

Разработка рентгенооптических трактов экспериментальных станций первой очереди проекта ЦКП «СКИФ»

Докладчик: Требушинин А.Е.

Руководитель: к.ф.-м.н. Ракшун Я.В.

ИЯФ СО РАН



Новосибирск, 2019

Карта ускорительных центров



Жёлтым цветом обозначены центры синхротронного излучения

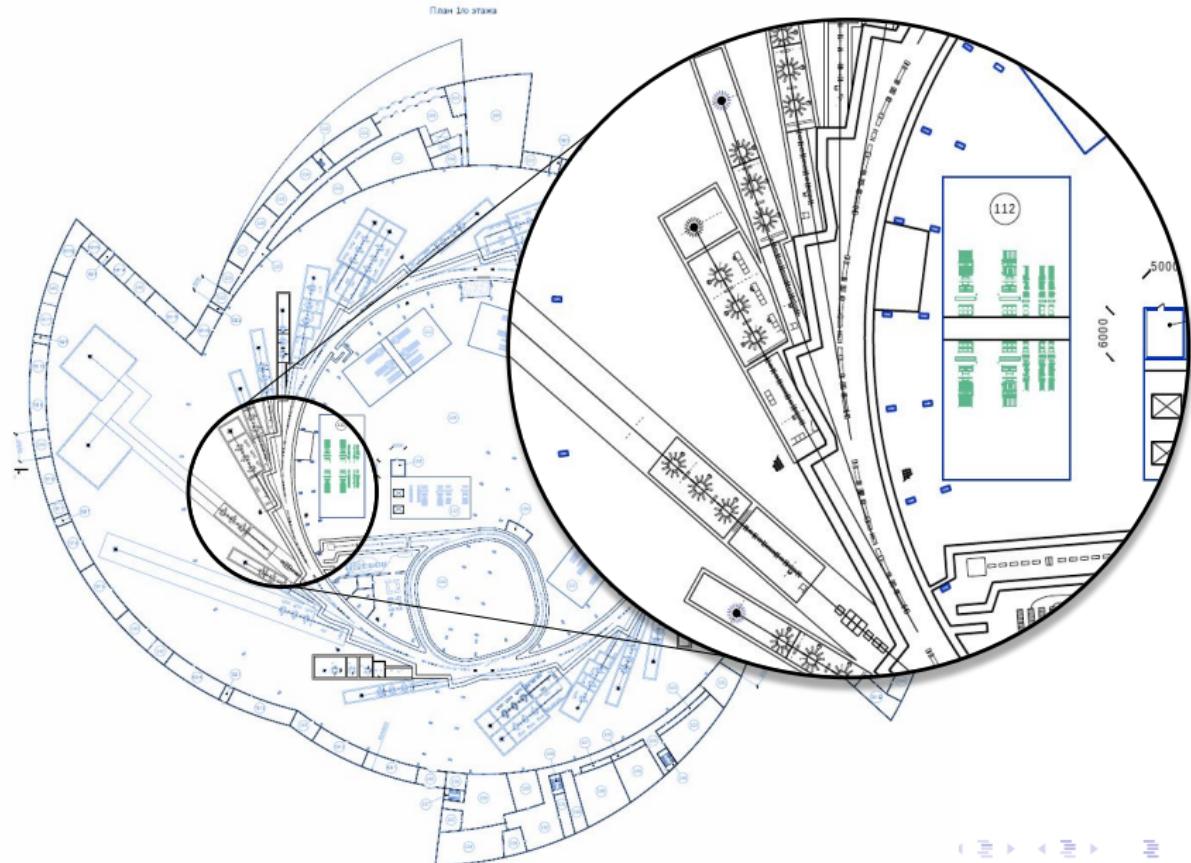
Создание проекта экспериментальных стаций
первой очереди ЦКП «СКИФ»

СКИФ Сибирский Кольцевой Источник Фотонов



$E, [GeV]$	$I, [mA]$	$C, [m]$	$\epsilon_x, [pmrad]$	$\epsilon_y, [pmrad]$	N
3	400	476	90	60	30

Схема ЦКП «СКИФ»



Задачи

- Моделирование вставных устройств
(ондуляторы)
- Оптимизация оптических элементов
(апertureы, монохроматоры, фокусирующие зеркала)
- Создание среды для обмена информацией по
проектированию
- Координация работы между исследовательскими группами
разных институтов (ИЯФ СО РАН, ИК СО РАН, ИГиЛ СО
РАН, ИГМ СО РАН)

План презентации

- Схема работы «Оптической группы» ЦКП СКИФ
- Принципиальные основы кода для расчёта синхротронного излучения SRW
- Обзор типовых ондуляторов для «СКИФ»
- Расчёт оптической схемы станции 1-1
- Расчёт ондулятора с корректирующими катушками для станции 1-4

Оптическая группа ЦКП «СКИФ»



©Andrei Trebuschinin ссылка на [GitHub](#)

SRW. Среда моделирования

SRW — Synchrotron Radiation Workshop. Код для моделирования оптических систем. $r\omega$ -пространство, ближняя зона.

- Вставные устройства:

$$\vec{\tilde{E}}_{\perp}(\vec{r}_o, \omega) = \frac{i\omega e}{c} \int_{-\infty}^{\infty} dt' \left[\frac{\vec{\beta} - \vec{n}}{|\vec{r}_o - \vec{r}'_o(t')|} - \frac{ic}{\omega} \frac{\vec{n}}{|\vec{r}_o - \vec{r}'_o(t')|^2} \right] \times \\ \exp \left[i \left(t' + \frac{|\vec{r}_o - \vec{r}'_o(t')|}{c} \right) \right]$$

- Фурье оптика:

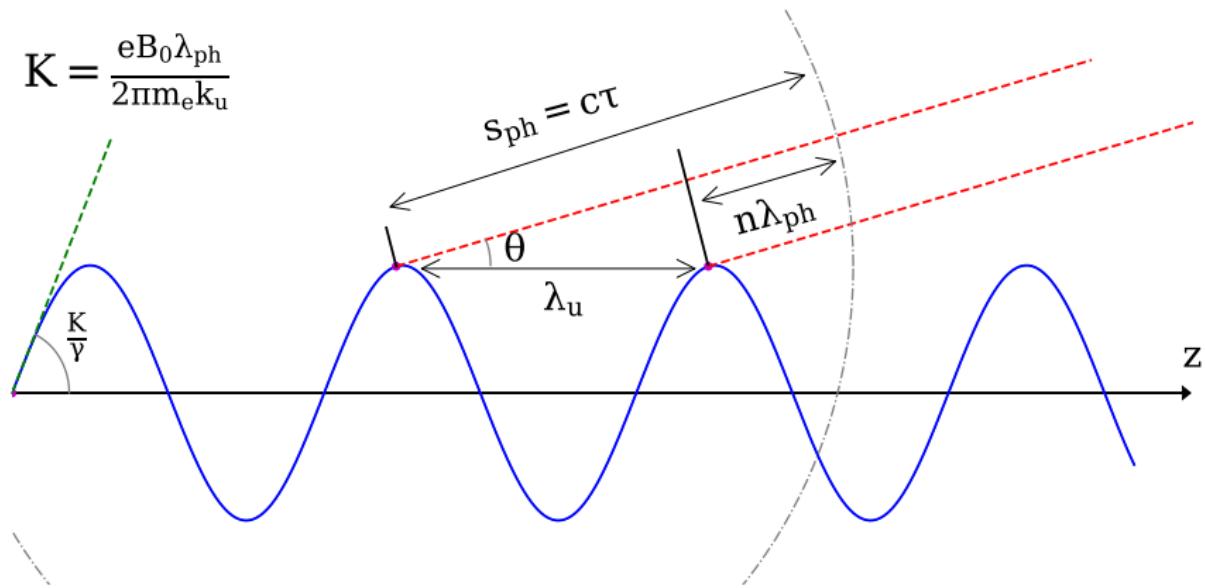
$$g_2(x_2, y_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g_1(\eta, \xi) h(x_2 - \eta, y_2 - \xi) d\eta d\xi$$

⇓

$$G_2(f_x, f_y) = G_1(f_x, f_y) H(f_x, f_y)$$

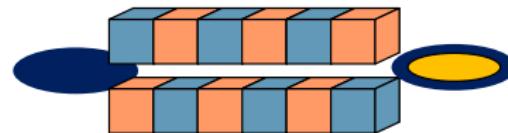
Ондулятор — интерференционное устройство

$$n\lambda_{ph} = s_{ph} - \lambda_u \cos \theta \quad \rightarrow \quad \lambda_{ph} = \frac{\lambda_u}{2n\gamma^2 K} \left(1 + \frac{K^2}{2} + \gamma^2 \theta^2 \right)$$



Стандартные ондуляторы для СКИФ

Сверхпроводящий ондулятор



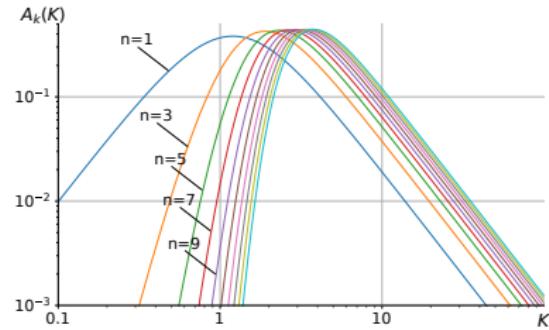
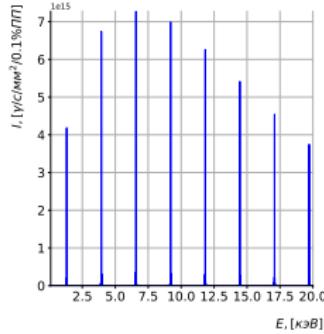
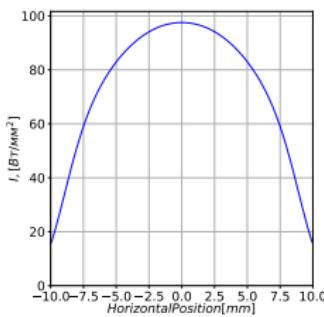
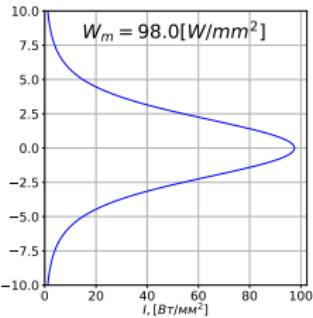
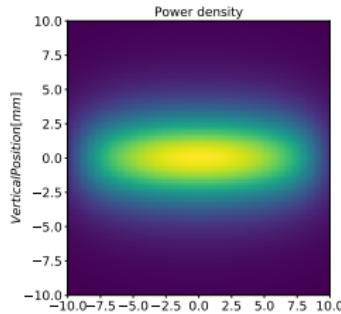
Электронный пучок

Излучение

$B, [T]$	0.7 – 1.5
$L, [m]$	3
$d, [mm]$	15 – 20
N	≥ 120
Фазовая ошибка	$\leq 2^\circ$

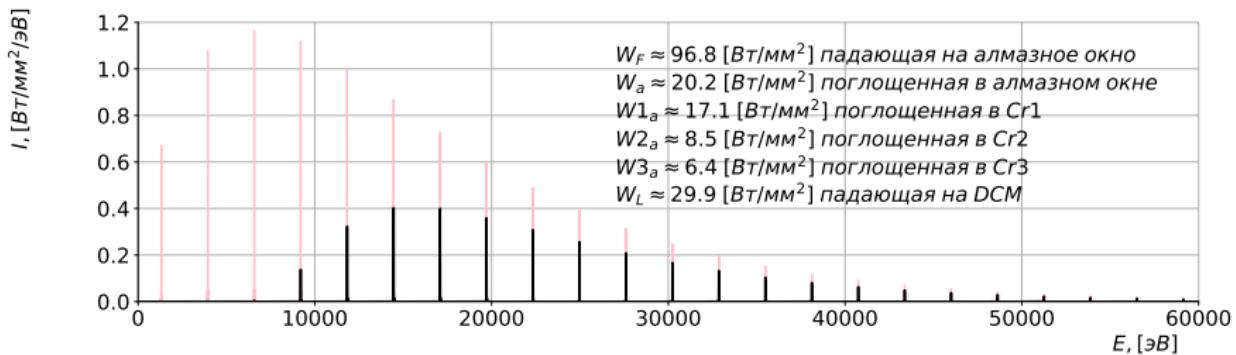
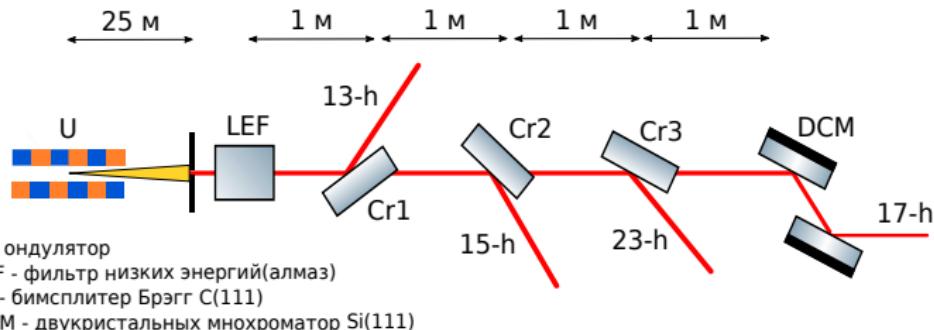
$E, [GeV]$	$I, [mA]$	$\beta_x, [m]$	$\beta_y, [m]$	
3	400	12.48	1.99	
$\sigma_x, [m]$	$\sigma_{x'}, [rad]$	$\sigma_y, [m]$	$\sigma_{y'}, [rad]$	$\Delta E/E$
33.0×10^{-6}	2.65×10^{-6}	8.6×10^{-7}	5.0×10^{-7}	8.6×10^{-4}

Расчёт станции 1-1. Тепловые нагрузки

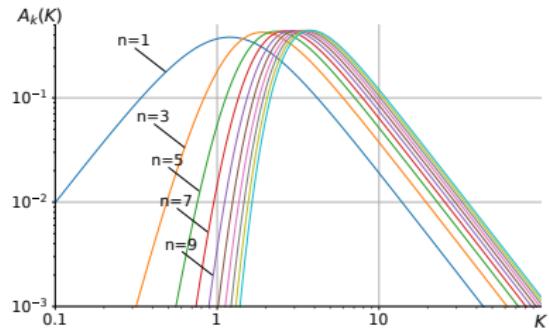
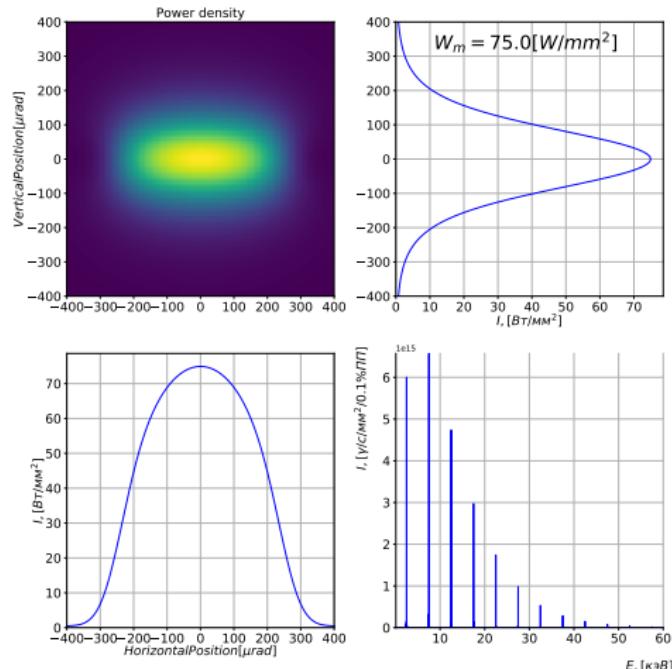


$B(K)$, [T]	1.36(2.29)
L , [m]	2.3
d , [mm]	18
Фазовая ошибка	$\leq 3^\circ$
Гармоники	11, 13, 17, 23

Оптическая схема станции 1-1. Итерация без линз

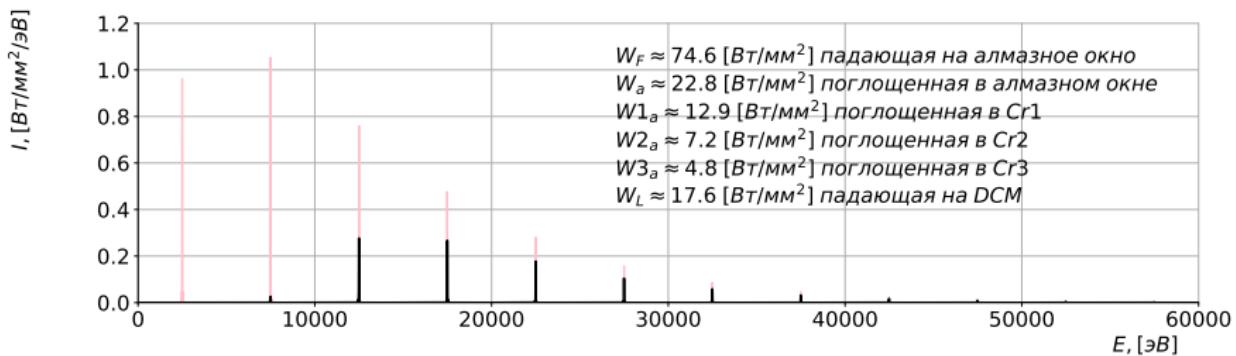
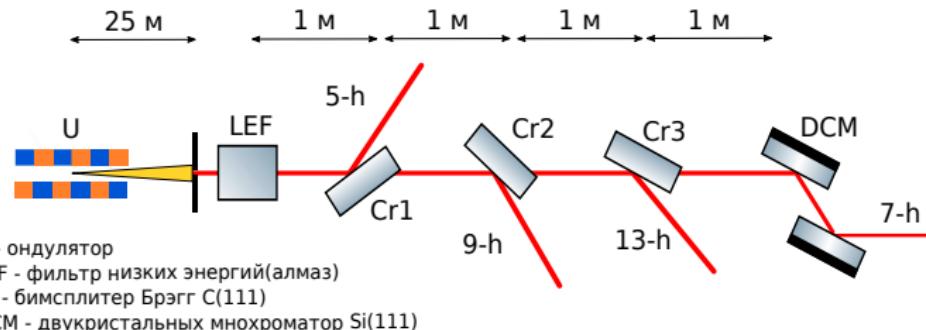


Расчёт станции 1-2. Тепловые нагрузки

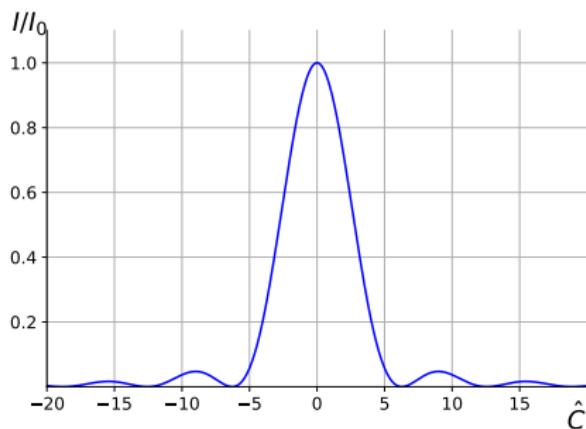
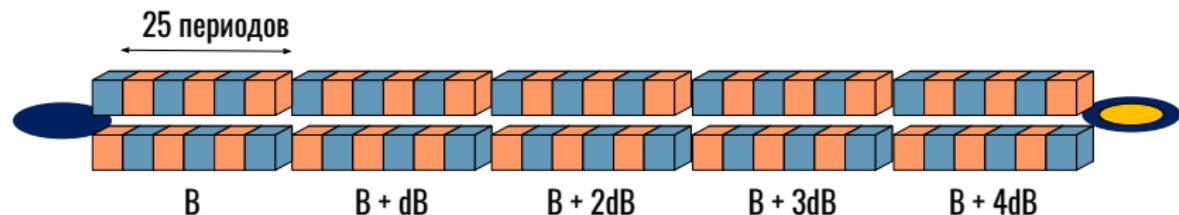


$B(K), [\text{T}]$	1.06(1.54)
$L, [\text{m}]$	2
$d, [\text{mm}]$	15.6
Фазовая ошибка	$\leq 3^\circ$
Гармоники	5, 7, 9, 13

Оптическая схема станции 1-2. Итерация без линз



Ондулятор станции 1-4 (Quick-XAFS)



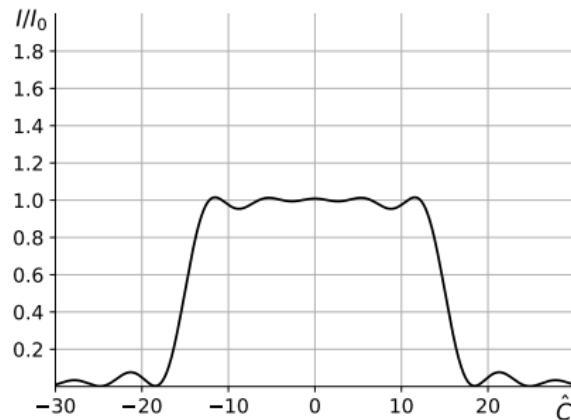
$$\hat{C} = CL_u = 2\pi N_u \frac{\Delta\omega}{\omega_r}$$

- Широкий спектр для Quick-XAFS
спектроскопии $\approx 1 \text{ keV}$

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_{ph}} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{ph}} \sim \frac{1}{nL_u}$$

Оценки спектра

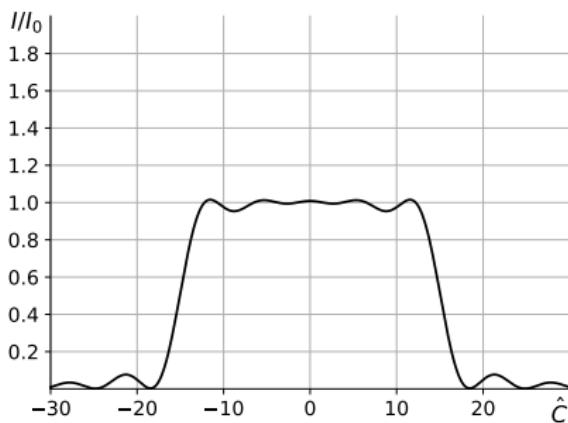
Предсказание



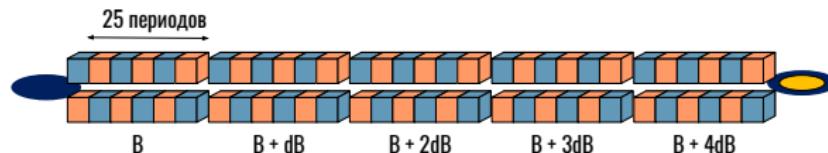
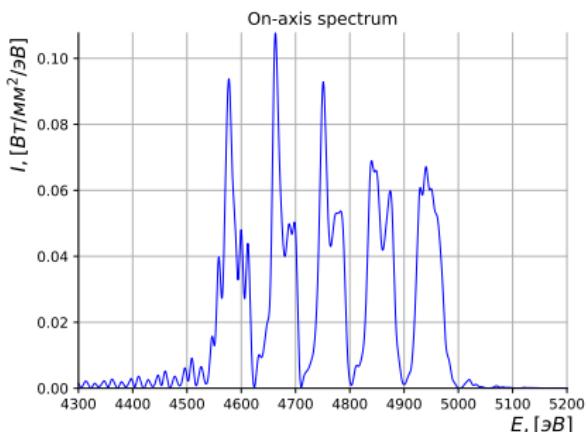
$$\tilde{I} = \left(\frac{\omega e A_{JJ}}{2c^2 \gamma z_0} \right)^2 \left[\sum_{n=-2}^2 (K_0 + n\Delta K)^2 \operatorname{sinc}^2(\hat{C}_n) \right]$$

Моделирование SRW

Предсказание

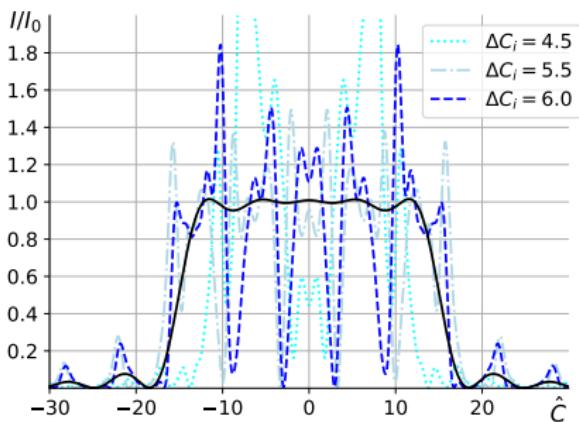


Симуляция SRW



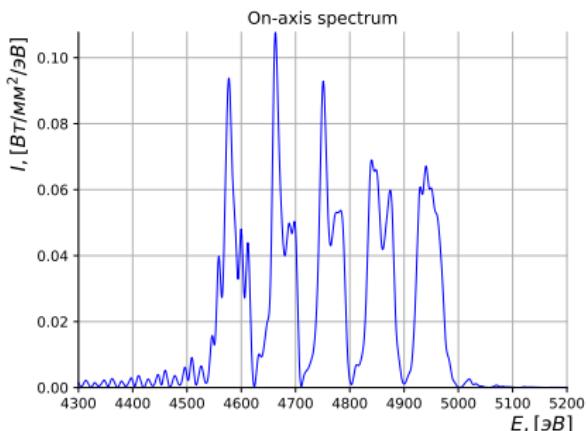
Интерференция в спектре

Аналитический результат



$$\tilde{I} = \left(\frac{\omega e A_{JJ}}{2c^2 \gamma z_0} \right)^2 \left[\sum_{n=-2}^2 (K_0 + n\Delta K)^2 \operatorname{sinc}^2(\hat{C}_n) + \sum_{\substack{n,m=-2 \\ n \neq m}} K_0^2 \left(1 + n \frac{\Delta K}{K_0} + m \frac{\Delta K}{K_0} \right) \operatorname{sinc}^2(\hat{C}_n) e^{i(n-m)\hat{C}_0 + (n^2 - m^2)\Delta \hat{C}} \right]$$

Симуляция SRW



Планы

- Дальнейшее детальное моделирование оптических схем
- Принятие решения по концепции ондулятора станции 1-4

Здесь можно следить за работой оптической группы

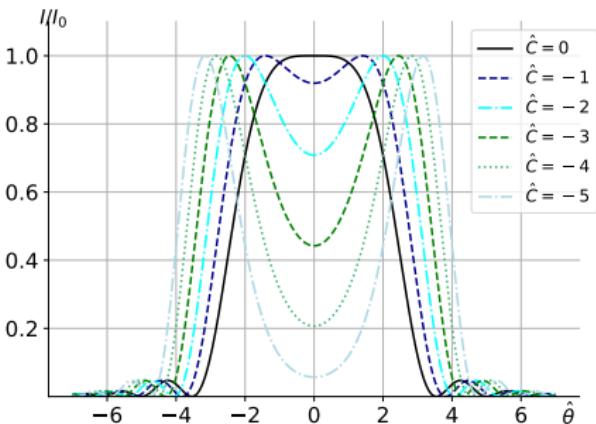
Здесь за текстом дипломной работы

Моя почта: *trebandrej@gmail.com*

Благодарю за внимание

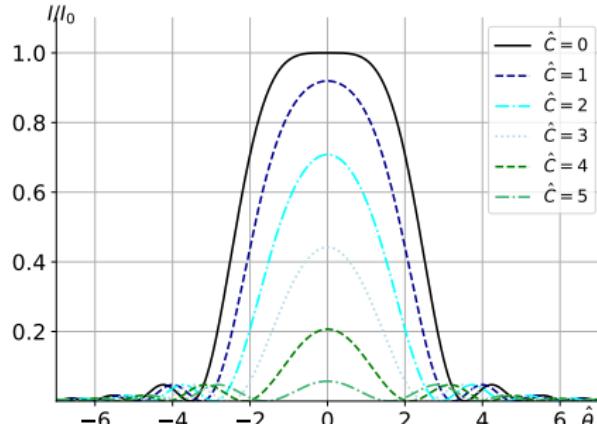
Дополнительные слайды

Угловое распределение ондуляторного излучения



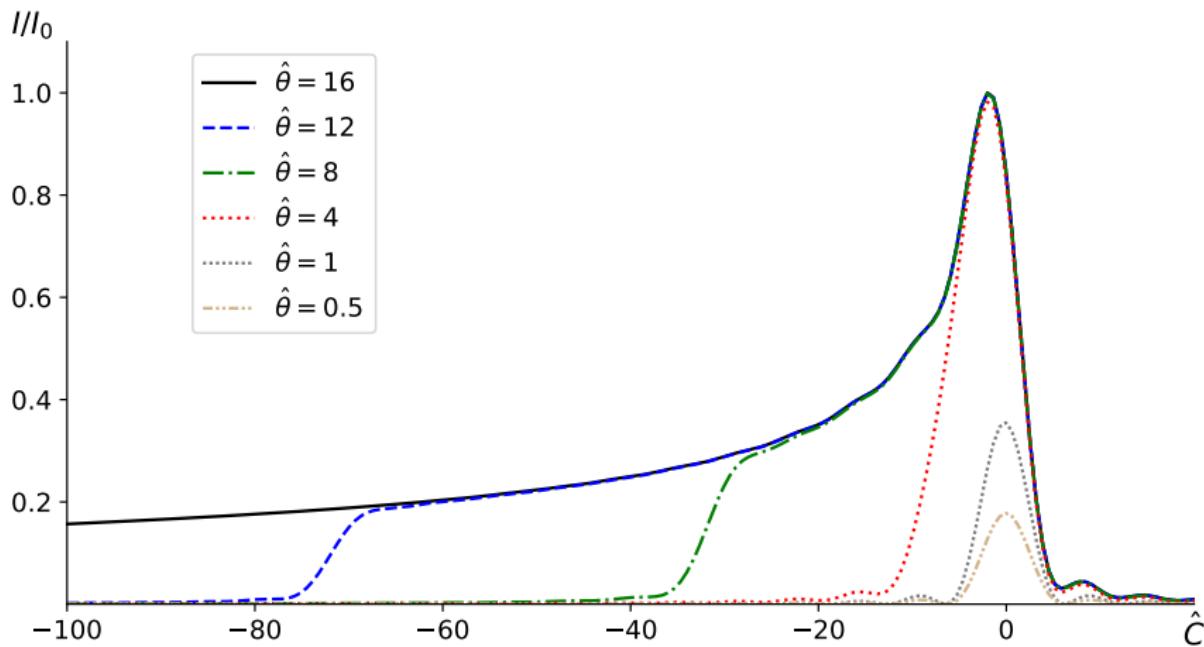
Отрицательная сдвигка от ω_r

$$\hat{\theta} = \theta \sqrt{\frac{\omega_L}{c}}, \hat{C} = CL_u = 2\pi N_u \frac{\Delta\omega}{\omega_r}$$



Положительная сдвигка от ω_r

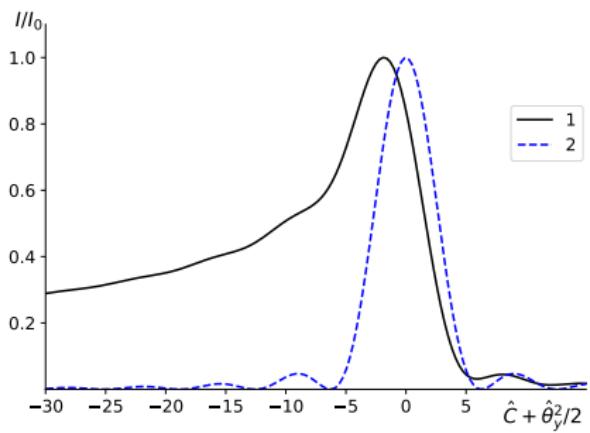
Спектр через конечную апертуру



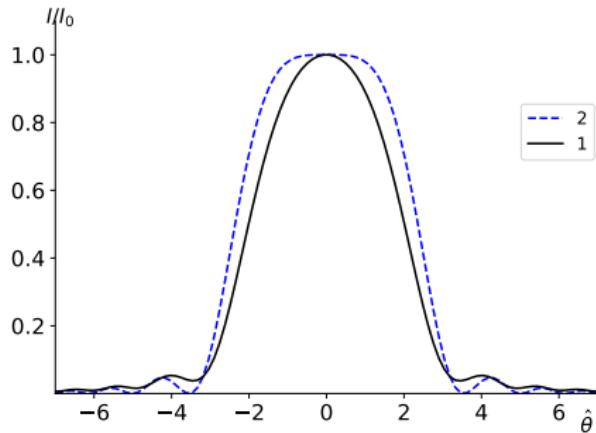
$$\hat{\theta} = \theta \sqrt{\frac{\omega L}{c}}, \quad \hat{C} = CL_u = 2\pi N_u \frac{\Delta\omega}{\omega_r}$$

Влияние эмиттанса электронного пучка

Спектр



Угловое распределение

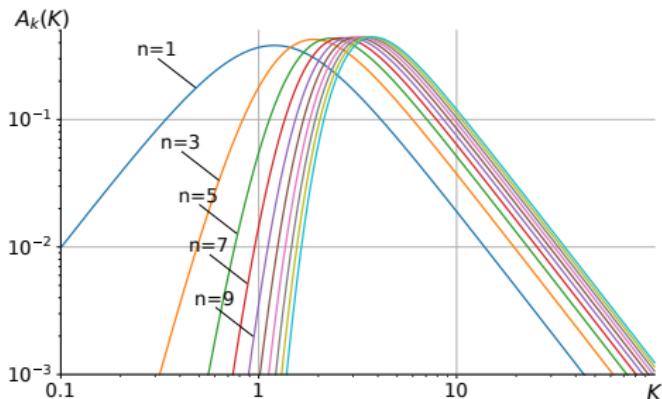
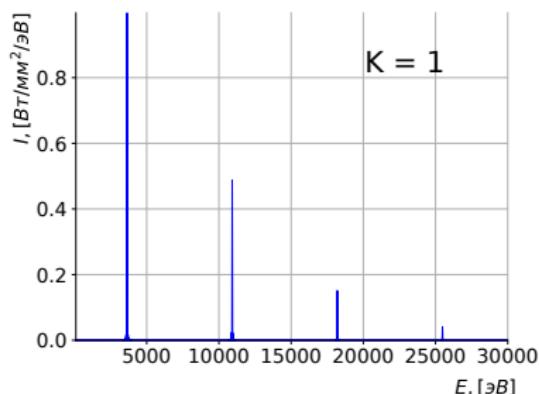
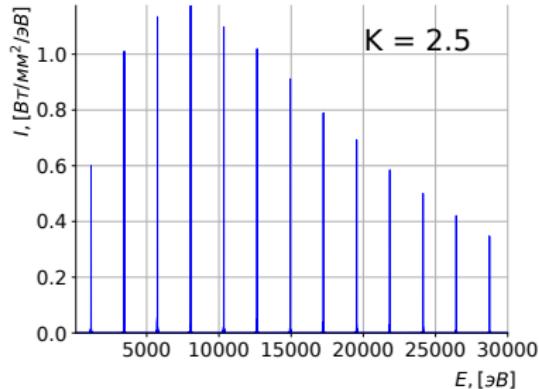


1 - электронный пучок $\hat{\epsilon}_x \rightarrow \infty \hat{\epsilon}_y \rightarrow 0$

2 - уединённый электрон

$$\hat{\theta} = \theta \sqrt{\frac{\omega L}{c}}, \hat{C} = CL_u = 2\pi N_u \frac{\Delta\omega}{\omega_r}$$

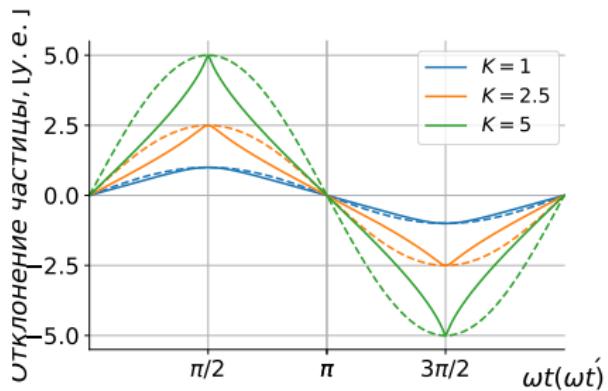
Состав спектра планарного ондулятора



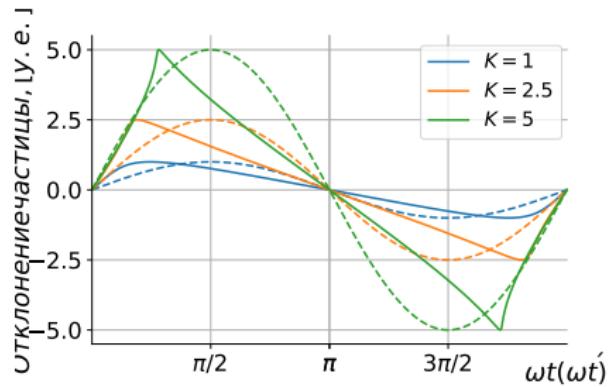
Амплитудный спектр гармоник
в зависимости от параметра
ондуляторности K

Состав спектра планарного ондулятора

Отклонение при $\theta = 0$



Отклонение при $\theta = 1/\gamma$



$$t = t' + \frac{1}{c} |R - r(t')|$$

$$\frac{dt}{dt'} = 1 - \vec{n} \cdot \vec{\beta}$$