

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

Докладчик: Требушинин А.Е.

Руководитель: к.ф.-м.н. Ракшун Я.В.

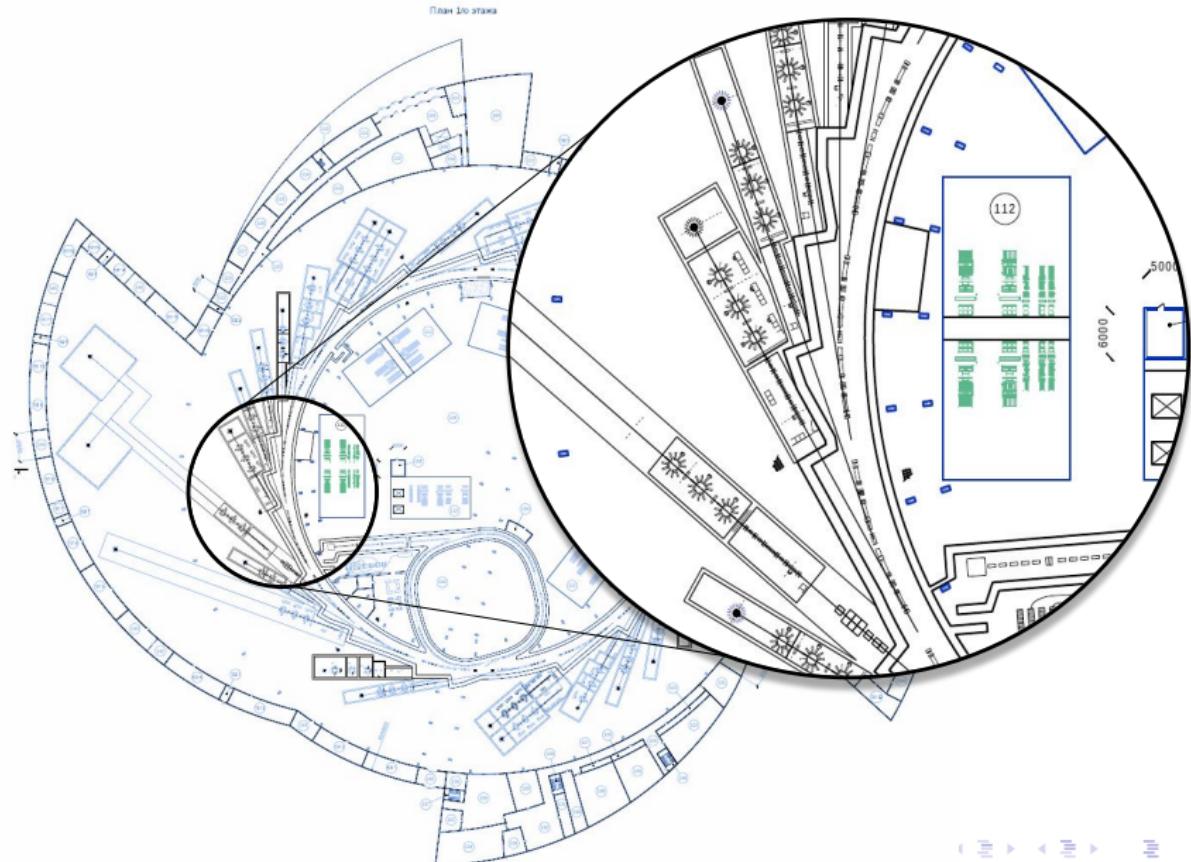
ИЯФ СО РАН



Новосибирск, 2019

Создание проекта экспериментальных стаций  
первой очереди ЦКП «СКИФ»

# Схема ЦКП «СКИФ»



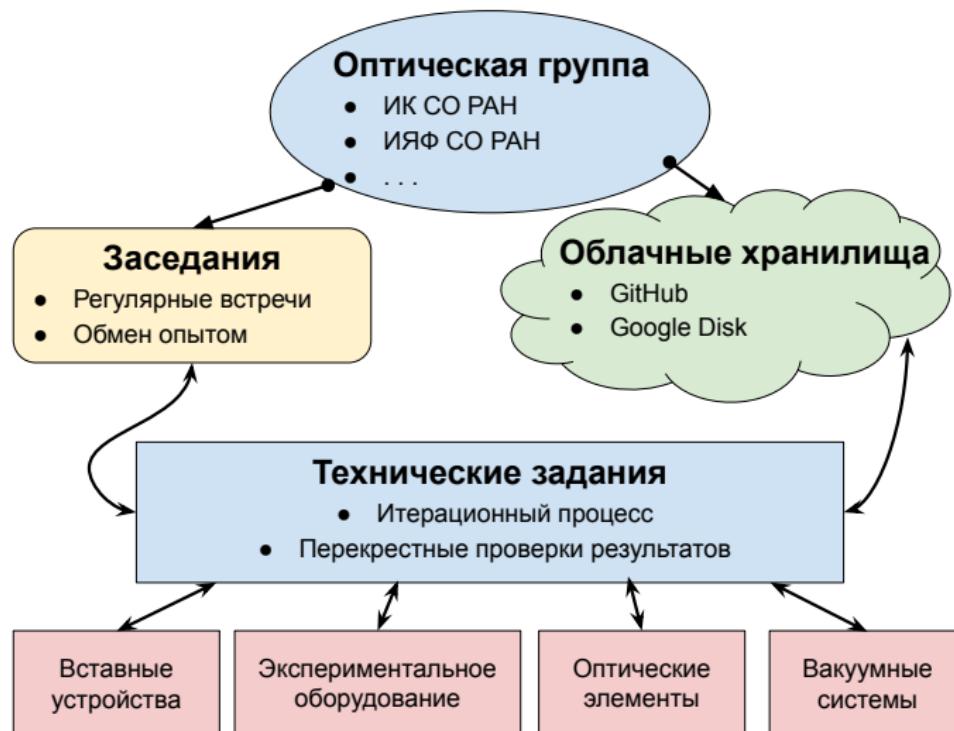
# Задачи

- Моделирование вставных устройств  
(ондуляторы)
- Оптимизация оптических элементов  
(апertureы, монохроматоры, фокусирующие зеркала)
- Создание программной среды для обмена расчётами
- Координация взаимодействия 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 SRW для расчёта синхротронного излучения
- Расчёт оптических схем станции 1-1, 1-2
- Расчёт оптики станции 1-4. 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 излучения релятивистского электронного пучка и оптических систем.  $r\omega$ -пространство, ближняя зона.

- Подсчёт электрического поля:

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

- Фурье оптика:

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

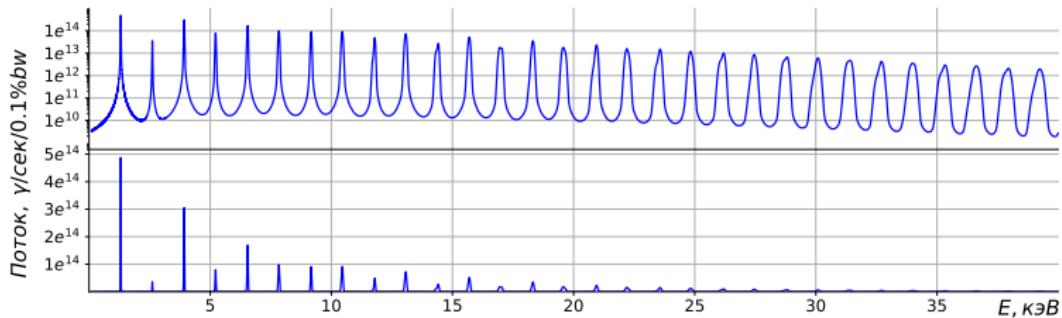
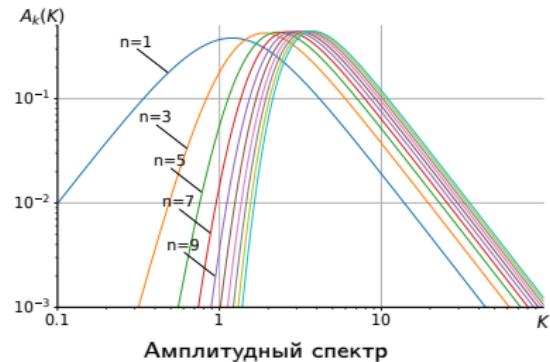
⇓

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

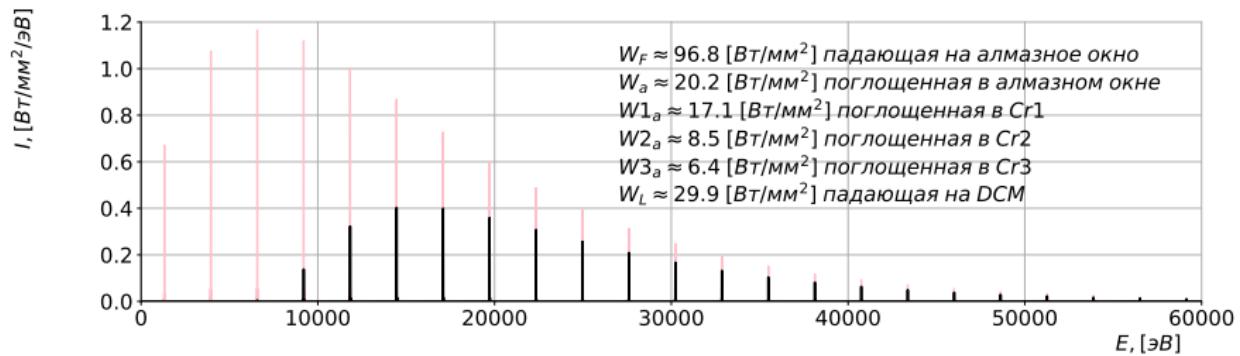
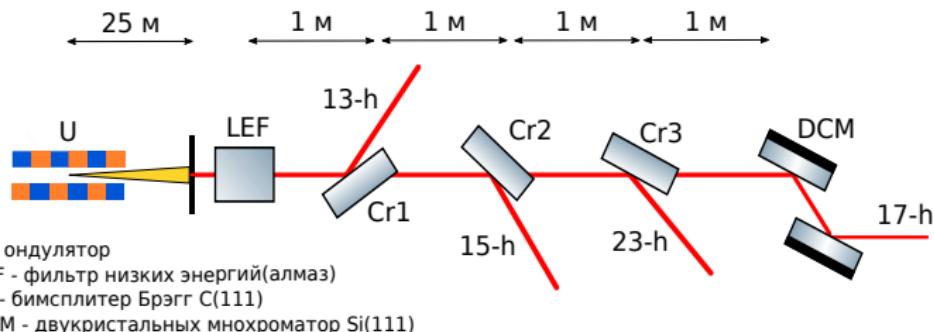
# Расчёт станции 1-1. Тепловые нагрузки

$B(K), [T]$	1.36(2.29)
$L, [m]$	2.3
$d, [mm]$	18
Гармоники	11, 13, 17, 23

Ондулятор



# Оптическая схема станции 1-1

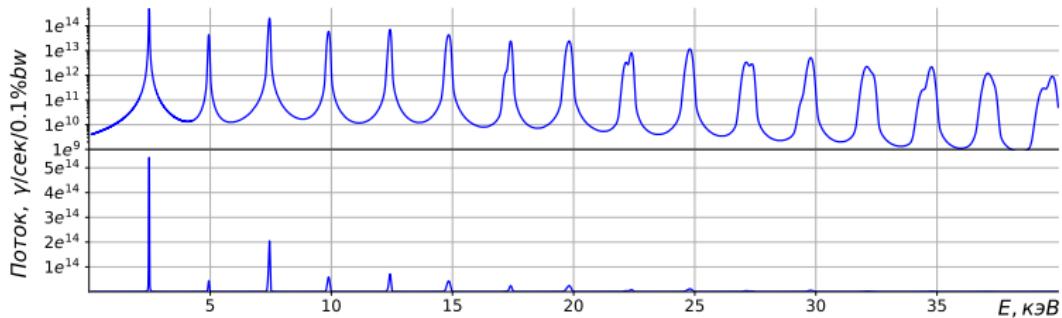
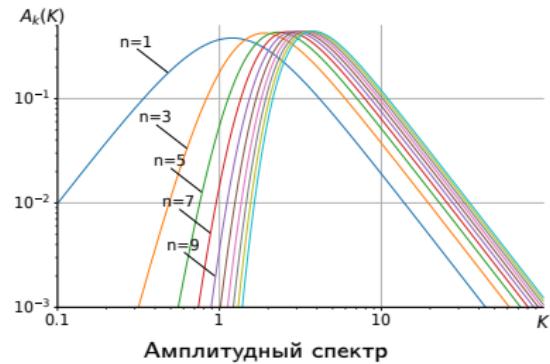


©Andrei Trebuschinin ссылка на [GitHub](#)

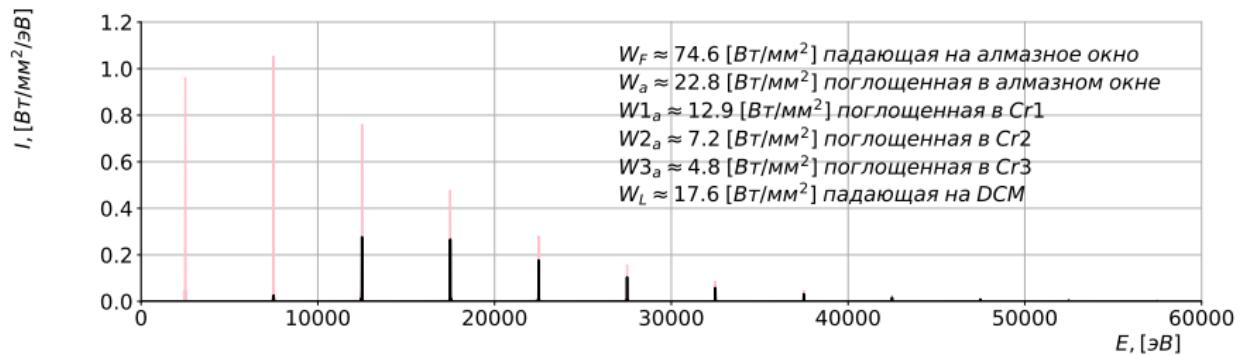
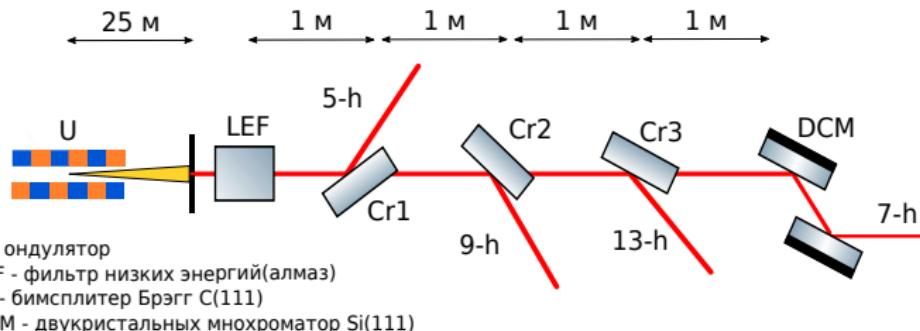
# Расчёт станции 1-2. Тепловые нагрузки

$B(K), [T]$	1.06(1.53)
$L, [m]$	2
$d, [mm]$	15, 6
Гармоники	5, 7, 9, 13

Ондулятор



# Оптическая схема станции 1-2

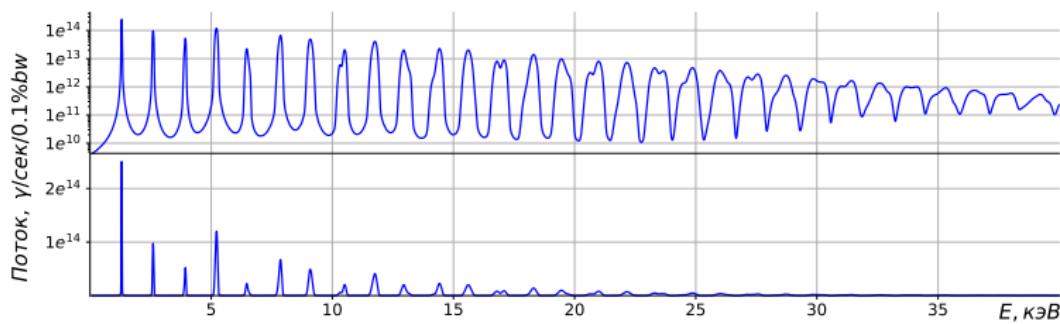
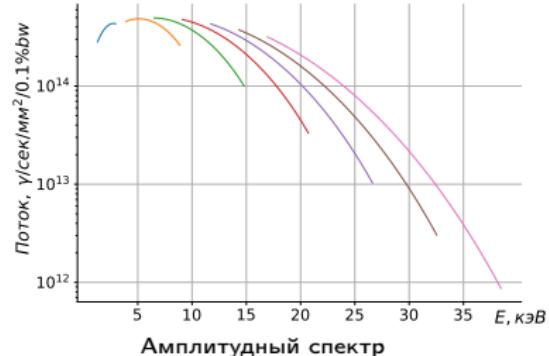


©Andrei Trebuschinin ссылка на [GitHub](#)

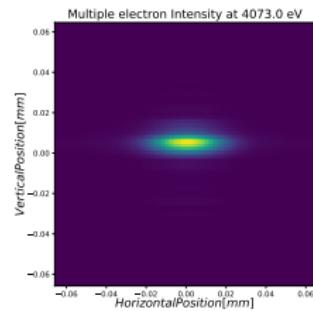
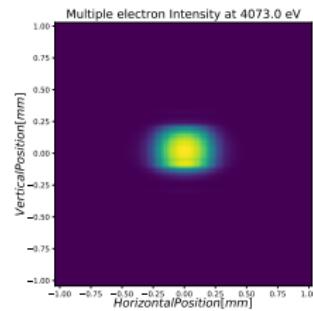
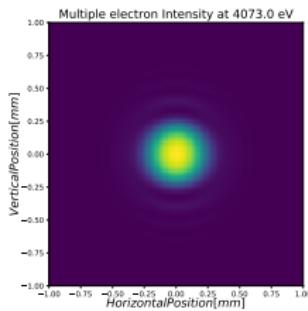
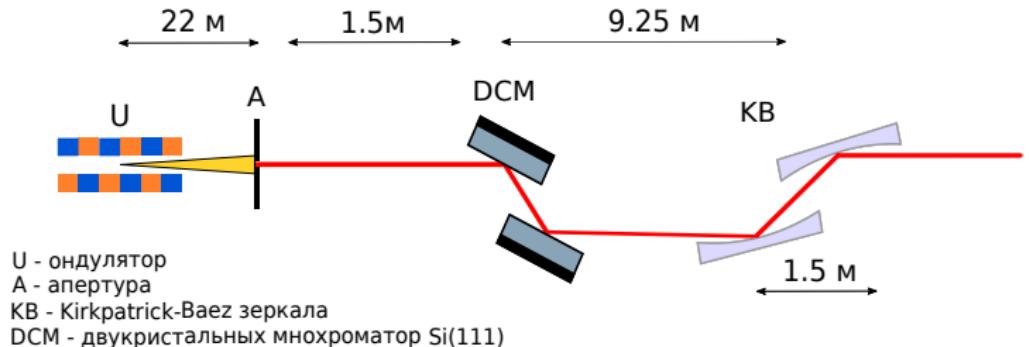
# Расчёт оптики станции 1-4 (XAS-спектроскопия)

$B(K), [T]$	1.06(1.53)
$L, [m]$	2
$d, [mm]$	15, 6
Гармоники	5, 7, 9, 13

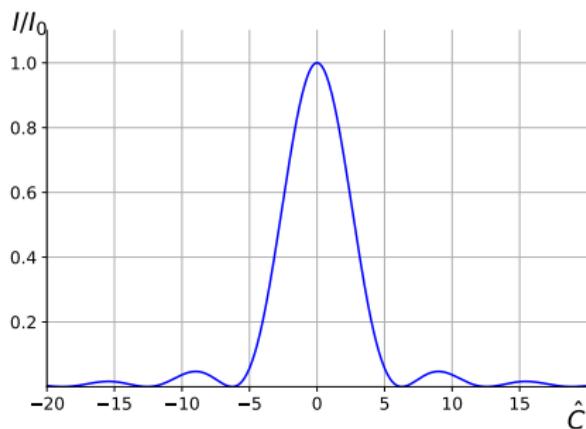
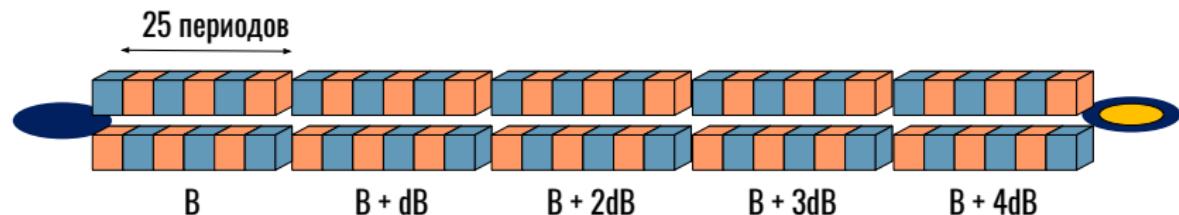
Ондулятор



# Оптическая схема станции 1-4



# Ондулятор станции 1-4 (Quick-XAFS)



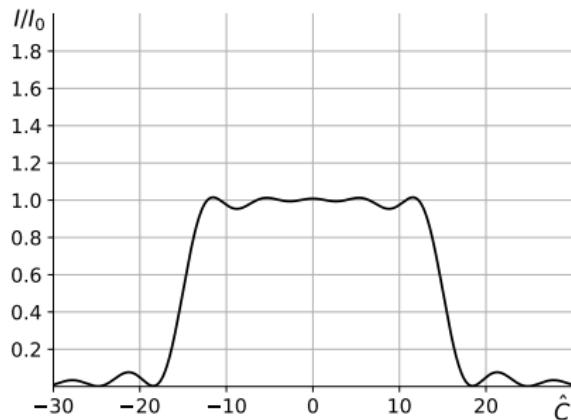
$$\hat{C} = CL_u = 2\pi N_u \frac{\Delta\omega}{\omega_r}$$

- 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

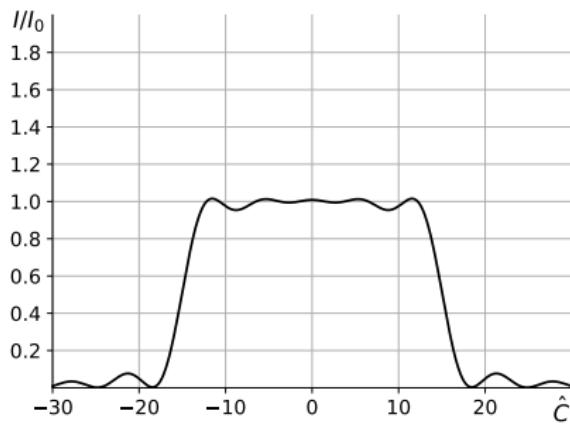
## Предсказание



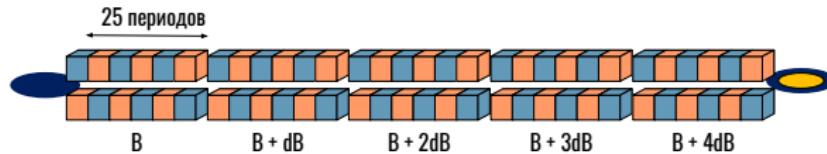
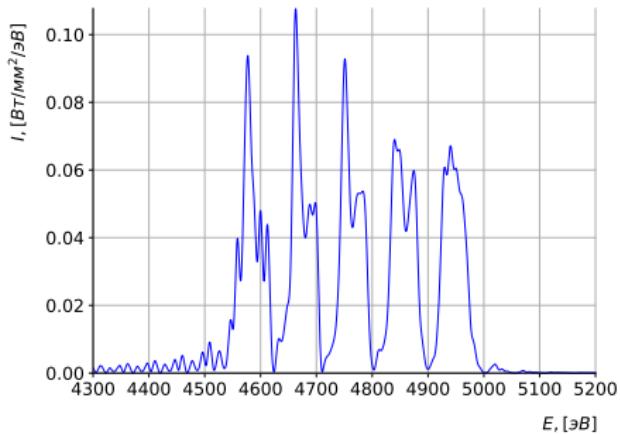
$$\tilde{I} = \left( \frac{\omega e A_{JJ}}{2c^2 \gamma z_0} \right)^2 \left[ \sum_{n=-2}^2 (K_0 + n\Delta K)^2 \operatorname{sinc}^2(\hat{C}_n) \right]$$

# Моделирование SRW

Предсказание

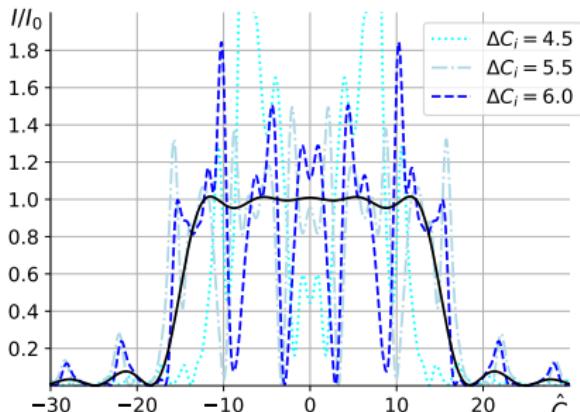


Симуляция SRW

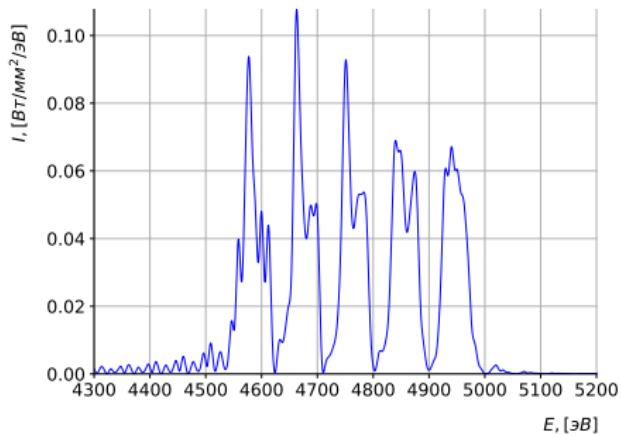


# Интерференция в спектре

## Аналитический результат



## Симуляция SRW



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

# Планы

- Дальнейшее детальное моделирование оптических схем
- Принятие решения по концепции ондулятора станции 1-4
- Моделирование магнитных полей ондуляторов

*Здесь* можно следить за работой оптической группы

*Здесь* за текстом дипломной работы

Моя почта: *trebandrej@gmail.com*

**Благодарю за внимание**

## Дополнительные слайды

## Карта ускорительных центров

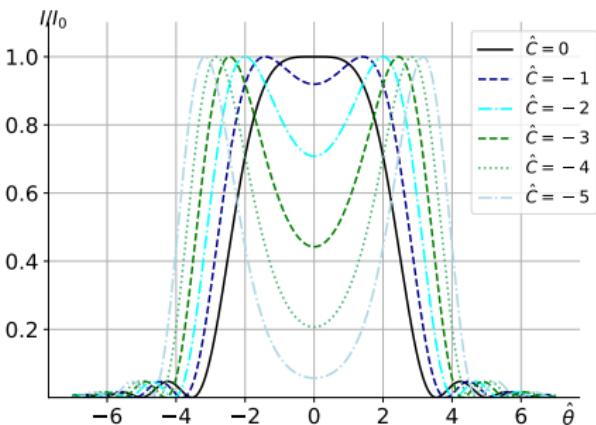


Жёлтым цветом обозначены центры синхротронного излучения

# Параметры электронного пучка в пустом промежутке

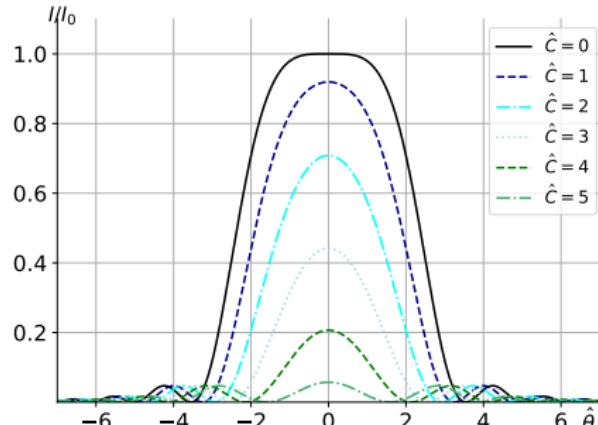
$E, [GeV]$	$I, [mA]$	$\beta_x, [m]$	$\beta_y, [m]$	
3	400	12.48	1.99	
$\sigma_x, [m]$	$\sigma_{x'}, [rad]$	$\sigma_y, [m]$	$\sigma_{y'}, [rad]$	$\Delta E/E$
$33.0 \times 10^{-6}$	$2.65 \times 10^{-6}$	$8.6 \times 10^{-7}$	$5.0 \times 10^{-7}$	$8.6 \times 10^{-4}$

# Угловое распределение ондуляторного излучения



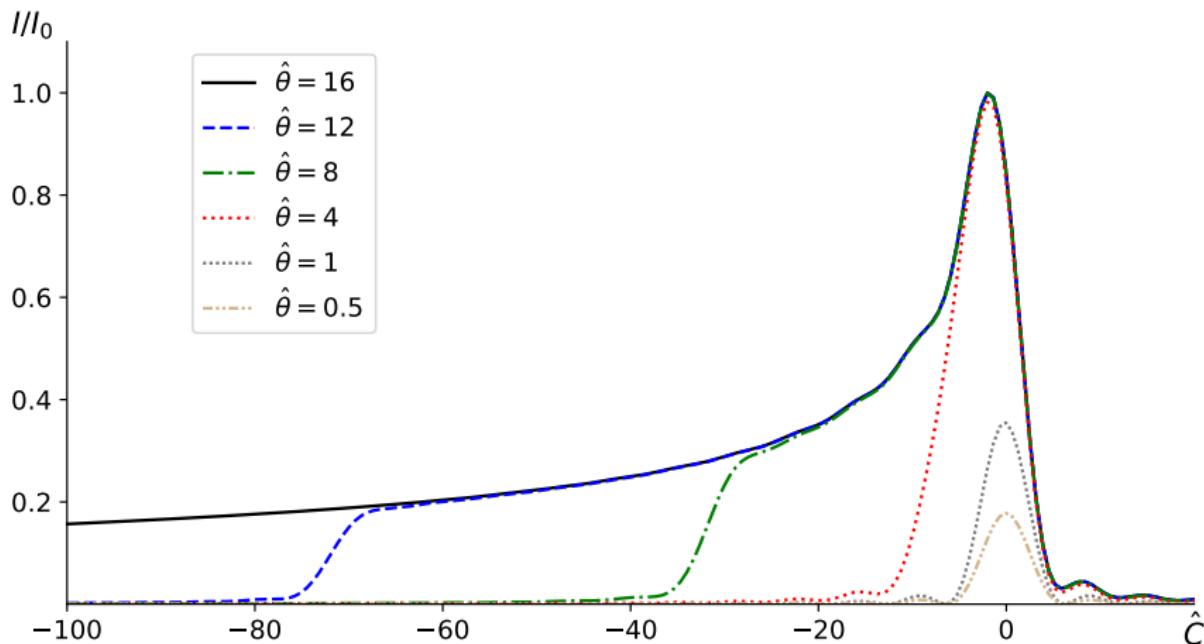
Отрицательная сдвигка от  $\omega_r$

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



Положительная сдвигка от  $\omega_r$

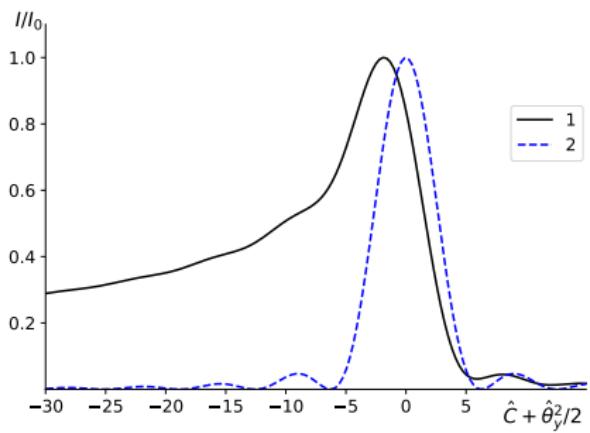
# Спектр через конечную апертуру



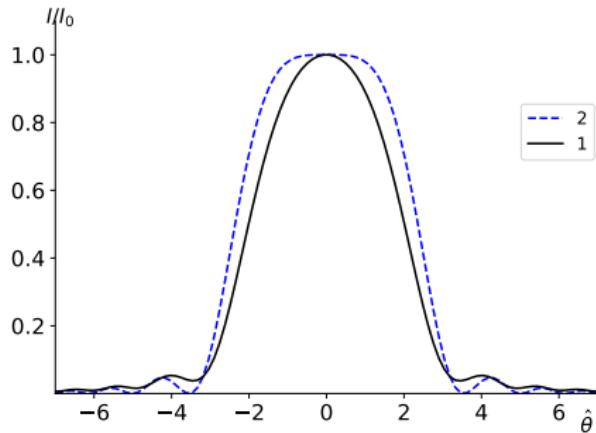
$$\hat{\theta} = \theta \sqrt{\frac{\omega L}{c}}, \quad \hat{C} = CL_u = 2\pi N_u \frac{\Delta\omega}{\omega_r}$$

# Влияние эмиттанса электронного пучка

Спектр



Угловое распределение

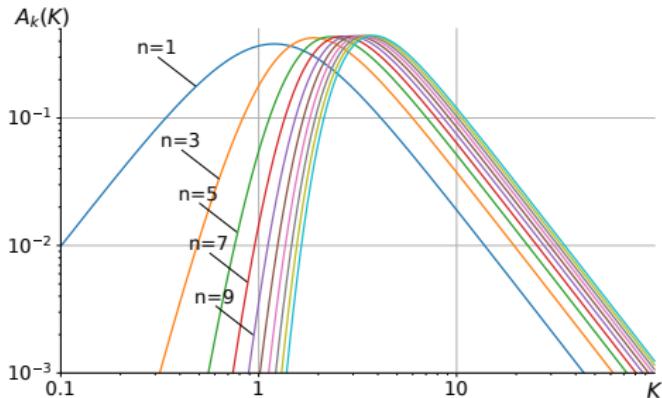
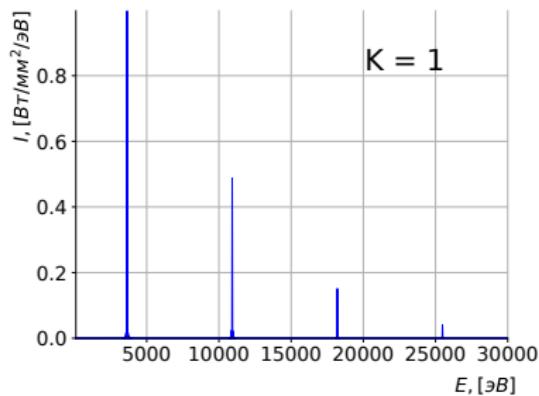
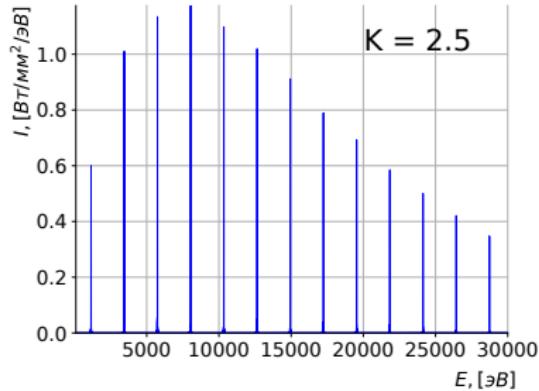


1 - электронный пучок  $\hat{\epsilon}_x \rightarrow \infty \hat{\epsilon}_y \rightarrow 0$

2 - уединённый электрон

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

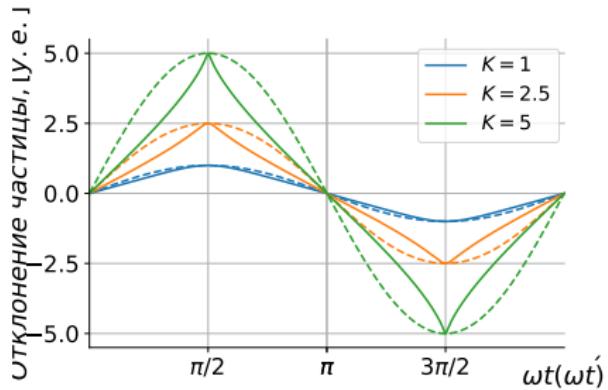
# Состав спектра планарного ондулятора



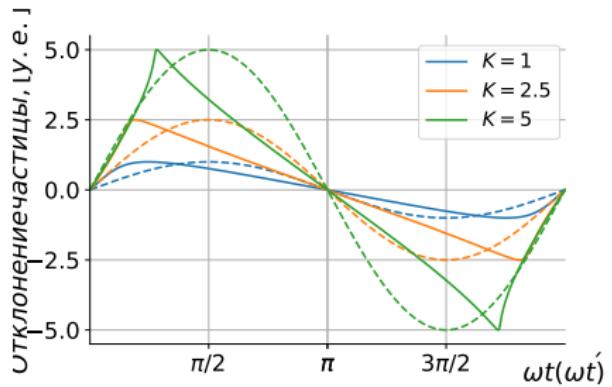
Амплитудный спектр гармоник

# Состав спектра планарного ондулятора

Отклонение при  $\theta = 0$



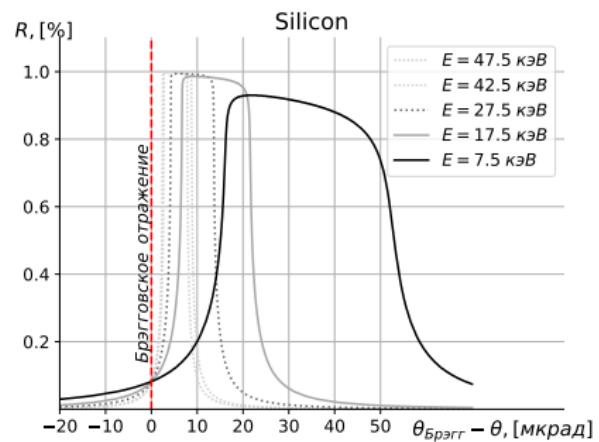
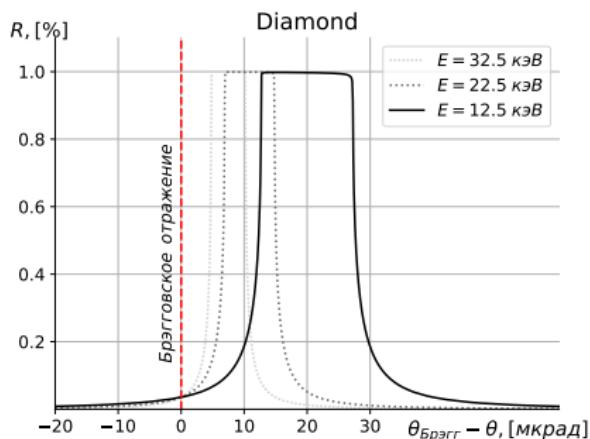
Отклонение при  $\theta = 1/\gamma$



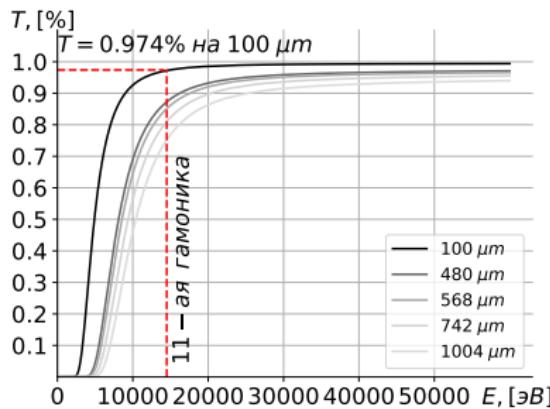
$$t = t' + \frac{1}{c} |R - r(t')|$$

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

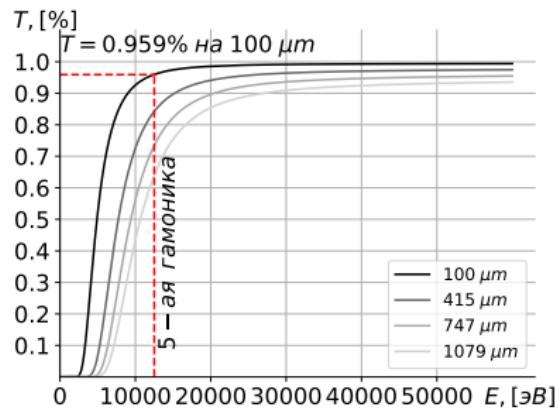
# Кривые Дарвина



# Кривые поглощения для алмаза



Станция 1-1



Станция 1-2