



Сибирский **К**ольцевой **И**сточник **Ф**отонов

Е.Б. Левичев от команды СКИФ
Сессия ИЯФ, 31 января 2020 г.

| | |
|---|-------------------|
| 1. Совет по науке при Президенте Российской Федерации (г. Новосибирск) | 08.02.2018 |
| 2. Поручение Президента Российской Федерации В.В. Путина №656 | 18.04.2018 |
| 3. Создание Научно-координационного совета ЦКП «СКИФ» | 11.05.2018 |
| 4. Эскизный проект ЦКП «СКИФ» | 23.08.2018 |
| 5. Концептуальный проект инженерно-строительной инфраструктуры | 25.12.2018 |
| 6. Задание на проектирование объекта ЦКП «СКИФ» | 09.01.2019 |
| 7. Передача земельного участка под строительство ЦКП «СКИФ» в ИК СО РАН | 15.04.2019 |
| 8. Техничко-ценовой аудит проекта (ТЦА-1) | 25.04.2019 |
| 9. Подготовка полного пакета документов для ФАИП | 06.05.2019 |
| 10. Указ Президента Российской Федерации В.В. Путина №356 (о ФНТП) | 25.07.2019 |
| 11. Совет ФНТП (утверждение характеристик ЦКП «СКИФ») | 17.10.2019 |
| 12. Постановление Правительства Российской Федерации №1777 (о ФАИП) | 23.12.2019 |
| 13. Подготовка и направление ИТТ Государственному заказчику | 01.02.2020 |
| 14.... | |
| 15. Создание источника синхротронного излучения поколения 4+ ЦКП «СКИФ» | 30.12.2023 |
| 16. Запуск в эксплуатацию исследовательской инфраструктуры | 30.12.2024 |

Потеря 7,5 месяцев

1 поколение – неспециализированные, СИ из магнитов, ВЭПП-3, ВЭПП-4 (100 – 300 нм)

2 поколение – специализированные, СИ из вигглеров, Сибирь-2 (90 нм)

3 поколение – специализированные, СИ из ондуляторов (1 – 10 нм)

В 1996 г. в ESRF Workshop on Fourth Generation Light Sources (4GLS): циклические источники СИ исчерпали свой потенциал развития и «*The hard X-ray group is unanimously excited about FEL as the 4GLS*». Однако...

1995 D.Einfeld et al. Design of a Diffraction Limited Light Source (DIFL), PAC 1995.

1996 T.S.Ueng et al. Topping Up Experiments at SRRC, EPAC 1996.

1998 C.Benvenuti et al. NEG Coating, J Vac Sci Technol A 1998; 16:148.

1999 R.Ursic, Digital Receivers Offer New Solution for Beam Instrumentation, PAC 1999.

.....



4 поколение (циклические ИСИ) – эмиттанс ~100 ... 10 пм.

- Магнитная структура типа MBA. Компактная ячейка периодичности, короткие магниты с малым углом поворота.
- Экзотические магниты: дефокусирующие ~ -40 Т/м, с продольным градиентом и т.д.
- Сильные квадрупольные (до ~ 100 Т/м) и секступольные (до $\sim 2 \div 10$ кТ/м²) линзы.
- Высокая точность изготовления и позиционирования магнитных элементов ($\sim 10 \div 20$ мкм).
- Малоапертурная вакуумная камера ($\sim \varnothing 20 \div 30$ мм), газопоглощающие покрытия.
- Малая ДА; сложные алгоритмы оптимизации; сложные оптические решения; дополнительные мультиполи (секступоли, октуполи).
- Сильное IBS, резонаторы третьей гармоники, сильнополевые вигглеры, уменьшающие время затухания и эмиттанс.
- Большая бетатронная связь (несколько процентов).

Эмиттанс ультрарелятивистского электронного пучка, определяемый равновесием между радиационным трением и квантовой раскачкой:

$$\varepsilon_x = F(v_x) \frac{C_q \gamma^2}{J_x} \phi^3$$

При фиксированных энергии и периметре уменьшение эмиттанса требует

$$(K_1 l) \propto \varepsilon_x^{-1/3}$$

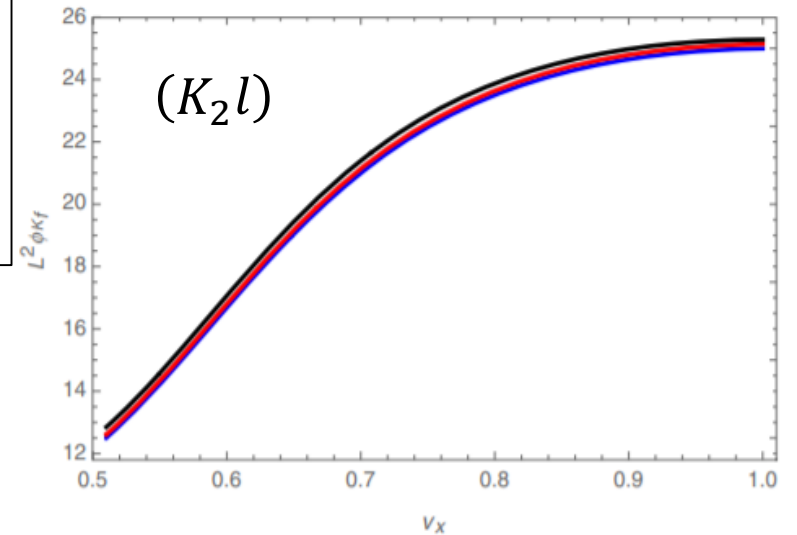
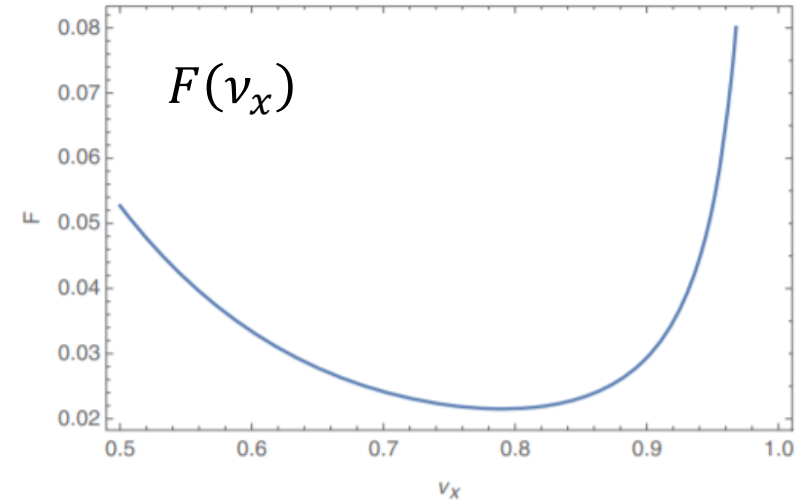
$$(K_2 l) \propto \varepsilon_x^{-1}$$

Рост сил квадрупольных и секступольных линз является основным техническим ограничением при создании ИСИ с малым эмиттансом.

Пример:

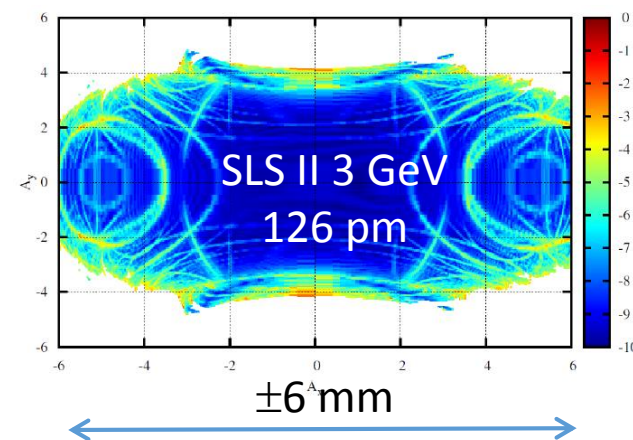
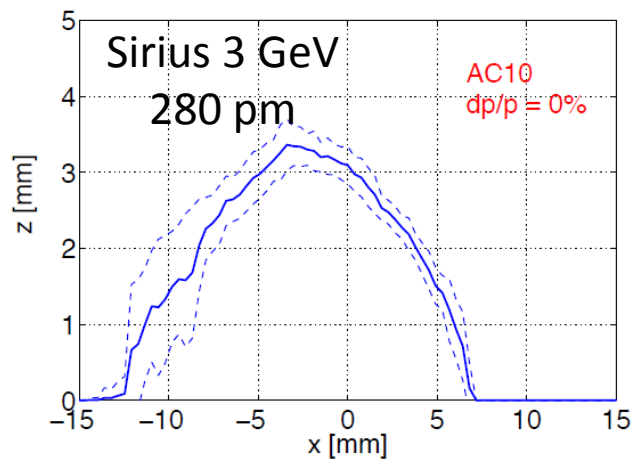
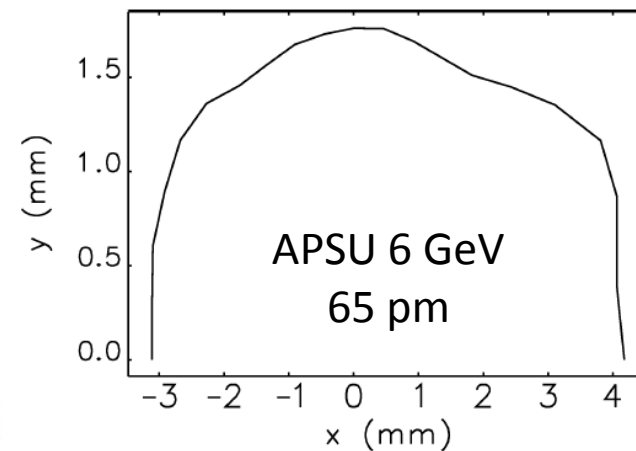
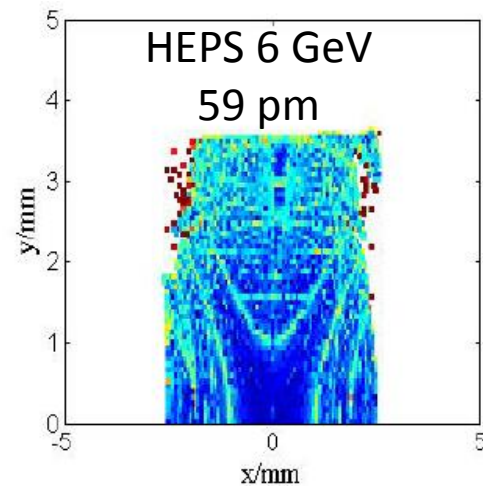
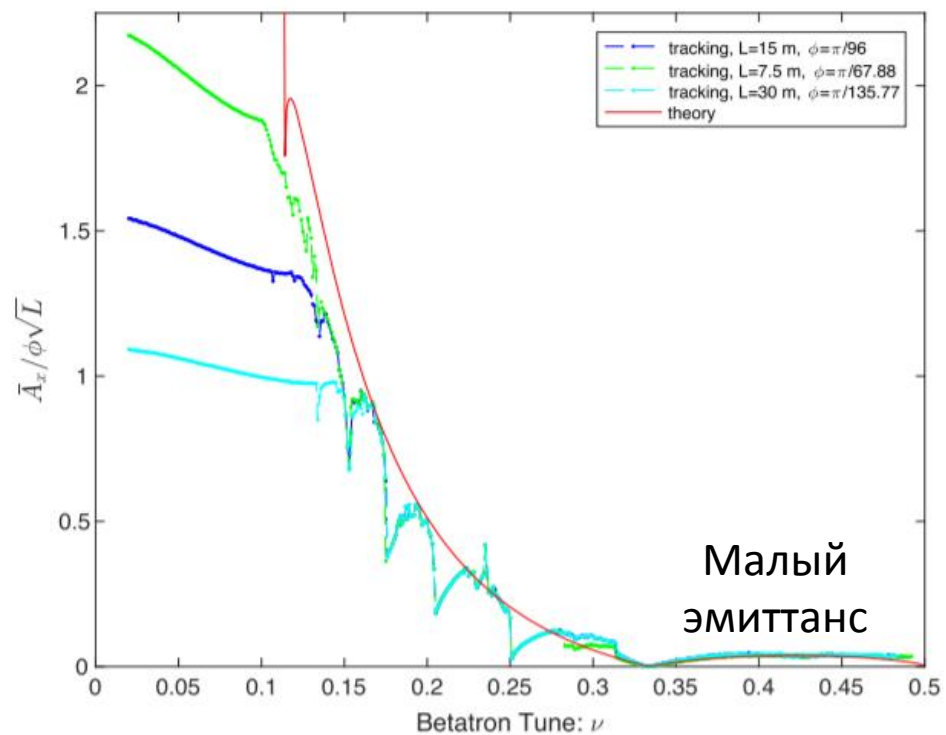
Сибирь-2 $\varepsilon_x = 90$ нм $G_{max} \approx 30$ Т/м $B'' \approx 600$ Т/м²

СКИФ $\varepsilon_x = 75$ пм $G_{max} \approx 70$ Т/м $B'' \approx 2400$ Т/м²

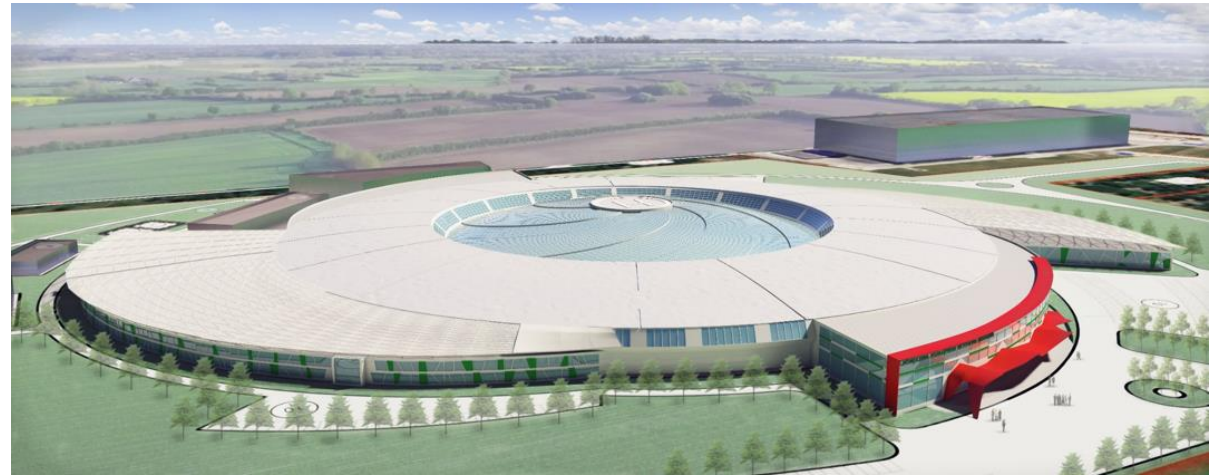
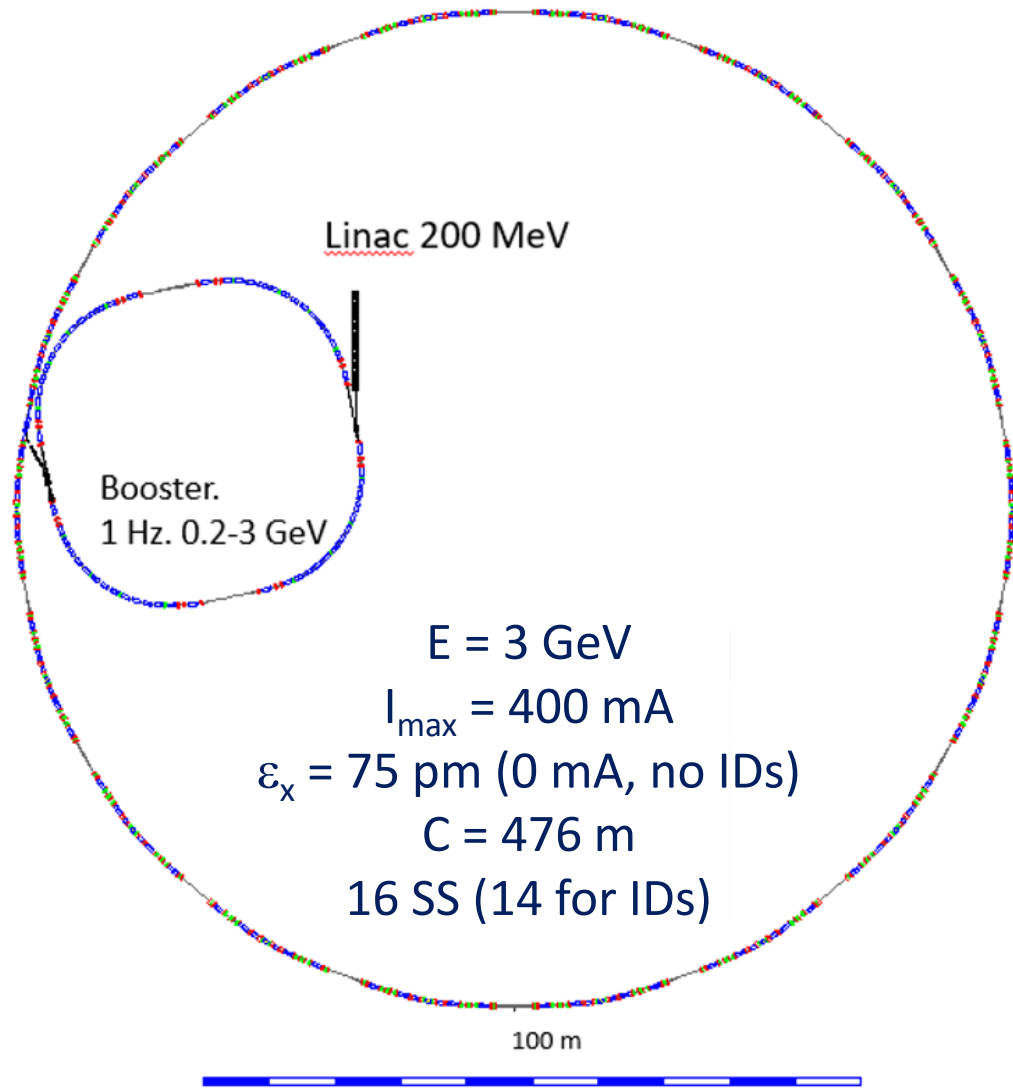


Yunhai Cai, PRAB 21, 114002 (2018)

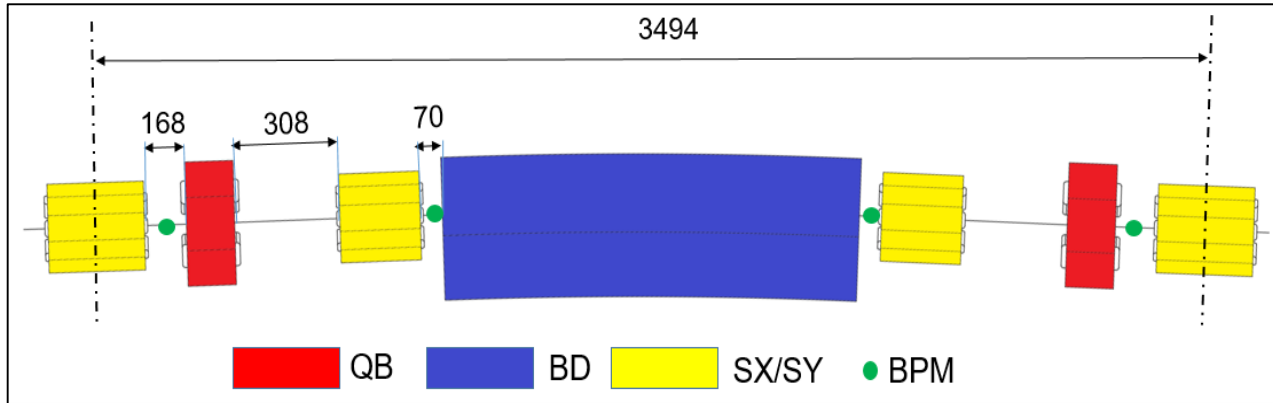
Основной динамической проблемой для источников СИ четвертого поколения является маленькая динамическая апертура (инжекция) и динамический энергетический акцептанс (время жизни по Тушеку).



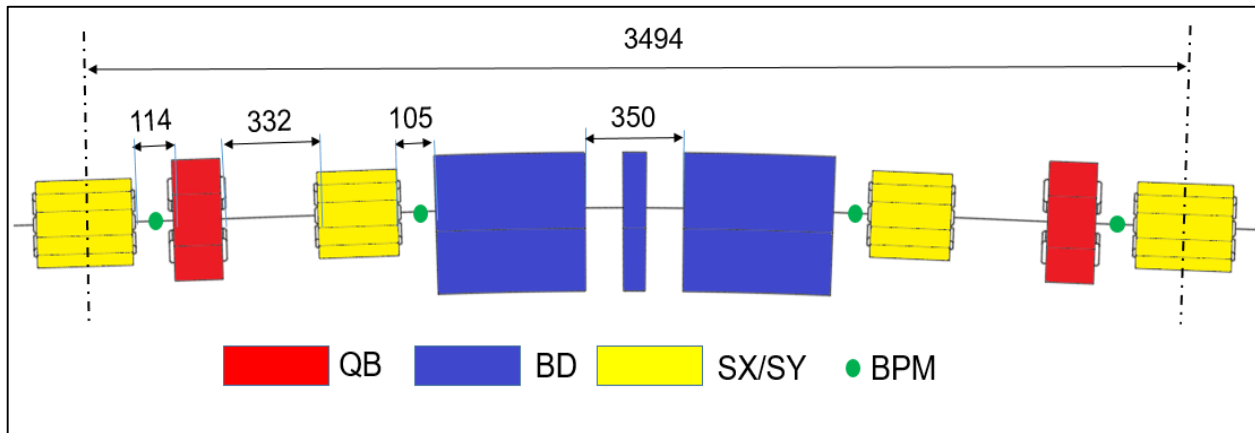
- Энергия 3 ГэВ
- Периметр ≤ 480 м
- Горизонтальный эмиттанс ≤ 200 пм
- Поперечная апертура, достаточная для простой, надежной инжекции в горизонтальной плоскости ($A_{x_{inj}} > 7$ мм)
- Продольная апертура, достаточная для обеспечения «тушековского» времени жизни в условиях сильного внутрисгусткового рассеяния ($\Delta p/p \sim 3\%$)
- Большое число каналов вывода СИ из
 - Прямолинейных промежутков (СП вигглеры и ондуляторы)
 - Магнитов в большом поле (жесткий рентген)
 - Магнитов с малым полем (мягкий рентген и ультрафиолет)
- Простота и дешевизна конструкции. Высокая серийность компонентов. Надежность решений.
- Инжекция на энергии эксперимента из синхротрона-бустера а la «бустер NSLS II»



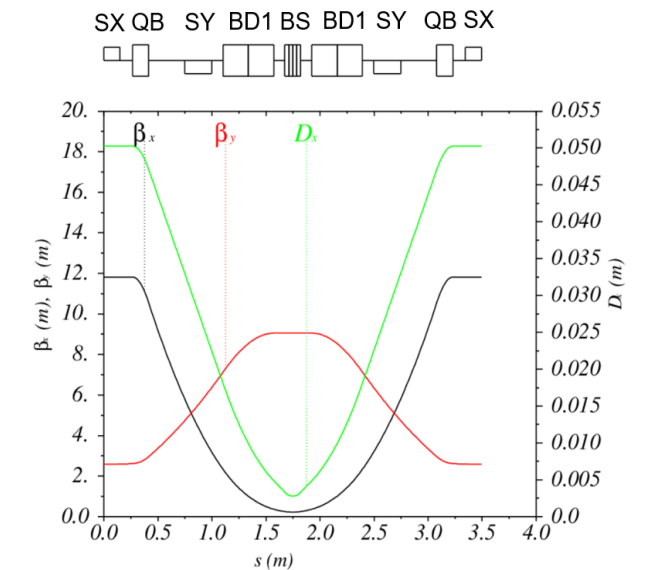
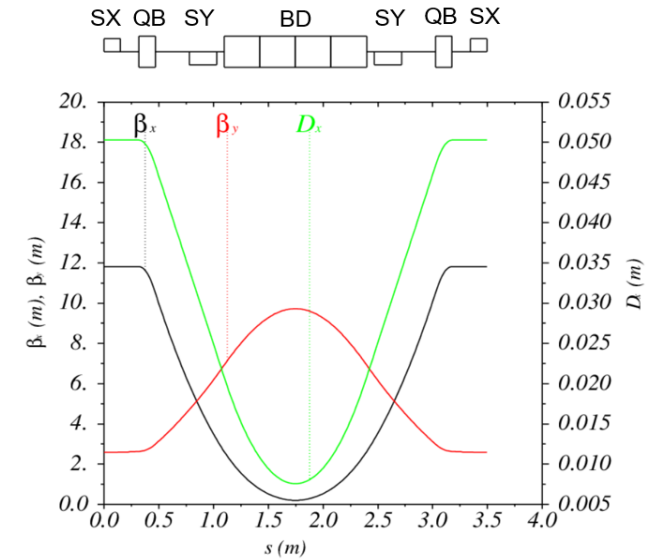
Базовая ячейка ТМЕ. Две опции: для магнитов со слабым и сильным полем. Фокусирующая линза смещена по горизонтали, что помогает настраивать дисперсионную функцию и уменьшает эмиттанс.



Ячейка со слабополевым магнитом.



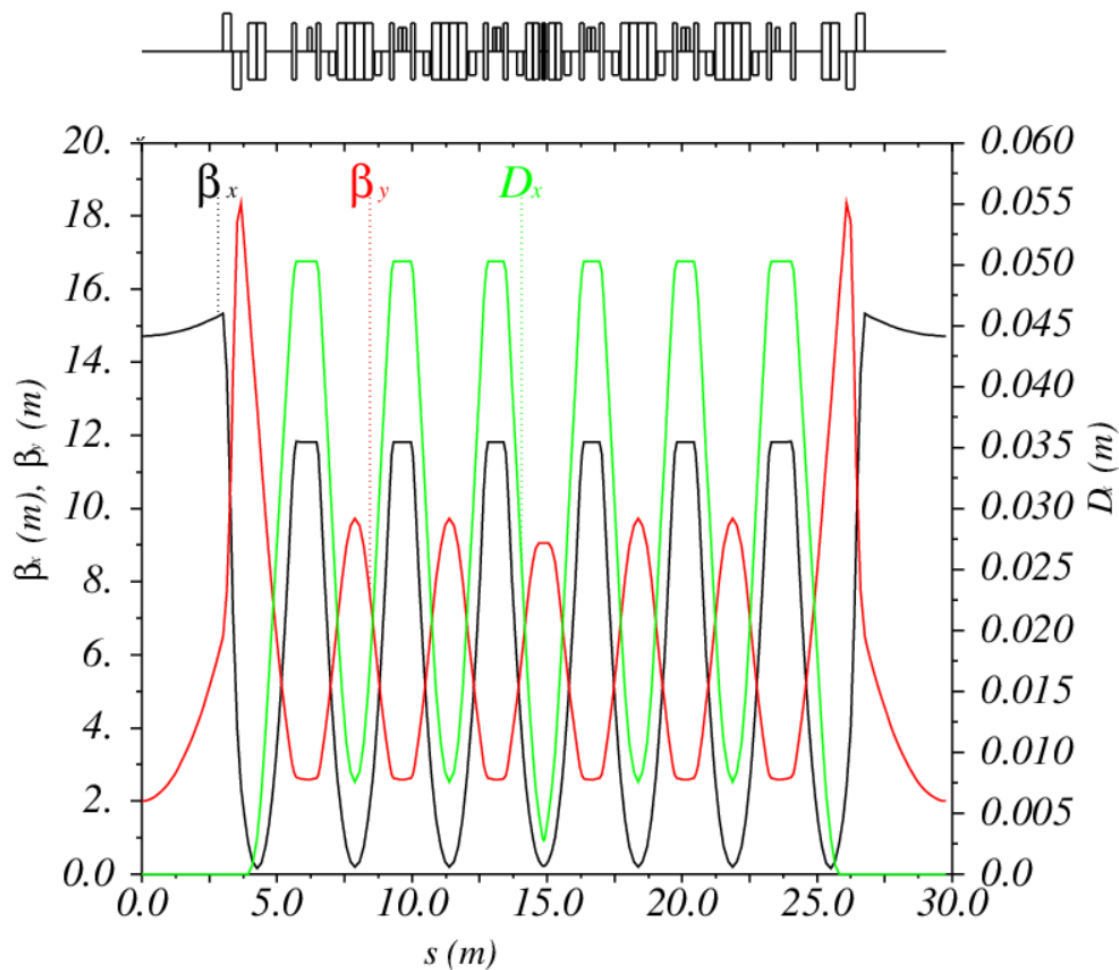
Ячейка с сильнополевым магнитом.



Магнитная структура с малым эмиттансом типа 7BA.

16 магнитов с полем 2 Т; остальные с полем 0.55 Т

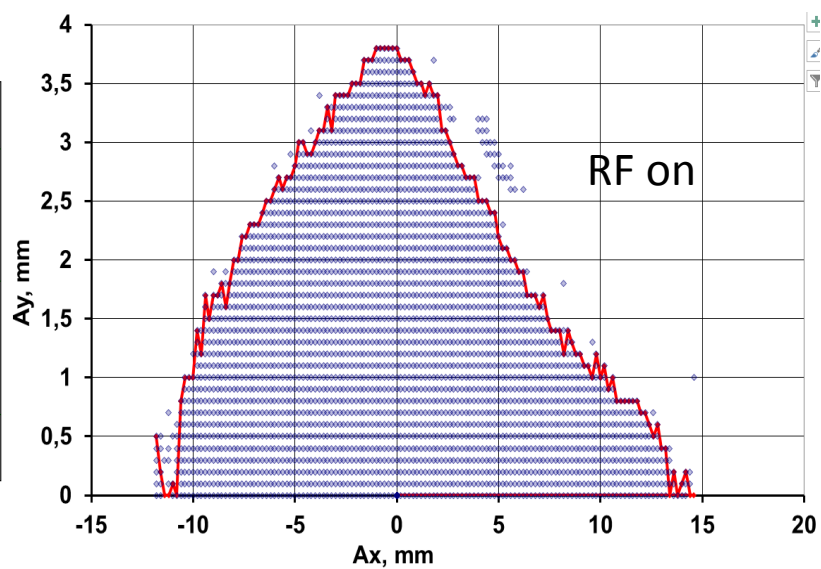
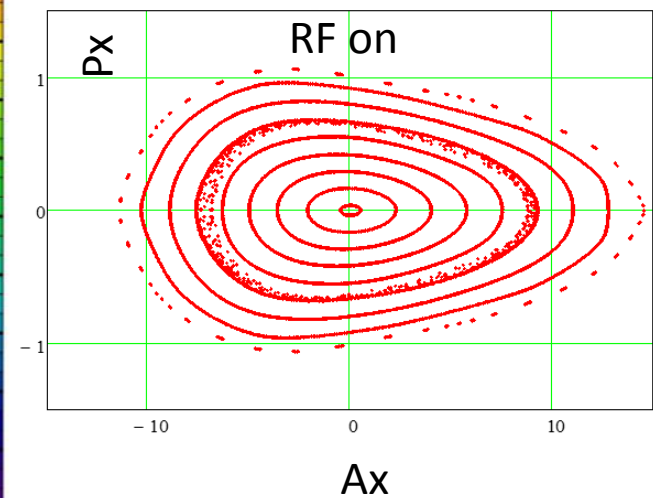
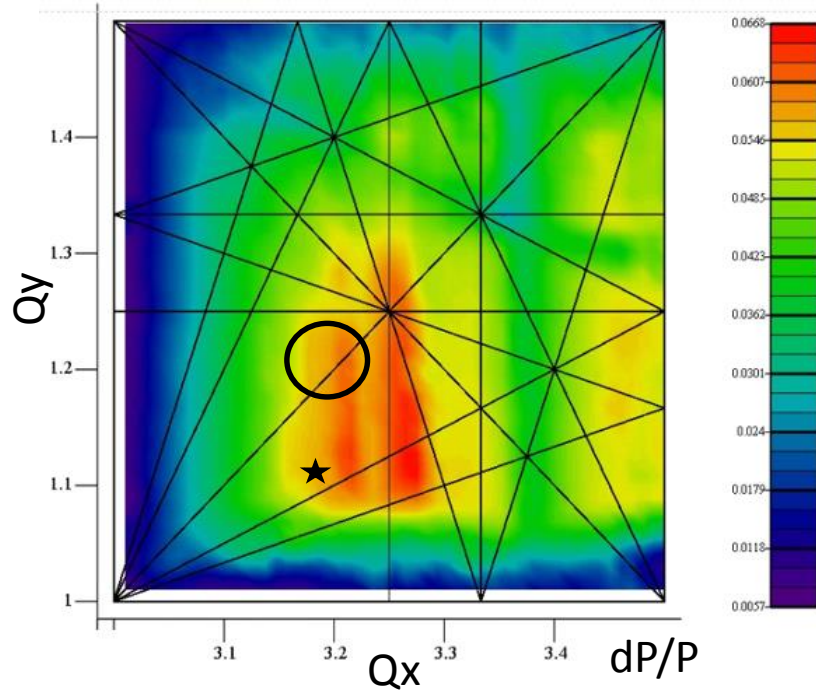
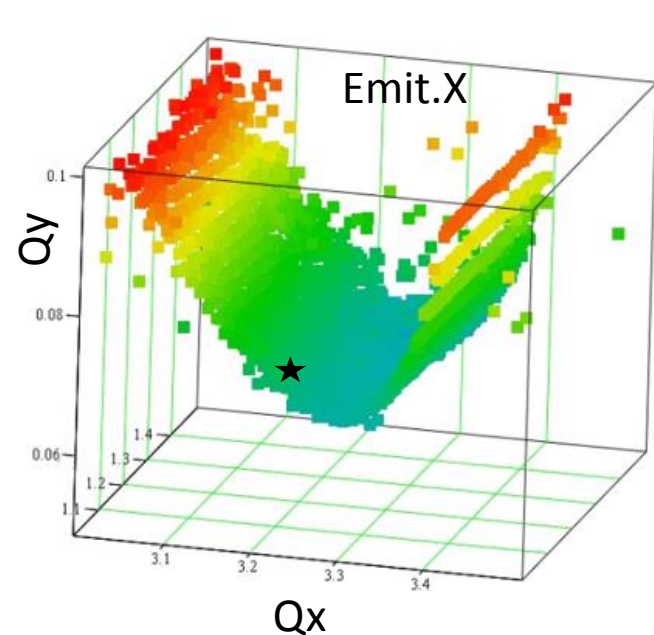
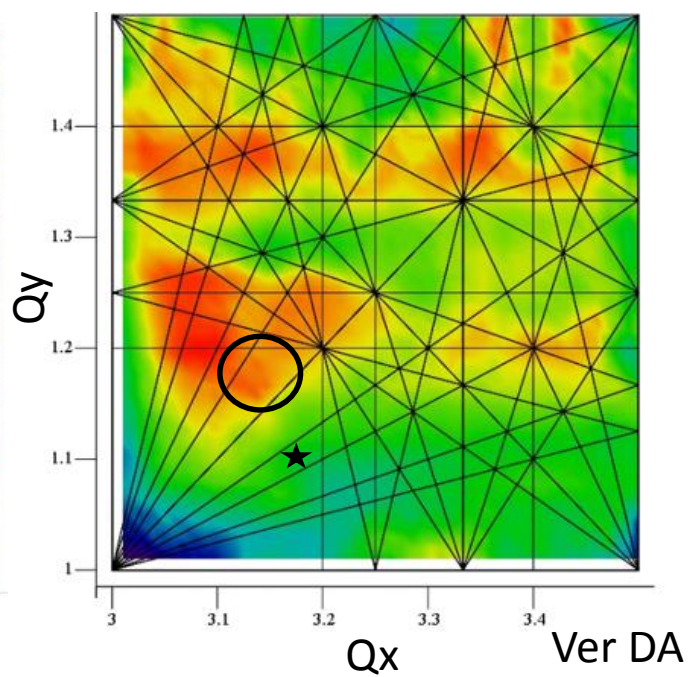
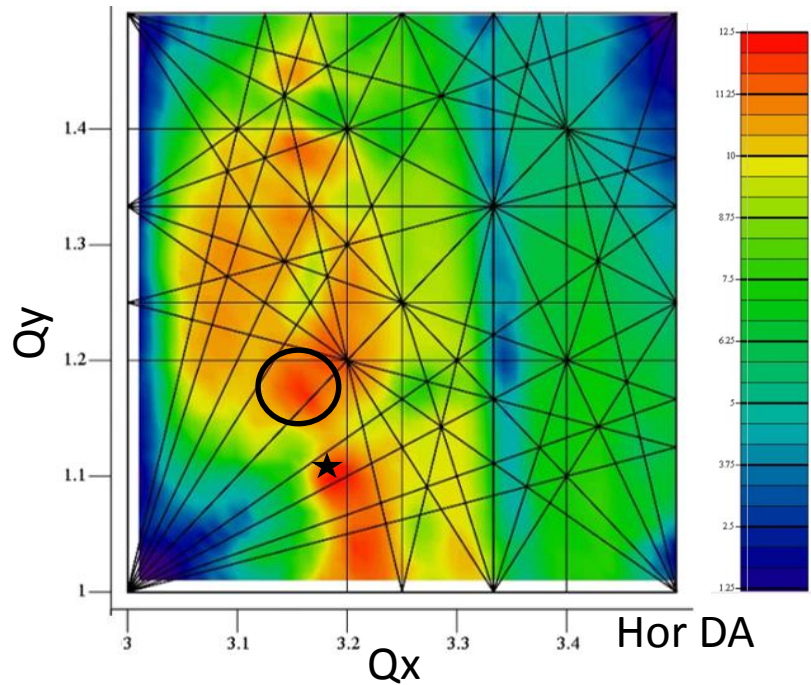
16 промежутков длиной 6 м; 14 под вигглеры и ондуляторы



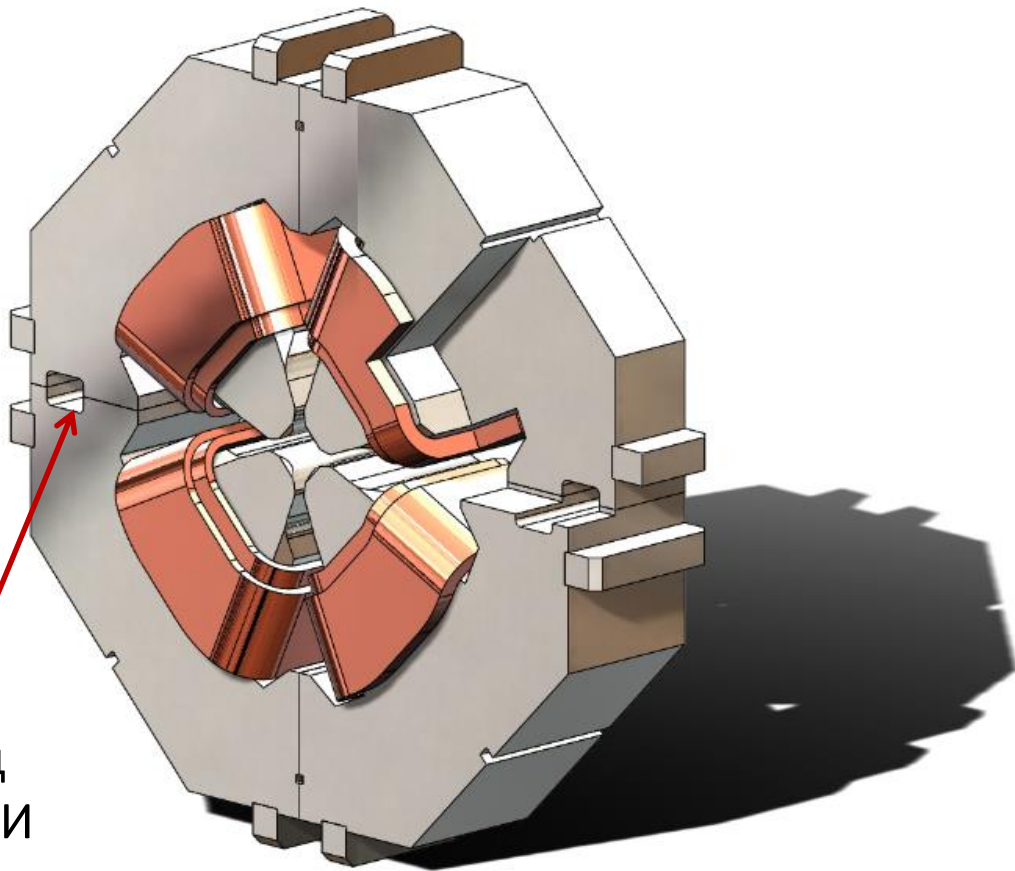
Параметры основного кольца

| | |
|-----------------------------|----------------------|
| Энергия | 3 ГэВ |
| Периметр | 476.14 м |
| Время оборота | 1.59 μ с |
| Эмиттанс | 72 пм·рад |
| Энергетический разброс | $1.01 \cdot 10^{-3}$ |
| Потери энергии/оборот | 535 кэВ |
| Натуральный хроматизм (x/y) | -162/-58 |
| Номер гармоники | 567 |
| Частота ВЧ | 357 МГц |
| Напряжение ВЧ | 0.77 МВ |
| ВЧ акцептанс | 2.59 % |
| Синхротронная частота | $1.1 \cdot 10^{-3}$ |
| Декременты затухания (x/s) | 1.91/1.09 |
| Время затухания (x/s) | 9/16 мс |
| Промежутков | 16 |
| Длина промежутка | 6 м |

Оптимизация динамической апертуры

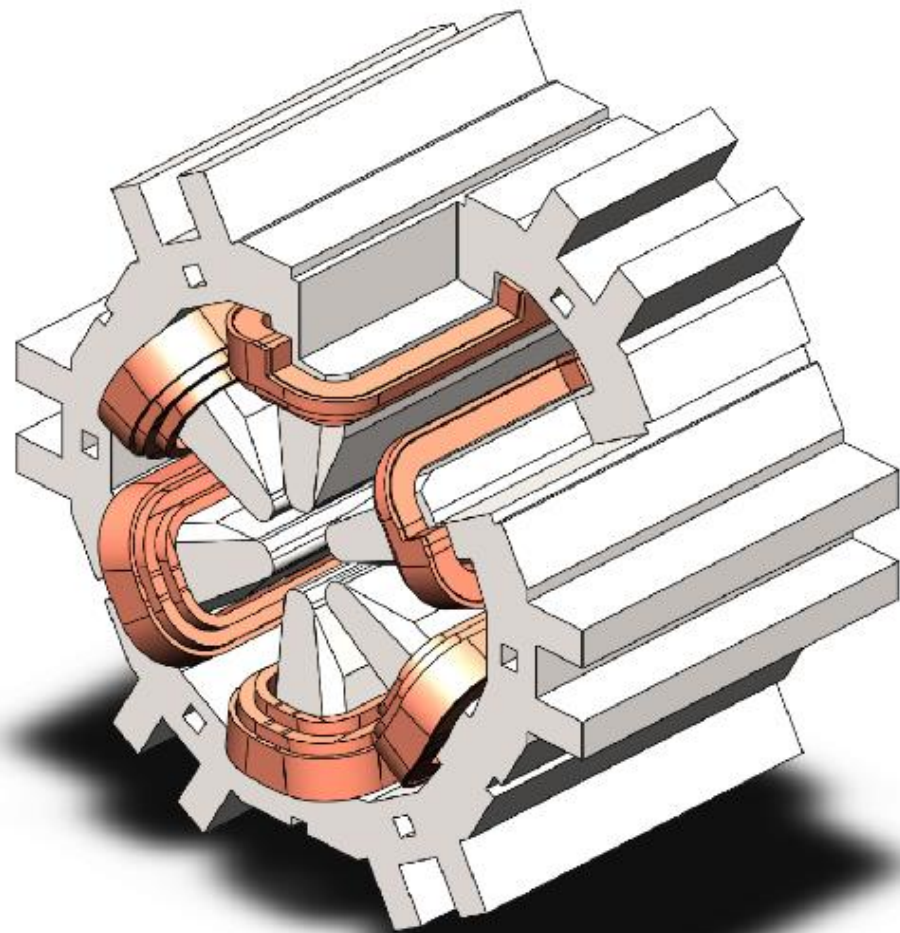


Начато проектирование магнитов основного кольца (В.В. Кобец).



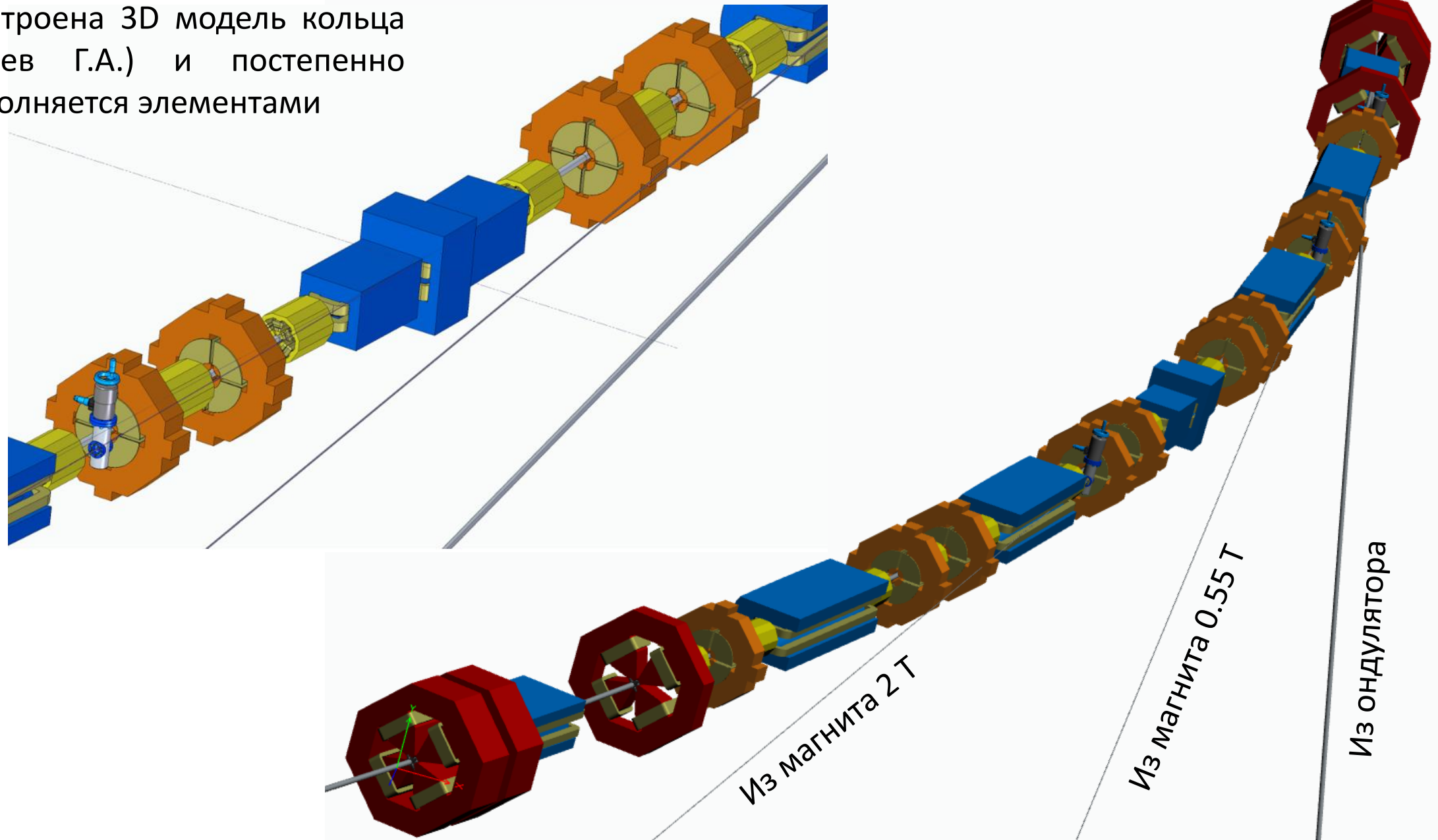
Паз под
канал СИ

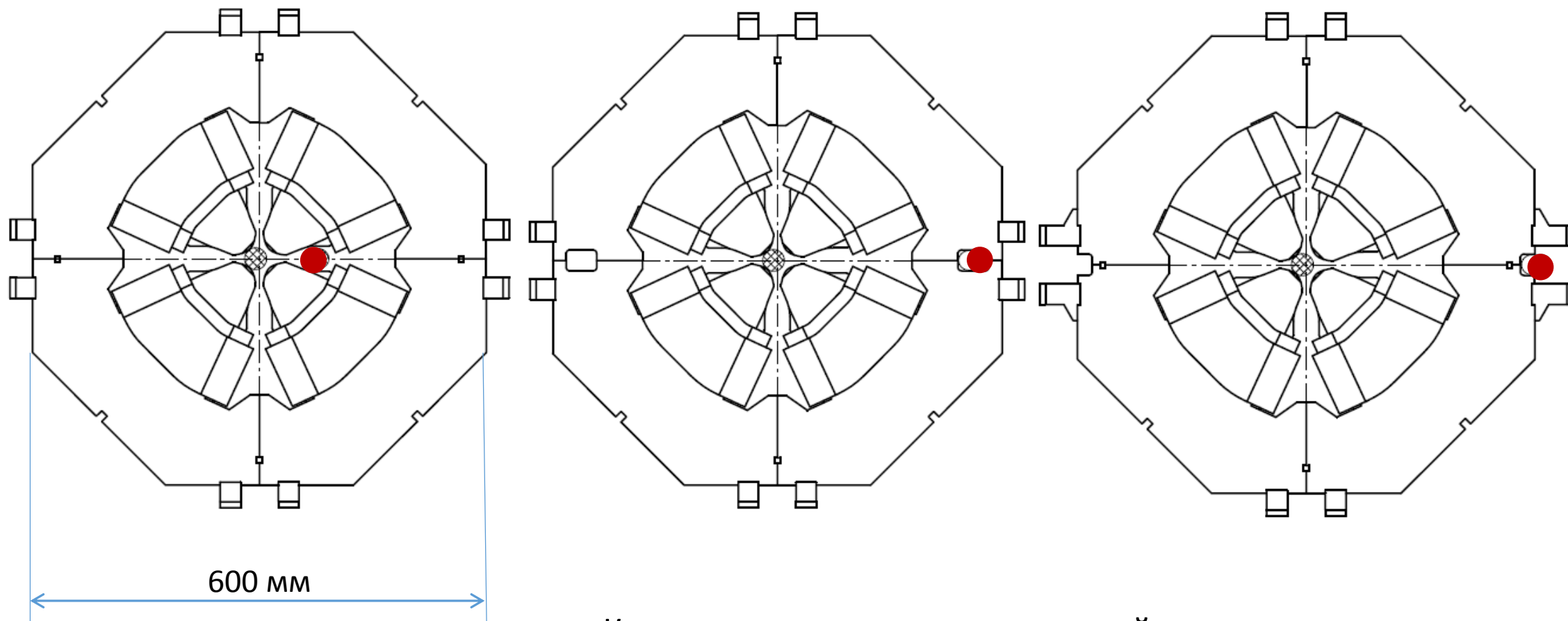
Квадрупольная линза, 0.15
м, 55 Т/м, 160 шт.



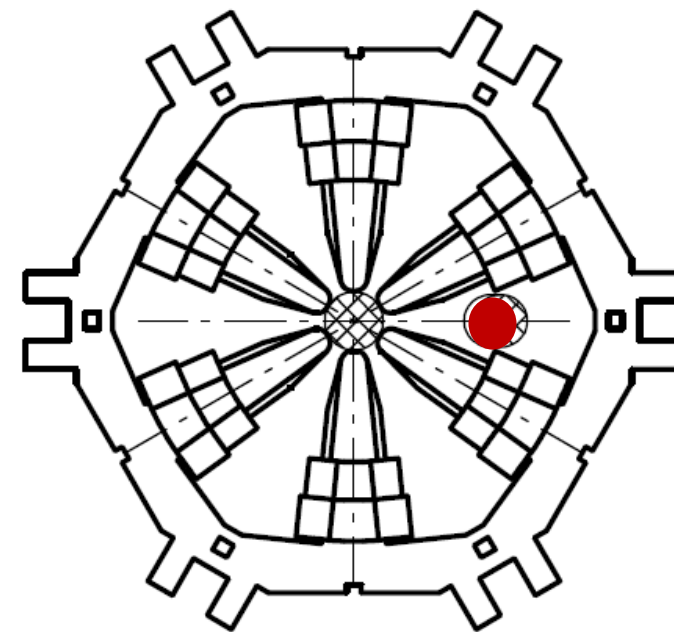
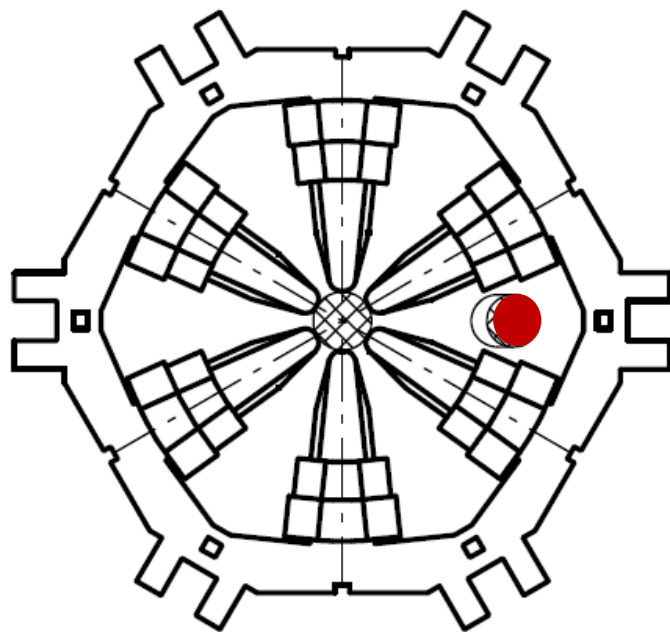
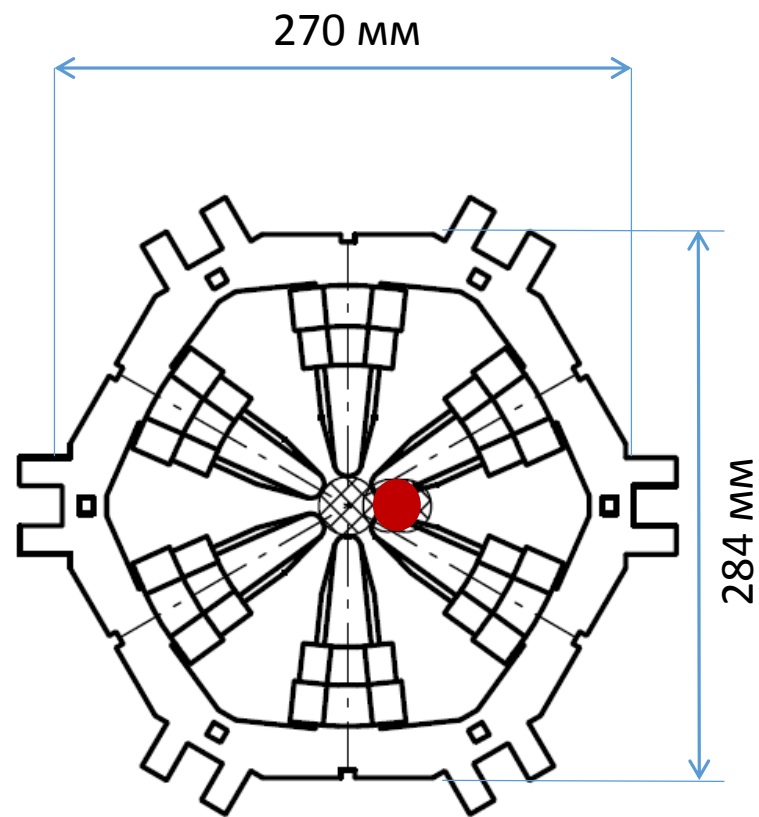
Секступольная линза,
0.15 м, 0.25 м, 0.3 м,
2800 Т/м², 256 шт.

Построена 3D модель кольца (Гусев Г.А.) и постепенно заполняется элементами

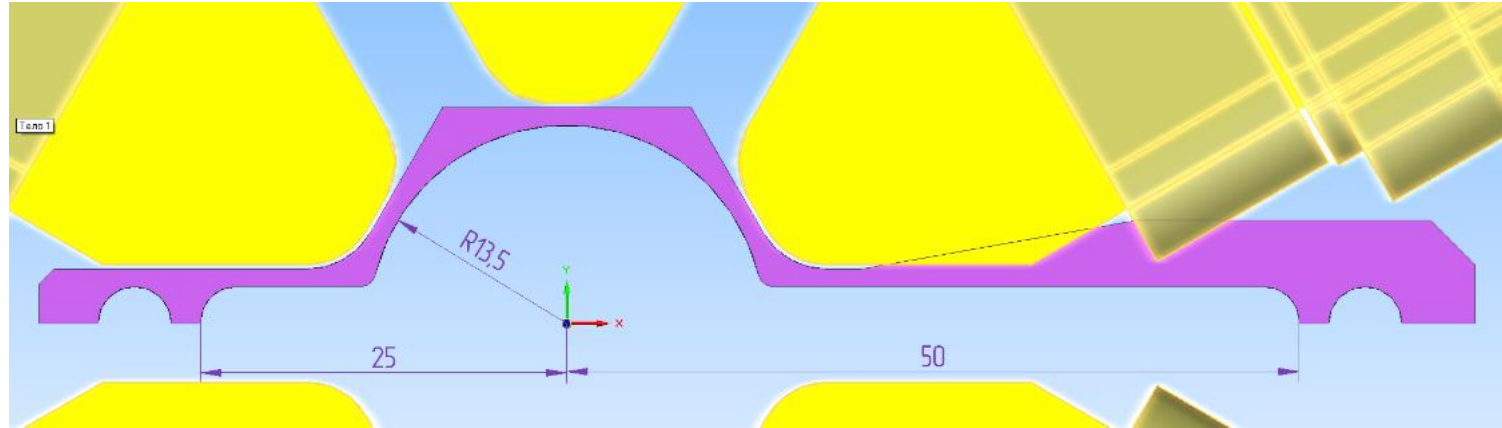




Квадруполи арок: удалось найти одно сечение, дорабатываемое для конкретных каналов вывода СИ.

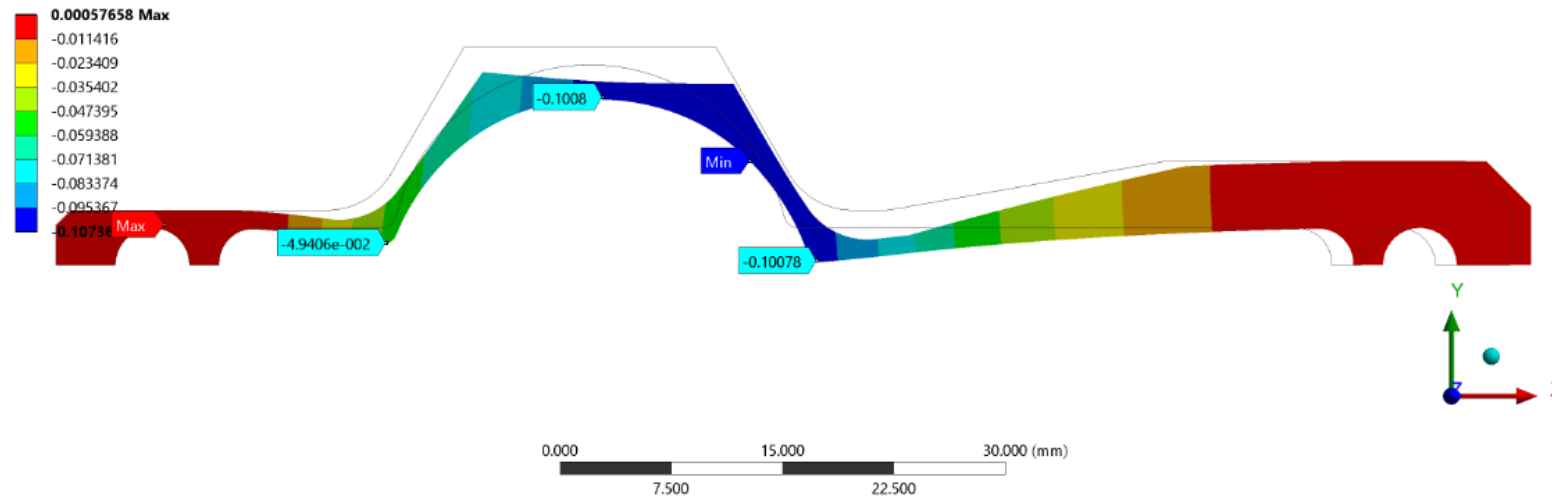


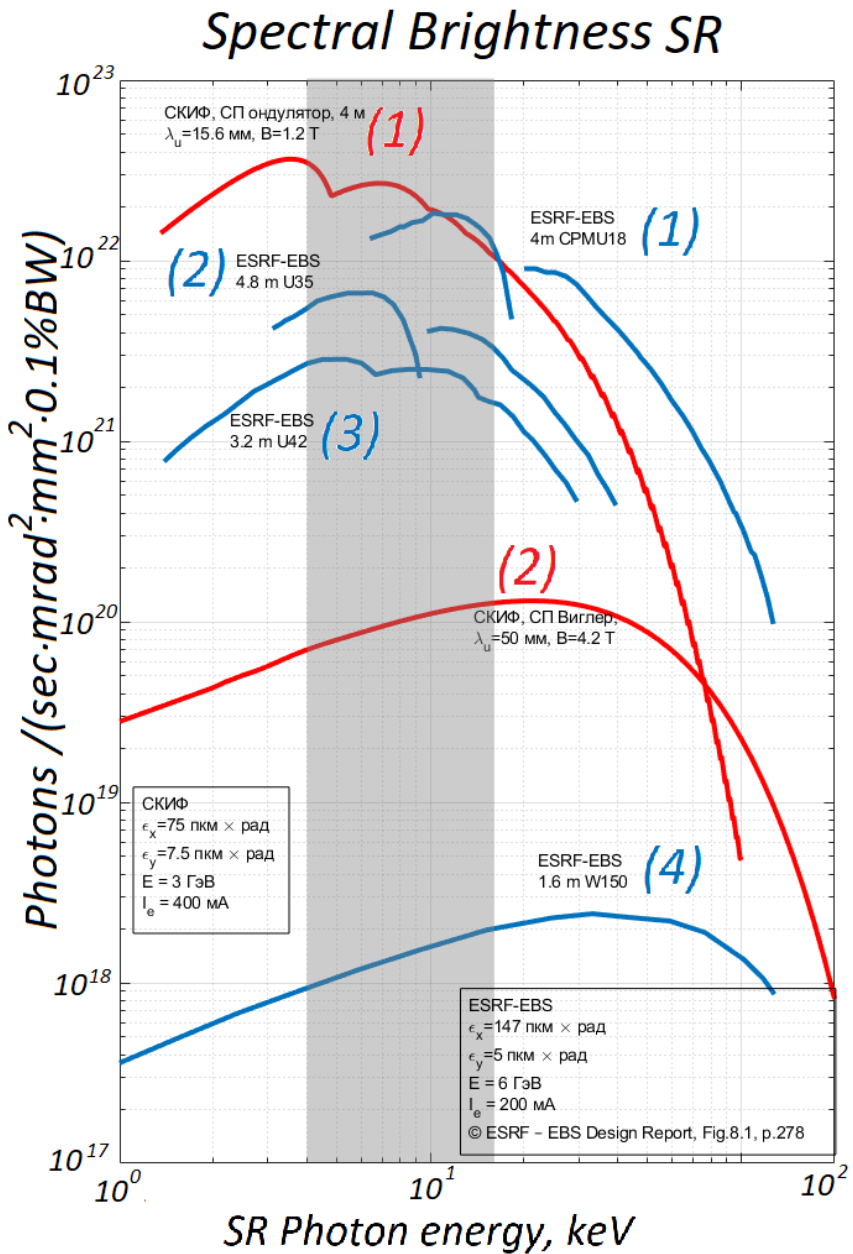
Секступоли: одно сечение для всех линз. Каналы вывода СИ не пересекаются с ярмом.



D: Два уха
Directional Deformation 3
Type: Directional Deformation(Y Axis)
Unit: mm
Global Coordinate System
Time: 1
22.01.2020 16:39

Первые прикидки вакуумной камеры.





Ring parameters

ESRF-EBS (ESRF-EBS Design Report, Fig.8.1, p.278):

E = 6 GeV, $I_{beam} = 200$ mA
 $\epsilon_x = 147$ пкм*рад $\epsilon_y = 5$ пкм*рад

SKIF:

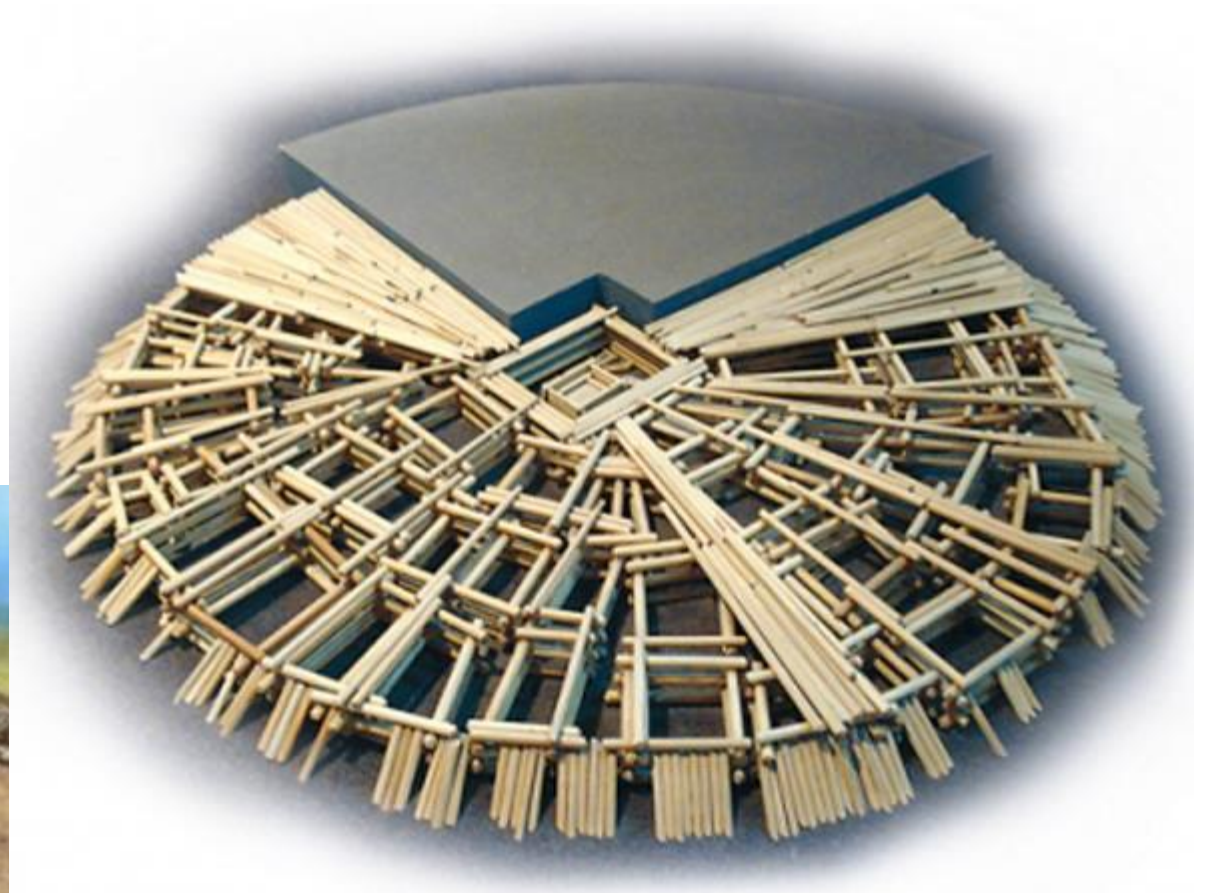
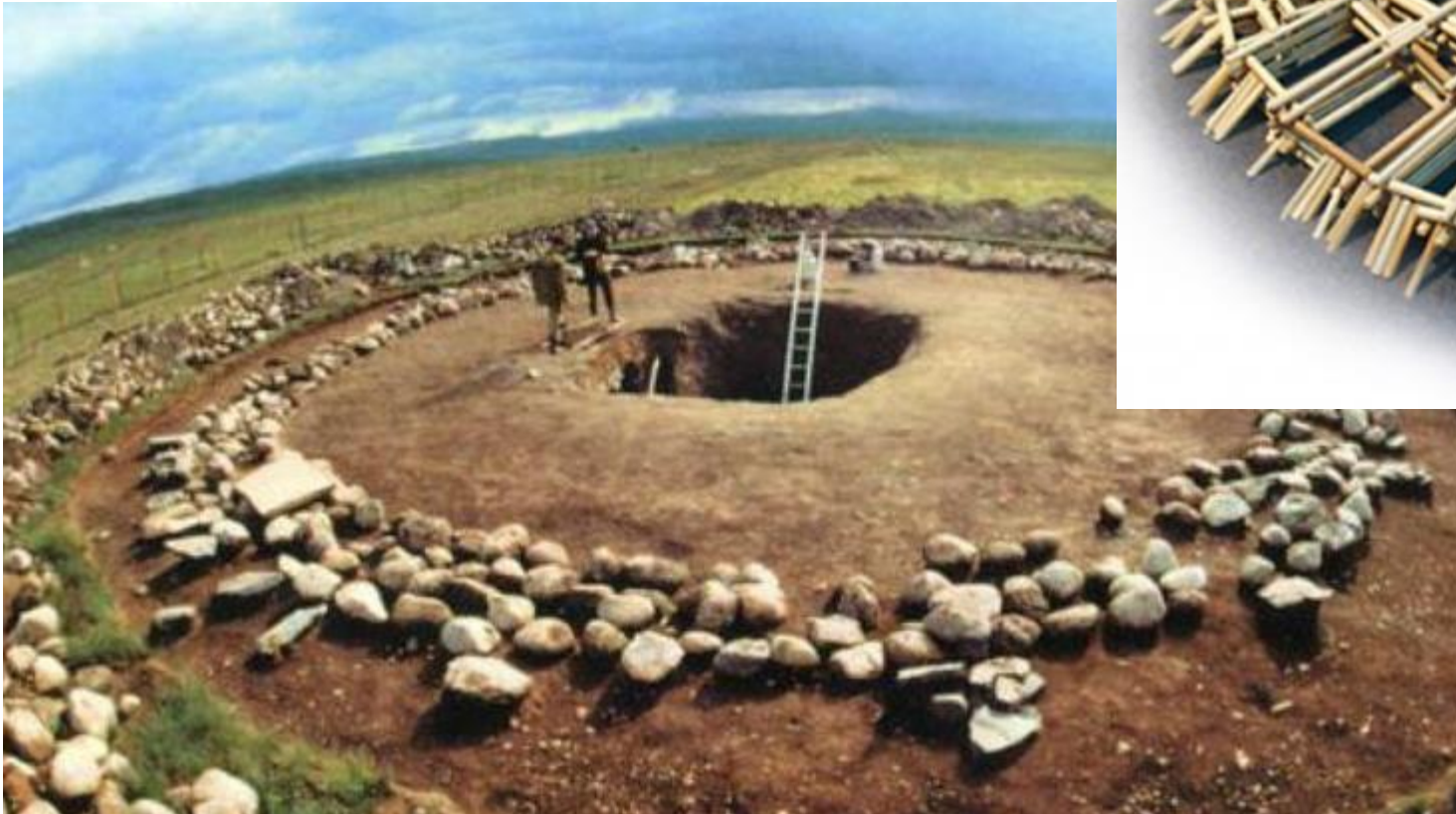
E = 3 GeV, $I_{beam} = 400$ mA
 $\epsilon_x = 75$ пкм*рад $\epsilon_y = 7.5$ пкм*рад

Source parameters

- (1) ESRF-EBS, 4 m CPMU18
- (2) ESRF-EBS, 4.8 m U35
- (3) ESRF-EBS, 3.2 m U42
- (4) ESRF-EBS, 1.6 m W150

- (1) SKIF, 4 m SC Undulator, $\lambda_u = 15.6$ мм, B= 1.2 Т
- (2) SKIF, 2 m SC Wiggler, $\lambda_u = 50$ мм, B= 4.2 Т

- Продолжается изучение и оптимизация параметров СКИФ. Пока непреодолимых препятствий не выявлено.
- Разработка накопительного кольца идет полным ходом и вступила в фазу проектирования.
- В ближайшее время в ИЯФ будет официально сформирована структура, которая будет заниматься созданием ускорительного комплекса.
- Совместно с министерством прорабатываются варианты финансирования ускорителя не дожидаясь главгосэкспертизы (надежда – весна).
- Совместно с министерством прорабатываются варианты начала проектно-изыскательских работ (февраль).
- В рамках традиционной конференции по СИ (22-25 июня) запланировано рабочее совещание по СКИФ с приглашением членов МАС и SAC.



Раскопки скифского источника СИ
первого поколения (VI BC).