

# 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

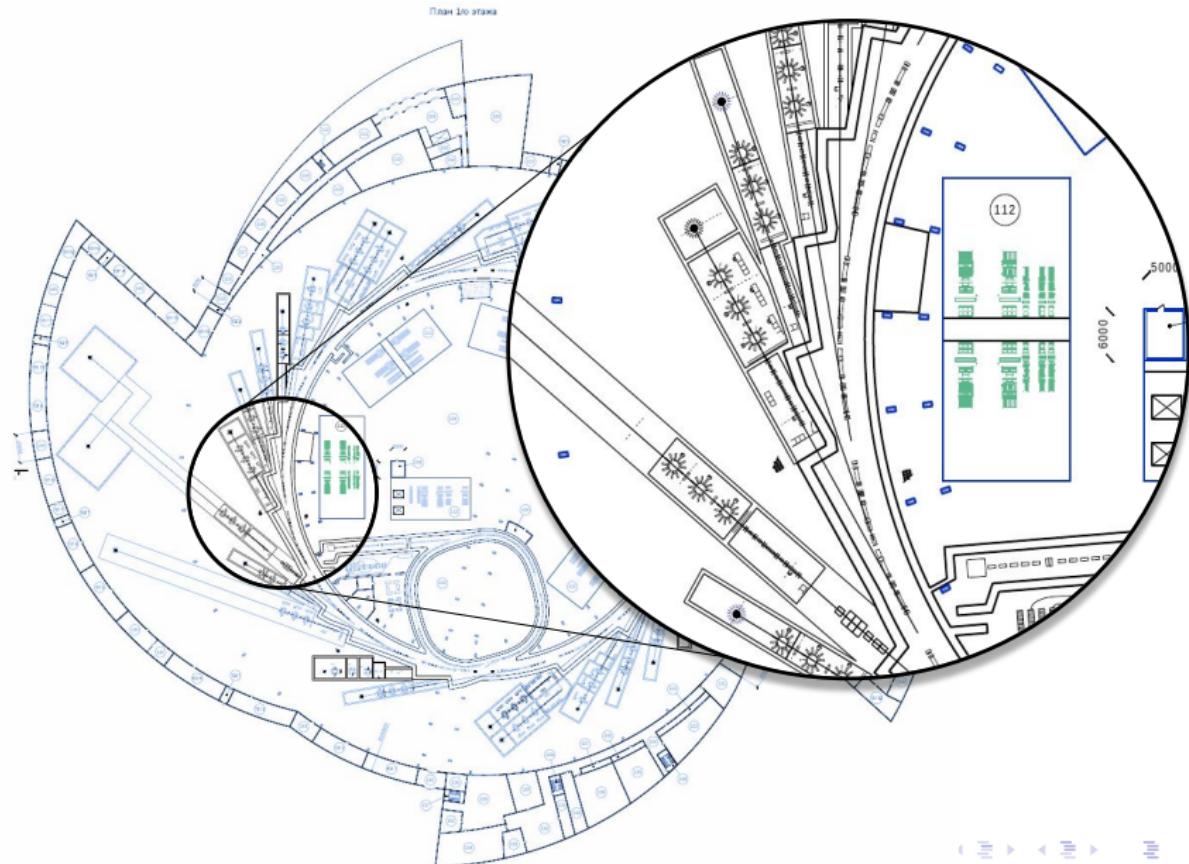


Новосибирск, 2019

# Цель

Создание проекта станций первой очереди  
Центра Коллективного Пользования  
«Сибирский Кольцевой Источник Фотонов»

# Схема ЦКП «СКИФ»



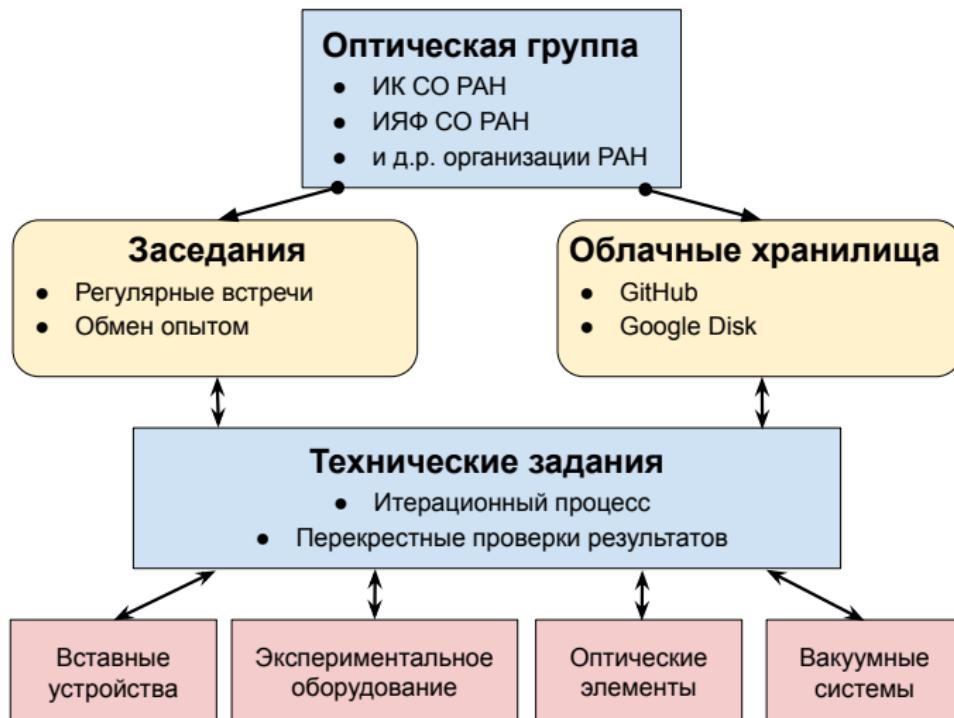
# Задачи

- Моделирование вставных устройств  
(ондуляторы)
- Оптимизация оптических элементов  
(апertureы, монохроматоры, фокусирующие зеркала)
- Создание программной среды по обмену 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 станций 1-1, 1-2
- Расчёт оптики станции 1-4. Расчёт ондулятора с корректирующими катушками для станции 1-4

# Оптическая группа ЦКП «СКИФ»



# SRW — Среда моделирования

SRW — Synchrotron Radiation Workshop. Код для моделирования излучения релятивистского электронного пучка и прохождения излучения через рентгеновскую оптическую систему.

- Подсчёт электрического поля:

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

- Фурье оптика:

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

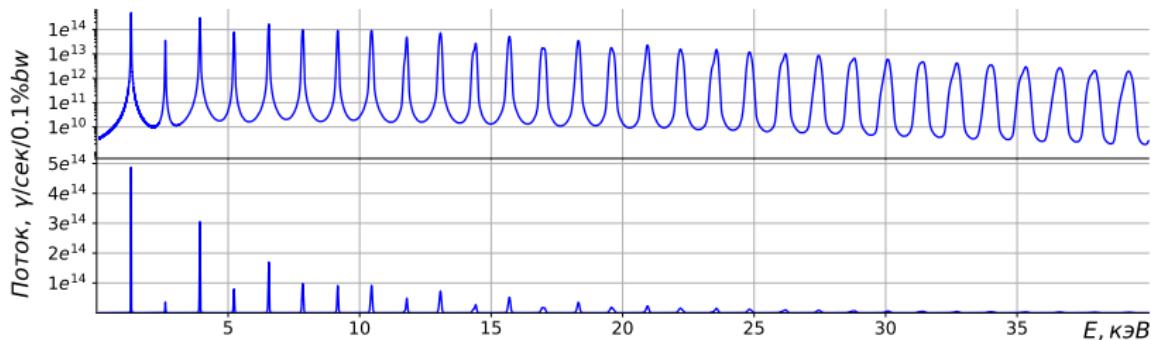
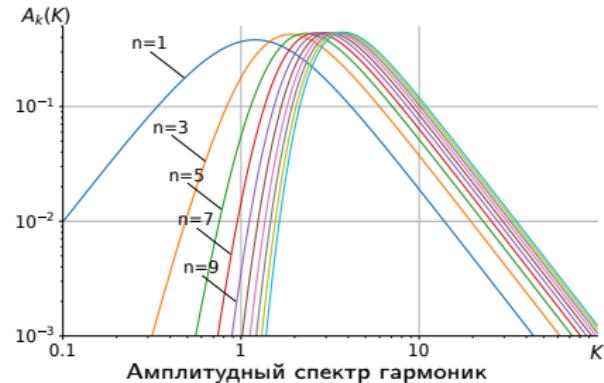
↔

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

# Расчёт станции 1-1

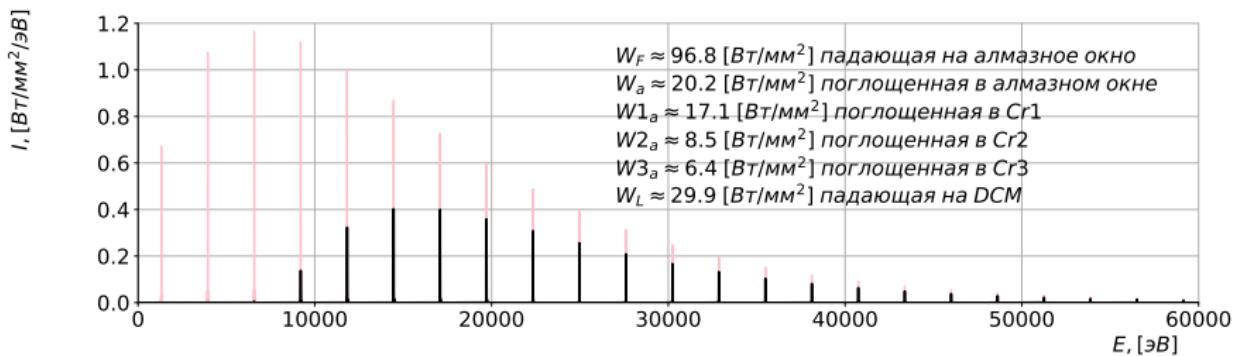
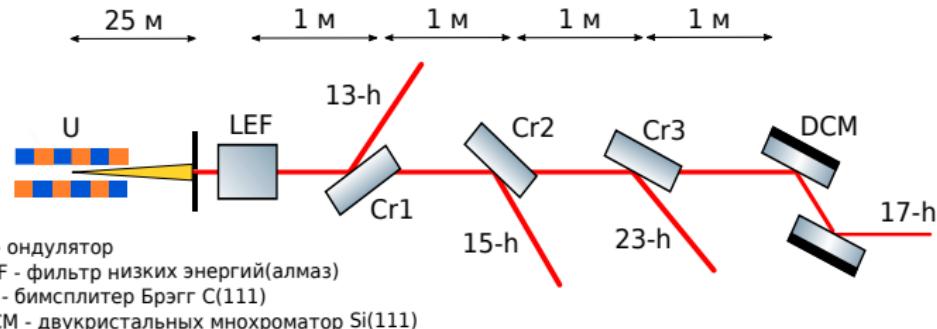
|           |                |
|-----------|----------------|
| B, [Тл]   | 1.36           |
| d, [мм]   | 18             |
| K         | 2.29           |
| L, [м]    | 2.3            |
| Гармоники | 11, 13, 17, 23 |

Сверхпроводящий ондулятор



Спектр проинтегрированный по апертуре 0.4 мм на расстоянии 25 м

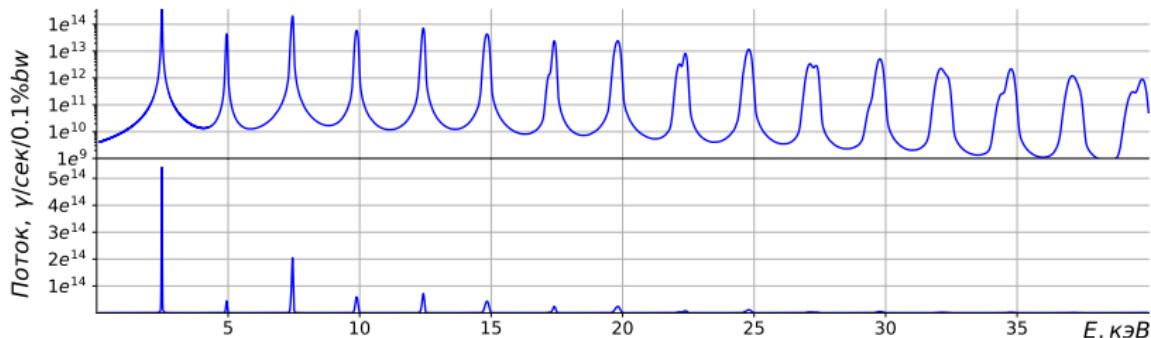
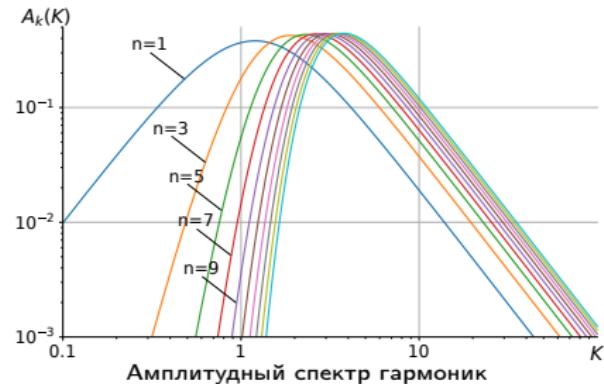
# Оптическая схема станции 1-1. Тепловые нагрузки



# Расчёт станции 1-2

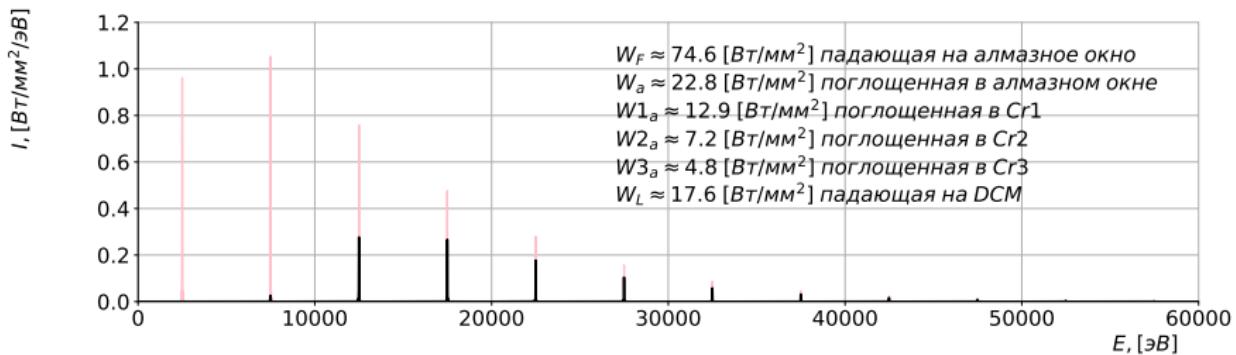
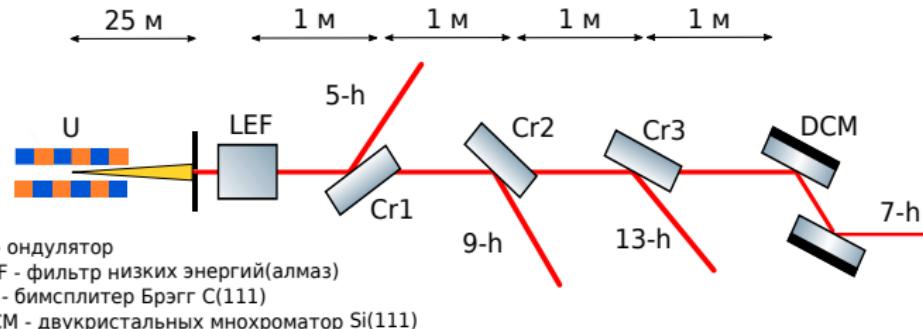
|           |             |
|-----------|-------------|
| B, [Тл]   | 1.06        |
| d, [мм]   | 15.6        |
| K         | 1.53        |
| L, [м]    | 2           |
| Гармоники | 5, 7, 9, 13 |

Сверхпроводящий ондулятор



Спектр проинтегрированный по апертуре 0.4 мм на расстоянии 25 м

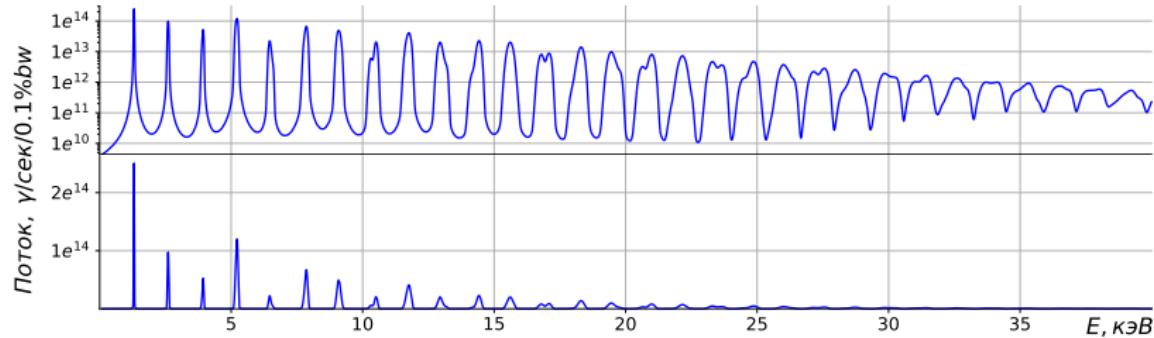
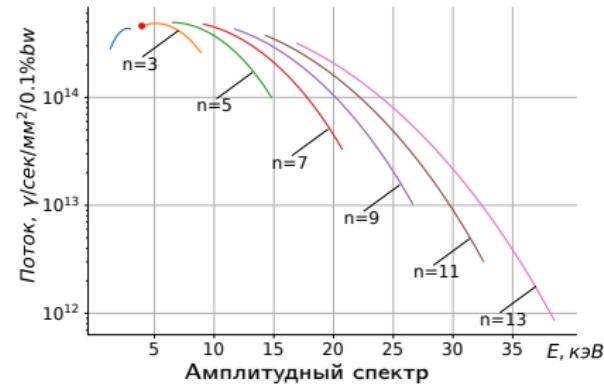
# Оптическая схема станции 1-2. Тепловые нагрузки



# Расчёт оптики станции 1-4. ХАС-спектроскопия

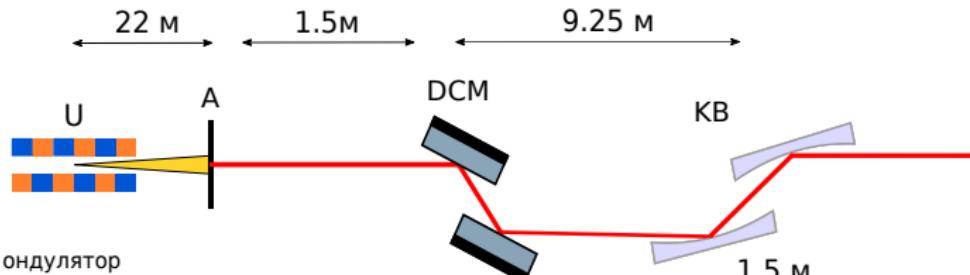
|            |             |
|------------|-------------|
| B(K), [Тл] | 0.65 - 1.35 |
| d, [мм]    | 18          |
| K          | 1.1 - 2.3   |
| L, [м]     | 2.3         |
| Гармоники  | 3 - 13      |

Сверхпроводящий ондулятор



Спектр проинтегрированный по апертуре 1 мм на расстоянии 22 м

# Оптическая схема станции 1-4

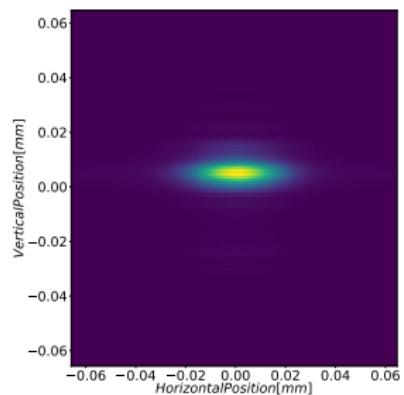
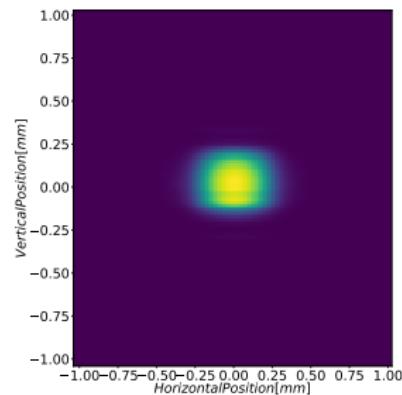
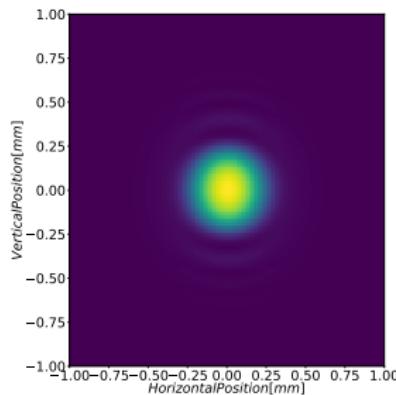


U - ондулятор

A - апертура

KB - Kirkpatrick-Baez зеркала

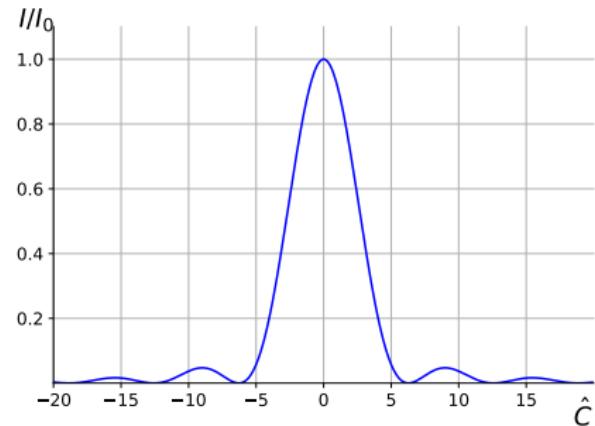
DCM - двухкристальных мнохроматор Si(111)



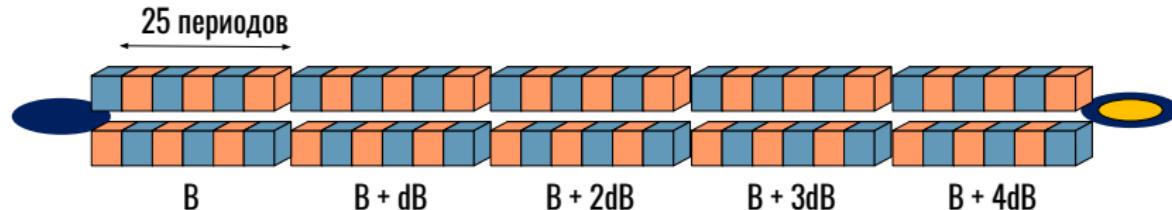
# Ондулятор станции 1-4 (Quick-XAFS)

- Широкий спектр  $\approx 1$  кэВ

- $$\frac{\Delta E}{E_{ph}} \sim \frac{1}{nN_u} \sim 10^{-2}$$

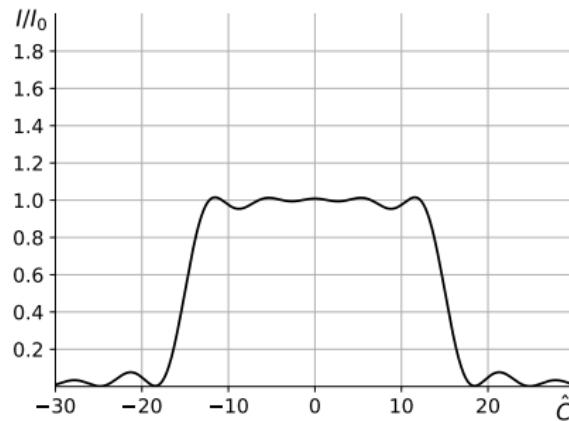


$$\hat{C} = CL_u = 2\pi N_u \frac{\Delta\omega}{\omega_r}, \quad N_u \text{ --- количество периодов}$$



# Оценки спектра

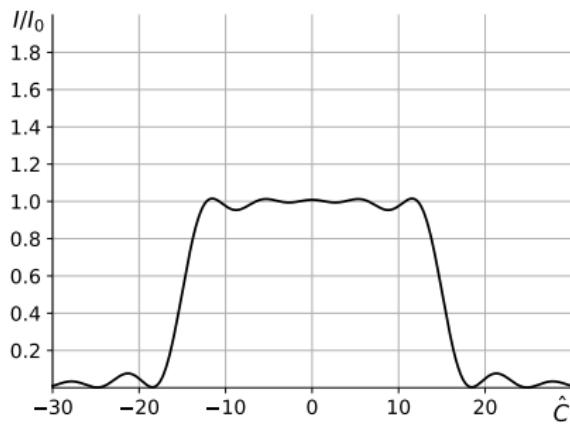
## Предсказание



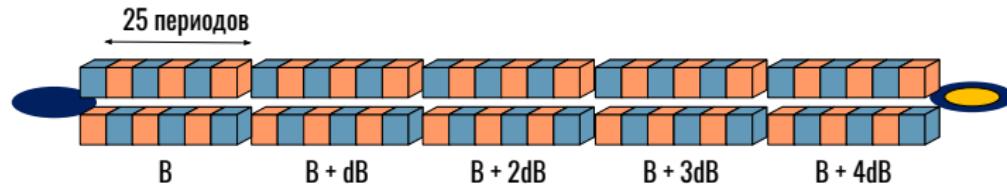
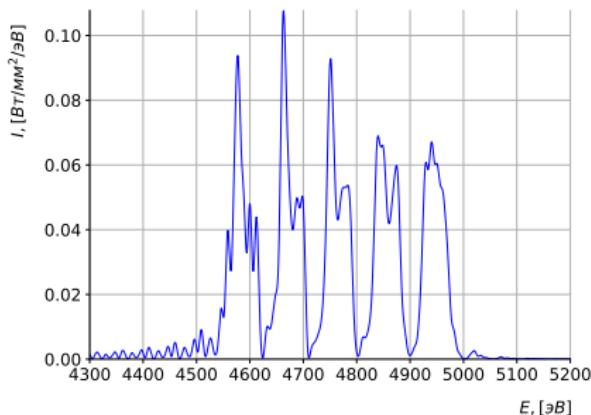
$$\tilde{I} = \left( \frac{\omega e A_{JJ} L_u}{2c^2 \gamma z_0} \right)^2 \left[ \sum_{n=-2}^2 (K_0 + n\Delta K)^2 \operatorname{sinc}^2(\hat{C}_n) \right]$$

# Моделирование в *SRW*

Предсказание



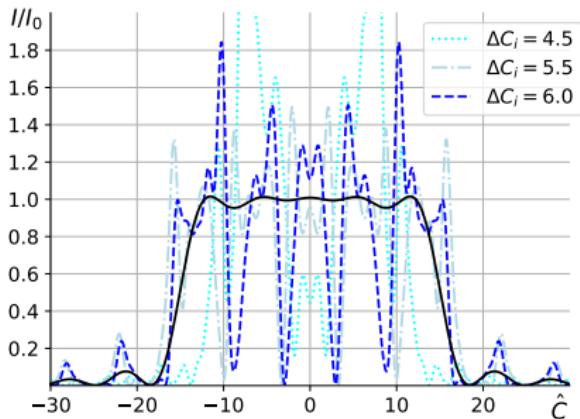
Симуляция *SRW*\*



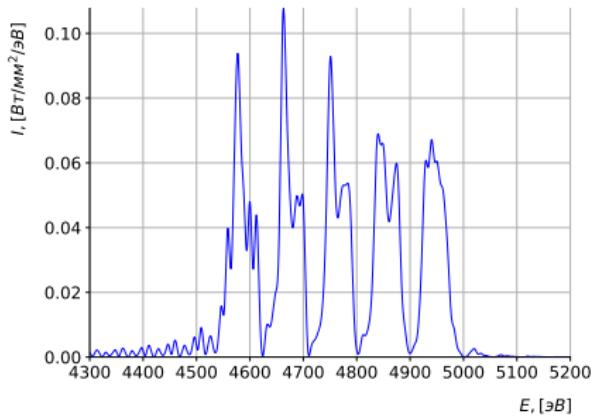
\* Спектр излучения для электронного пучка с бесконечно малым эмиттансом

# Интерференция в спектре

Аналитический результат



Симуляция SRW



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

# Планы

- Детальное моделирование оптических элементов
- Моделирование магнитных полей сверхпроводящих ондуляторов
- Принятие решения по ондулятору для станции 1-4

*Здесь* можно следить за работой оптической группы

*Здесь* за текстом дипломной работы

Моя почта: *trebandrej@gmail.com*

# 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

## Дополнительные слайды

# Карта ускорительных центров

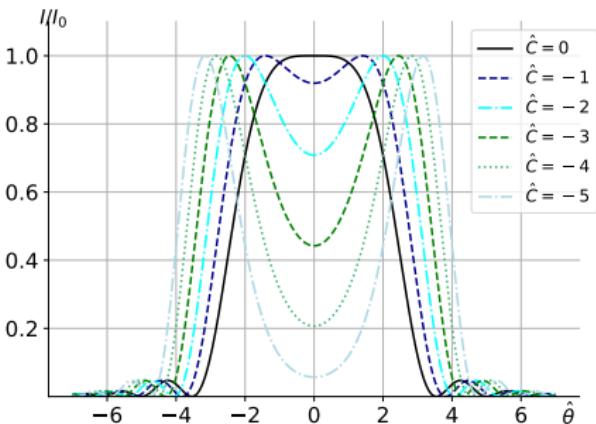


Жёлтым цветом обозначены центры синхротронного излучения

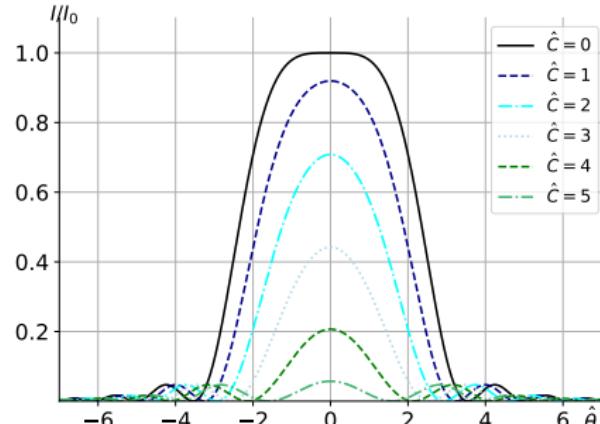
# Параметры электронного пучка в пустом промежутке

| $E, [GeV]$            | $I, [mA]$             | $\beta_x, [m]$       | $\beta_y, [m]$       |                      |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 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



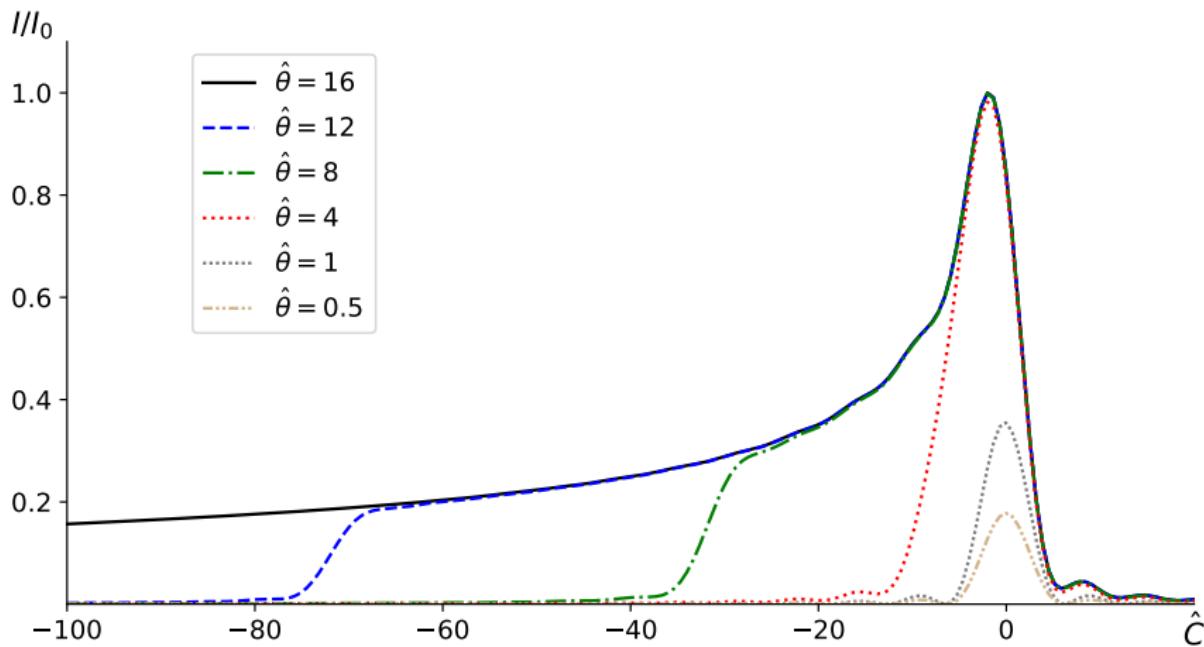
Отрицательная сдвигка от  $\omega_r$



Положительная сдвигка от  $\omega_r$

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

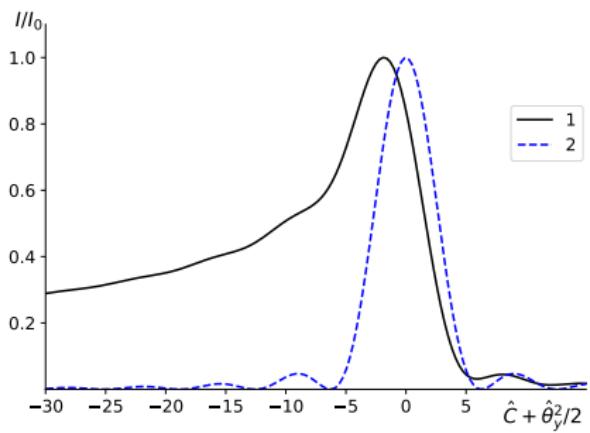
# Спектр через конечную апертуру



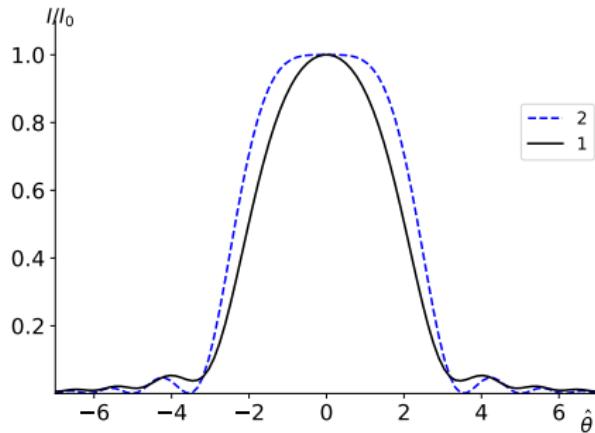
$$\hat{\theta} = \theta \sqrt{\frac{\omega L}{c}}, \quad \hat{C} = CL_u = 2\pi N_u \frac{\Delta\omega}{\omega_r}$$

# Влияние эмиттанса электронного пучка

Спектр



Угловое распределение

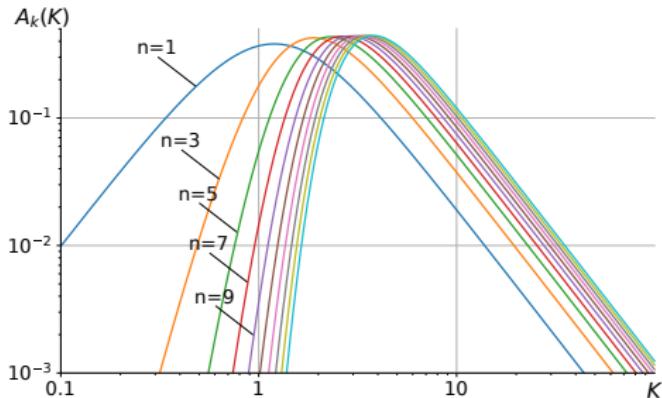
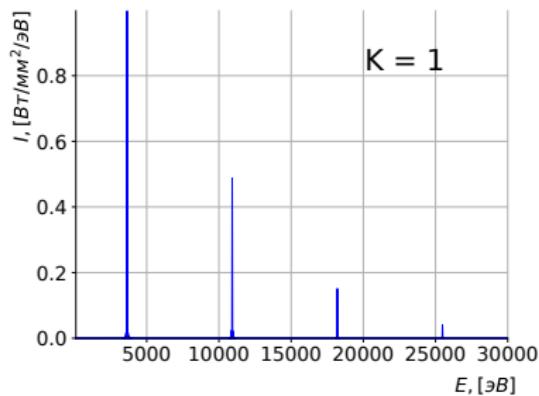
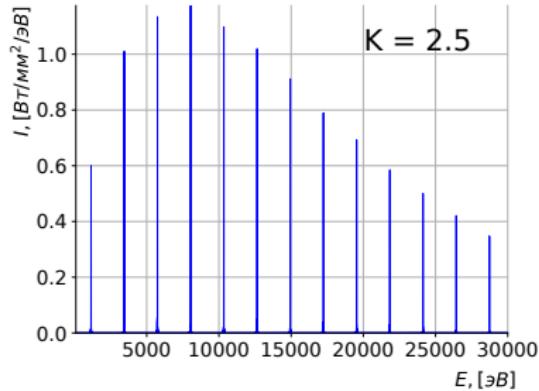


1 - электронный пучок  $\hat{\epsilon}_x \rightarrow \infty \hat{\epsilon}_y \rightarrow 0$

2 - уединённый электрон

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

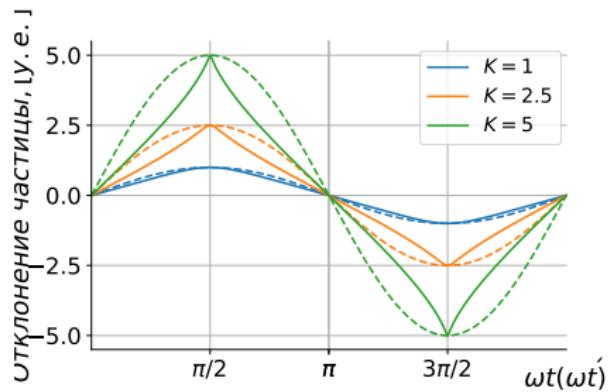
# Состав спектра планарного ондулятора



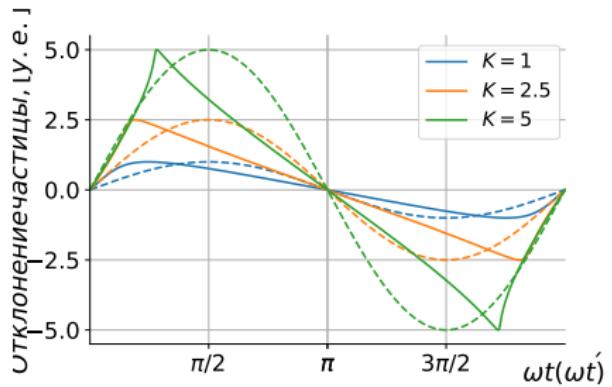
Амплитудный спектр гармоник

# Состав спектра планарного ондулятора

Отклонение при  $\theta = 0$



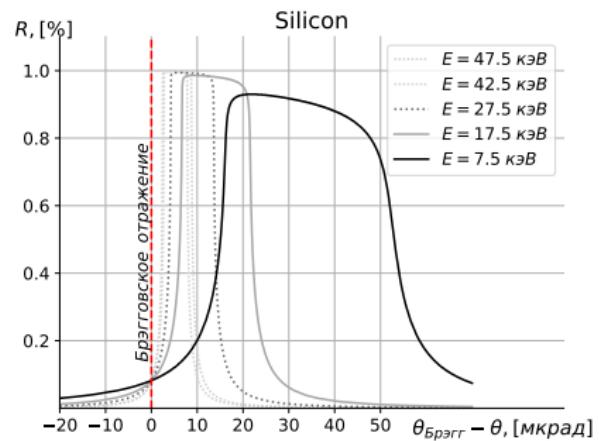
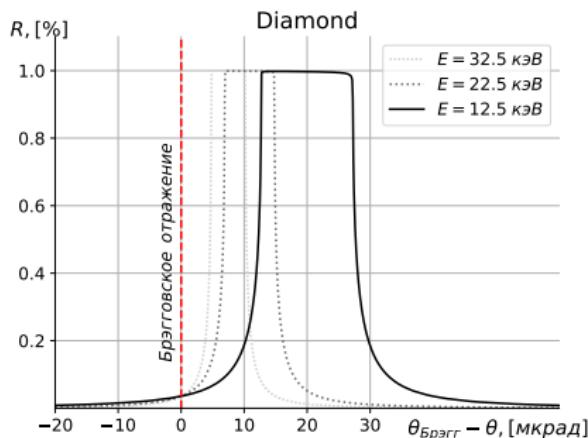
Отклонение при  $\theta = 1/\gamma$



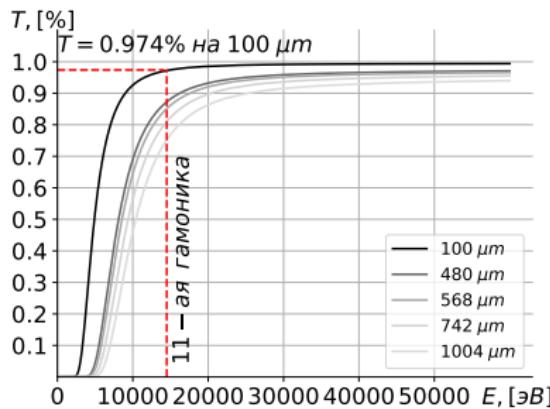
$$t = t' + \frac{1}{c} |R - r(t')|$$

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

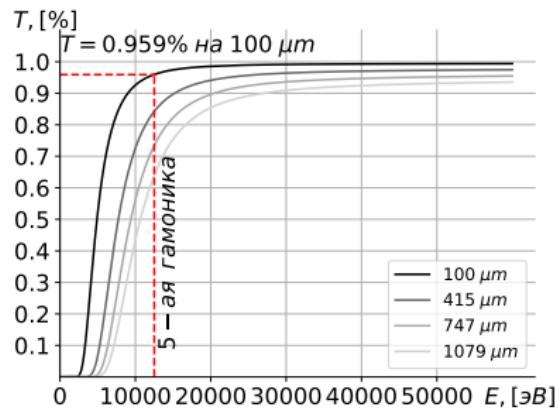
# Кривые Дарвина



# Кривые поглощения для алмаза



Станция 1-1



Станция 1-2

