

Семинар имени профессора Б.С. Ишханова  
“Фотоядерные исследования. Состояние и перспективы”

# Облик накопительного кольца на энергию 150 МэВ комптоновского источника НЦФМ

Бобылев Д.А.

НИИЯФ МГУ

Москва

26 октября 2023 г.

- Динамика пучка электронов с энергией порядка десятков — сотен МэВ в накопительном кольце зависит преимущественно от трёх эффектов: радиационного затухания, лазерного затухания и внутривпучкового рассеяния.

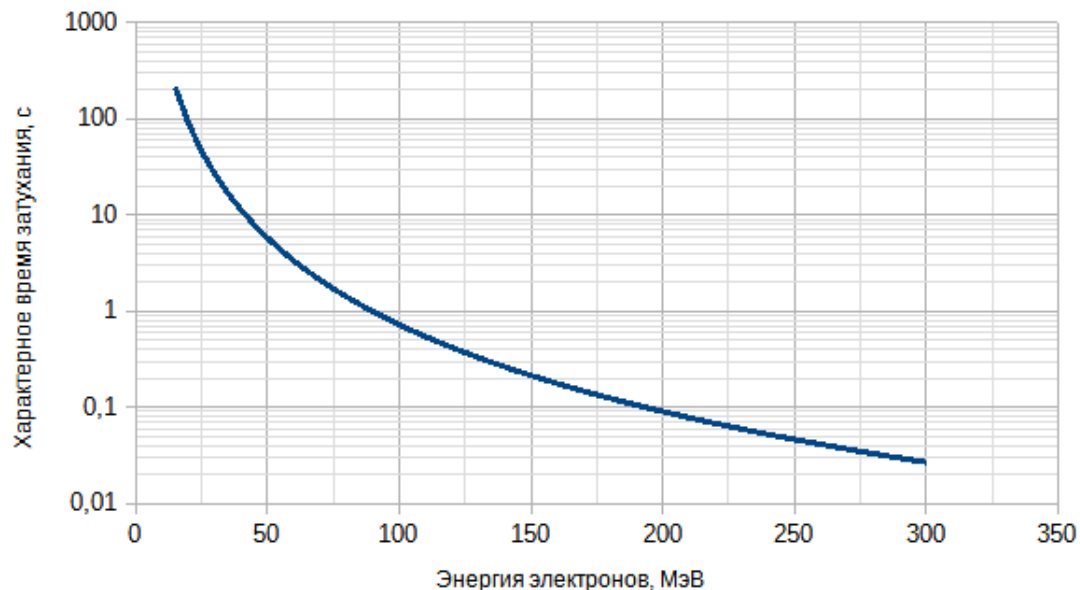
# Радиационное затухание

$$\tau_{x,y}[c] \approx 12\,000 \frac{L[m]l[m]n}{E_0[\text{МэВ}]^3}$$

$$\tau_z[c] \approx 6\,000 \frac{L[m]l[m]n}{E_0[\text{МэВ}]^3}$$

$L$  – периметр кольца,  
 $l$  – длина одного поворотного магнита,  
 $n$  – число поворотных магнитов,  
 $E_0$  – энергия электронов в кольце.

$$\tau \sim \frac{1}{E^3}$$

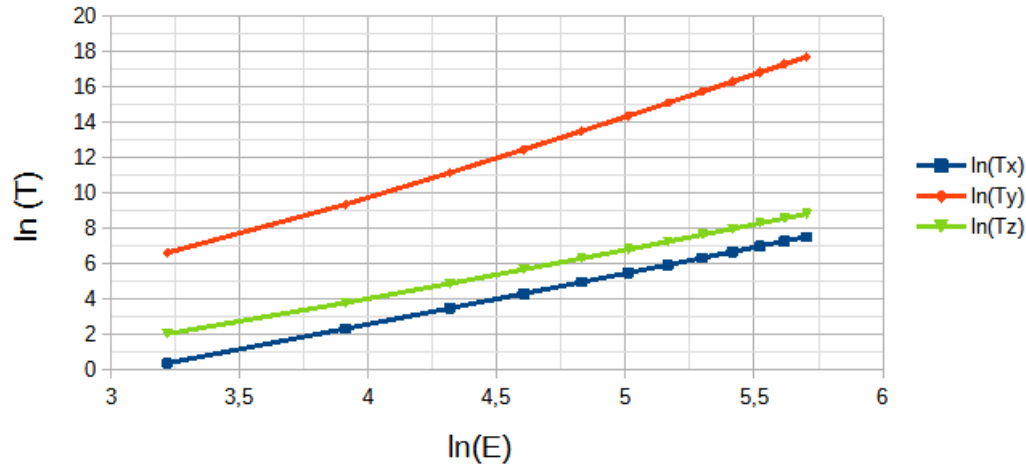


# Внутрипучковое рассеяние

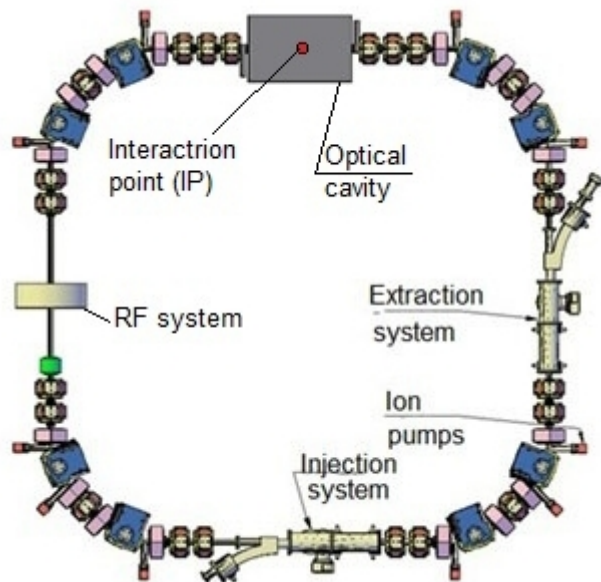
$$T \sim E^{(3 \div 4)}$$

При энергиях порядка 150 МэВ рост эмиттансов и энергетического разброса из-за внутрипучкового рассеяния будет скомпенсирован эффектом радиационного затухания.

Зависимости логарифма времен роста из-за внутрипучкового рассеяния от логарифма энергии пучка

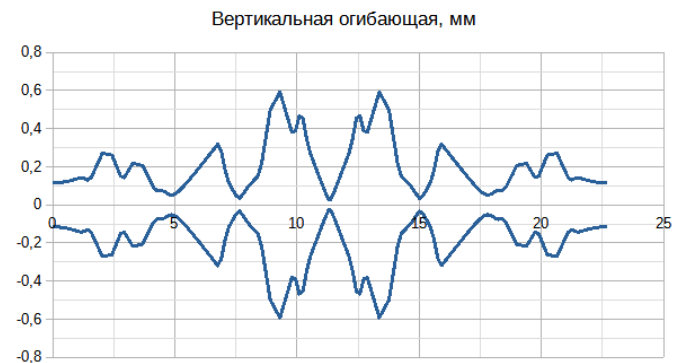
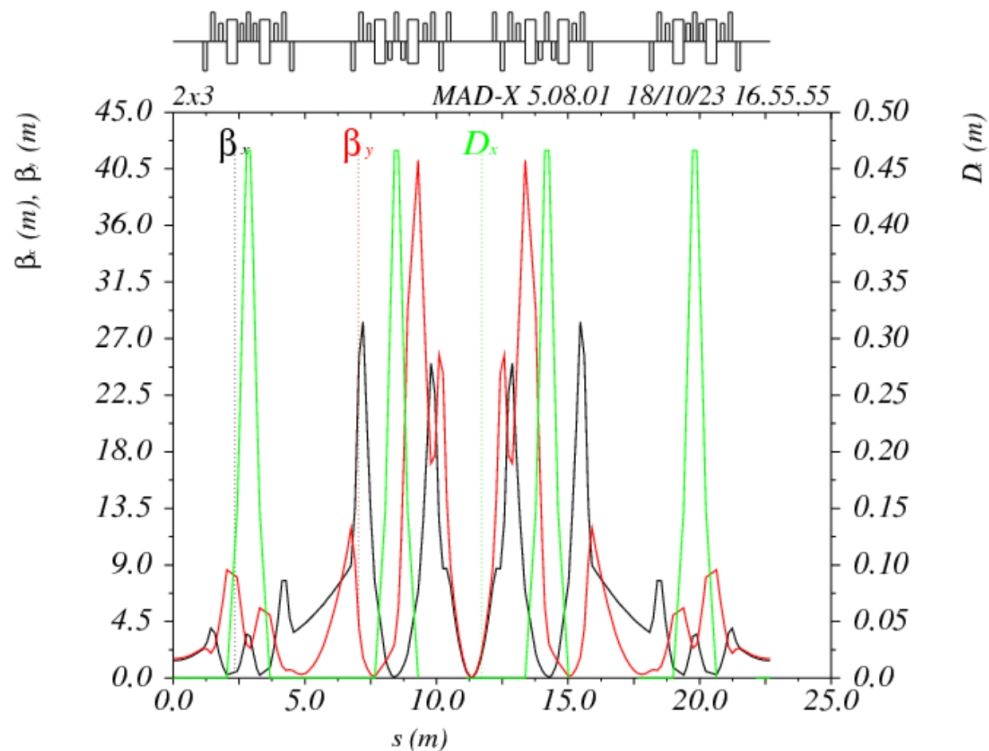


# Структура накопительного кольца



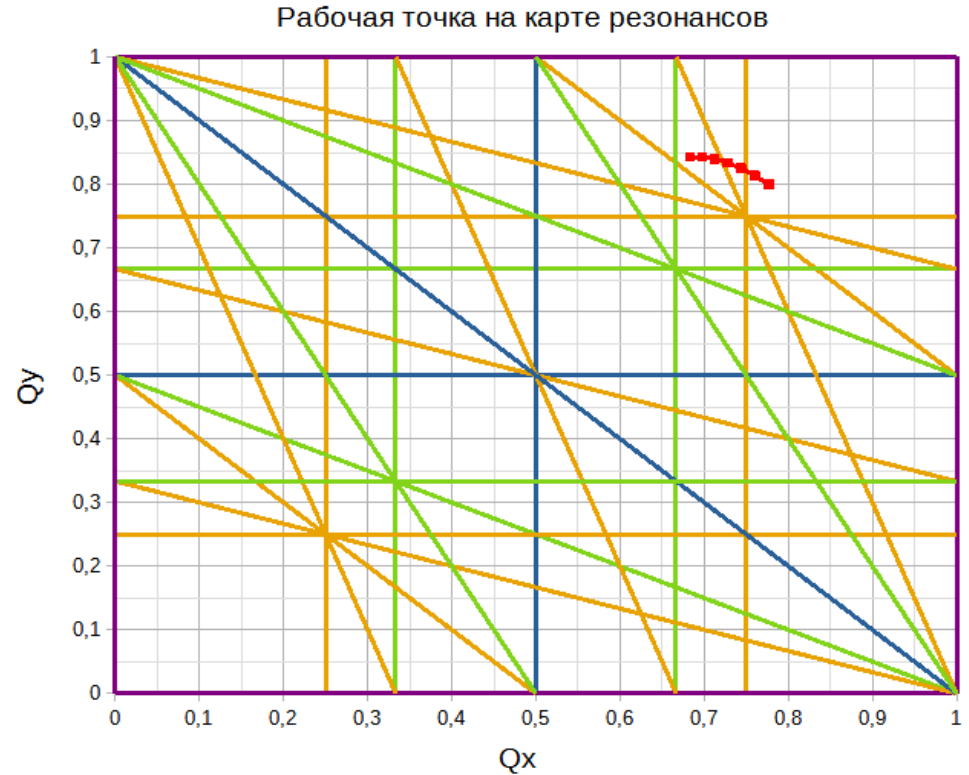
Параметр кольца	Единица	Значение
Номинальная энергия	МэВ	150
Длина орбиты	м	22,673
Бетатронные частоты $Q_x/Q_z$		3,73/2,83
Бета-функция в IP $\beta_x/\beta_z$	м	0,087/0,073
Мах бета-функции $\beta_x/\beta_z$	м	28,35/41,22
Дисперсия max/IP	м	0,467/0
Коэффициент уплотнения орбит		0,014
Частота синхротронных колебаний	kHz	205
Период/частота обращения	нс/MHz	75,6/13,2
Натуральная хроматичность $\xi_x/\xi_z$		-20,91/-36,25
Количество диполей		8
Количество квадруполей		22
Количество секступолей и корректоров		16

# Бета-функции и дисперсия кольца

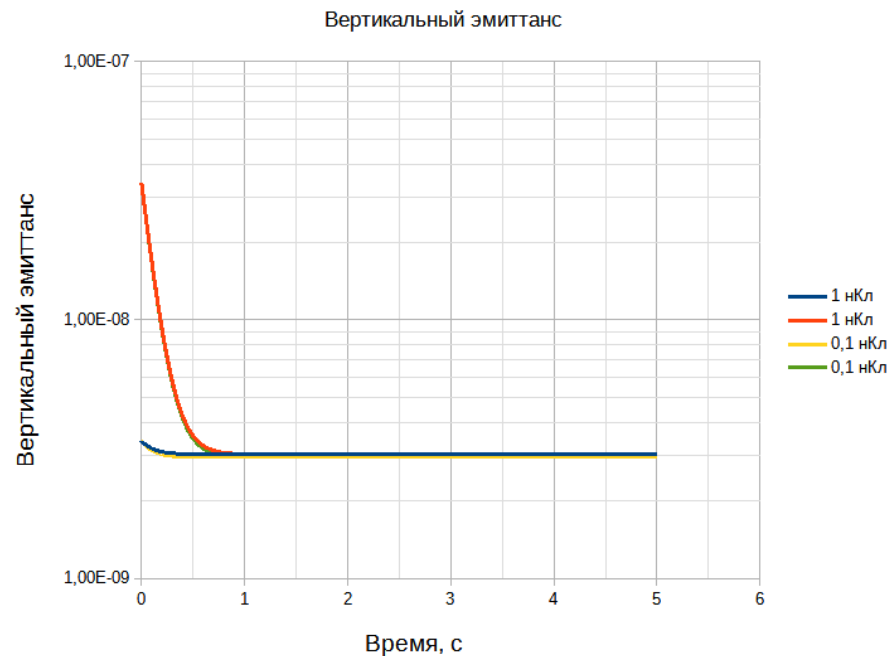
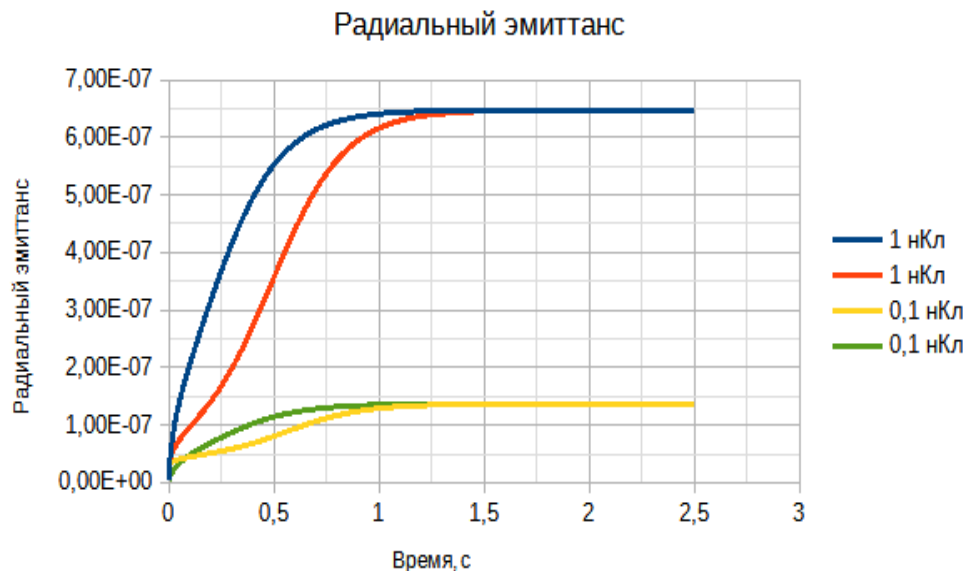


# Рабочая точка на карте резонансов

В интервале значений энергетического разброса  $\Delta p/p = \pm 0,003$  рабочая точка не пересекает линии резонансов до 2-го порядка включительно.

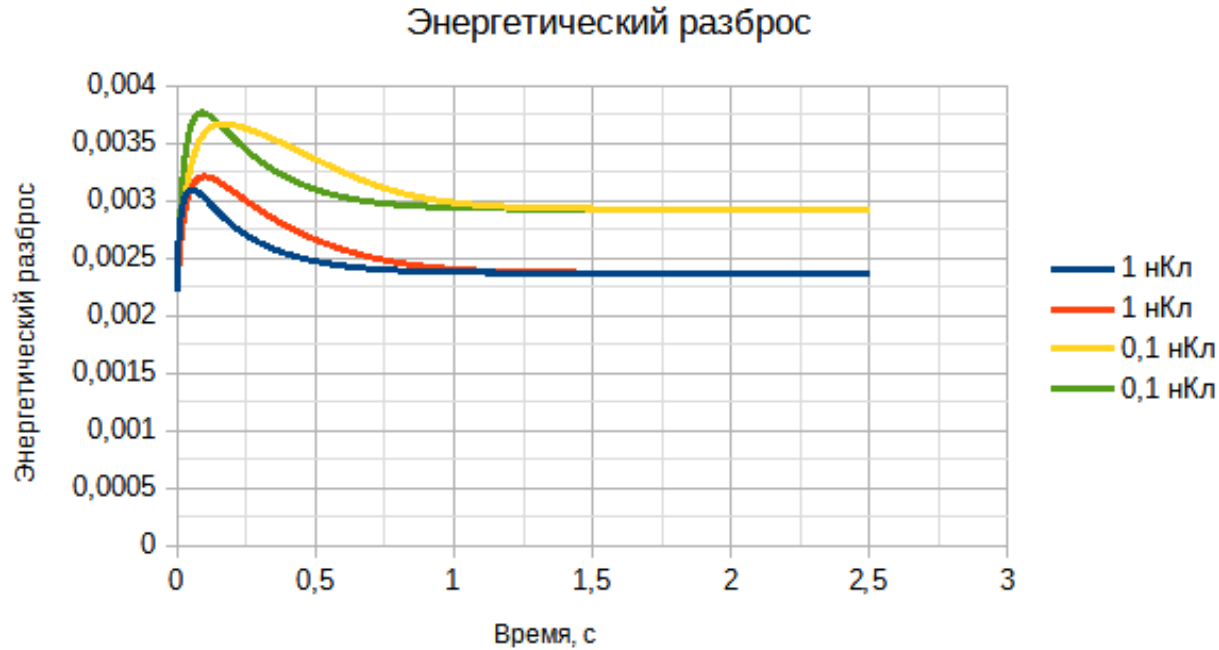


# Эволюция эмиттансов и энергетического разброса





# Эволюция эмиттансов и энергетического разброса

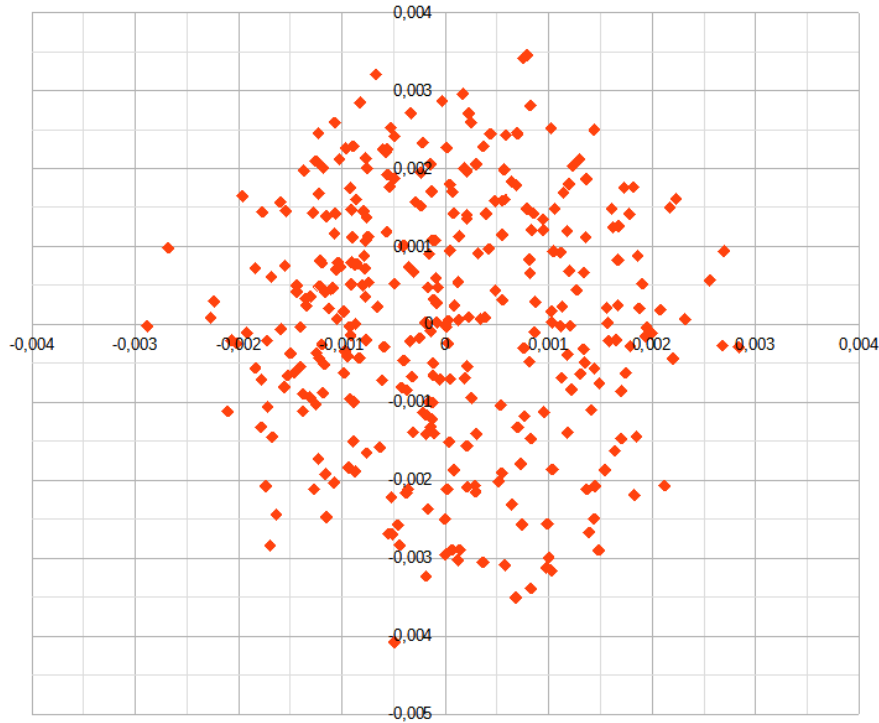


# Равновесные параметры пучка

0,1 нКл		1 нКл	
$\varepsilon_x$	$1,37 \cdot 10^{-7}$	$\varepsilon_x$	$6,48 \cdot 10^{-7}$
$\varepsilon_y$	$4,67 \cdot 10^{-10}$	$\varepsilon_y$	$5,61 \cdot 10^{-10}$
$(\varepsilon_x)_{\text{нормализ}}$	40,2 мм·мрад	$(\varepsilon_x)_{\text{нормализ}}$	190,2 мм·мрад
$(\varepsilon_y)_{\text{нормализ}}$	0,137 мм·мрад	$(\varepsilon_y)_{\text{нормализ}}$	0,165 мм·мрад
$\sigma_b$	0,00292	$\sigma_b$	0,00237
$l$	9,52 мм	$l$	7,73 мм
<i>Горизонтальный размер пучка в точке взаимодействия</i>	109,1 мкм	<i>Горизонтальный размер пучка в точке взаимодействия</i>	237,4 мкм
<i>Вертикальный размер пучка в точке взаимодействия</i>	6,4 мкм	<i>Вертикальный размер пучка в точке взаимодействия</i>	7,0 мкм

# Динамическая апертура

Динамическая апертура в точке инжекции



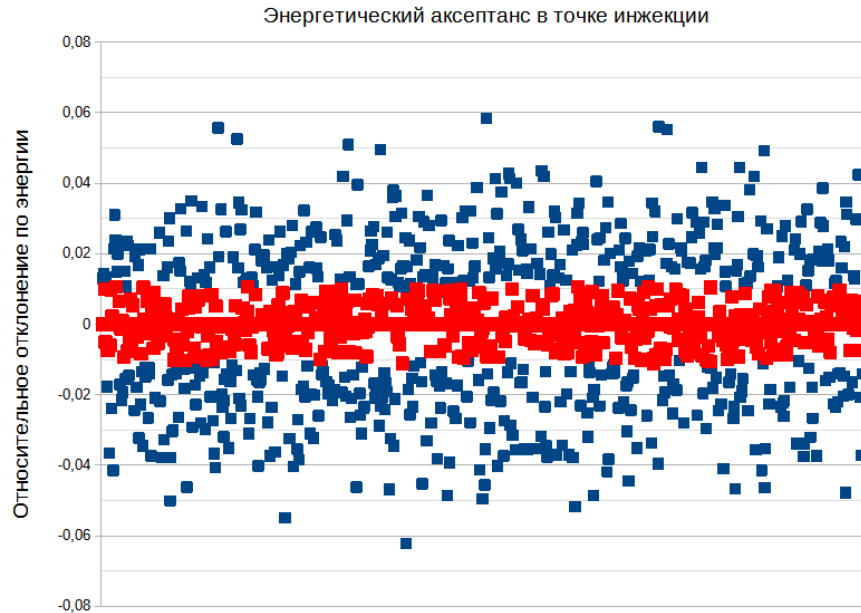
Динамическая апертура в точке инжекции при отклонении энергии от опорной на 0,2% составляет более  $2 \text{ мм} \times 2 \text{ мм}$ .

Размеры пучка в точка инжекции составляют от 0,07 мм до 0,23 мм

в зависимости от начального эмиттанса, что на порядок меньше динамической апертуры в данной точке.

Таким образом, ограничения на точность инжекции пучка в накопительное кольцо достаточно слабые.

# Акцептанс кольца



В обоих случаях акцептанс составляет порядка 1%.

Потери энергии на комптоновское рассеяние составляют  $\sim 350$  кэВ или  $\sim 0,3\%$  опорной энергии.

Таким образом, рассеянный электрон не выпадает за акцептанс.

# СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1) A. Wolski. Introduction to beam dynamics in high-energy electron storage rings. IOP Publishing, Bristol. 2018.
- 2) M. Sands, The physics of electron storage rings. 1970.
- 3) J. Bjorken, S. Mtingwa. Intrabeam scattering. Particle accelerators, 1983 Vol. 13 pp. 115-143.
- 4) A. Wolski Space charge, intrabeam scattering and Touschek effects. Lecture 7. USPAS 2007, Texas. Damping ring design and physics issues.
- 5) K. Bane. Intra-beam scattering theory and measurements. LER2011 Workshop. Heraklion, Crete, 2011.
- 6) Е.Б. Левичев. ЦКП «СКИФ» ИК СО РАН/ИЯФ СО РАН. Школа по физике и технике ускорителей, ОИЯИб Дубна 2023.
- 7) L. Deniau, H. Grote, G. Roy, F. Schmidt The MAD-X Program (Methodical Accelerator Design). User's reference manual. Geneva, 2021.
- 8) A. Wolski. Low-emittance storage rings. Proceedings of the CAS-CERN Accelerator School, Trondheim. 2013.
- 9) Техническое задание на создание лаборатории ядерной фотоники. 2023.
- 10) J. Le Duff. Longitudinal dynamics. CAS on Intermediate accelerator physics course. Zeuten, 2003.
- 11) А. Посеряев. Расчёт динамики и оптимизация параметров ускорительных комплексов различного назначения. Диссертация на соискание учёной степени кандидата физ.-мат. Наук. Москва 2006.
- 12) Zh. Pan, J. Byrd, W Huang., D. Li, Ch. Sun, Y. Wu, Ch. Tang. 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).
- 13) I. Chaikovska, A. Variola. Equilibrium energy spread and emittance in a Compton ring: An alternative approach. Phys. Rev. St Accel. Beams 17, 044004 (2014).
- 14) A. Piwinski. The Toushek effect in strong focusing storage rings. DESY, 1998.