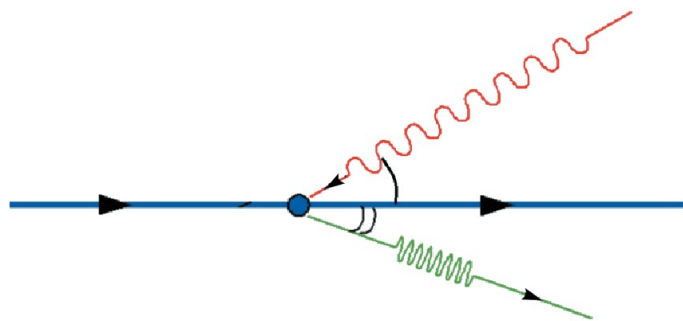


Динамика пучка в «малом» накопительном кольце источника комптоновского излучения НЦФМ

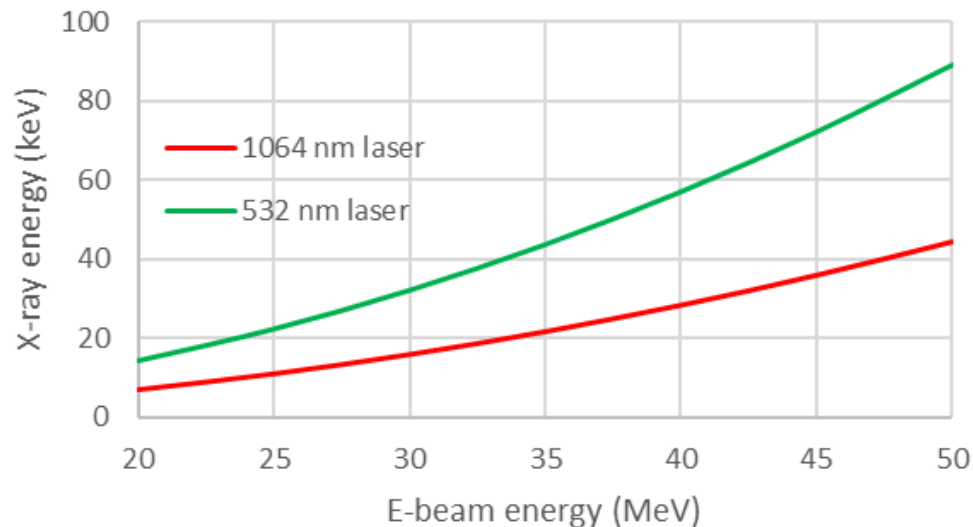
Бобылев Д.А., аспирант 2 года ФФ МГУ

Научный руководитель д.ф.-м.н., профессор Шведунов В.И.

Обратное комптоновское рассеяние



$$E_{\gamma\max} = 4\gamma^2 E_{\text{ph}}$$



КОМПТОНОВСКИЙ ИСТОЧНИК НЦФМ



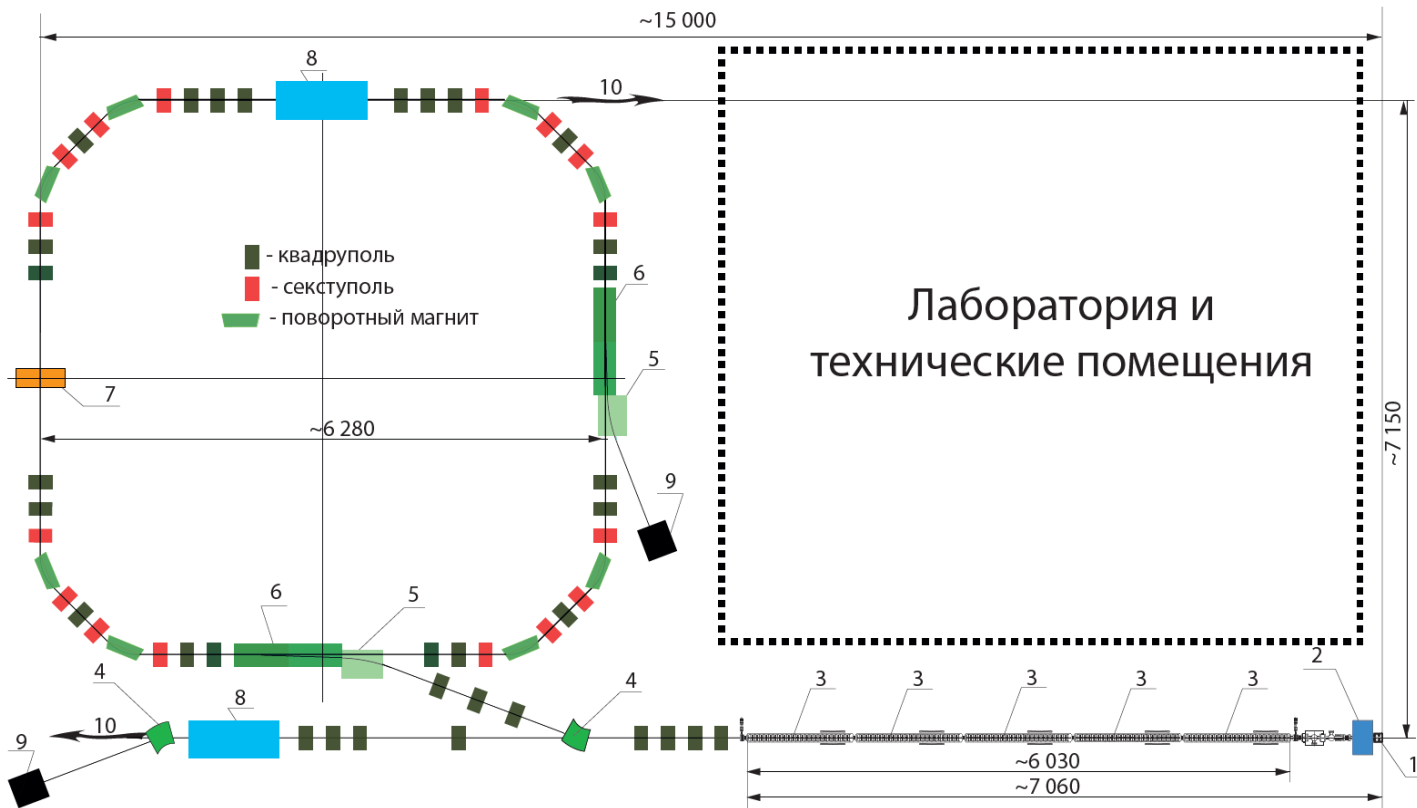
Концептуальный замысел комплекса ИНОК (ИКИ НЦФМ). Энергии комптоновских фотонов оценены для излучения газового лазера $E_{ph} = 0.1$ эВ, с первой по четвертую гармоники высокоинтенсивного твердотельного Nd:YAG лазера с $E_{ph} = 1.165$ эВ и синхротронного излучения УФ диапазона с $E_{ph} = 100$ эВ (см. рис. 1.2).

Техническое задание на «малое» накопительное кольцо НЦФМ

Требуемые характеристики накопительного кольца.

Диапазон энергий циркулирующего пучка	35 ÷ 120 МэВ
Заряд сгустка	100 пК
Среднеквадратичный нормализованный эмиттанс	5 мм мрад
Равновесный энергетический разброс	до 0,2%
Количество сгустков в кольце	1
Максимальная частота замены сгустков	400 Гц
Рабочая частота ВЧ системы	714 МГц

Схема ускорительного комплекса ИКИ на энергию 120 МэВ



1 – СВЧ пушка, 2 – соленоид, 3 – секция ускоряющей структуры, 4 – поворотный магнит, 5 – септум-магнит, 6- кикер, 7 – ВЧ резонатор, 8 – камера взаимодействия, 9 – поглотитель пучка, 10 – рентгеновское излучение.

Основные параметры накопительного кольца

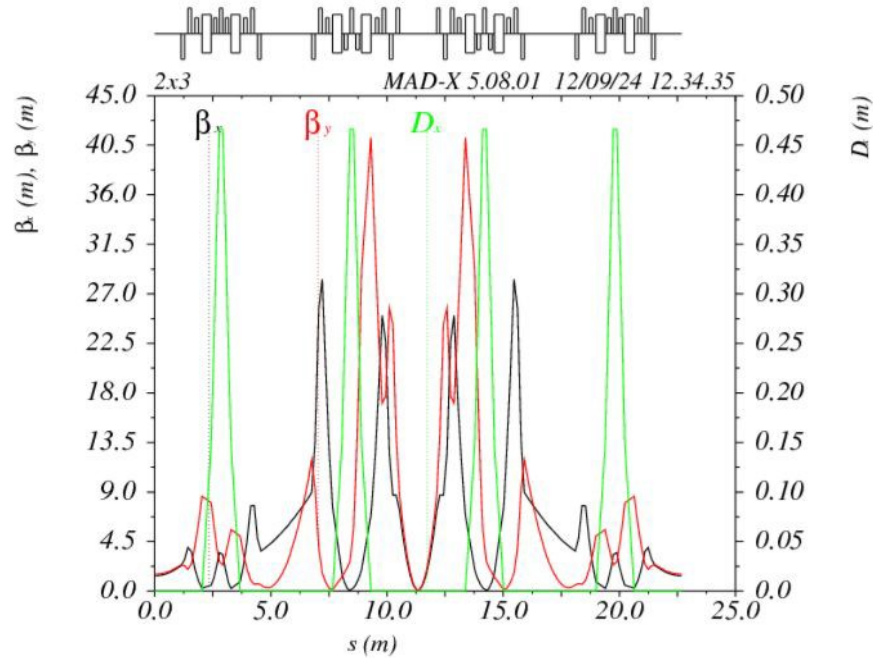
Параметр кольца	Единица	Значение
Энергия пучка	МэВ	35-120
Длина орбиты	м	22.6734
Коэффициент расширения орбит		0.01396
Бетатронные частоты Q_x, Q_y		3.7277/2.8338
Естественные хроматичности ξ_x, ξ_y		-25.2/-18.5
Скорректированные хроматичности ξ_x, ξ_y		-15.5/7.5

Бета-функция в IP β_x/β_z	м	0.087/0.073
Максимальные бета-функции β_x/β_z	м	28.35/41.22
Максимальная дисперсия	м	0.4664
Период/частота обращения	нс/МГц	75.6/13.23
Количество дипольных магнитов		8
Количество квадрупольных линз		22
Количество секступольных линз и корректоров		16
Критическая энергия	МэВ	8.463

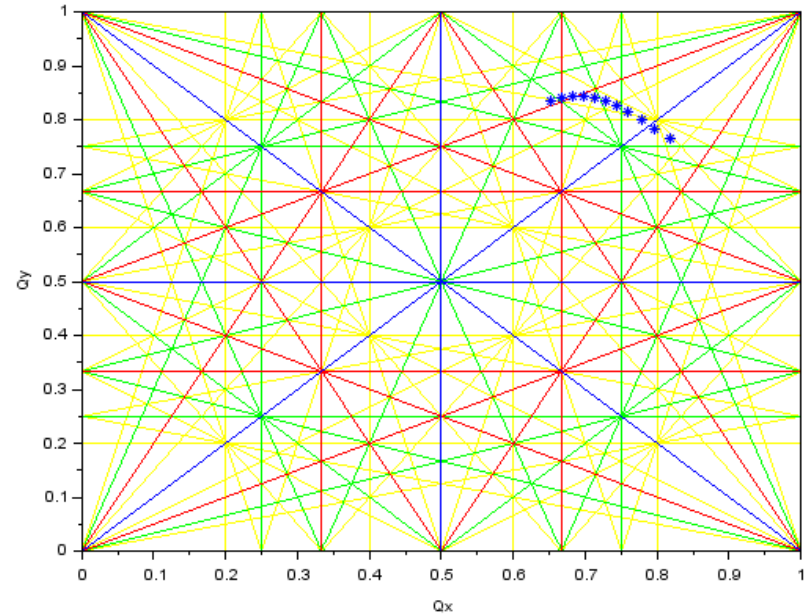
Параметры пучка в точке взаимодействия.

Параметр	Величина	Единица измерения
Радиальная бета-функция β_x	0,08726445656	м
Вертикальная бета-функция β_y	0,07313573771	м
Радиальная альфа-функция α_x	-7,580174607e-06	
Вертикальная альфа-функция α_y	1,332775577e-05	
Дисперсия D	4,934203231e-07	м
Производная дисперсии D'	1,47695017e-05	
Нормализованный эмиттанс после инжекции	0,58	мм·мрад
Среднеквадратичные размеры пучка x/y	35 МэВ	27,2/24,9
	120 МэВ	14,7/13,4

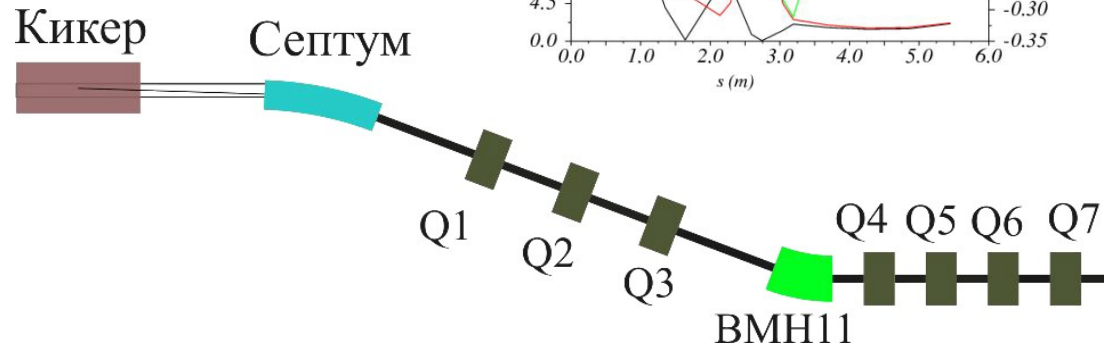
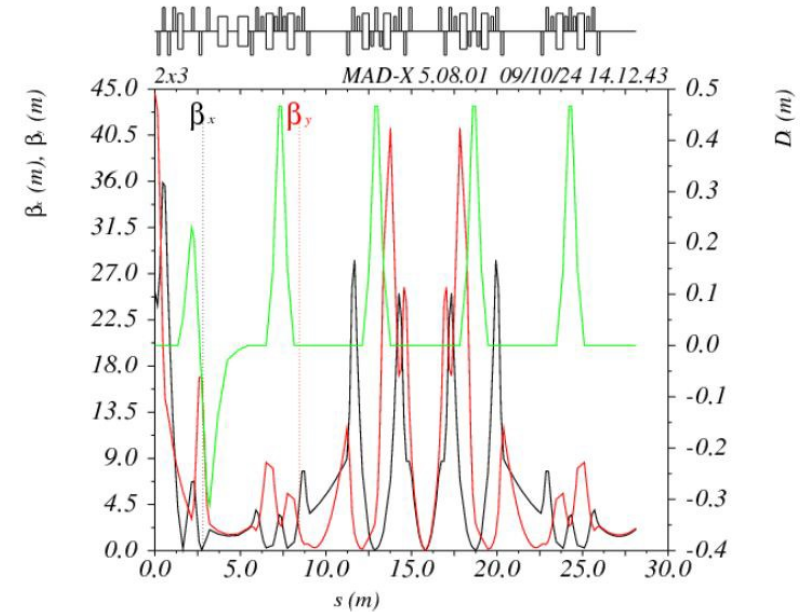
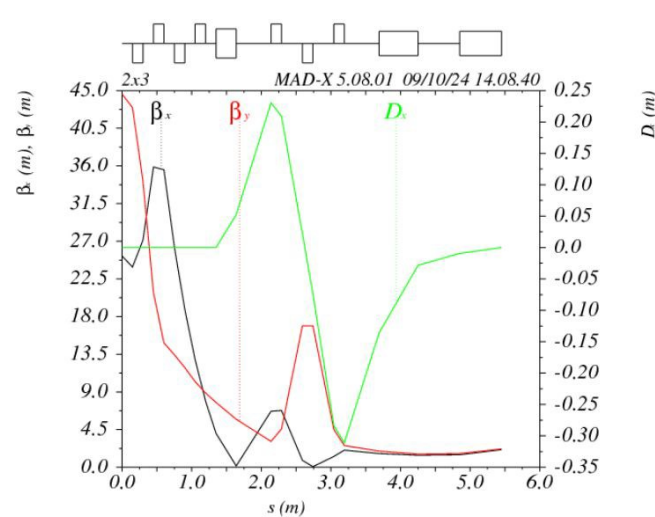
Основные параметры накопительного кольца



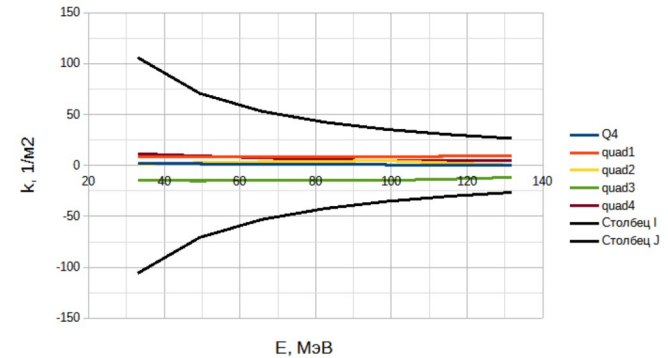
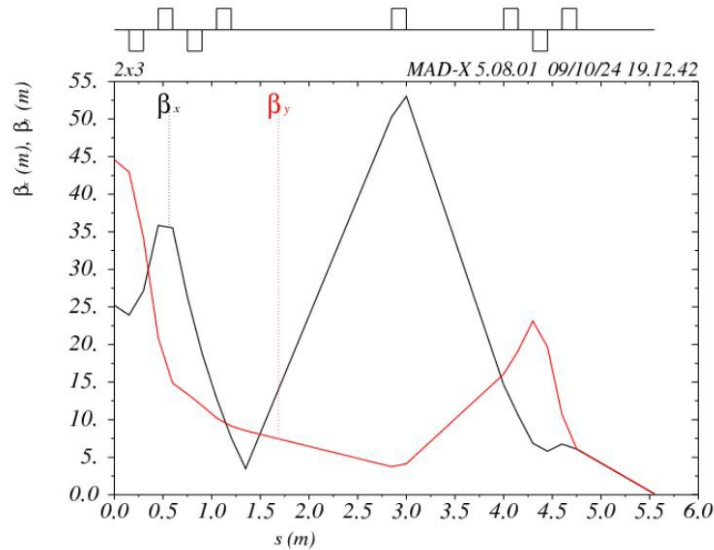
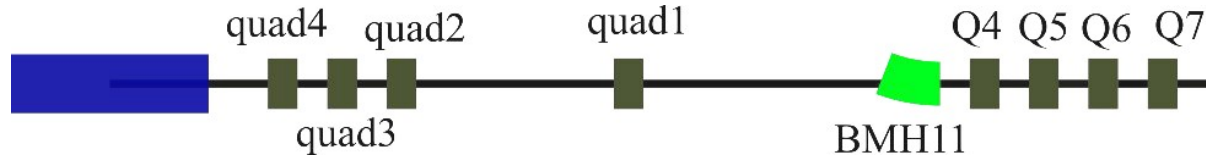
Карта резонансов, желтые - 5 порядок, зелёные - 4 порядок, красные - 3 порядок, синие - 2 порядок, чёрные - 1 порядок



Основные параметры системы инъекции

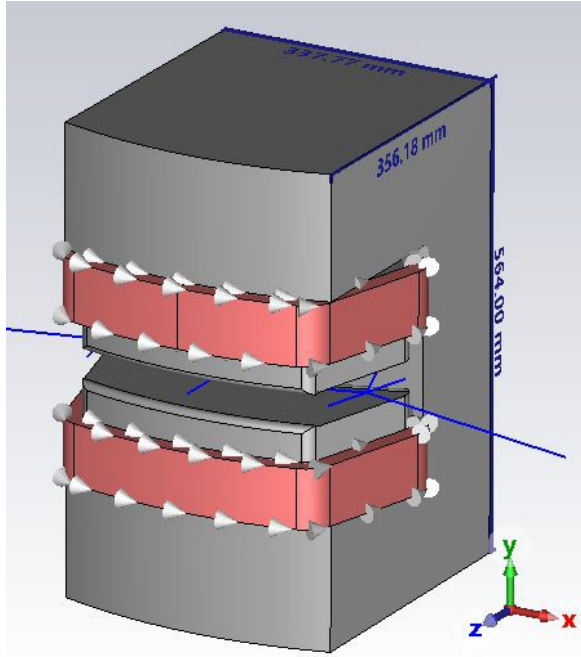


Основные параметры системы транспортировки к точке однократных взаимодействий

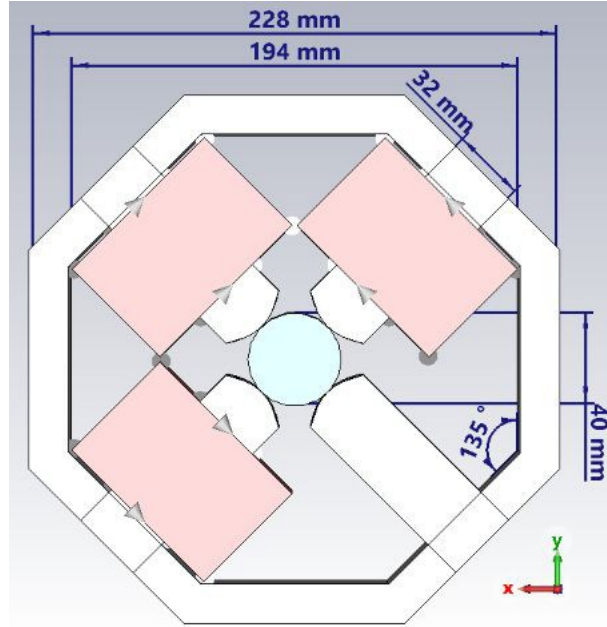


Значения квадрупольных коэффициентов линз quad1, quad2, quad3, quad4 и Q₄, необходимые для получения в точке кроссовера пучка со среднеквадратичным радиусом 30 мкм, при различных энергиях пучка, в сравнении с предельно допустимым квадрупольным коэффициентом при данных энергиях.

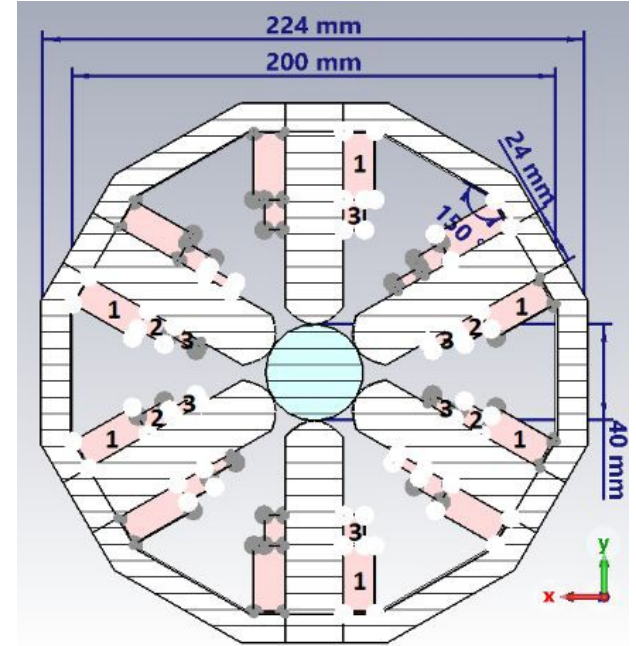
Магнитные элементы накопительного кольца



Диполь



Квадруполь

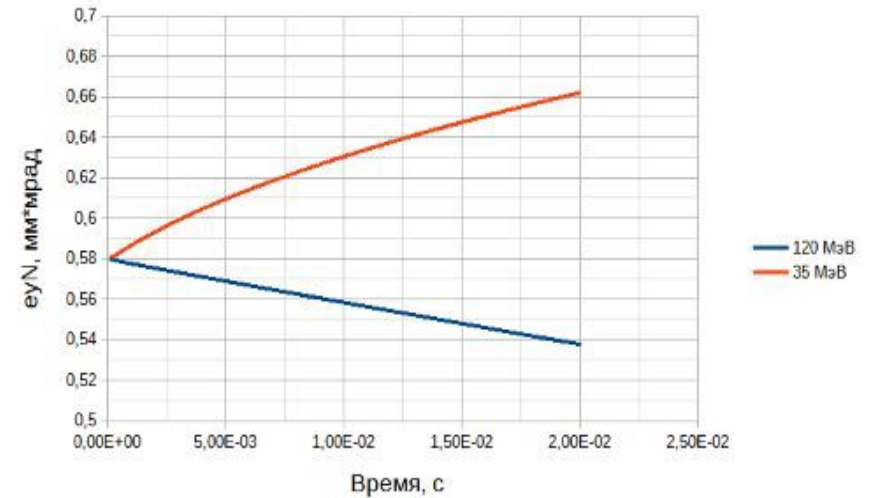
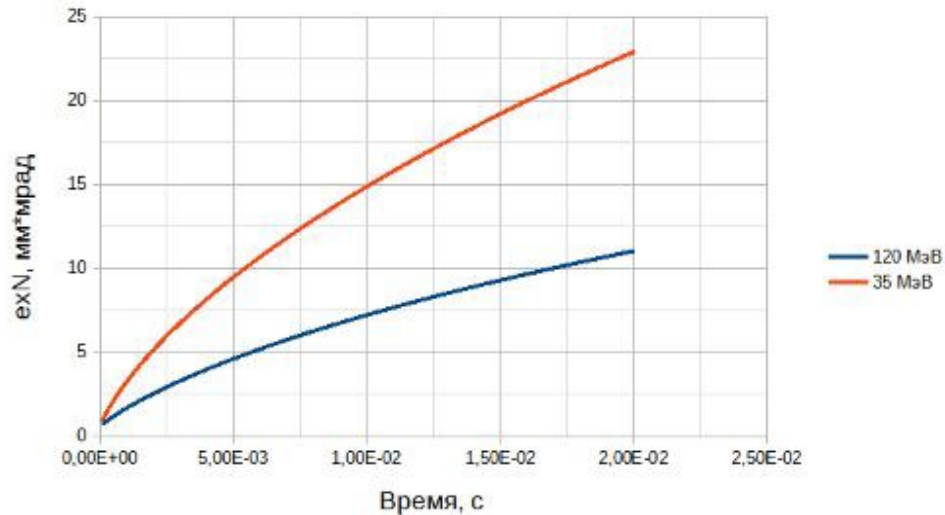


Секступоль

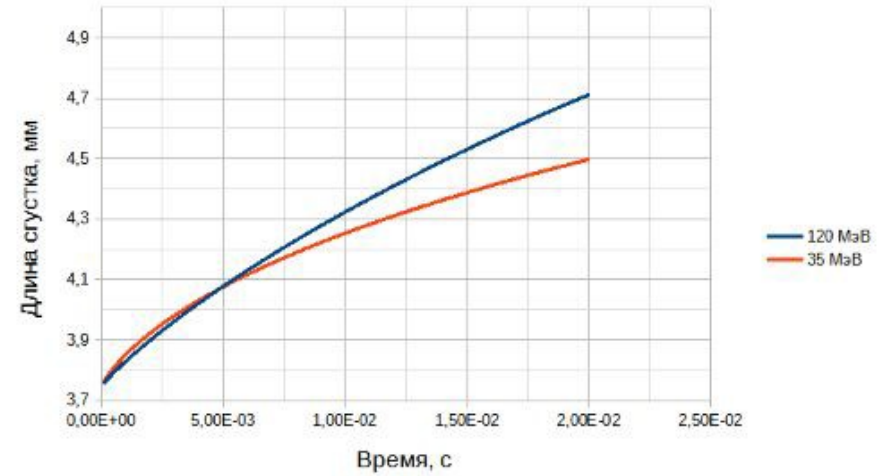
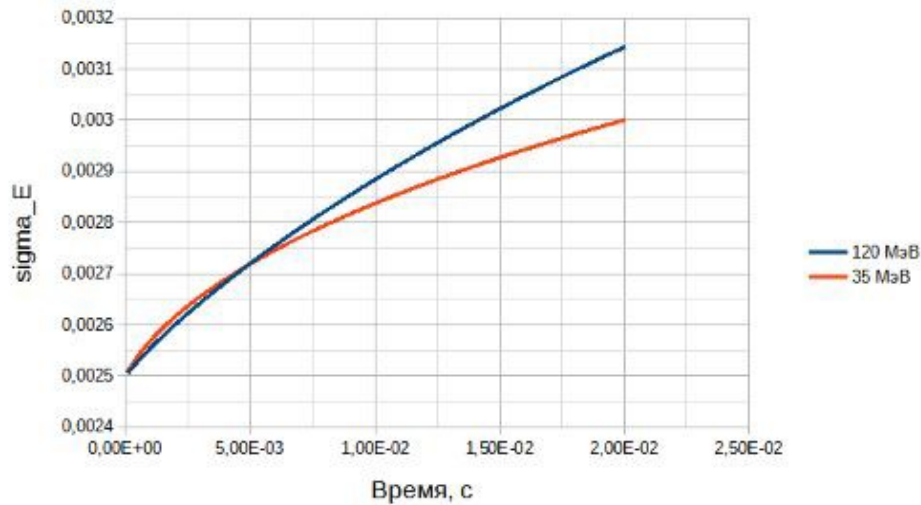
Основные эффекты, влияющие на динамику пучка

- Внутрипучковое рассеяние
- Радиационное затухание
- Лазерное затухание
- Квантовая раскачка
- Когерентное синхротронное излучение

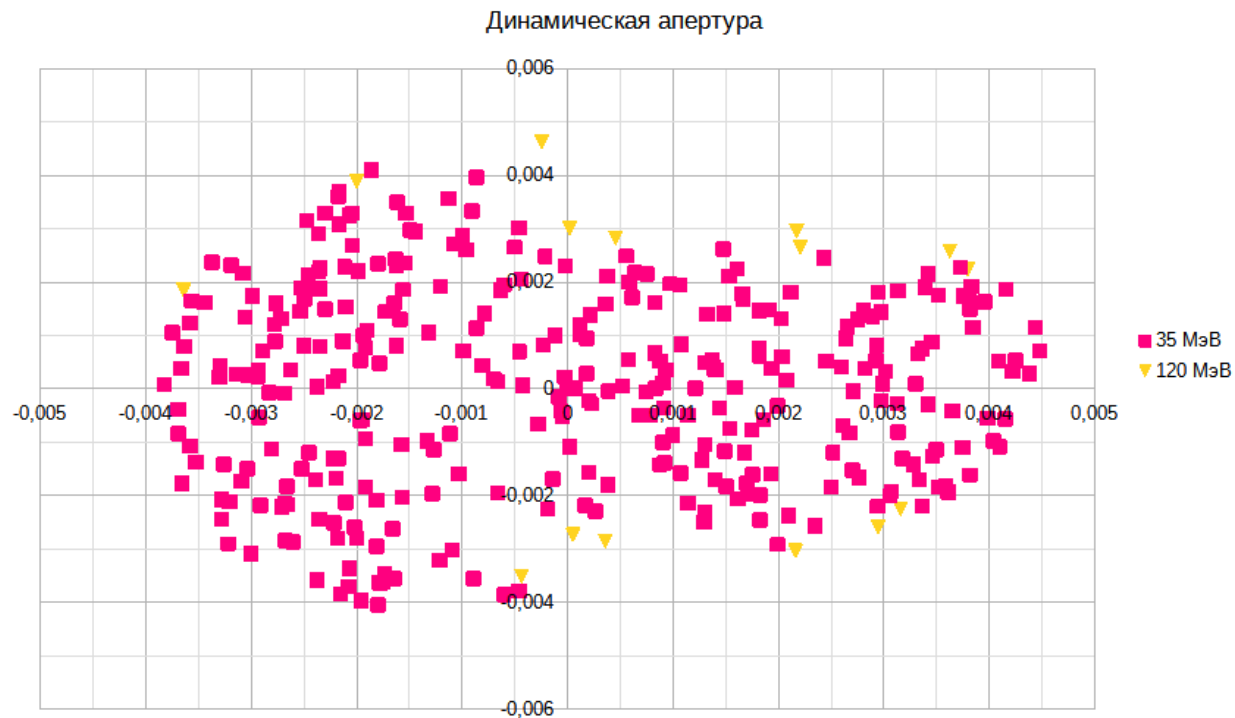
Изменение радиального и вертикального эмиттансов



Изменение энергетического разброса и длины пучка



Динамическая апертура накопительного кольца



Направления дальнейшей оптимизации

- Уменьшение хроматичности накопительного кольца
- Оптимизация эффекта внутрипучкового рассеяния
- Увеличение динамической апертуры накопителя

Список литературы

1. Григоренко Л.В., Антоненко Н.В. и др. // Проект научной программы ИНОК — комптоновского источника монохроматических гамма-квантов НЦФМ. ФИЗМАТ, 2023, том 1, № 3-4, с. 123-264.
2. Анисимов А.В., Завьялов Н.В., Васильев А.В. и др. // Техническое задание на создание лаборатории ядерной фотоники. 2023.
3. Бобылев Д.А., Шведун В.И. Накопительное кольцо комптоновского источника НЦФМ. // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. - 2024. - №2
4. Artyukov I., Savelev A., Shvedunov V., Vinogradov A. // Compton X-ray source based on 50-MeV accelerator and its applications. In Proceedings of the LXXII International Conference “NUCLEUS-2022: Fundamental Problems and Applications”. Moscow, Russia. 11-16 July 2022; Stopani K., Zelenskaya N., Eds.; Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics. Amirit: Saratov Russia. 2022; pp. 273-274.
5. Deniau L., Grote H., Roy G., Schmidt F. // The MAD-X Program (Methodical Accelerator Design). User’s reference manual. Geneva. 2021.
6. Wolski A. // Introduction to beam dynamics in high-energy electron storage rings. IOP Publishing. Bristol. 2018.
7. Sands M. // The physics of electron storage rings. 1970.
8. Bjorken J., Mtingwa S. // Intrabeam scattering. Particle accelerators. 1983 Vol. 13 pp. 115- 143.
9. Wolski A. // Space charge, intrabeam scattering and Touschek effects. Lecture 7. USPAS 2007. Texas. Damping ring design and physics issues.
10. Bane K. // Intra-beam scattering theory and measurements. LER2011 Workshop. Heraklion. Crete. 2011.
11. Левичев Е.Б. // ЦКП «СКИФ» ИК СО РАН/ИЯФ СО РАН. Школа по физике и технике ускорителей. ОИЯИ. Дубна. 2023.
12. Chaikovska I., Variola A. // Equilibrium energy spread and emittance in a Compton ring: An alternative approach. Phys. Rev. St Accel. Beams 17. 044004 (2014).
13. Посеряев А. // Расчёт динамики и оптимизация параметров ускорительных комплексов различного назначения. Диссертация на соискание учёной степени кандидата физ.-мат. Наук. Москва 2006.
14. Pan Zh., Byrd J., Huang W. et al. // Design and dynamic studies for a compact storage ring to generate gamma-ray light source based on Compton backscattering technique. Physical review accelerators and beams 22. 040702 (2019).
15. Vinogradov A., Feshchenko R., Shvedunov V., Artyukov I. // Ray tracing simulation of Xray microdiffraction beamline on the inverse Compton source. Symmetry 2023. 15. 1068.