

Статус коллайдера  
**ВЭПП-2000**

Дмитрий Шварц  
от лица команды ВЭПП-2000

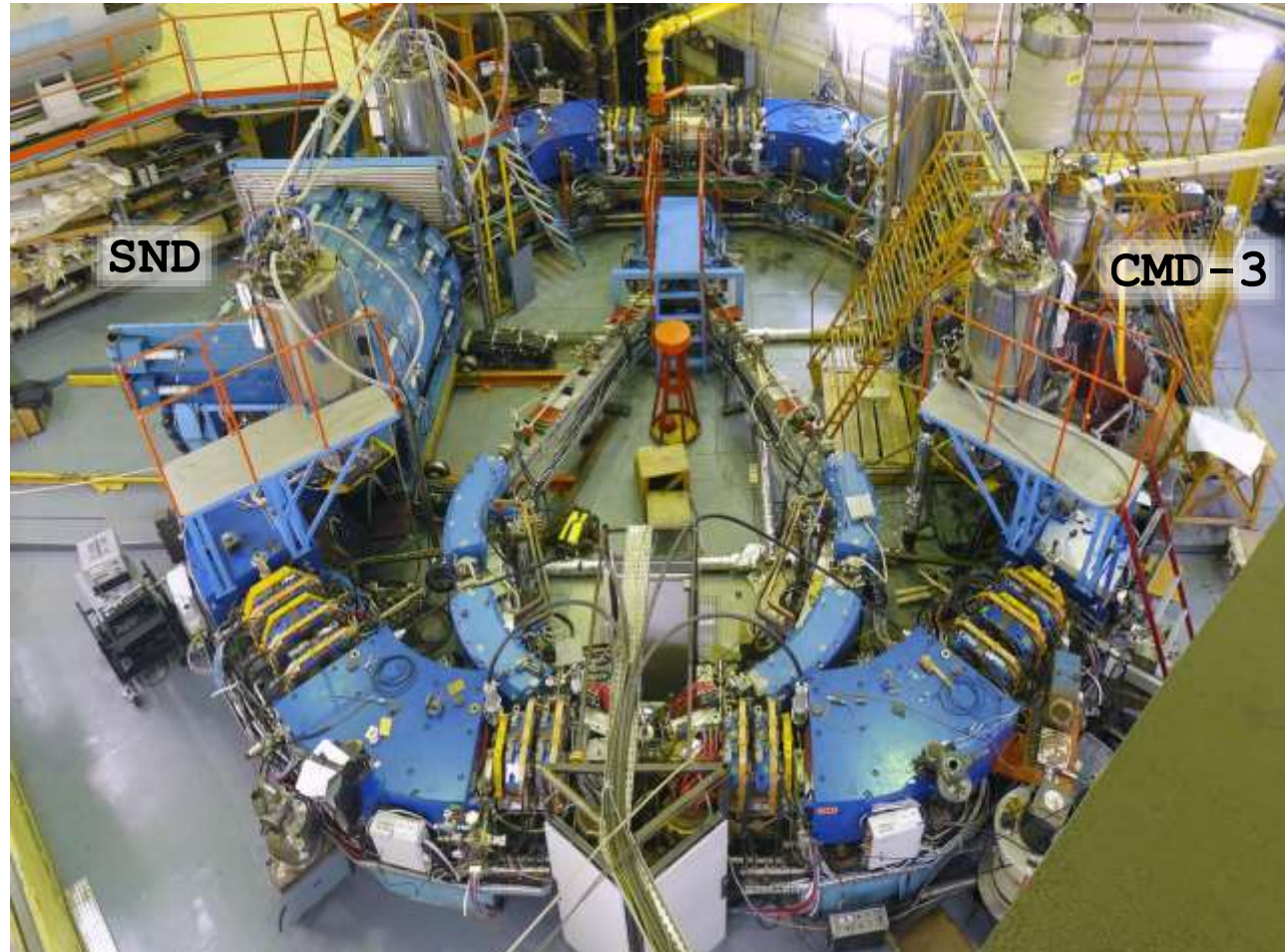
Научная сессия ИЯФ  
16.03.2018

# ВЭПП-2000

## Parameters @ 1 GeV

Circumference	24.388 m
Energy range	150 ÷ 1000 MeV
N of bunches	1×1
N of particles	1×10 <sup>11</sup>
Betatron tunes	4.14 / 2.14
Beta*	8.5 cm
BB parameter	0.1
Luminosity	1×10 <sup>32</sup> cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>

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



*Brewing up with IC#VEPP-5 since 2016*

# Концепция встречных круглых пучков

Аксиальная симметрия силы от стороны встречного сгустка + x-y симметрия транспортных матриц IP2IP выливаются в дополнительный интеграл движения. Динамика остаётся нелинейной, но – одномерной!

Lattice requirements:

- Лобовая встреча
- Равные  $\beta$ -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).*

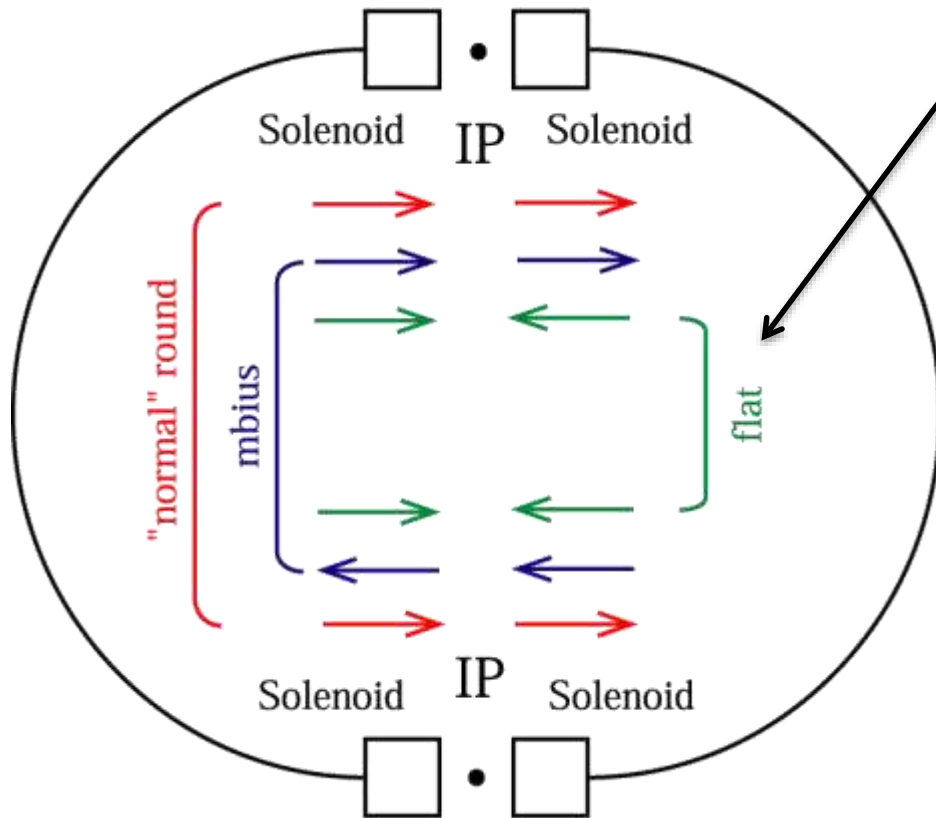
*L.M. Barkov, et al, Proc. HEACC'89, Tsukuba, Japan, p.1385.*

*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.*

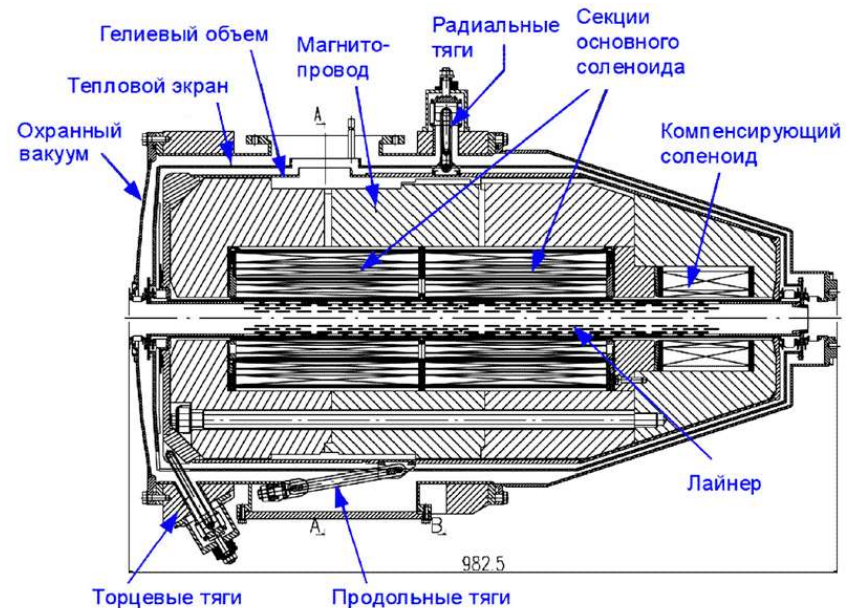
# Круглые пучки @ ВЭПП-2000



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 500 МэВ



Переключение полярности соленоидов требуют их **перевыставки.**

# Хронология 2017 (1)

Янв

17.01.2017 – Захват  $e^-$  в ВЭПП на 850 МэВ (впервые в мире).

**26.01.2017 – Первая светимость на 850 МэВ: старт эксперимента HIGH2017.**

Фев

03.03.2017 – 680 нбн<sup>-1</sup>/сутки @ 910 МэВ (превзойдён рекорд 2011 года).

15.03-04.04.2017 – Серия поломок (течь переливалки; отключения ИП ВЭПП; ГИД-3600). Разработка нового «тёплого» режима для работы на высокой энергии.

Мар

Апр

**17.04.2017 – 980 МэВ. Пиковая светимость до  $4 \times 10^{31} \text{ см}^{-1} \text{ с}^{-1}$  (рекорд ИЯФ и СССР).**

**21.04.2017 – Рекордная энергия: 1005 МэВ** (промахнулись мимо 1003.5).

26.04.2017 – Срывы соленоидов, в итоге увеличение расхода гелия, работа с «дозаправкой».

Май

01.05.2017 – 1065 нбн<sup>-1</sup>/сутки, впервые в мире ВЭПП-2000 преодолел рубеж в 1 обратный пикобарн.

**09.05.2017 – 940.2 МэВ. Ток до 315 мА, светимость  $3.5 \times 10^{31} \text{ см}^{-1} \text{ с}^{-1}$ , Средняя по заходам  $3 \times 10^{31} \text{ см}^{-1} \text{ с}^{-1}$ .  
Суточный рекорд: 1260 нбн<sup>-1</sup>/сутки.**

28.05.2017 – Поляризационная программа на 840 МэВ (неудачно!). Отогрев соленоидов (неудачно!).

Июнь

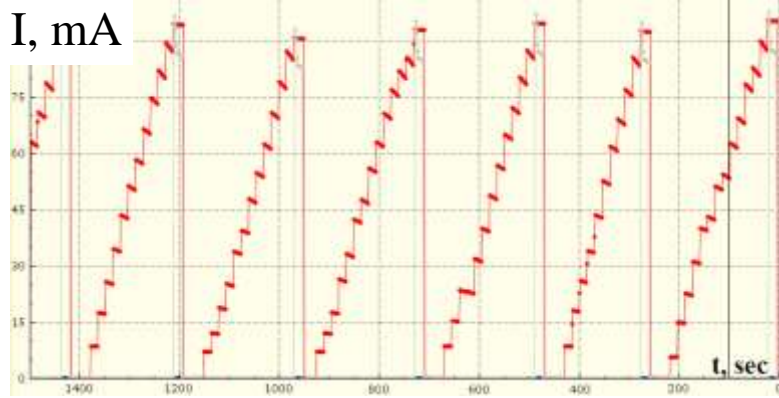
16.06.2017 – Остановилась криогенная станция из-за жары

Июль

06.07.2017 – Конец сезона.

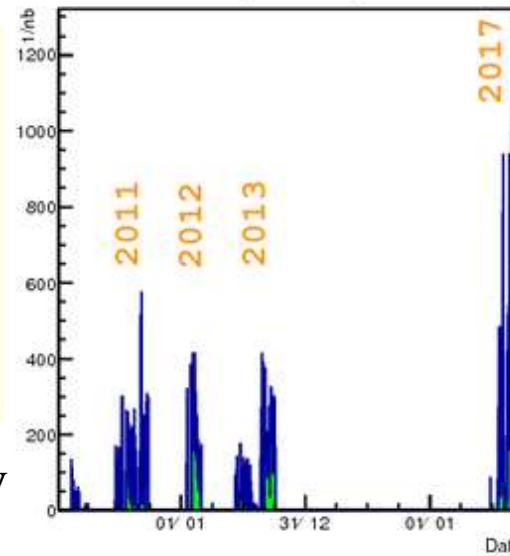
# Работа ВЭПП-2000 с ИК в 2017

Positrons stacking @ BEP

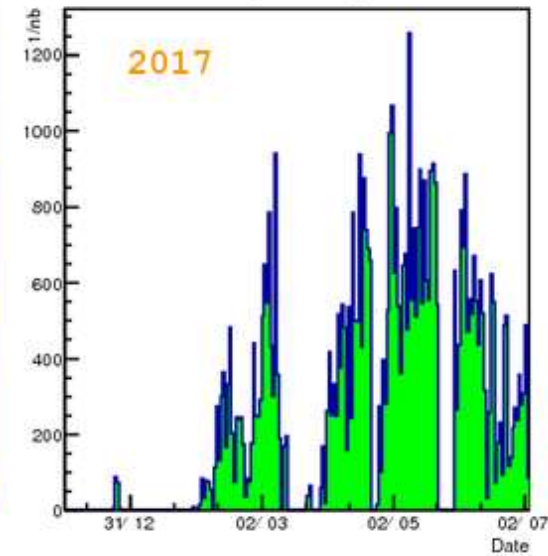


- Темп накопления  $5 \times 10^8 e^+/\text{sec}$  @ 390 MeV
- БЭП стабильно работает до  $E = 1$  ГэВ.

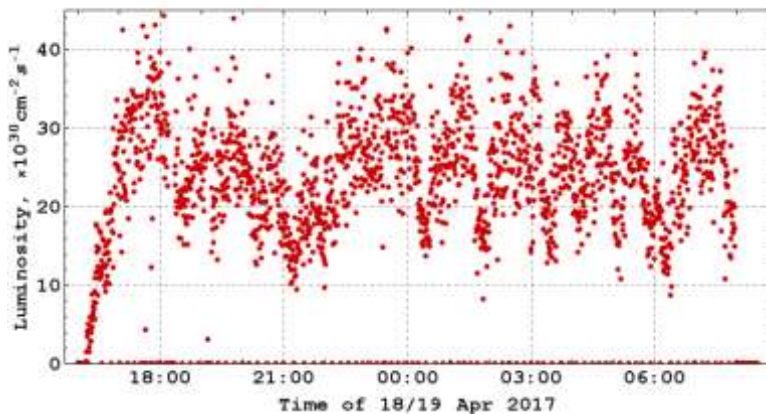
1/nb per day



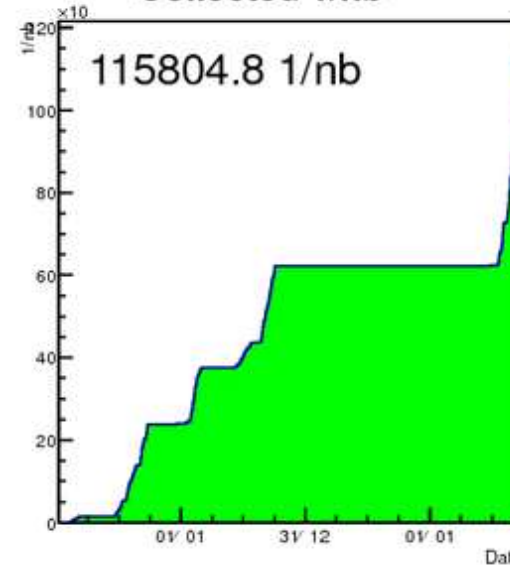
1/nb per day



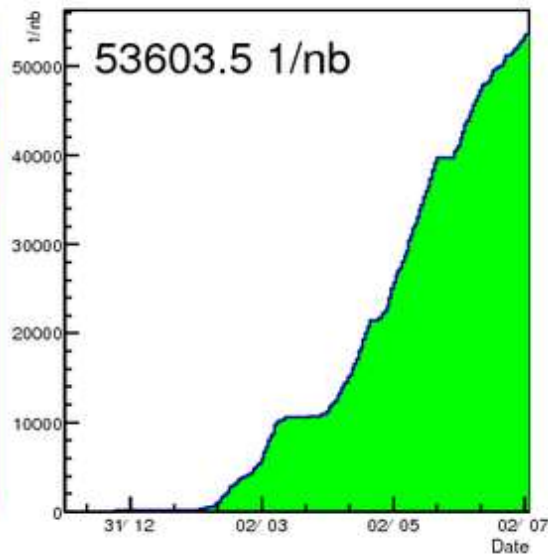
CMD-3 luminosity @ 980 MeV



Collected 1/nb



Collected 1/nb



# Хронология 2017 (2)

Авг

Авг-сен – Замена термотюнеров резонатора ВЭПП на пьезотюнеры.

Сен

Сен-окт – Замена F1-квадруполей: +4 древних ВЧ-300.

Окт

Сен-окт – ремонт и модернизация криостата 4S.

26.10.2017 – Пучок  $e^-$  в БЭП.

Ноя

15.11.2017 – КМД ввёл поле. Юстировка соленоидов в «коротком» режиме.

22.11.2017 – начало набора данных RHO2017...

Дек

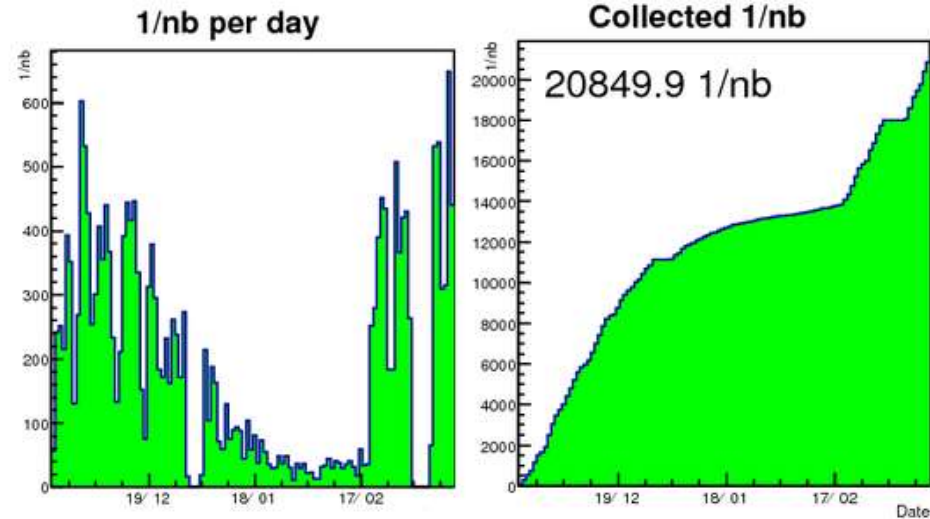
С дек – работа со «встряхиванием».

Янв

04.02.2018 – 274 МэВ

Фев

С фев – работа с Шайтан-машиной (BeamShaker).

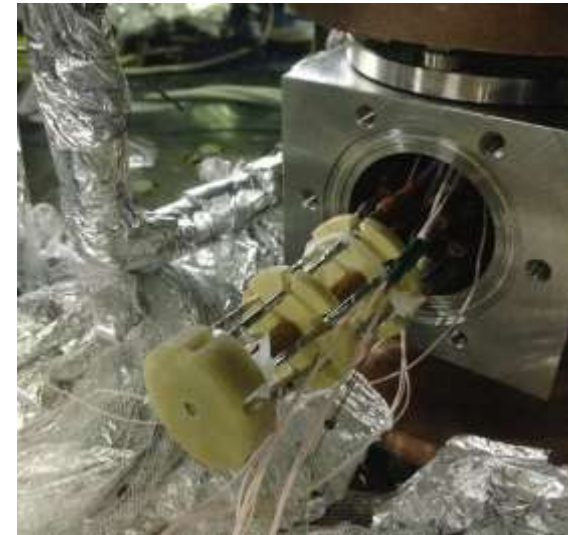


# F1-Линзы и токовводы соленооида

- Больше апертура
- Геознаки
- Сильнее градиент
- Лучше качество поля



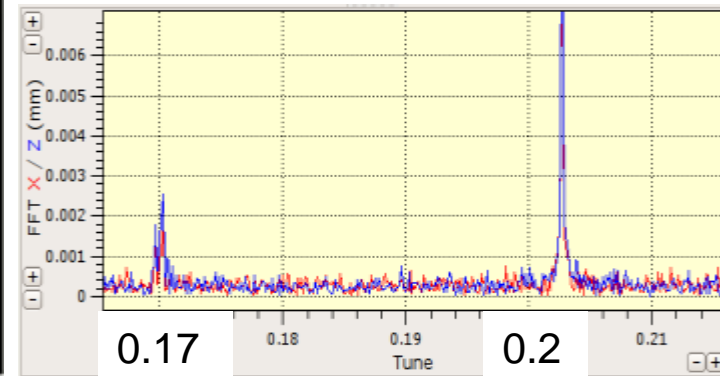
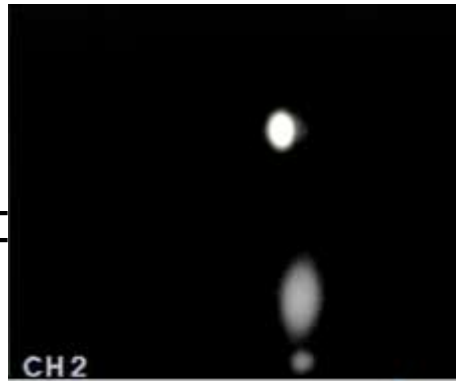
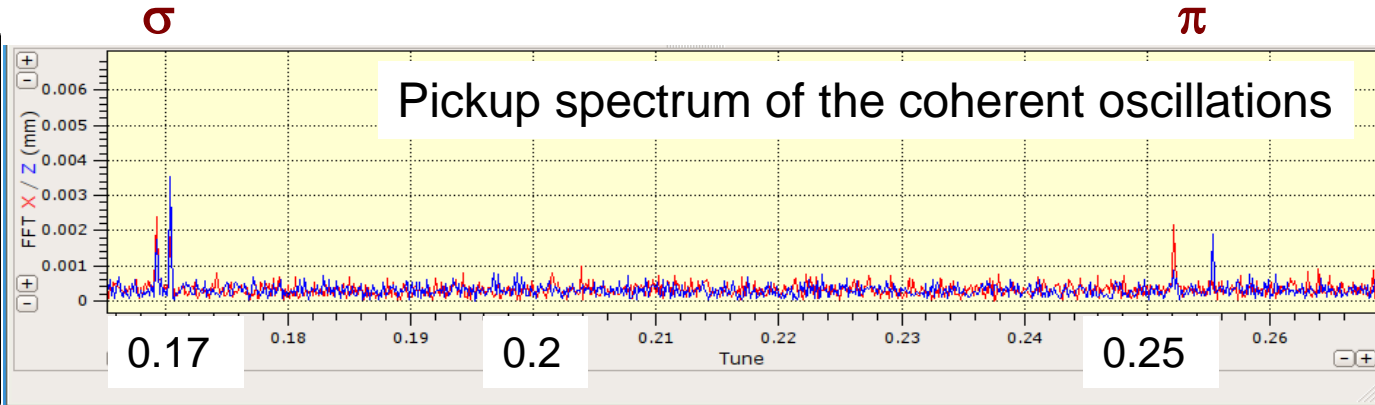
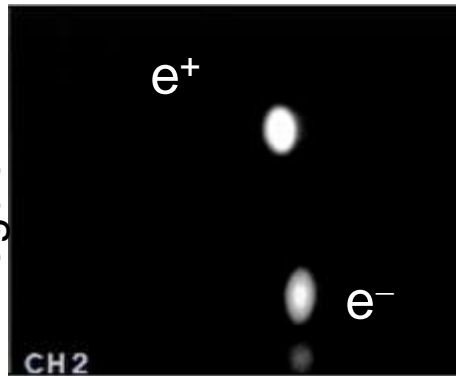
- Устранение течи охранного вакуума
- Оголение спаев
- Установка датчиков



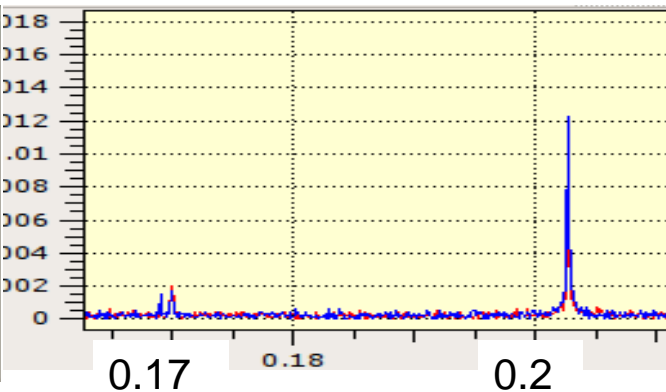
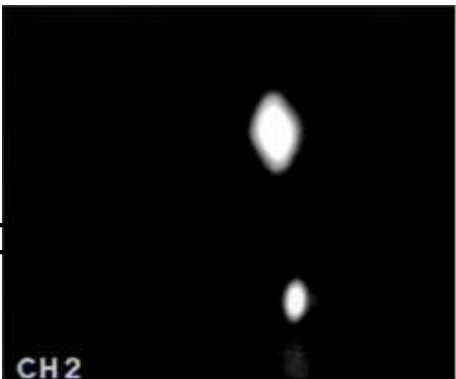
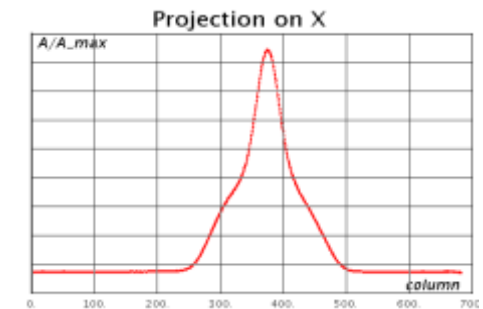


# "Flip-flop" effect

TV

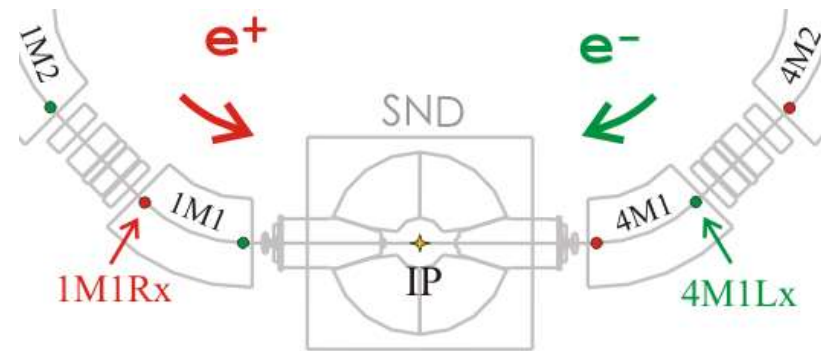
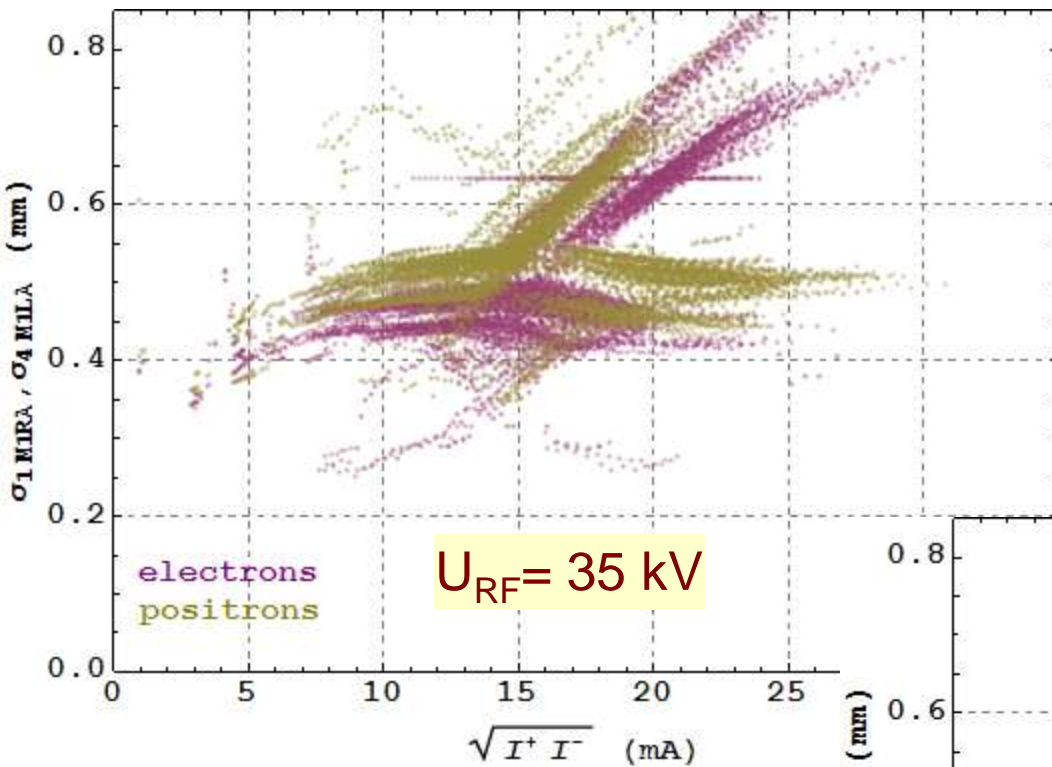


$E = 240 \text{ MeV}$ ,  
 $I_{\text{beam}} \sim 5 \times 5 \text{ mA}$

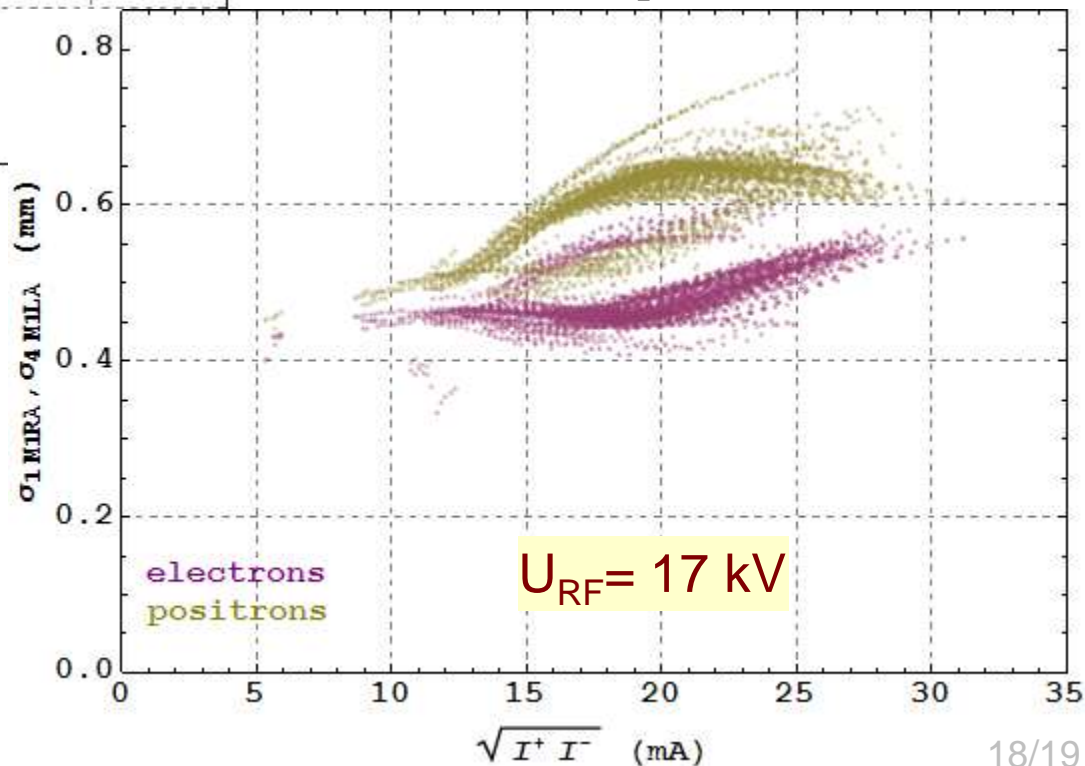
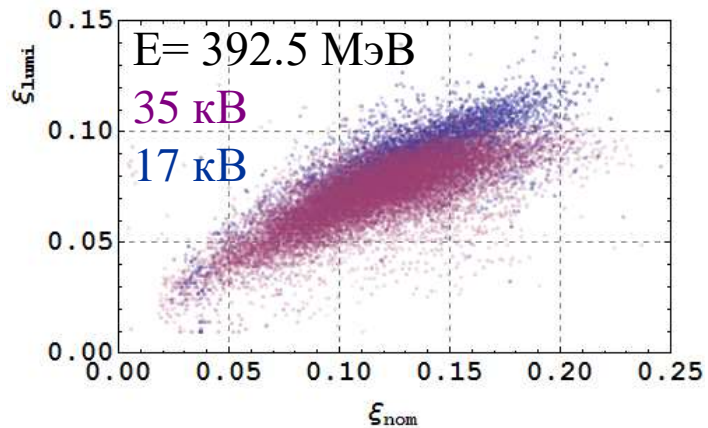


Coherent beam-beam  
 $\pi$ -mode interaction with  
machine nonlinear  
resonances?

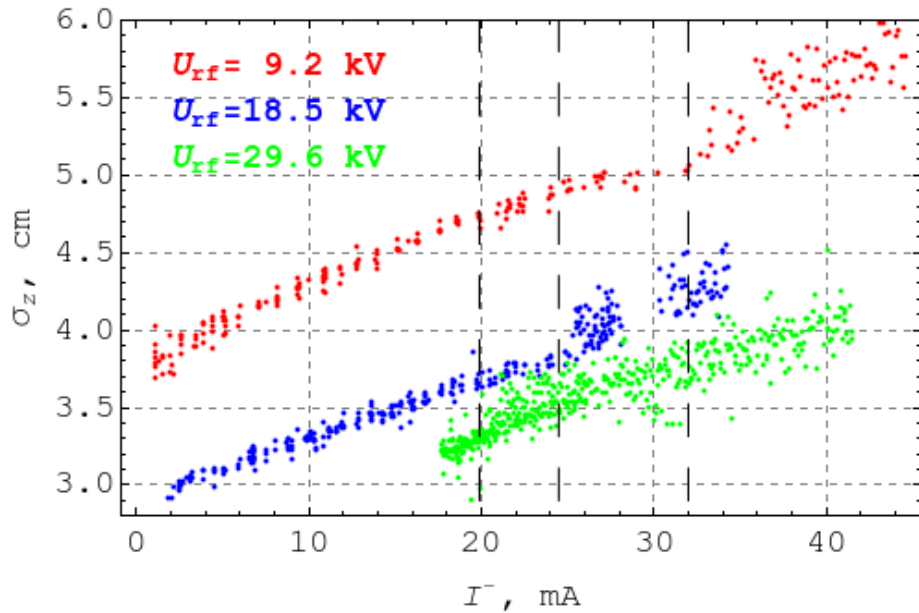
# Подавление флип-флопа



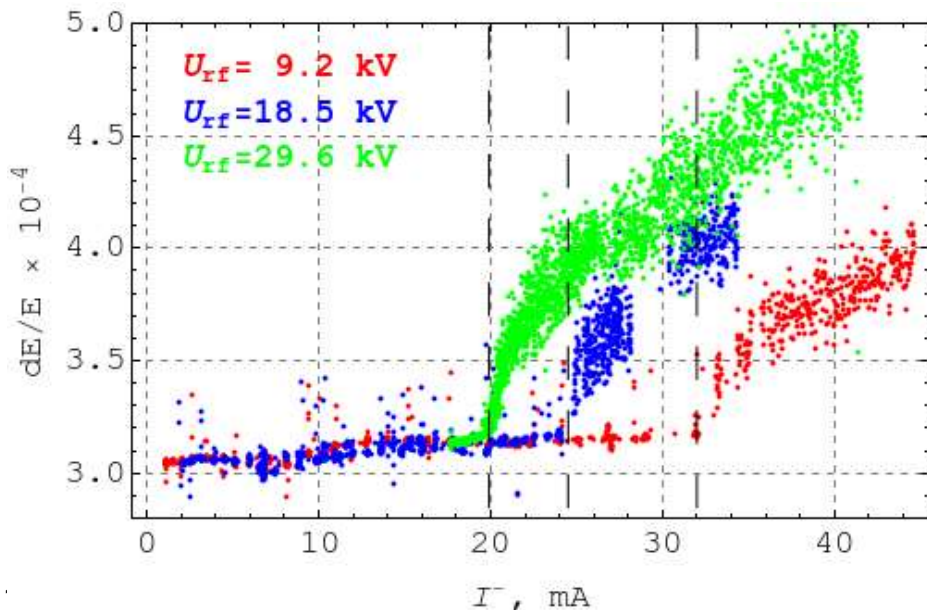
$I = 15 \text{ mA}$  corresponds to  $\xi \sim 0.1$



# Удлинение сгустка: микров. неуст.



Bunch length measurement with phi-dissector as a function of single beam current for different RF voltage @ 478 MeV.



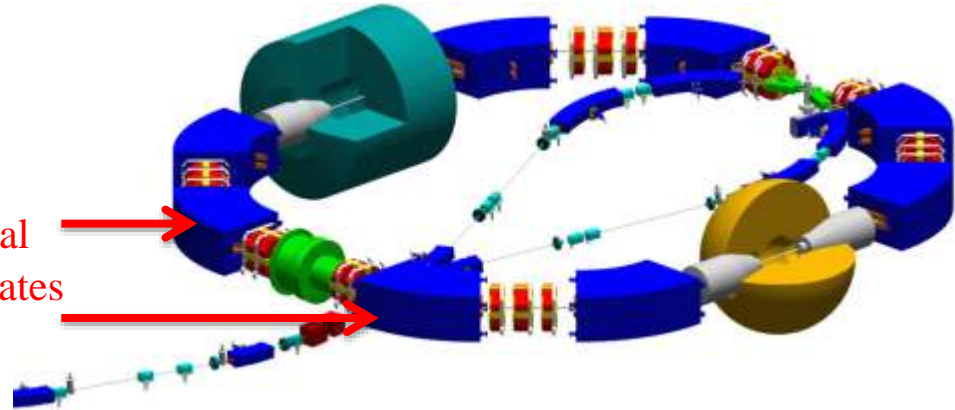
Energy spread dependence, restored from beam transverse profile measurements.

# BeamShaker



50-100В, 300нс, 50μс

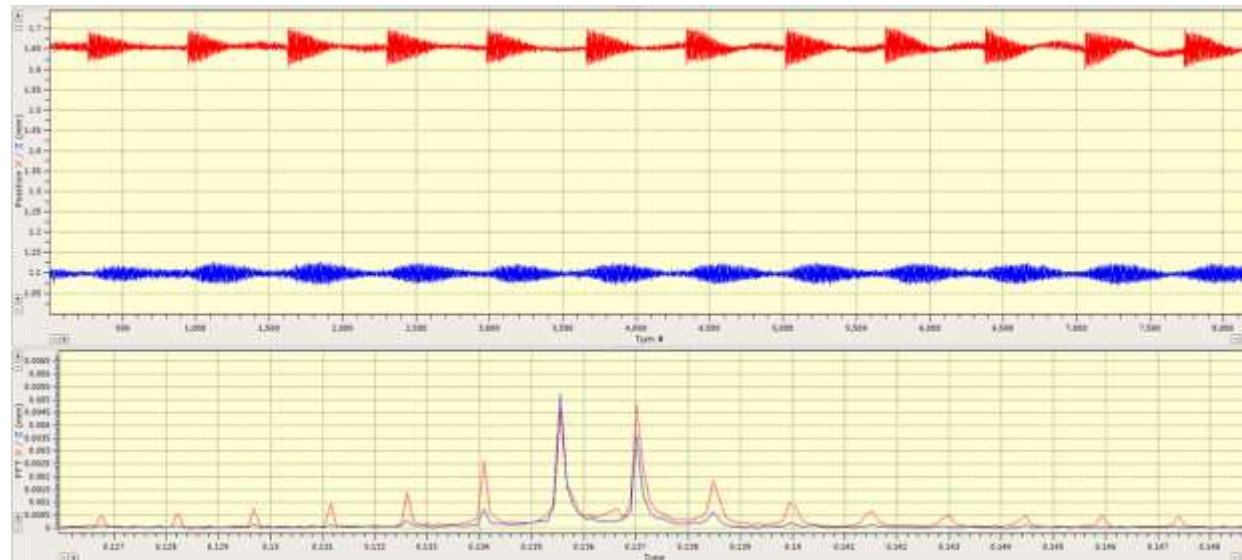
Additional  
kicker plates



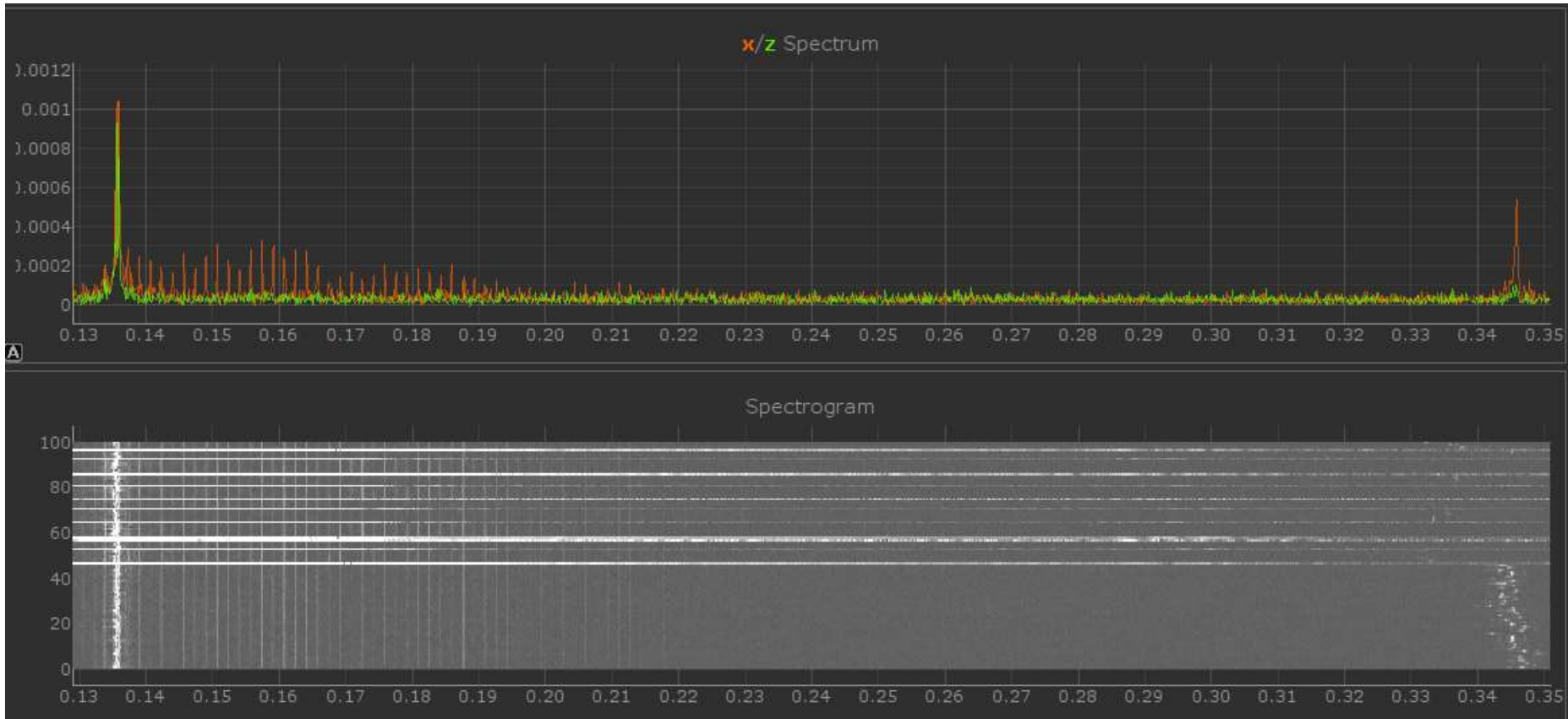
Идея (И.А.Кооп): когерентные колебания в присутствии нелинейного поля встречного пучка быстро расфазировуются – эффективно увеличивается эмиттанс (аналог работы со «змейкой»).

Сигнал с пикапа, без встречного пучка

Реальность: стабилизация флип-флопа, + время жизни



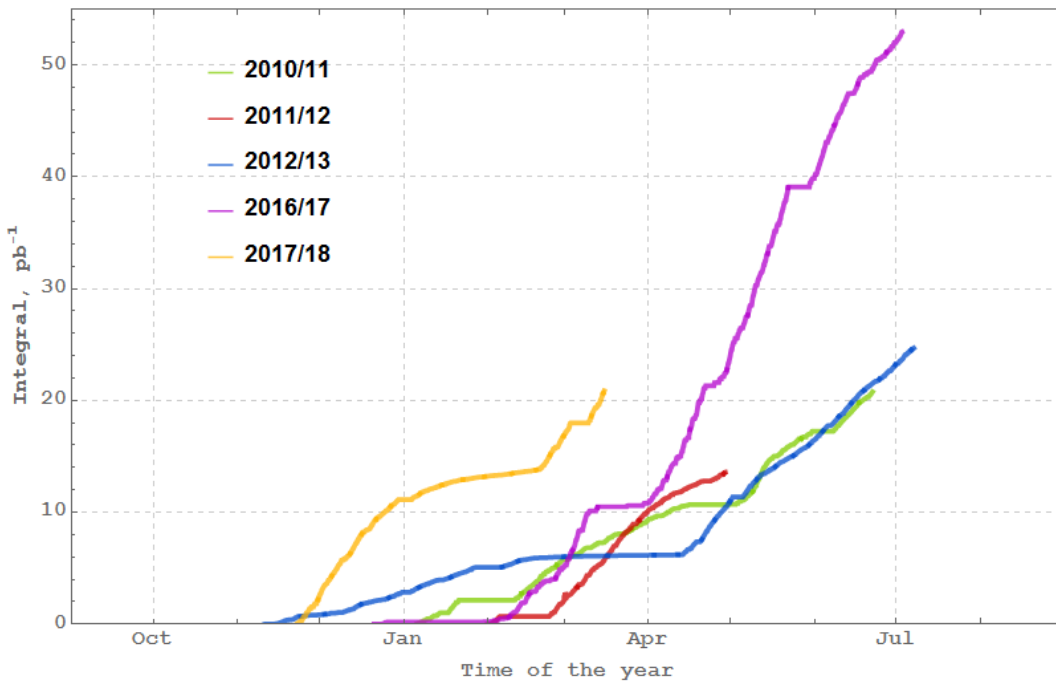
# Параметр встречи



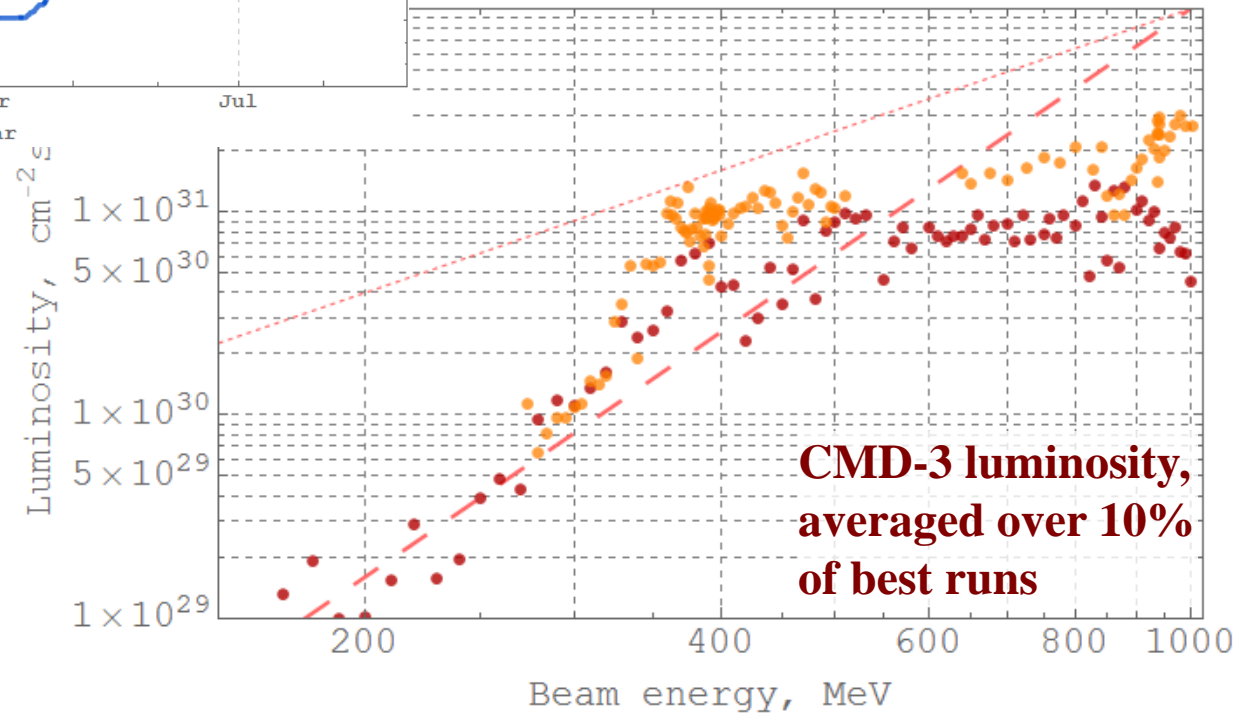
$$\Delta \nu = \arccos(\cos(\pi \nu_0) - 2\pi \xi \sin(\pi \nu_0)) / \pi - \nu_0$$

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

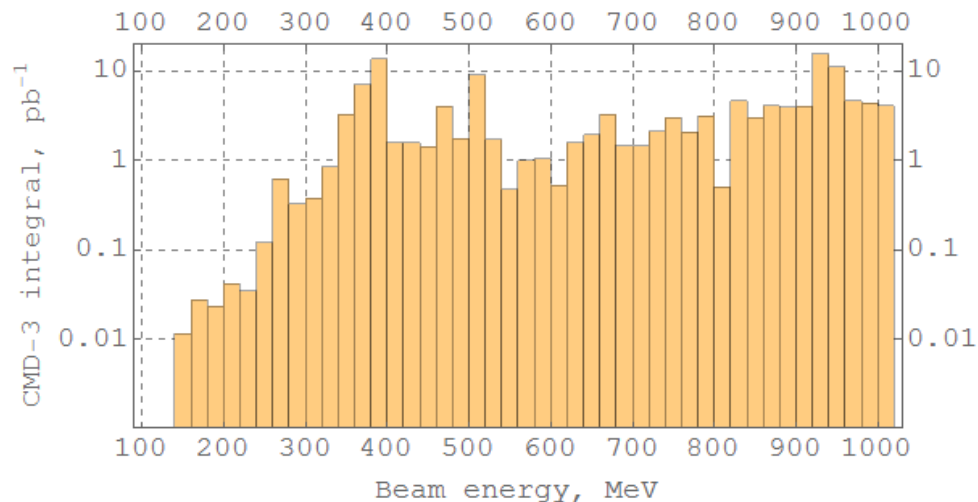
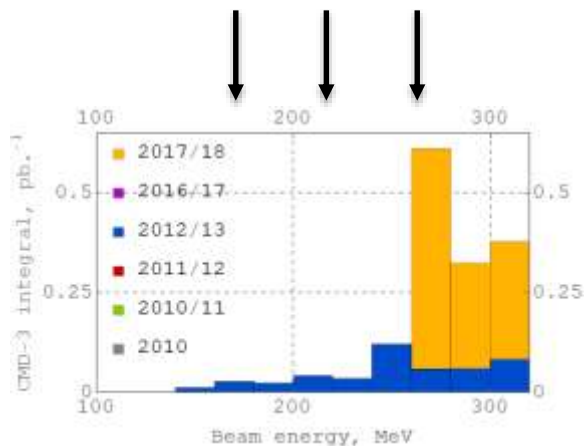
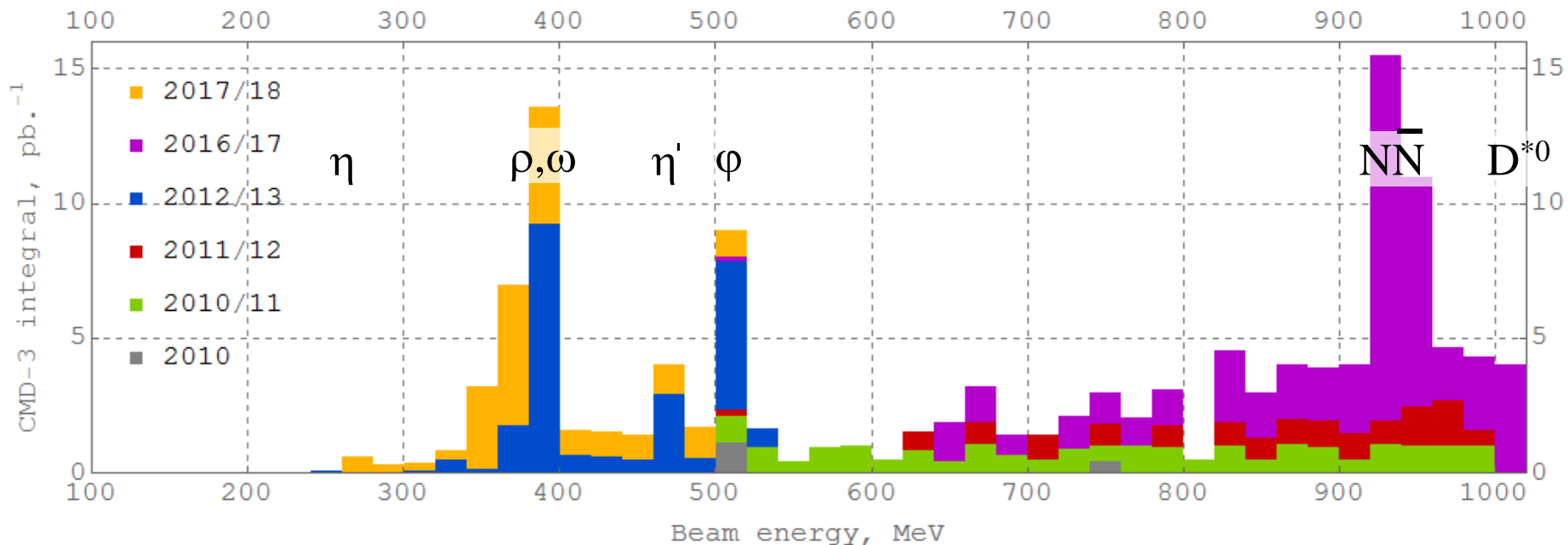
# Набор светимости с ИК



2017-2018 data



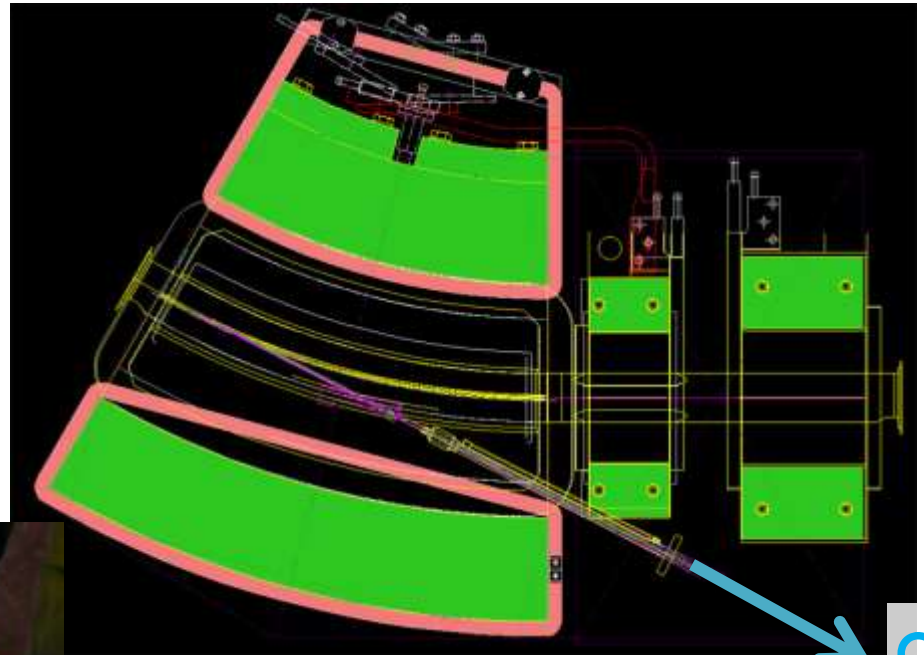
# Набранный интеграл светимости



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

# Вывод СИ на БЭП

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

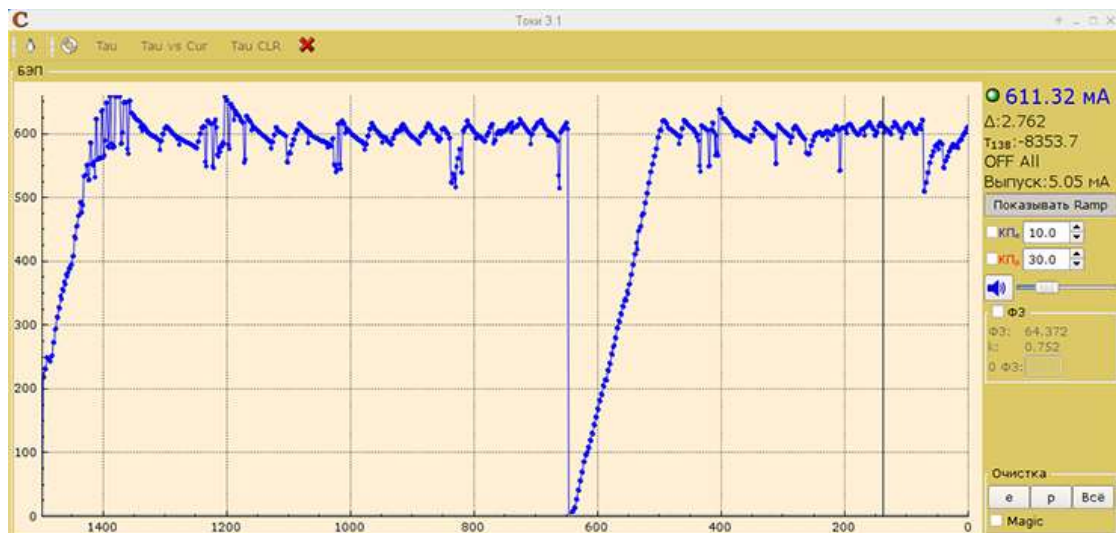
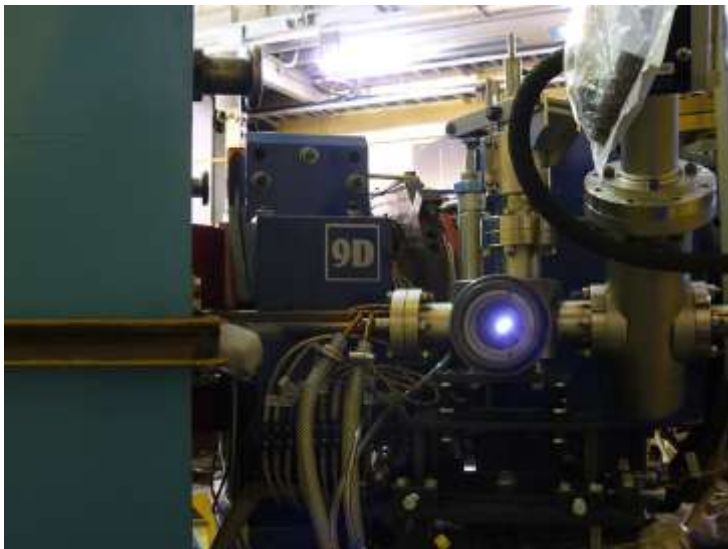


СИ





# СИ на БЭП



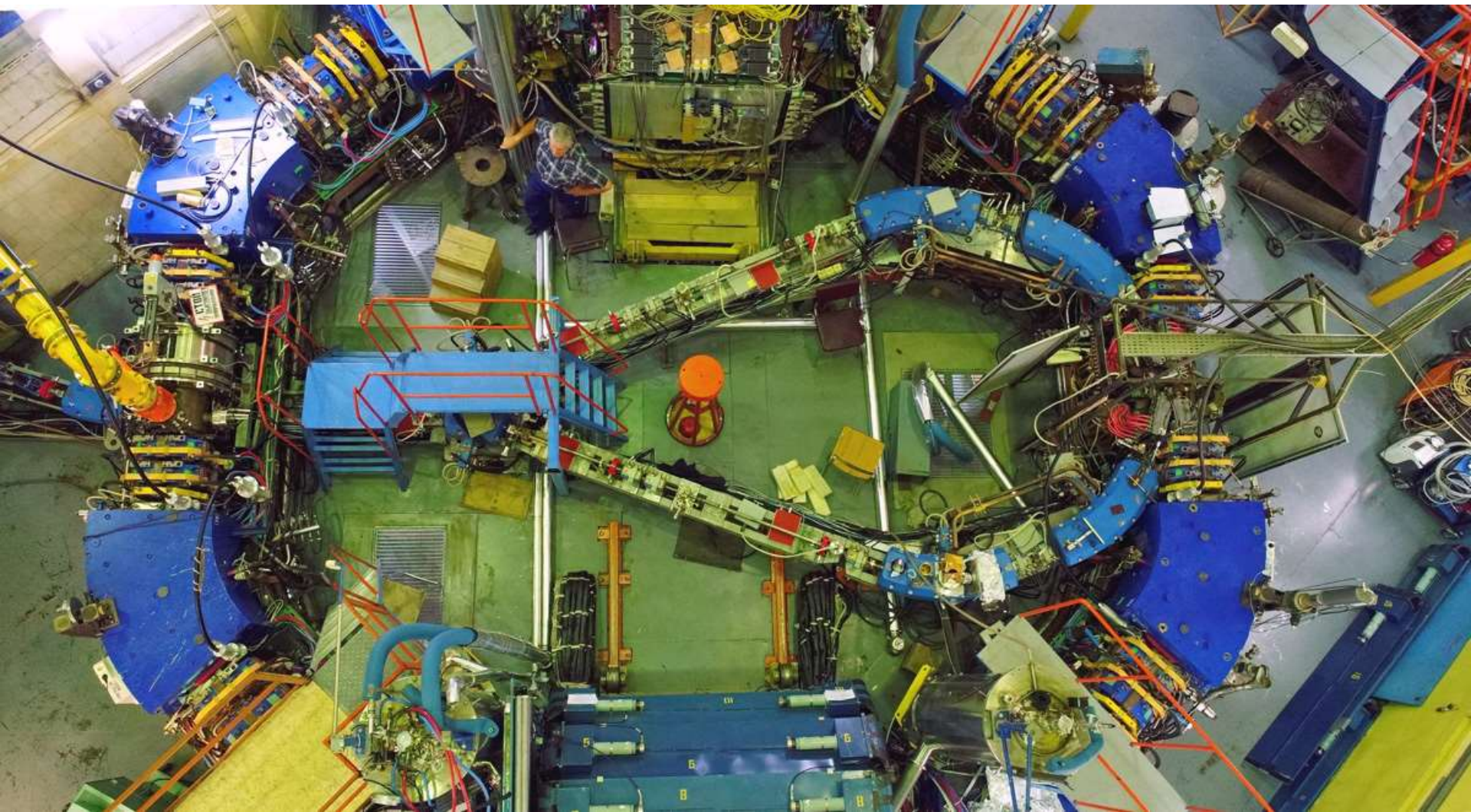
# Планы (год назад)

- ВЧ-система БЭП: интенсивный пучок, фазовые колебания, время жизни
- Выпуск из БЭП на 1000 МэВ: BUMP, кикеры
- Канал БЭП-ВЭПП выше 850 МэВ: источники питания, коррекции
- Инжекция в ВЭПП выше 900 МэВ: новые кикеры
- Интенсивный пучок (250×250мА): хроматизм, коллективные эффекты, ВЧ-система
- Эффекты встречи на высокой энергии. Светимость, фоны.
- Machine tuning: связь(!); дипольные коррекции; юстировка соленоидов(?); оптика
- Оптика каналов: К-500, КБВ, ORM
- F1-квадруполи: «тёплый режим» на 1 ГэВ, поляризация, выставка, ДА
- (Де)поляризация, калибровка энергии
- Поставки ИК: стабильность, автоматизация, сосуществование с ВЭПП-4

Резюме: работы очень много, ~~фундаментальных пренятетвий не ожидается.~~

## Ещё планы

- Изучение эффектов встречи (флип-флоп): моделирование Lifetrac, изучение машинных резонансов, продольная динамика, бетатронная связь, когерентные моды. **Цель: проектная пиковая светимость!**
- Работа над стабильностью и надёжностью: новые источники ВЧ-500; апгрейд ИП БЭП и ВЭПП; новые источники импульсного питания ГИД-160; оптика каналов К-500 и КБВ.
- Поляризационная программа (?)
- Программа по апгрейду криогеники: заливка под током + дистанционная заливка.
- Второй ВЧ-резонатор на ВЭПП-2000 для управления длиной сгустка: feasibility study.
- Final focus: quads vs solenoids? (Апертуры, краевые поля, резонансная деполяризация)



**Спасибо всем участникам работы!**