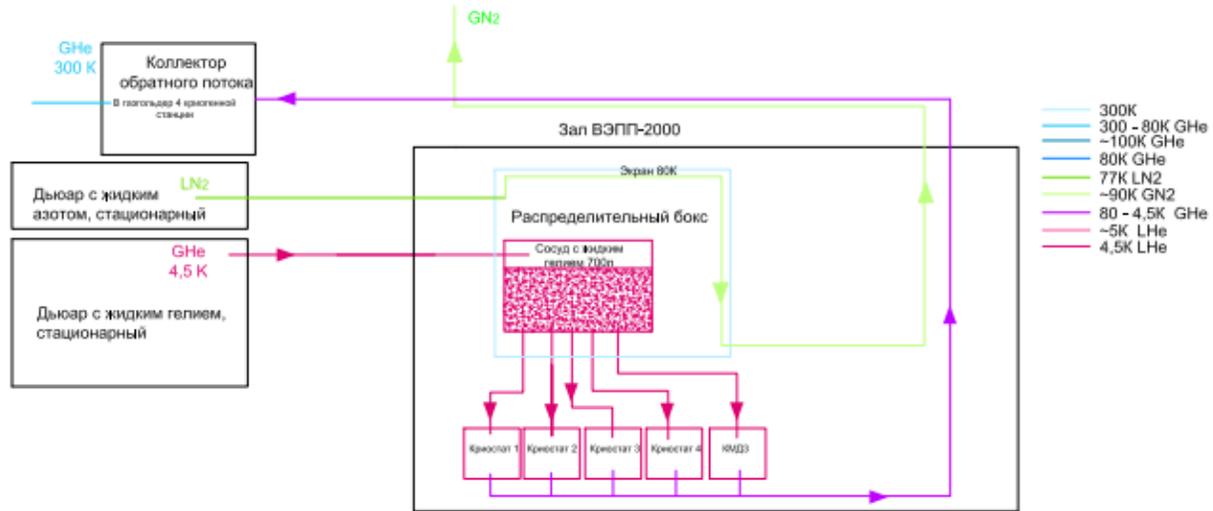
Параметры источника питания	ТЗ
Напряжение импульса, кВ	15-75
Длительность полочки импульса, нс	> 20
Длительность импульса по основанию, нс	< 70
Частота следования импульсов, Гц	< 1
Допустимый обратный выброс, %	< 5
Однородность вершины импульса, %	+/- 3
Нестабильность срабатывания, нс	< +/- 2

Delivered to BINP @ December 2022
Total price – 13.000k rub.
Tested @ low level @ January 2023



- Источники будут в течении сезона смонтированы в стойку для подключения к кикерам инъекции ВЭПП2000.
- Предварительно нам предстоит решить задачу дистанционного управления, и интегрировать программу в общую систему управления коллайдером.

Модернизация: дистанционная заливка гелия



- Most of parts designed
- Location of N / He tanks not clear yet
- Further study is needed

Размышления о будущем..

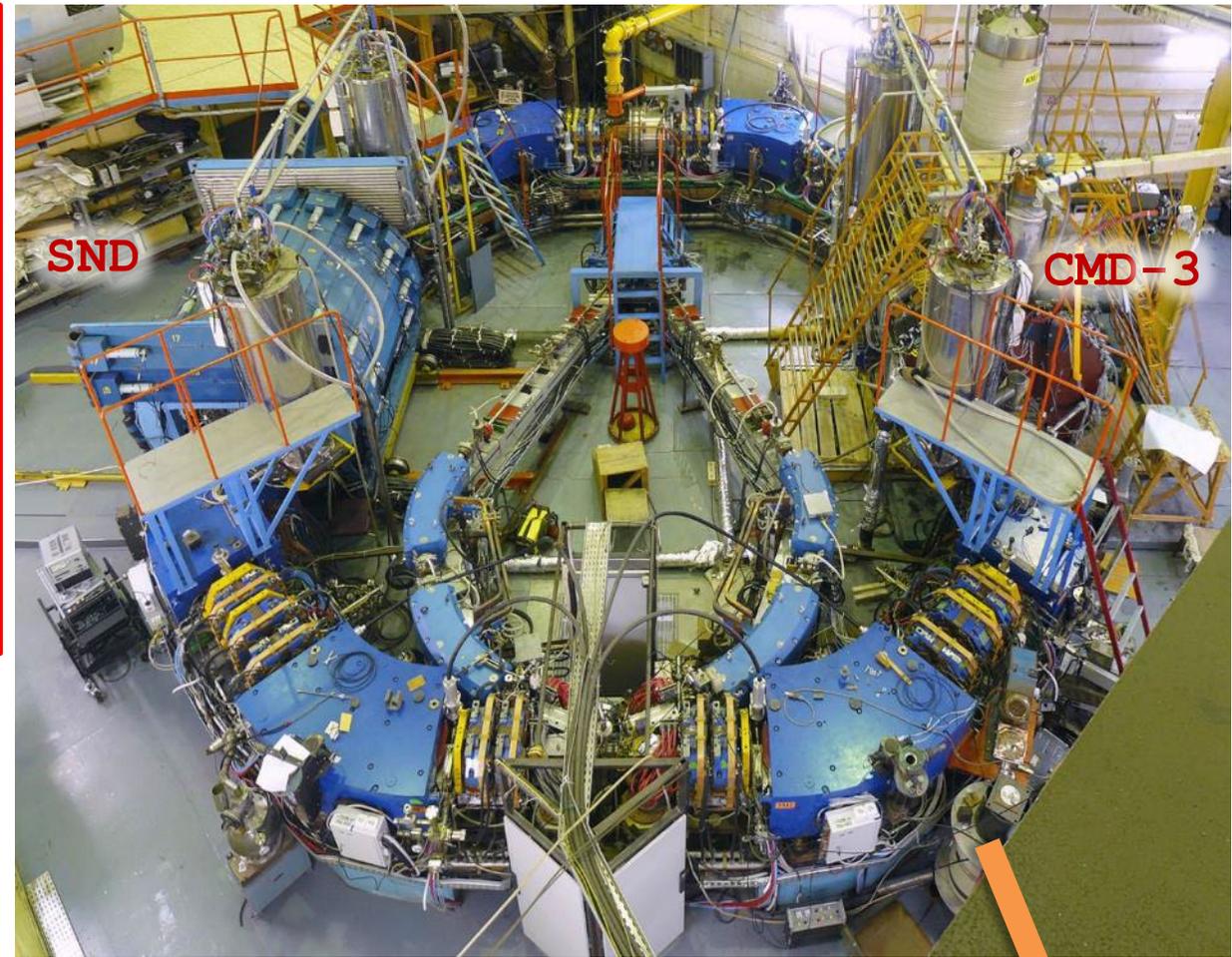
- Сезон 2023: сканирование выше фи-мезона
- Сезон 2024: сканирование ниже фи-мезона, интересна область вокруг ро-мезона
- Сезон 2025: самые низкие энергии + добираем недобранное

- Осень 2025: выключение, модернизация детекторов
- Программа модернизации: доклады КМД-3 / СНД
- Осень 2027: включение
- Набор интеграла во всем диапазоне энергий при повышенной стабильности

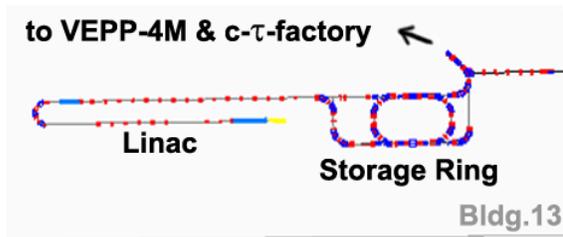
ВЭПП-2000 В 2022

Design parameters @ 1 GeV	
Circumference	24.388 m
Beam energy	150 ÷ 1000 MeV
N of bunches	1×1
N of particles	1×10 ¹¹ / 200 mA
Betatron tunes	4.14 / 2.14
β*	8.5 cm
BB parameter	0.1
Luminosity	1×10 ³² cm ⁻² s ⁻¹

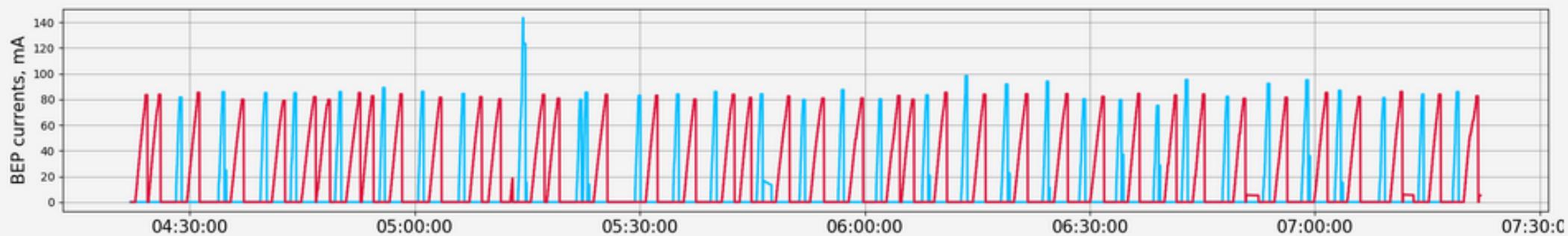
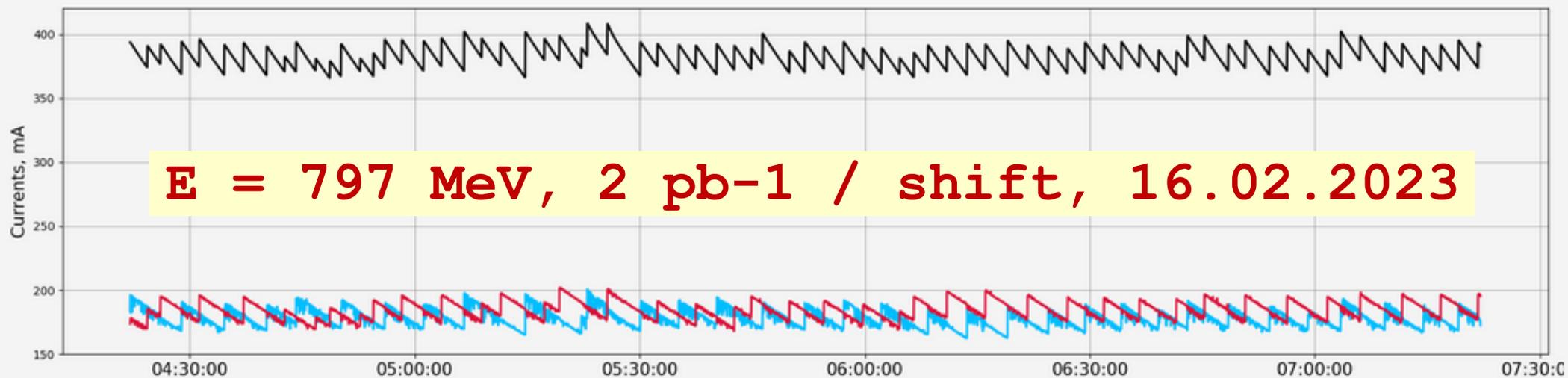
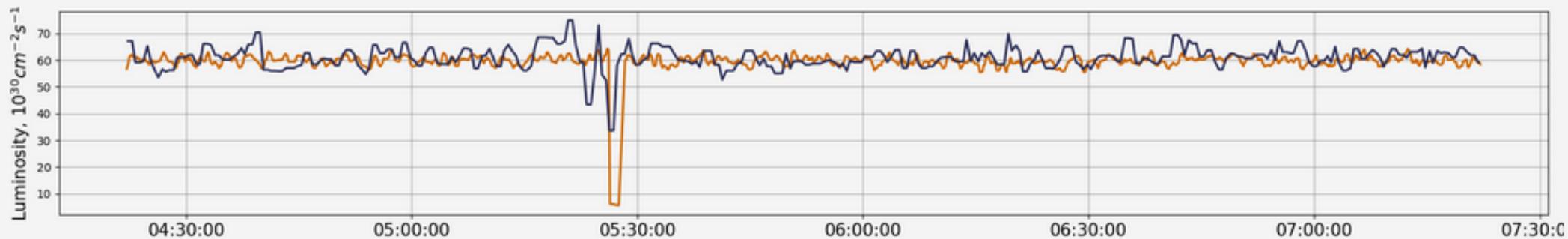
@ 2021	@ 2022
160-1005	160-1005
0.9×10 ¹¹	1.2×10 ¹¹
0.17-0.18	0.17-0.18
0.06	0.09 (0.21 total)
0.5×10 ³²	0.9×10 ³²



Subtotal: 670 pb⁻¹/detector, Target: 1 fb⁻¹



Operating with IC#VEPP-5 since 2016



Спасибо всем участникам работы!