

Научная сессия ИЯФ СО РАН

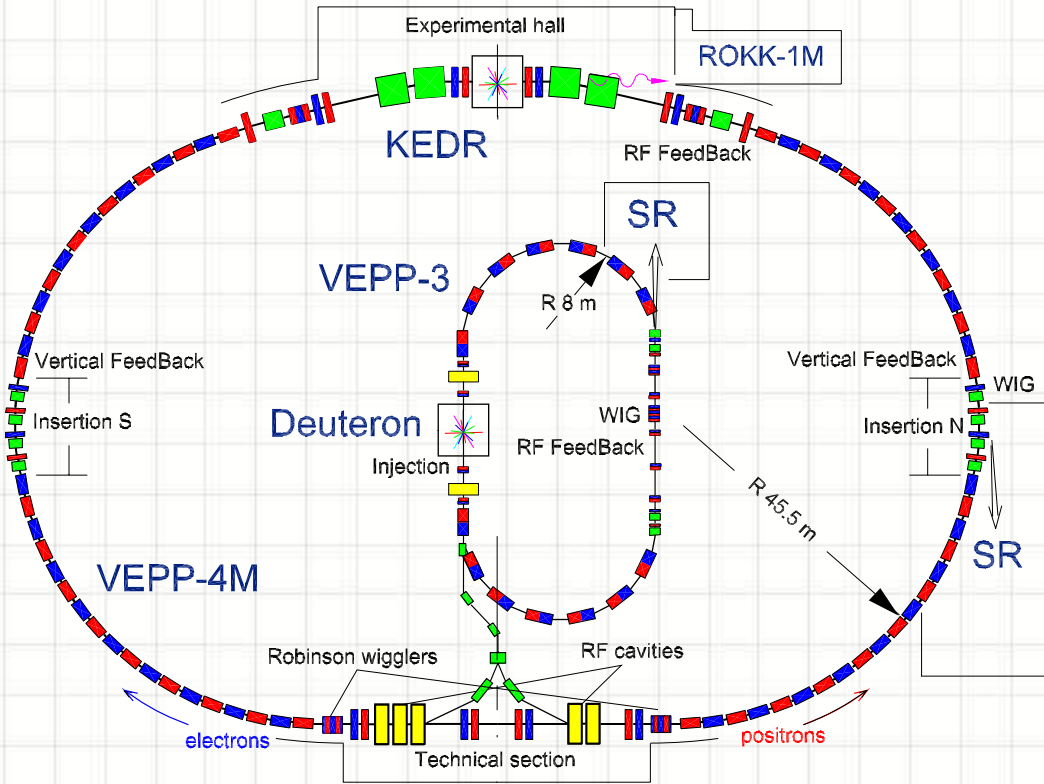
10 февраля 2022

СТАТУС И ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСА ВЭПП-4

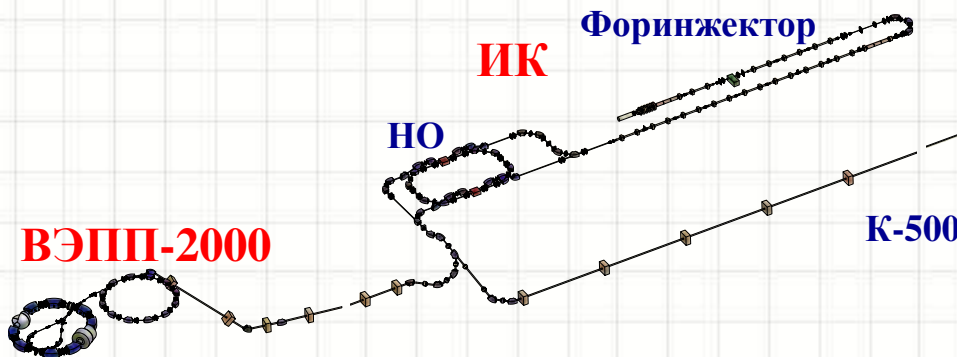
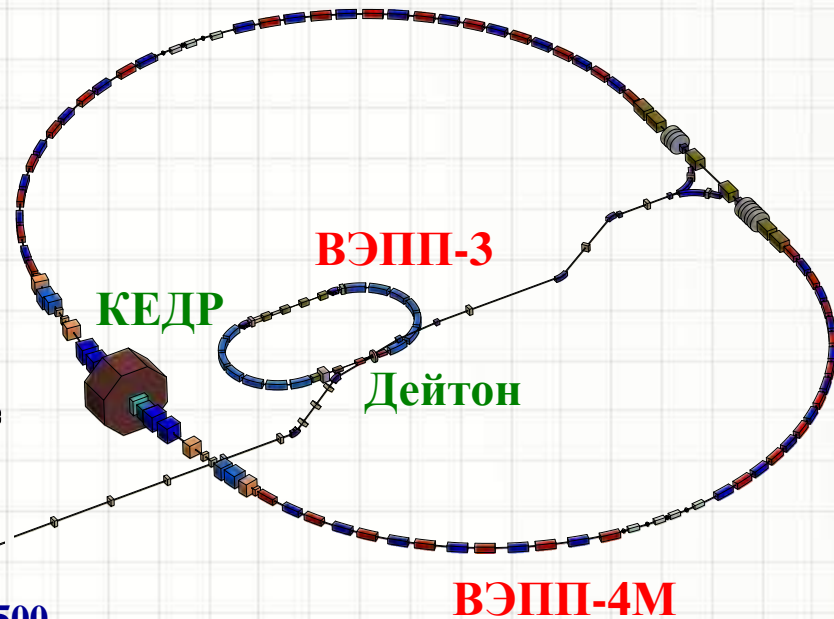
П.Пиминов и команда ВЭПП-4



УНУ ВЭПП-3/ВЭПП-4М + ВЭПП-2000



- ✓ КЕДР e_{\pm} 1÷4.75 (5.2) ГэВ
- ✓ СИ ВЭПП-3 e^- 1.2 ГэВ 1.2 Т
- ✓ СИ ВЭПП-3 e^- 2.0 ГэВ 2.0 Т
- ✓ СИ ВЭПП-4М e^- 1.9 ГэВ
- ✓ СИ ВЭПП-4М e^- 4.5 ГэВ 2.0 Т
- ✓ Дейтон e_{\pm}
- ✓ Выведенный пучок
- ✓ Ускорительная активность

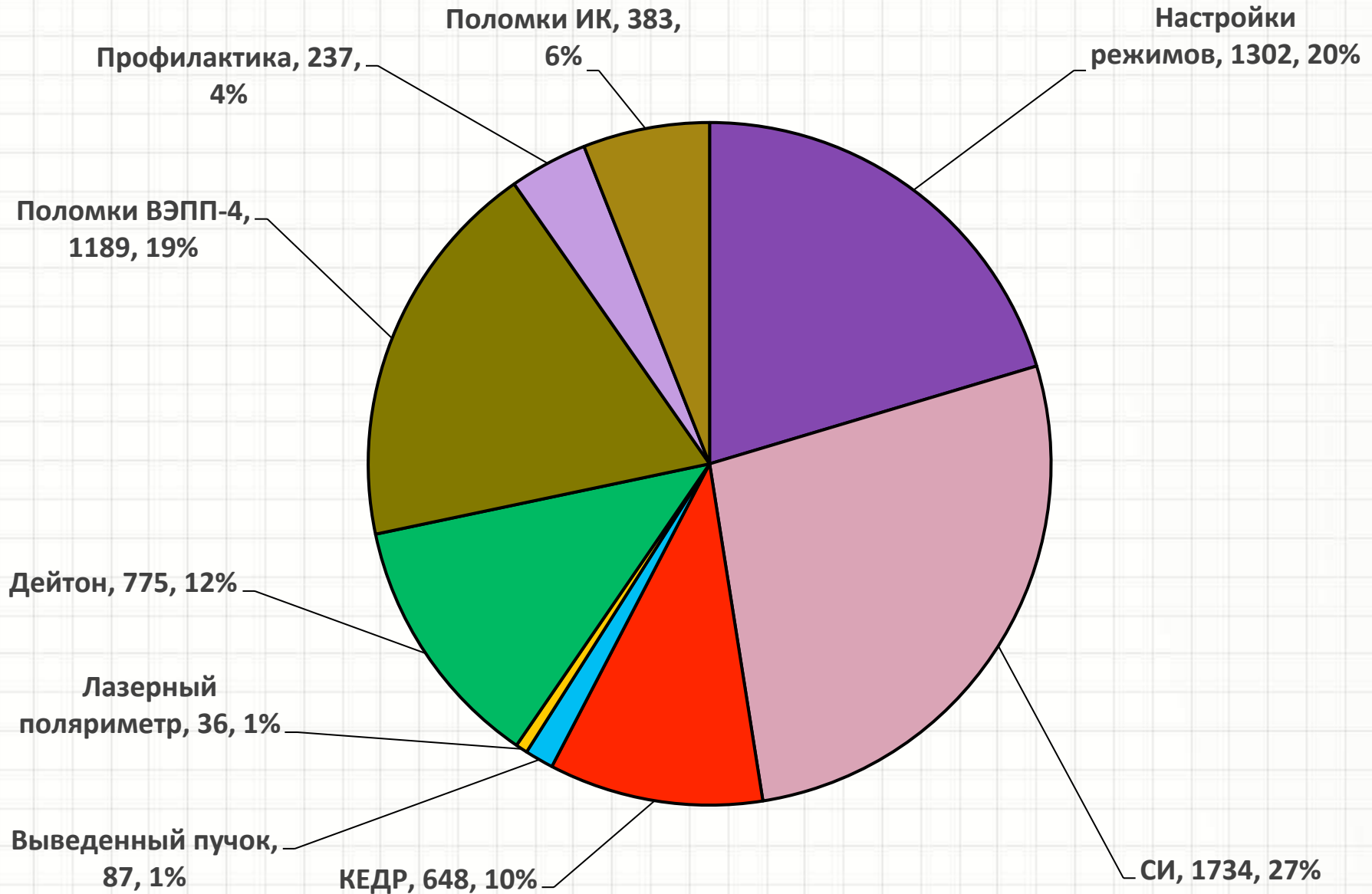


- 15 февраля 2021 - Включение комплекса после длительной остановки из-за финансов
- 24 февраля 2021 - Заход СИ
- 15 марта 2021 - Старт набора статистики с КЕДРом для 2х-фотонной физики
- 7 апреля 2021 - Заход СИ
- 2 июня 2021 - Заход светимости с КЕДРом на $Y(1S)$
- 4 июня 2021 - Авария на ИПТ ВЭППП-3
- 15 июня 2021 - Комплекс остановлен из-за отсутствия щеток для ГПН
- 19 июня 2021 - КЕДР вывел поле
- 30 июня 2021 - Заход СИ
- 5 июля 2021 - Отключение комплекса

Летняя остановка

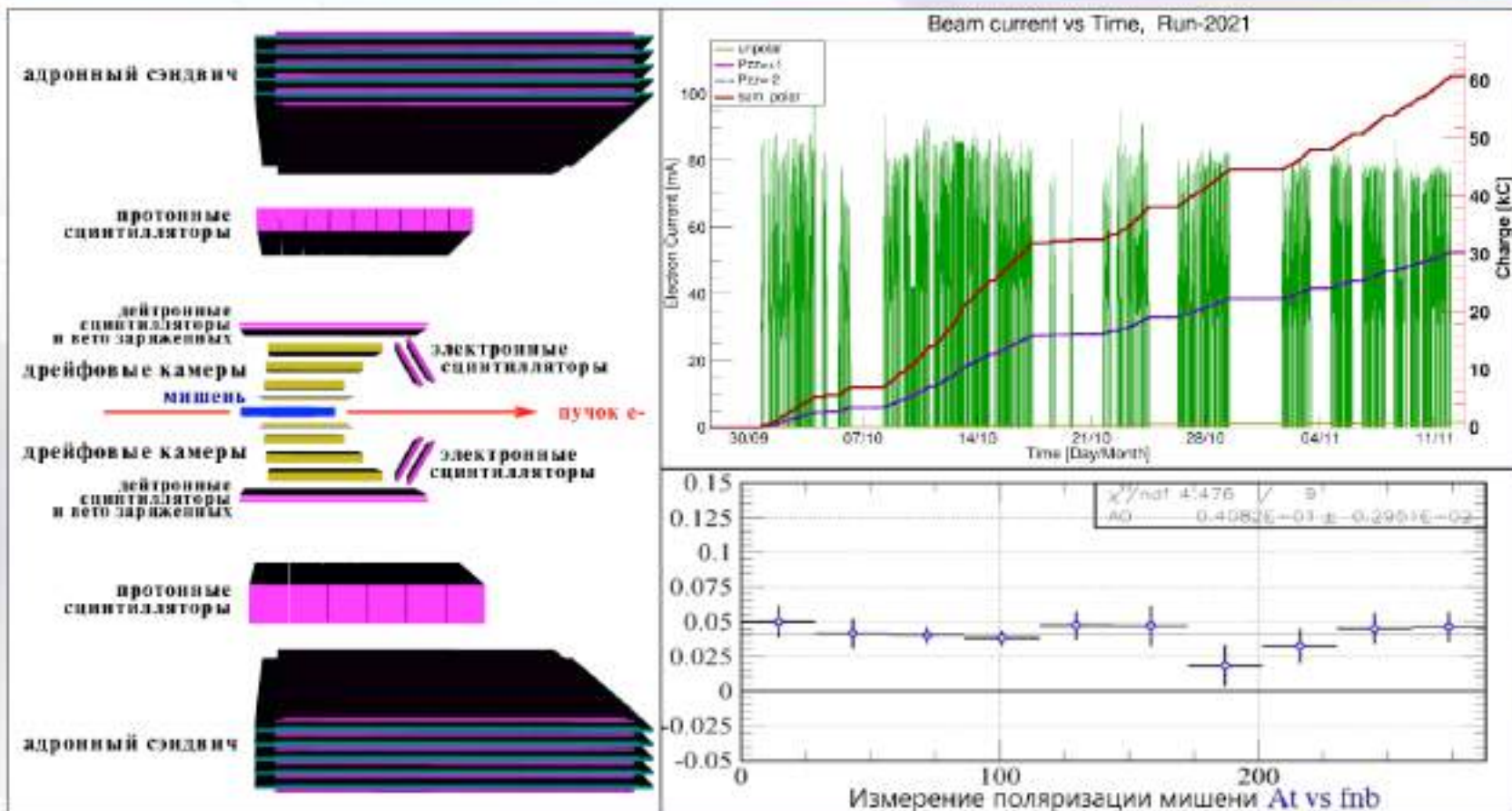
- 13 сентября 2021 - Включение комплекса. Начало экспериментов с Дейтроном. У Дейтрона проблемы с вакуумом и закоротками, нестабильная работа ИК
- 13 сентября 2021 - Старт набора статистики
- 17 ноября 2021 - Начало работы ВЭППП-4М
- 22 ноября 2021 - Заход СИ
- 13 декабря 2021 - Переход на ИПТ ВЭППП-3 с «новым» трансформатором .
- 30 декабря 2021 - Новогодняя остановка

Статистика 2021



Дейтрон @ ВЭПП-3

Измерение компоненты тензорной анализирующей способности T_{20} реакции фоторасщепления дейтрона на ВЭПП-3



Набор данных проходил с 30 сентября по 12 ноября 2021 г. Набранный интеграл тока составил 60 килокулон, а расчетный интеграл светимости 17 обратных пикобарн. Этот интеграл равномерно распределен между двумя состояниями мишени с разными знаками тензорной поляризации. Начат анализ данных эксперимента.

Synchrotron radiation

VEPP-3, 74 m

VEPP-4M, 366 m

1.2 GeV

2 GeV

1.9 GeV

2.5 GeV

4.5 GeV

100 nm·rad

290 nm·rad

28 nm·rad

50 nm·rad

160 nm·rad

200 mA @ 1÷2 bunches

25 mA @ 1÷25 bunches

1 LIGA-technology and X-ray lithography.

Metrology experiments.

2 Fast dynamic process.

Phase contrast microscopy, micro-tomography and hard X-ray fluorescence.

3 Precise diffraction and anomalous scattering.

Nanosecond spectroscopy of fast processes.

4 X-ray fluorescence analysis.

Material study under extremal conditions

5 High pressure diffraction.

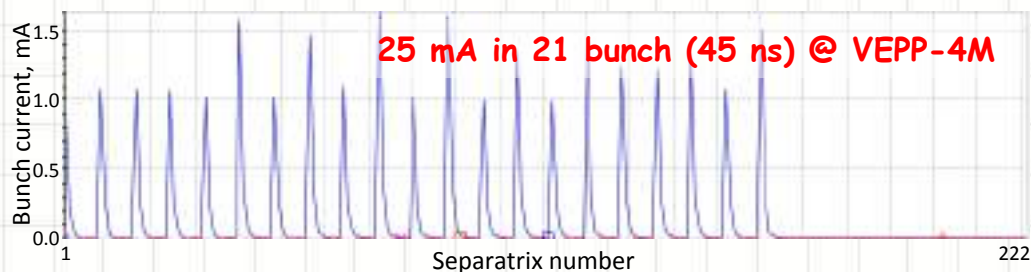
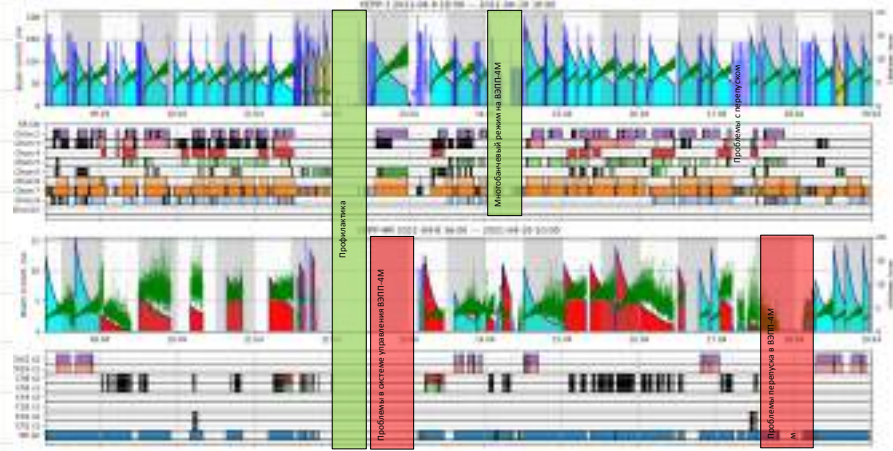
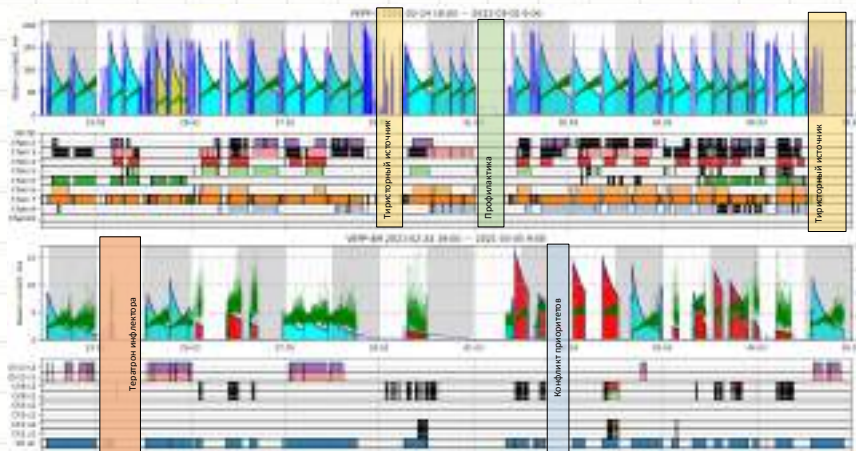
Material study for thermonuclear applications

6 X-ray microscopy and micro-tomography.

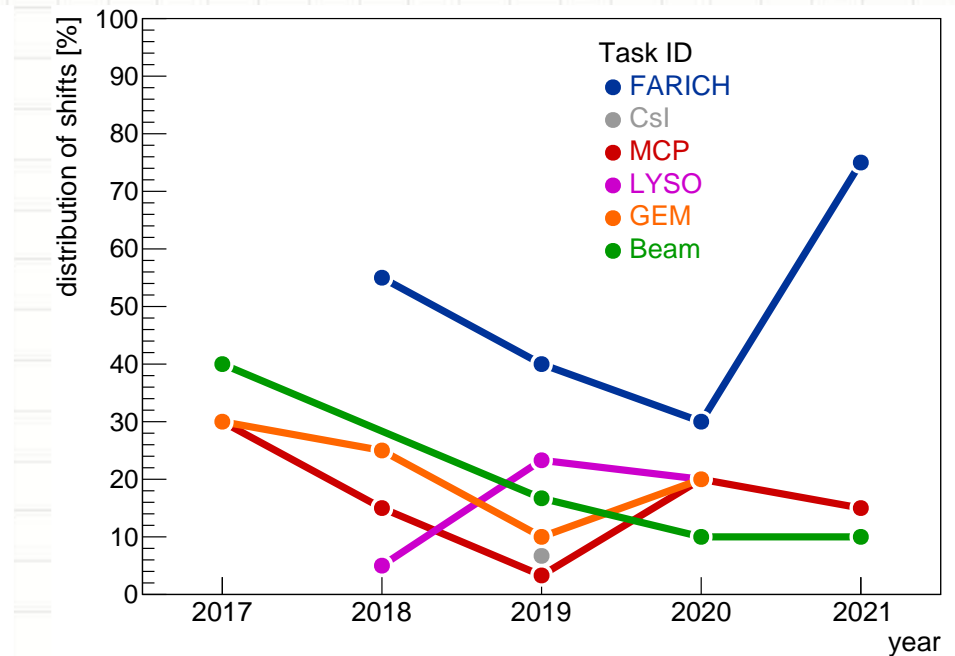
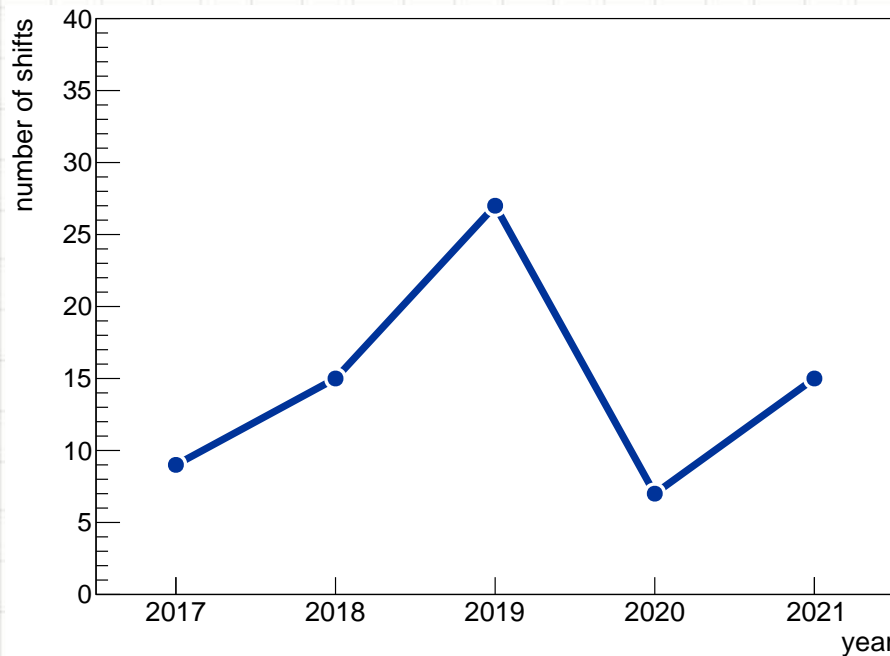
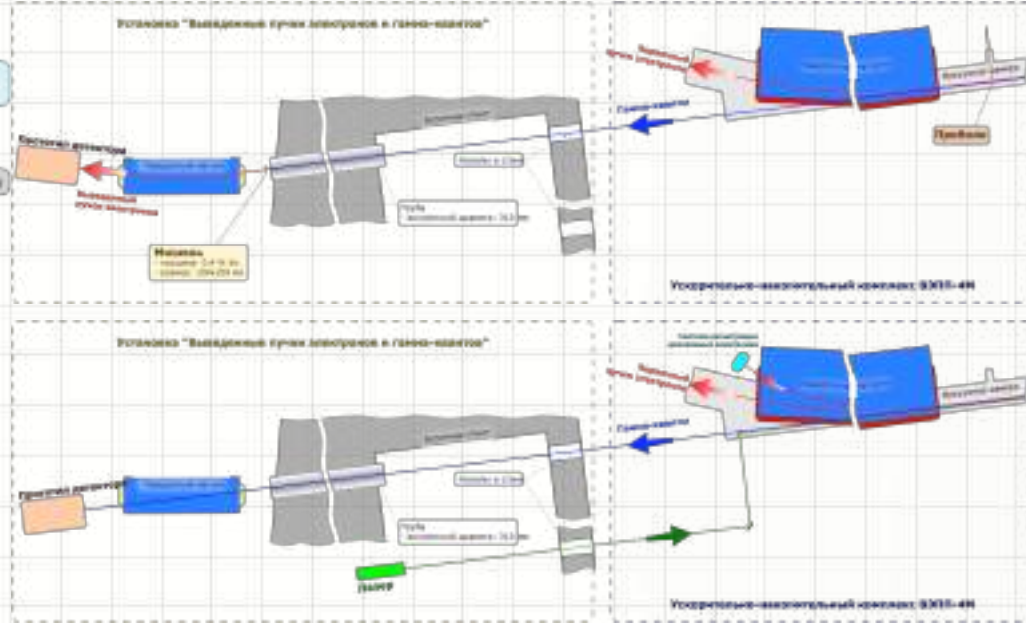
7 Time resolved diffraction.

8 Time resolved luminescence.

9 Precise diffraction.

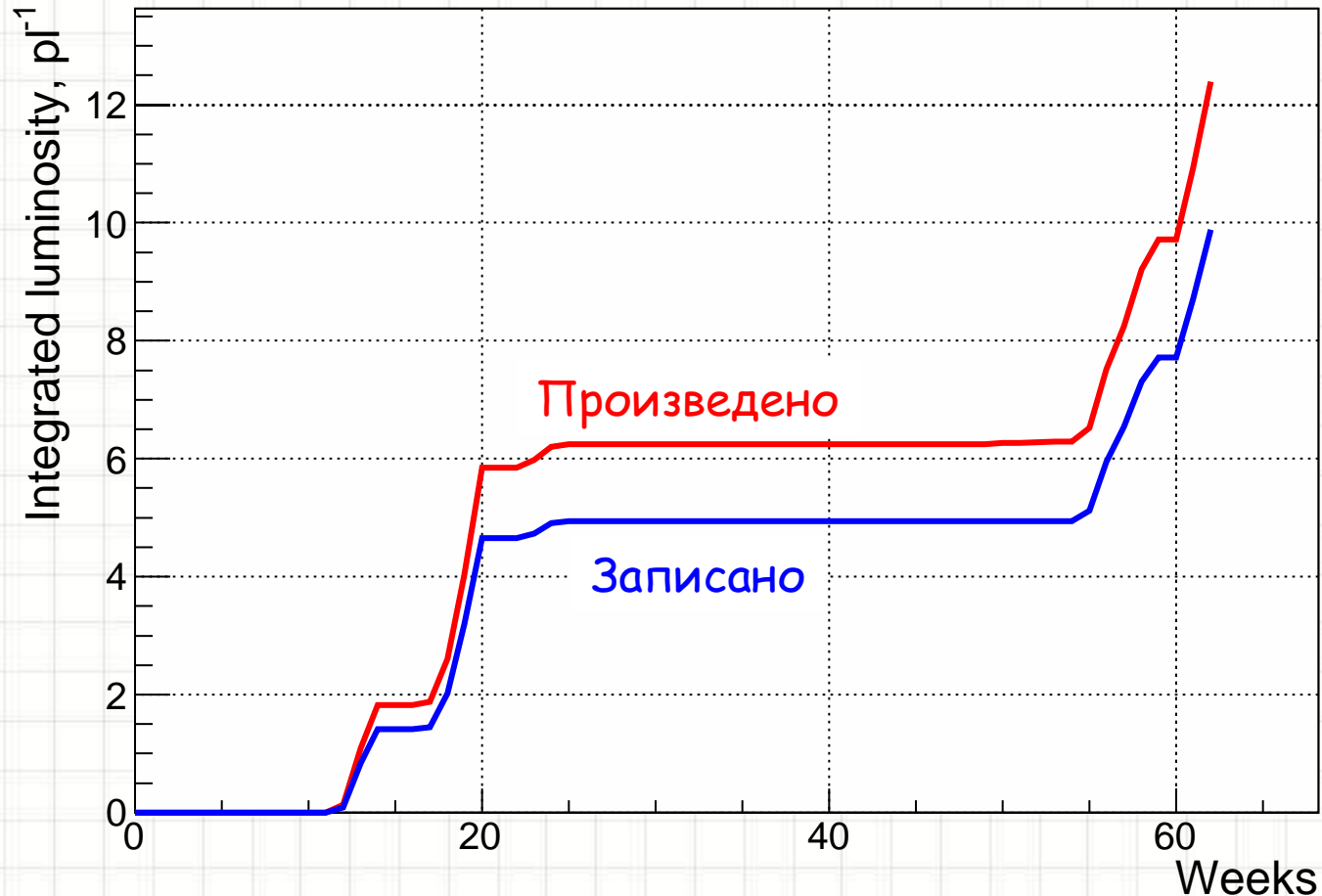


Выведенный пучок



КЕДР @ ВЭПП-4М

Набор статистики для 2х-фотонной физики на 2.5 ГэВ ~ 10 из 100÷200 pb⁻¹

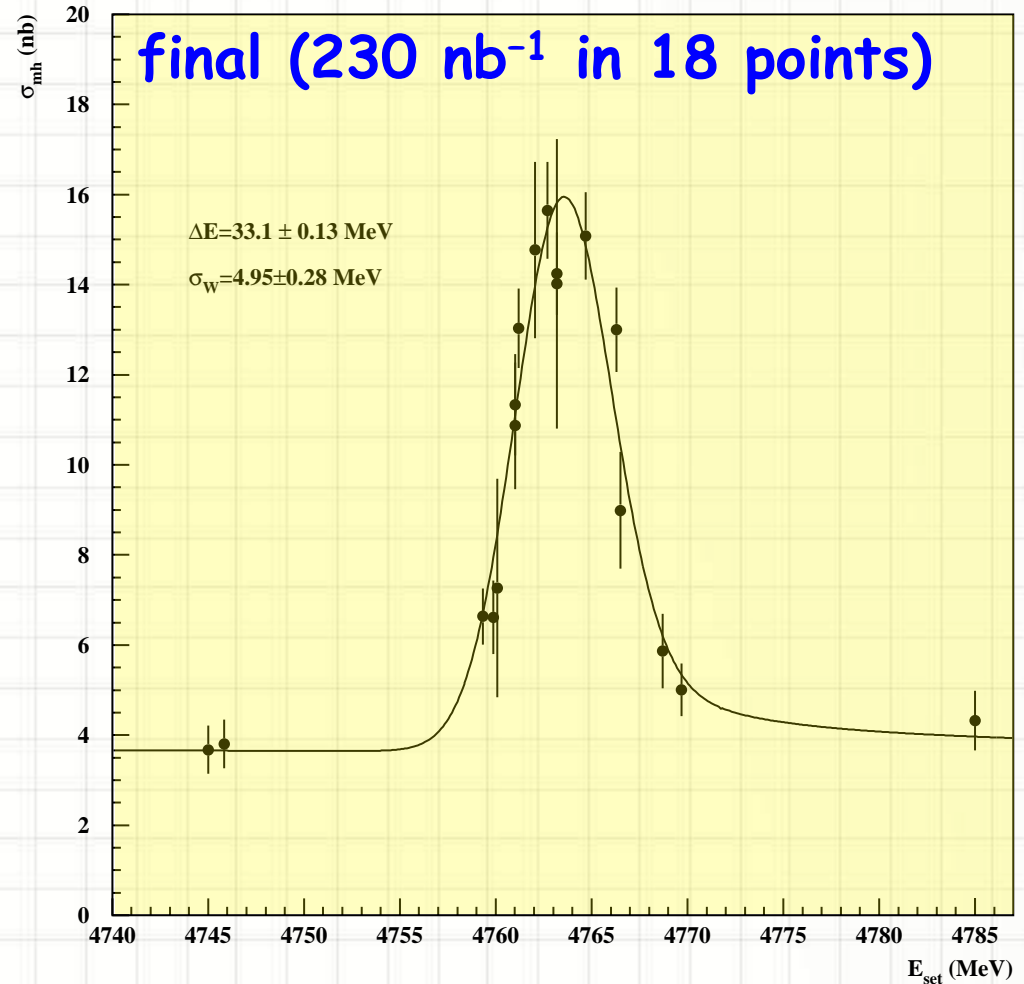
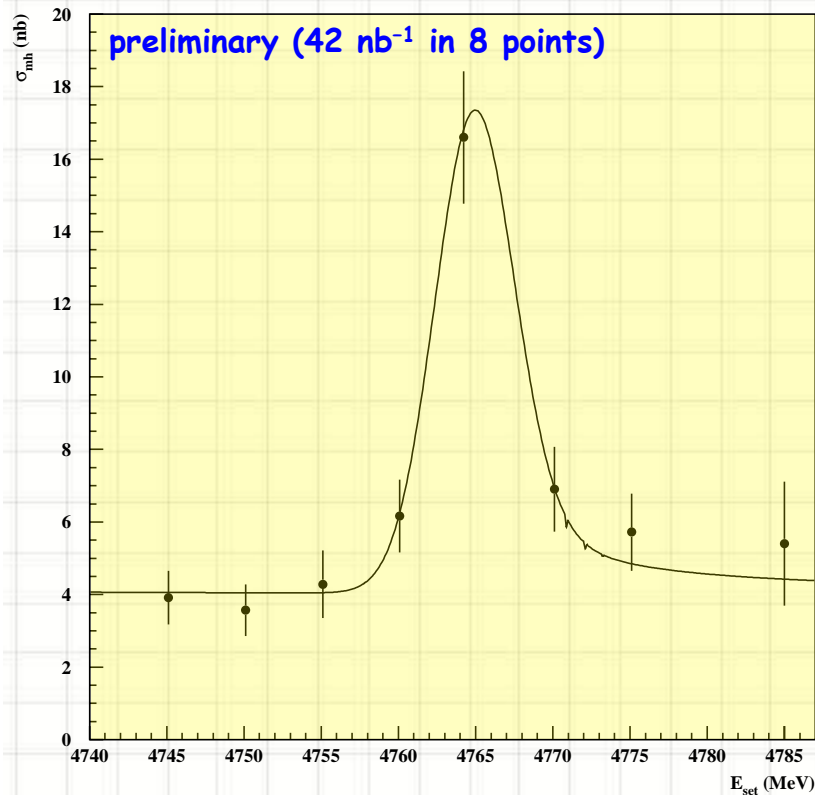


$\Upsilon(1S)$

pdg.lbl.gov

 $I^{G(J^{PC})} = 0^-(1^{--})$ $\Upsilon(1S)$ MASS

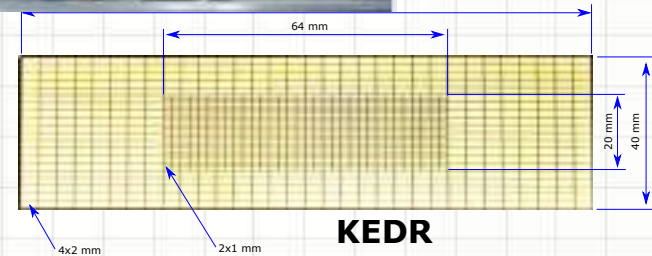
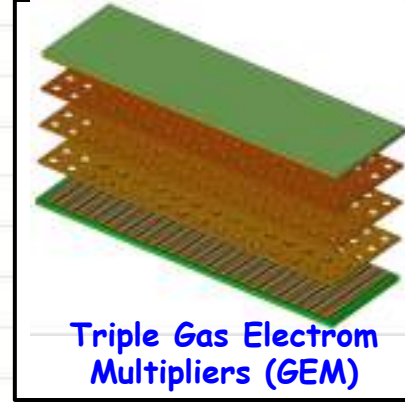
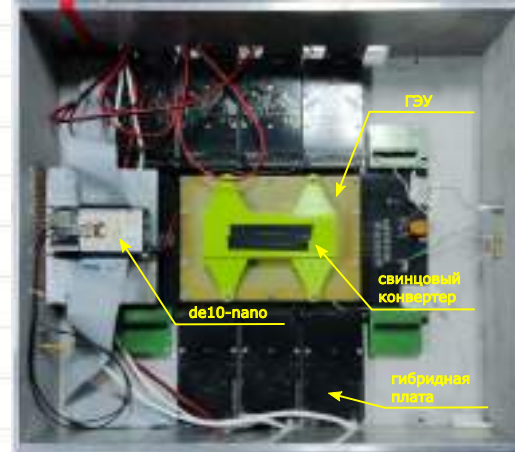
VALUE (MeV)	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
9460.30 ± 0.26 OUR AVERAGE	Error includes scale factor of 3.3.		
9460.51 ± 0.09 ± 0.05	¹ ARTAMONOV 00	MD1	$e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$
9459.97 ± 0.11 ± 0.07	MACKAY 84	REDE	$e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$
• • • We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. • • •			
9460.60 ± 0.09 ± 0.05	^{2,3} BARU	92B	REDE $e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$
9460.59 ± 0.12	BARU	86	REDE $e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$
9460.6 ± 0.4	^{3,4} ARTAMONOV 84	REDE	$e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$

¹ Reanalysis of BARU 92B and ARTAMONOV 84 using new electron mass (COHEN 87).² Superseding BARU 86.³ Superseded by ARTAMONOV 00.⁴ Value includes data of ARTAMONOV 82. $\Upsilon(1S)$ meson scan
June 2021

Laser polarimeter

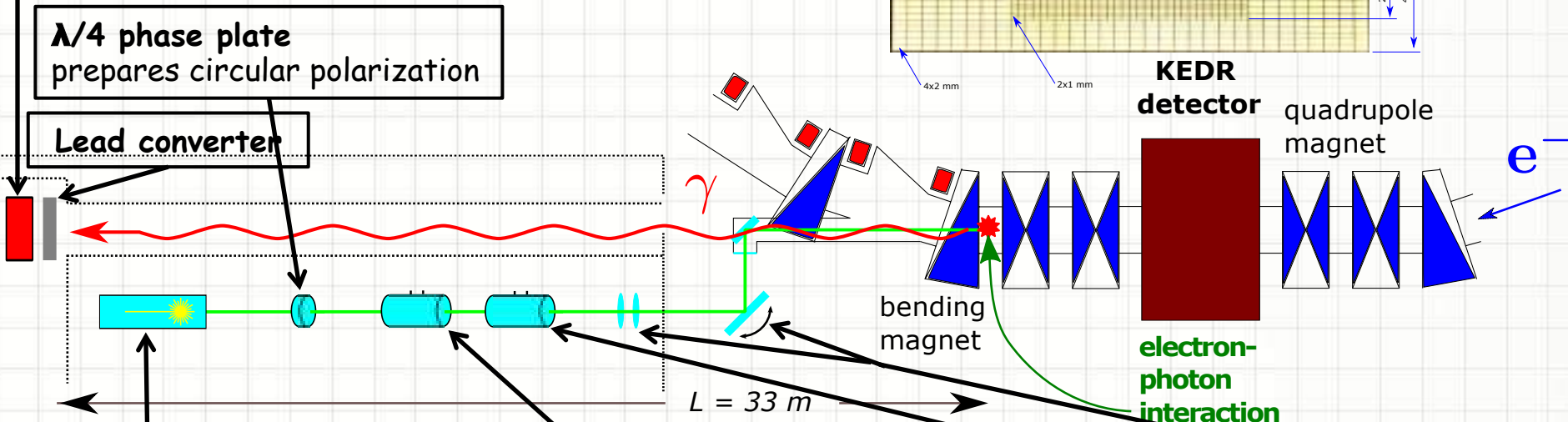
Two coordinate GEM detector

- Ar-CO₂ mixture, 3.4 kV HV
- Sensitive area 128×40 mm²
- Central area 64×20 mm² with 2×1 mm² pads
- Peripheral area with 4×2 mm² pads
- 10 front-end plates of electronics
- up to 4 kHz event rate
- 1120 channels



$\lambda/4$ phase plate prepares circular polarization

Lead converter



Main Pockels cell switch
polarization from left to right

- 4 kHz switch rate
- random series of switching
- suppress possible electron and laser beam orbit instabilities

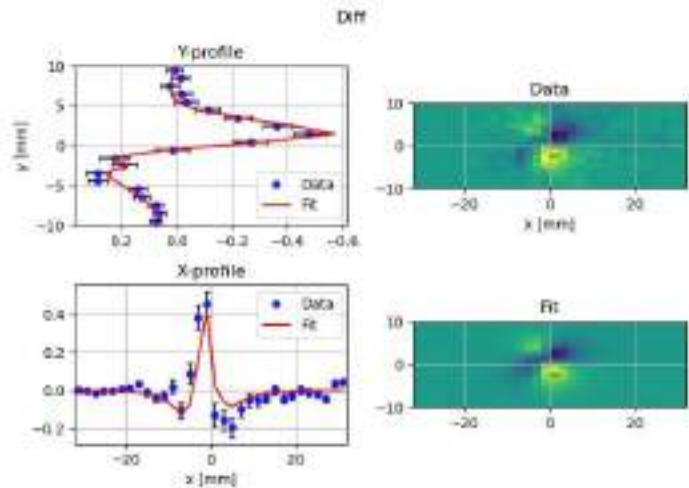
Correction Pockels cell
compensates polarization degradation after reflecting on the air and vacuum mirror

Expander and Movable mirror
is focusing laser beam on the electron beam near close lenses where lower angular spread

Nd:YLF laser

- 527 nm wave length
- 2 W power
- 5 ns pulse duration
- 4 kHz pulse rate

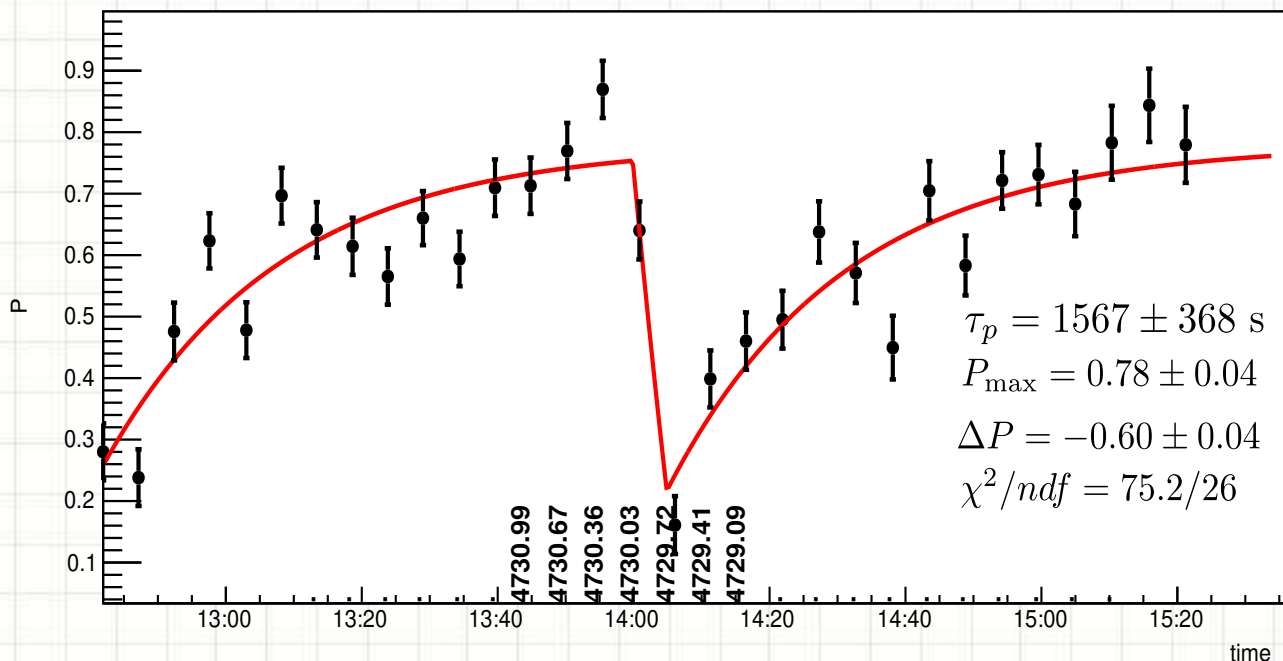
Измерение энергии @ $\Upsilon(1S)$



Отработано ~ 10 смен

- Измерения энергии на 4.1, 4.75 ГэВ
- Измерения с полем КЕДРа 0, 2, 4, 6 кГц
- Измерения с выключенными скью-квадруполями
- Измерения в рабочем режиме (режим светимости)
- Изучение систематик
- Автоматизация процедуры калибровки

$$E_{\downarrow 0.3\text{keV/s}} = 4729.791 \pm 0.027 \text{ MeV}$$



Требуемая точность измерения энергии для $\Upsilon(1S)$ ~ 20 кэВ

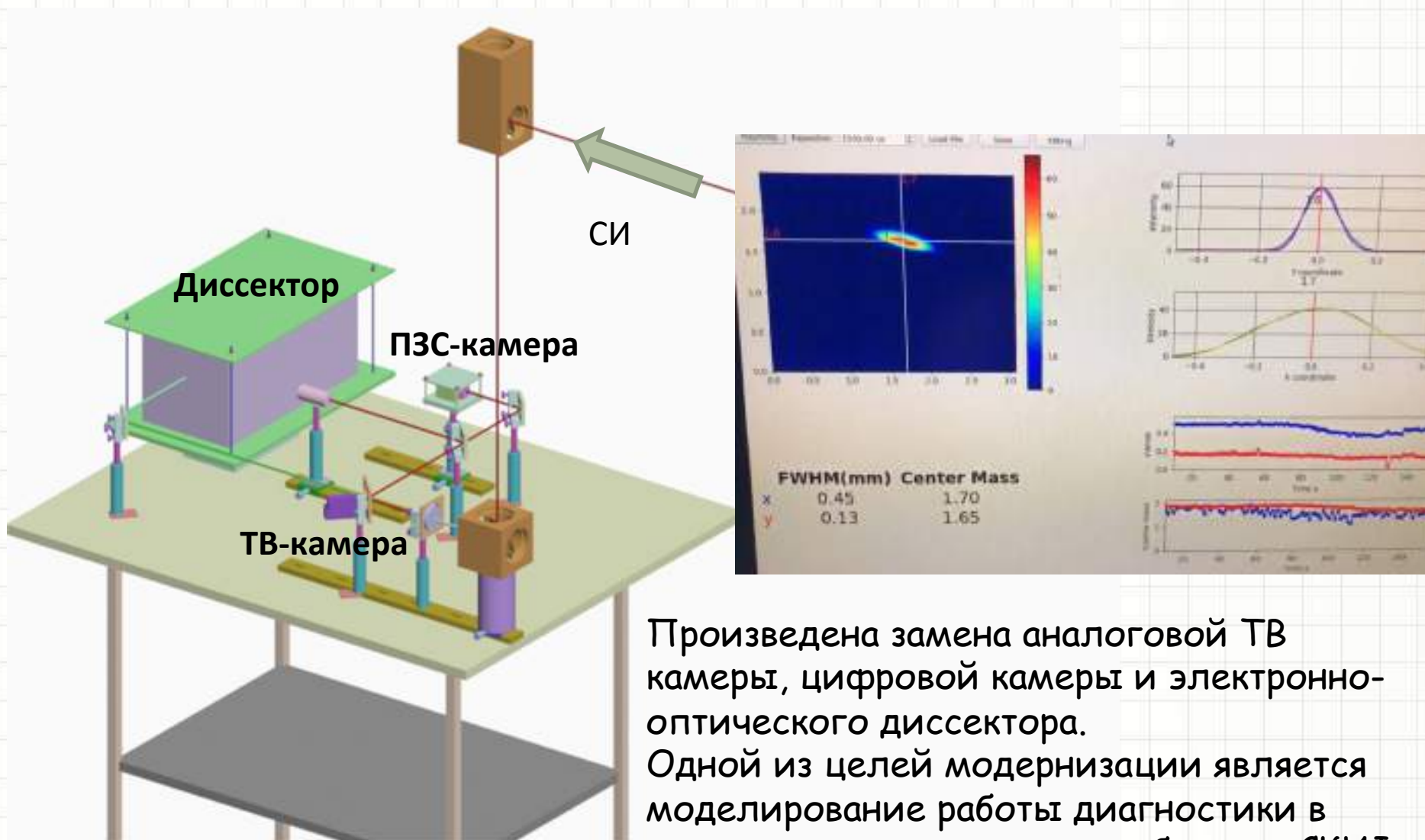
Оценка ошибок для $\Upsilon(1S)$

- Квадратичная нелинейность ($V_y(x^2)$): $\Delta E \leq 45$ кэВ, $\sigma_E \leq 45$ кэВ
- Разброс горизонтальных орбит (ошибка): $\langle x^2 \rangle^{1/2} = 1$ мм $\sigma_E = 140$ кэВ
Требуется стабилизация горизонтальной орбиты в каждом заходе
- Хроматизм оптических функций в месте встречи: $\Delta M \approx -20 \pm 10$ кэВ
Требуется настройка режима и совпадение с моделью
- Вертикальная дисперсия разного знака (поправка): $\Delta M \approx -20 \pm 10$ кэВ
Требуется настройка на максимум светимости $\Delta L/L \leq 0.05$, при $\eta_y \approx 0.8$ мм

Модернизация

- ✓ Диагностика пучка
- ✓ Модернизация предварительных каскадов ВЧ ВЭПП-4 (ТриадаТВ)
- ✓ Тиристорные ИП ВЭПП-3 и ВЭПП-4М + контролер Сенькова
- ✓ Модернизация трансформаторов ИП ВЭПП-3 и ВЭПП-4М (выполнено 1/4)
- ✓ Новая электроника для ИП ВЭПП-3 и ВЭПП-4М
- ✓ Система быстрой защиты ВЧ ВЭПП-4
- ✓ Слаботочное питание ВЧ ВЭПП-4
- ✓ Новые генераторы электростатики ВЭПП-4М + контролер Сенькова
- ✓ Система измерения импульсных полей VsDC-4 @ VME
- ✓ IT-инфраструктура + пультовые компьютеры
- ✓ Новый теплообменник ВЭПП-4 и система термостабилизации
- ✓ Система термозащиты и термоконтроля на PLC
- ✓ Новые ИП 10А (замена УМ) + контролер Торнадо ~ 60 млн.руб.
- ✓ Новые ИП 25А MPS-25 (замена ТИР, ВУР) + контролер Торнадо ~ 20 млн.руб.
- ✓ Новые ИП 500А ВЧ-500 (замена В-1000) + контролер Сенькова ~ 10 млн.руб.
- ✓ Новая электроника ИСТов + контролер Сенькова ~ 15 млн.руб.
- ✓ Модернизация импульсного питания канала ВЭПП-3-4 ~ 40 млн.руб.

Обновление системы оптической диагностики ВЭПП-3



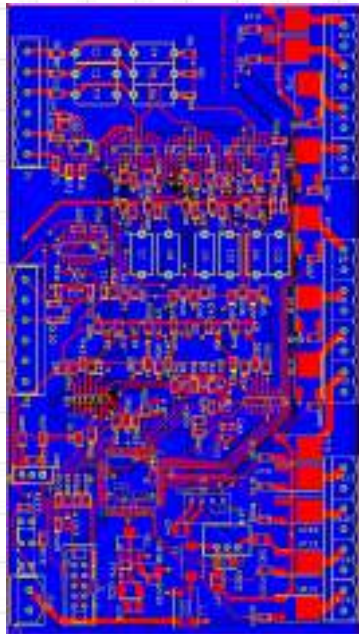
Произведена замена аналоговой ТВ камеры, цифровой камеры и электронно-оптического диссектора. Одной из целей модернизации является моделирование работы диагностики в режиме накопления пучка в бустере СКИФ.

Новая электроника ИТ ВЭПП-3/4

Модуль управления тиристорами

Новый модуль управления тиристорами встраивается в существующую схему электроники управления источником без глобальных изменений существующих цепей — используется существующая система синхронизации, выход согласован с существующей схемой поджига тиристоров и т.д.

Модернизация электроники позволит улучшить характеристики по выходным пульсациям и повысить надежность работы. Плата модуля разработана и в настоящий момент изготавливается.

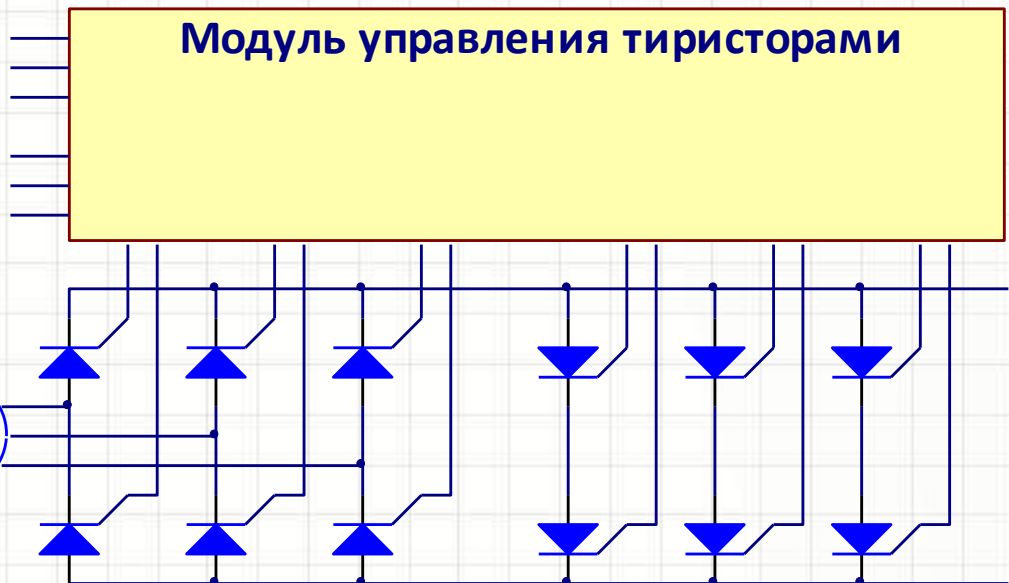
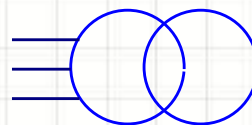


Напряжение синхронизации

Напряжение управления
Защитное отключение
+24В

Модуль управления тиристорами

10кВ



MPS-25 vs TИP-25

1 этап для ВЭПП-3 16 шт. ~ 7 млн.руб.

- MPS-25-40 (25А×40В) 7шт. + 2шт.(резерв) = 9 шт.
- MPS-25-120 (25А×120В) 5шт. + 2шт.(резерв) = 7 шт.

2 этап для ВЭПП-4 35 шт. ~ 16 млн.руб.

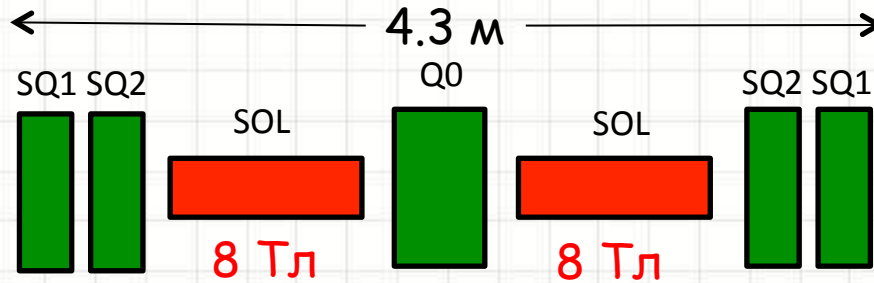
Изготовлен прототип с контроллером от ООО "Модульные Системы Торнадо", ведутся испытания



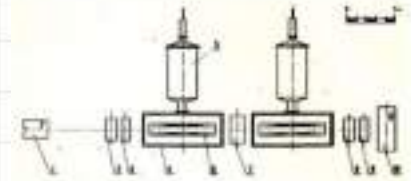
После внесения изменений в конструкторскую документацию будет начато производство (предположительно ООО "БЭМЗ")

П.Пиминов, Статус и перспективы ВЭПП-4, Научная сессия ИЯФ, 2022

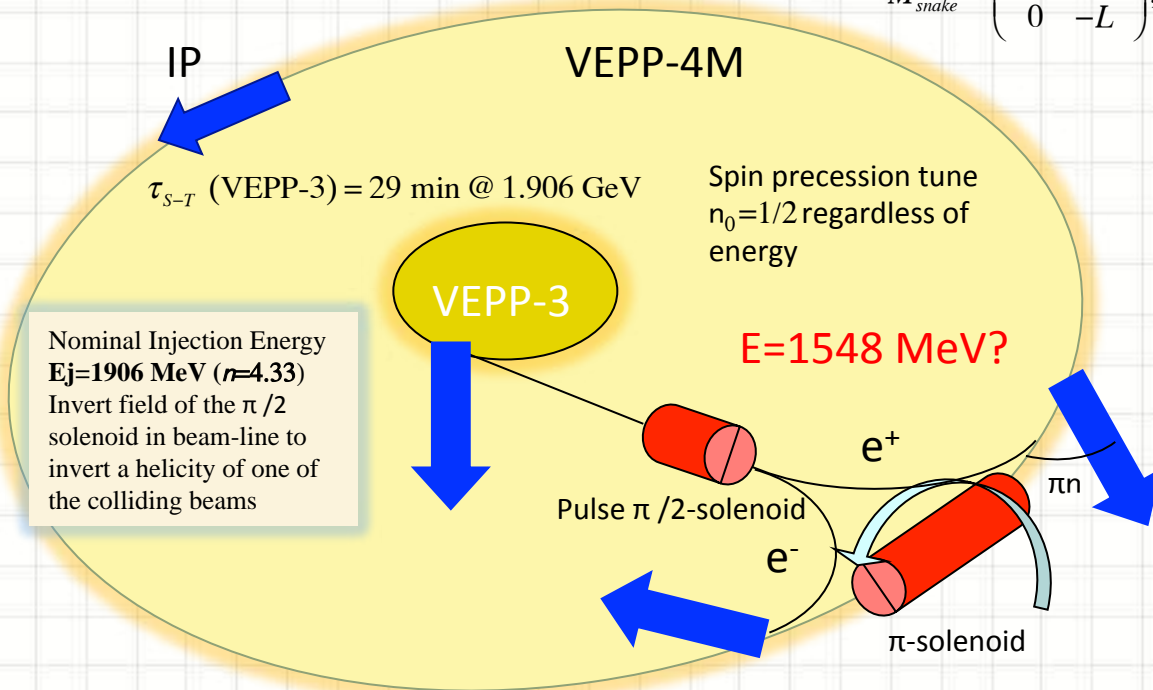
Продольная поляризация Сибирская змейка



$$M_{snake} = \begin{pmatrix} L & 0 \\ 0 & -L \end{pmatrix}, L = \begin{pmatrix} 1 & L_{snake} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$



Вид вставки с соленоидом в техническом проеме в проекте для ВЭПП-4 (1983):
 1, 10 элементы основной структуры
 2, 3, 8 и 9 сфокусированные
 4 магнитный экран
 5 пеллевого дюзар
 7 квадрупольная линза



Nominal Injection Energy
Ej=1906 MeV ($n=4.33$)
 Invert field of the $\pi/2$ solenoid in beam-line to invert a helicity of one of the colliding beams

Depolarization time with SS:

$$\tau_d \approx \frac{54}{11} \cdot \frac{\tau_{S-T}}{\pi^2 \gamma^2} \cdot B(v, v_x) \propto E^{-7}$$

$v = \gamma a$

$B(v, v_x)$ – betatron factor

VEPP-4M Sokolov-Ternov time :

$$\tau_{S-T} [h] \stackrel{VEPP-4M}{=} \frac{1540}{E^5 [GeV]}$$

70 hours at 1.85 GeV

Estimate with $B(v, v_x)$

(no optimization):

$\tau_d = 160$ min at $E = 1777$ MeV

$\tau_d = 120$ min at $E = 1846$ MeV

$\tau_d = 425$ min at $E = 1548$ MeV

Продольная поляризация

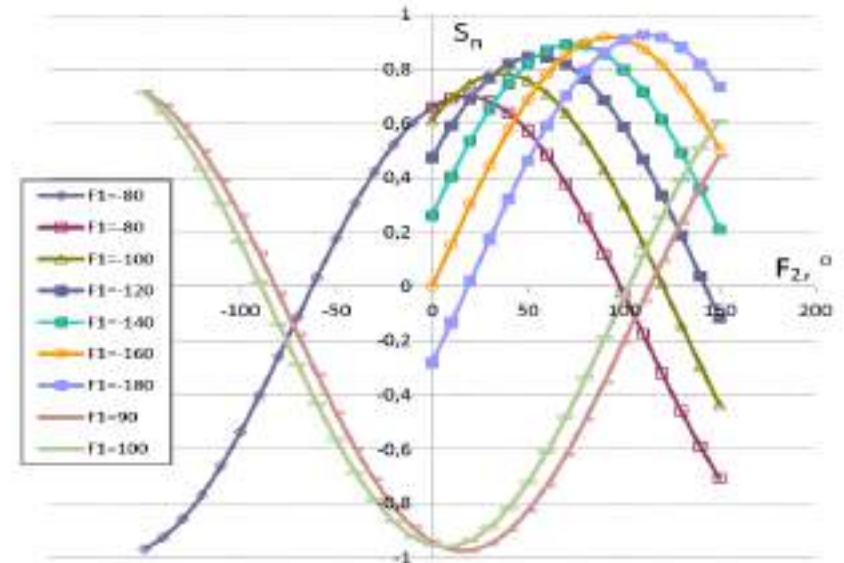
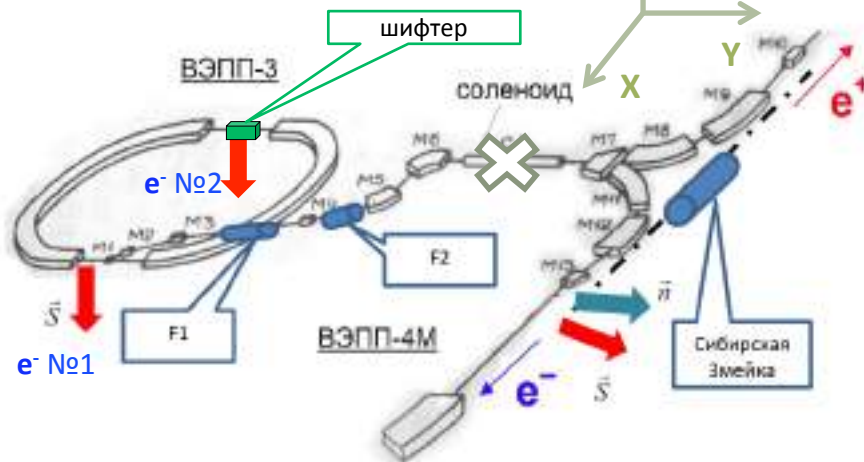
Для наилучшего согласования векторов поляризации и спин-флипа на впуске предлагается схема из двух соленоидов в канале ВЭПП-3 - ВЭПП-4М. Можно ограничиться и одним из них - F1. При одном знаке поля он обеспечит проекцию $S_n = -0.97$ (первый сгусток из ВЭПП-3). При другом $S_n = +0.65$ (второй сгусток).

Проекция поляризации инжектируемого пучка на равновесное направление поляризации в ВЭПП-4М vs угла поворота спина в импульсных соленоидах

$$S_n = \vec{S} \cdot \vec{n}$$

$$n_x = \sin \pi n, n_y = \cos \pi n, n_z = 0$$

$$v = \frac{E[\text{MeV}]}{440.65} = 3.513 @ E = 1548 \text{ MeV}$$



F_1 – угол поворота в соленоиде между M3 и M4
 F_2 – угол поворота в соленоиде между M4 и M5

Два знака спиральности электронов (Spin Flip за счет двух сгустков):

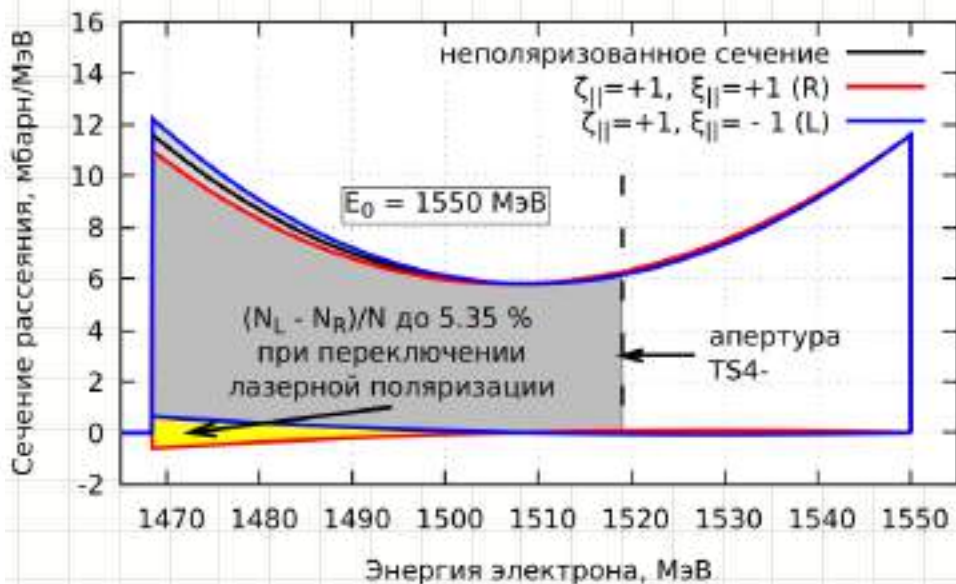
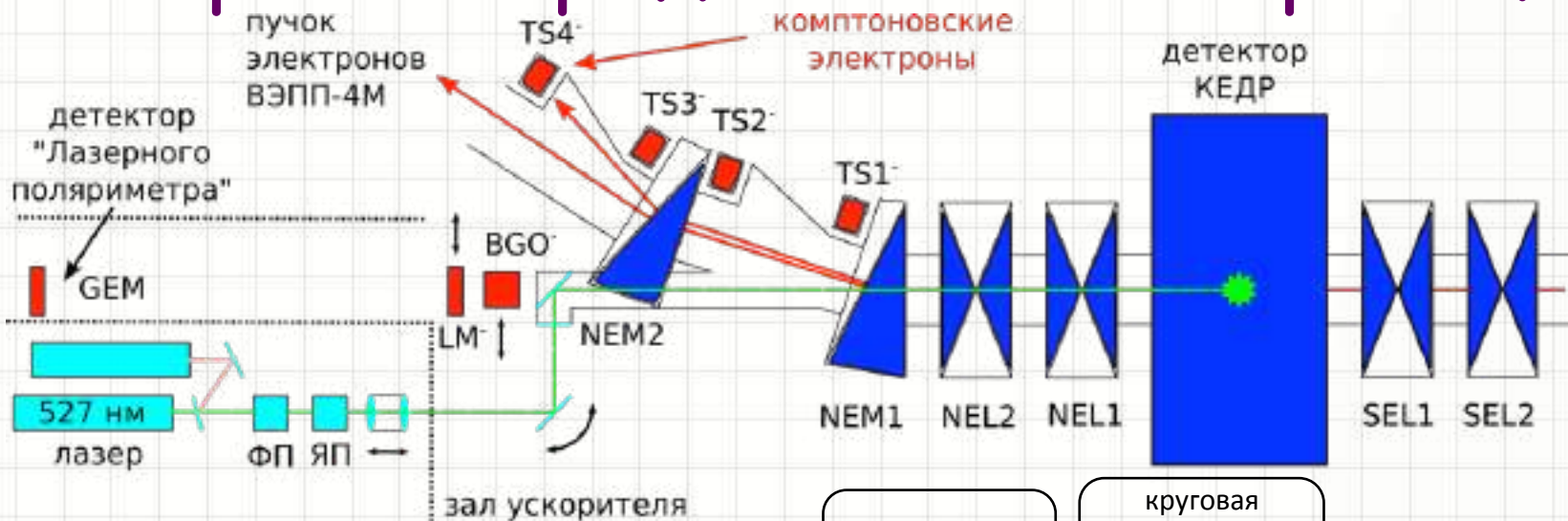
$F_1 = 100^\circ, F_2 = 0^\circ \rightarrow$ проекция спина электронов первого банча $S_n = -0.97$

$F_1 = 120^\circ, F_2 = 50^\circ \rightarrow$ проекция спина электронов второго банча $S_n = +0.85$

Продольная поляризация

1. Отработка метода получения продольной поляризации в электрон-позитронном коллайдере с инъекцией поляризованного пучка из внешнего источника на энергии 1548 МэВ.
2. Этапы:
 - проектирование и изготовление двух SC соленоидов с интегралом не менее 145 см × 5.6 Т, 5-ти "теплых" квадрупольей (4 нормальных, одна скью, примерно 3 кГс/см) и вакуумной камеры вставки;
 - разработка или подбор источников питания магнитов вставки;
 - монтаж вставки в центре технического промежутка;
 - изготовление одного импульсного соленоида с интегралом поля 9.1 Т·м (генератором послужит один из имеющихся ГИМНов с бывшего Позитрона) и его размещение в канале инъекции между М3 и М4;
 - проведение эксперимента по получению продольной поляризации электронов с спиральностью двух знаков ($S_n = -0.97$ и $S_n = +0.65$);
 - изучение факторов влияния на время жизни продольной поляризации (энергия, бетатронные колебания, искажения орбиты).
3. Изучение возможности применения Комптоновского поляриметра с регистрацией рассеянных электронов для измерения степени продольной поляризации в сочетании с Тушековским поляриметром.
4. Исследование влияния эффектов встречи на поляризацию пучка.

Измерение продольной поляризации



неполяризованное сечение

круговая поляризация лазерного излучения

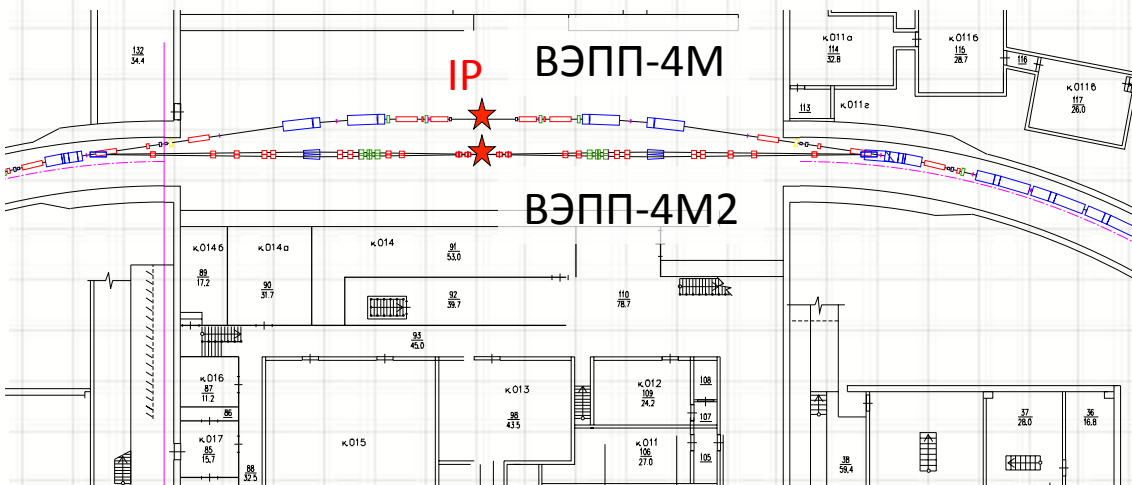
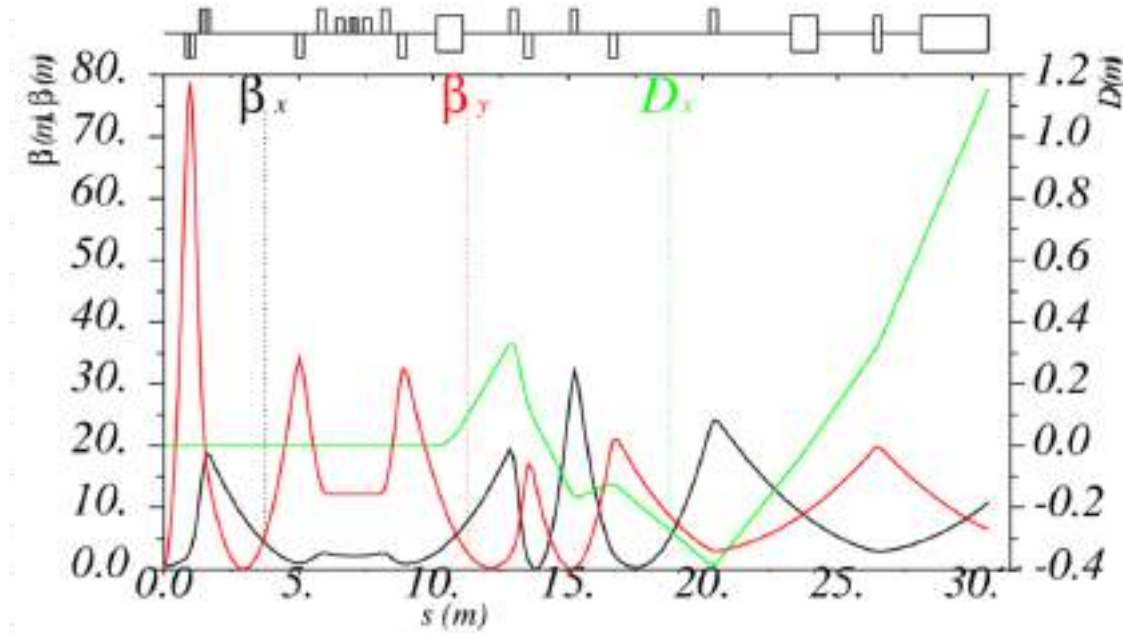
продольная поляризация электронов

$$d\sigma = d\sigma_0 + \frac{\xi_{||}\zeta_{||}r_e^2}{k^2(1+u)^3} u(u+2)(k-2u) du d\varphi$$

- Систематическая ошибка ~ 5%:
 $\Delta\xi_{||} = 2 \cdot 0.9 \pm 0.05$
 примесь линейной поляризации ~ 0.1 → разность LR (но можно калибровать)
- Статистическая ошибка ~ 1%:
 скорость счёта ~ 2 кГц/мА, ~ 1% за 100 сек.
- С планируемой заменой зеркала и настройкой поляризации погрешности станут меньше.

Готово всё, кроме ПО для обработки результатов

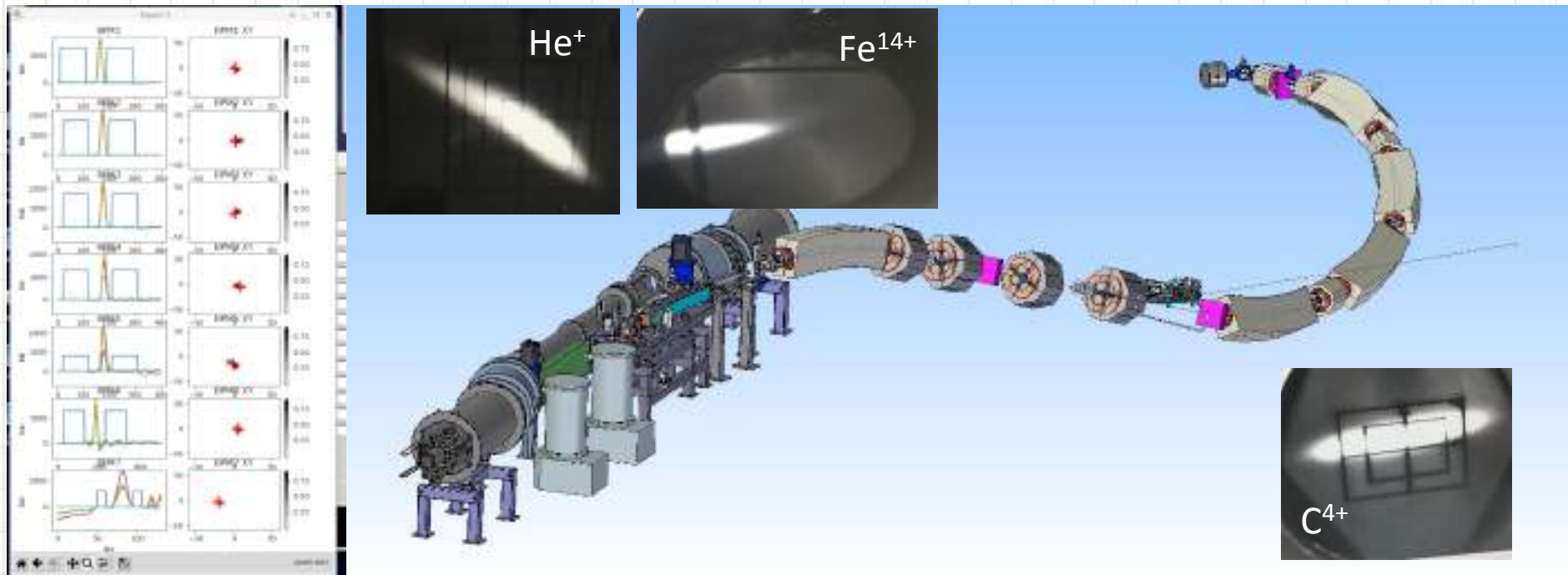
ВЭПП-4М2: Crab Waist



Энергия пучка	1850 МэВ
Периметр,	366.075 м
Число сгустков	2x2
Число частиц	$8.5 \cdot 10^{10}$
Ток сгустка	11 мА
Рад. эмиттанс	24 нм·рад
Бетатронная связь	0.05
Энерг. разброс	$3.1 \cdot 10^{-4}$
Гор. бета-функция	0.5 м
Вер. бета-функция	0.01 м
Продольный размер	0.04 м
Угол пересечения	30 мрад
Угол Пивинского	5.48
Рад. параметр встречи	0.014
Вер. параметр встречи	0.05
Светимость	$4.1 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$

NICA Booster-Nuclotron Transfer Line

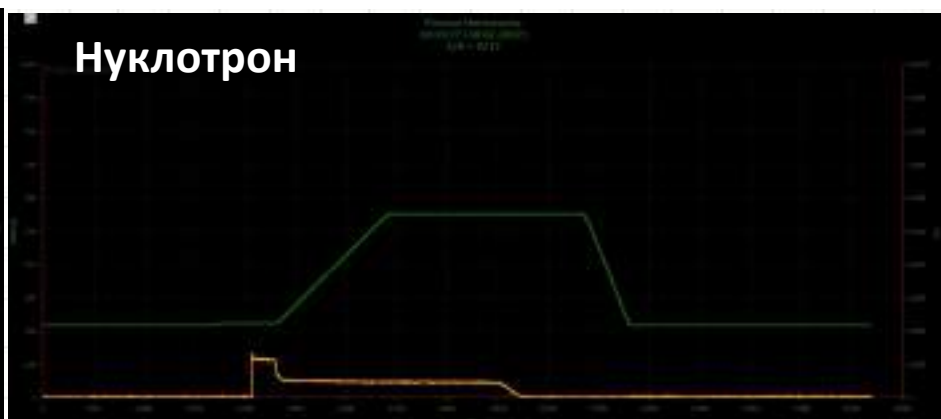
Договор №16-197 на выполнение НИР и ОКР «Разработка и изготовление систем перевода пучков из Бустера в Нуклотрон ускорительного комплекса NICA» (ОИЯИ, Дубна)



Бустер



Нуклотрон



Контракт FAIR HEBT

FAIR Contract No. CC2.3.2-2 HEBT batch 2, 3 & 4

Магниты	кол-во	в FAIR	прошли FAT & отпр.
dip4_0	2		
dip10_0	6	3	
dip13_0	2	1	1
dip13_3	3		
dip19_0	4		
dip15_0	4	4	
dip15_1	1	1	
dip16_0	1	1	
dip17_0	1		1
Quadrupole 2	91	44	22
Quadrupole 2 L	4		
Quadrupole 10	4	4	
Quadrupole 11	70	5	11
Quadrupole 12	12		
Steering 13	5		
Steering 18	48	29	6
Steering 100	45	26	2
Total	303	118	43



Выполнено:

2020 - 40%

2021 - 57%

Доставлено в FAIR - 118

Прошли FAT и отправлено - 43

Готовится к сдаче - 10

П.Пиминов, Статус и перспективы ВЭПП-4, Научная сессия ИЯФ, 2022

Спасибо за внимание

