

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

Докладчик: Требушинин А.Е.

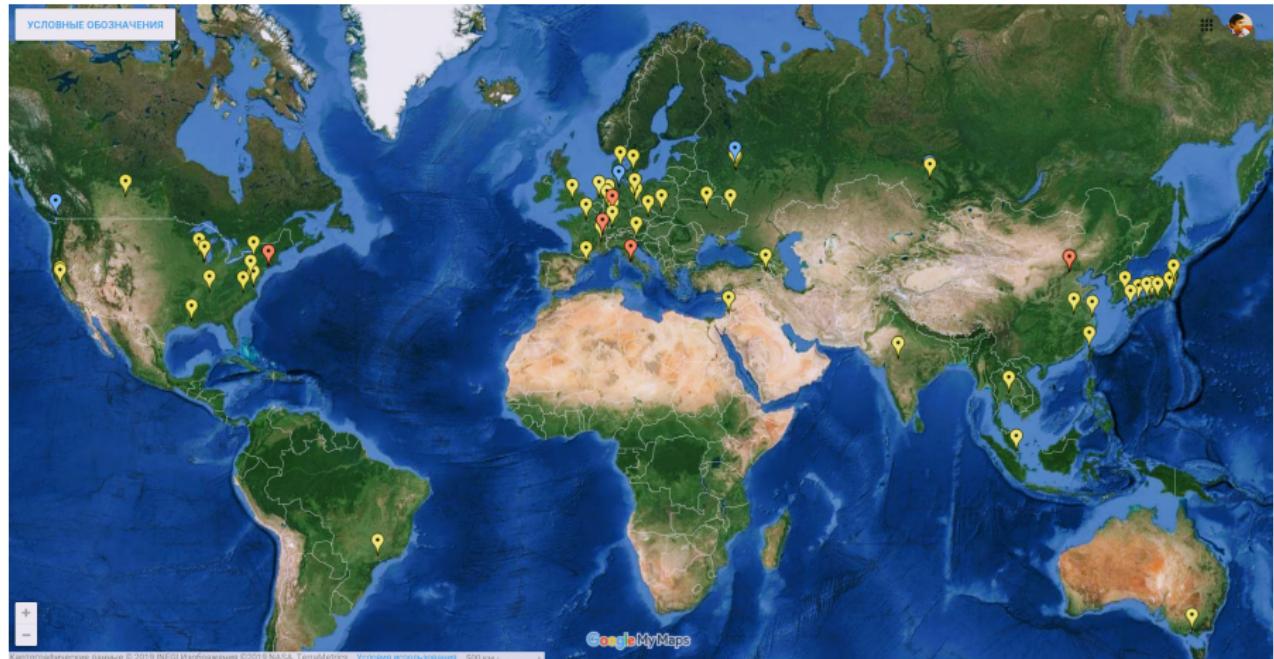
Руководитель: к.ф.-м.н. Ракшун Я.В.

ИЯФ СО РАН



Новосибирск, 2019

# Карта ускорительных центров



Жёлтым цветом обозначены центры синхротронного излучения

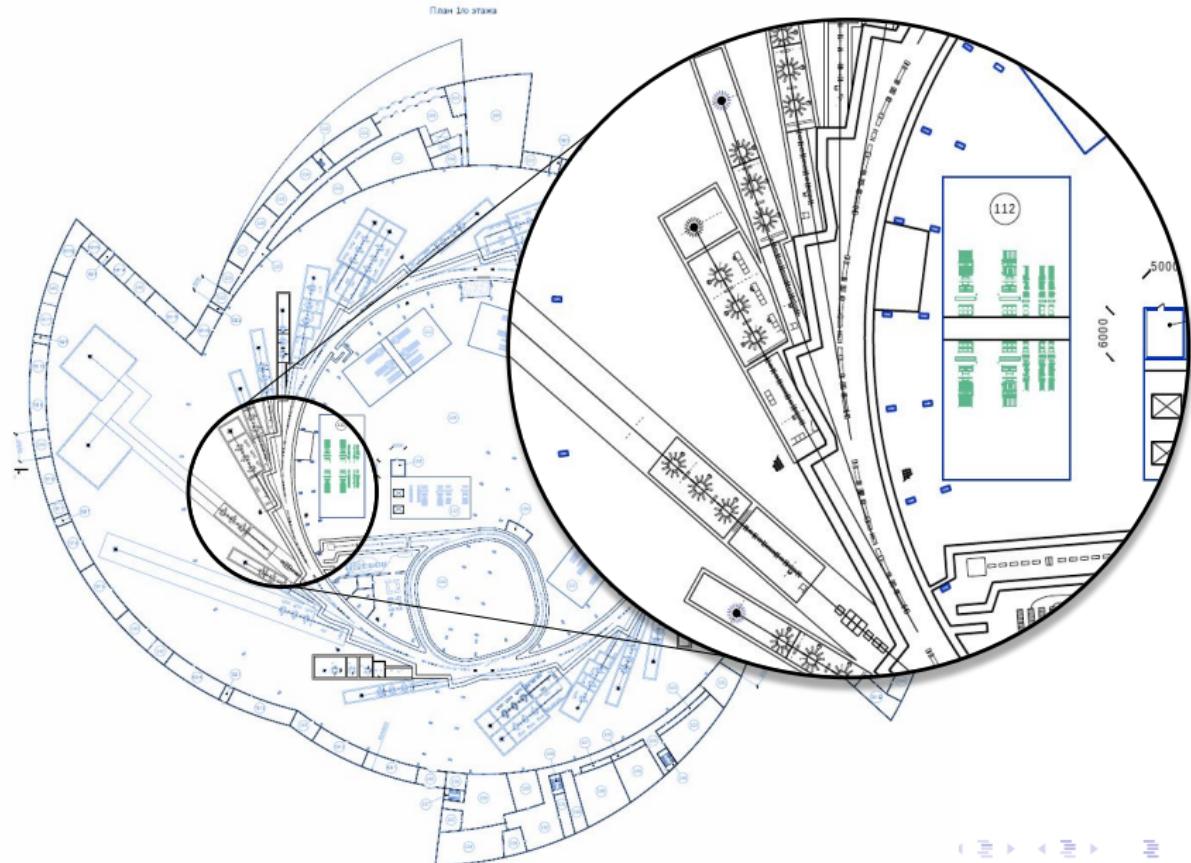
Создание проекта экспериментальных стаций  
первой очереди ЦКП «СКИФ»

# 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:

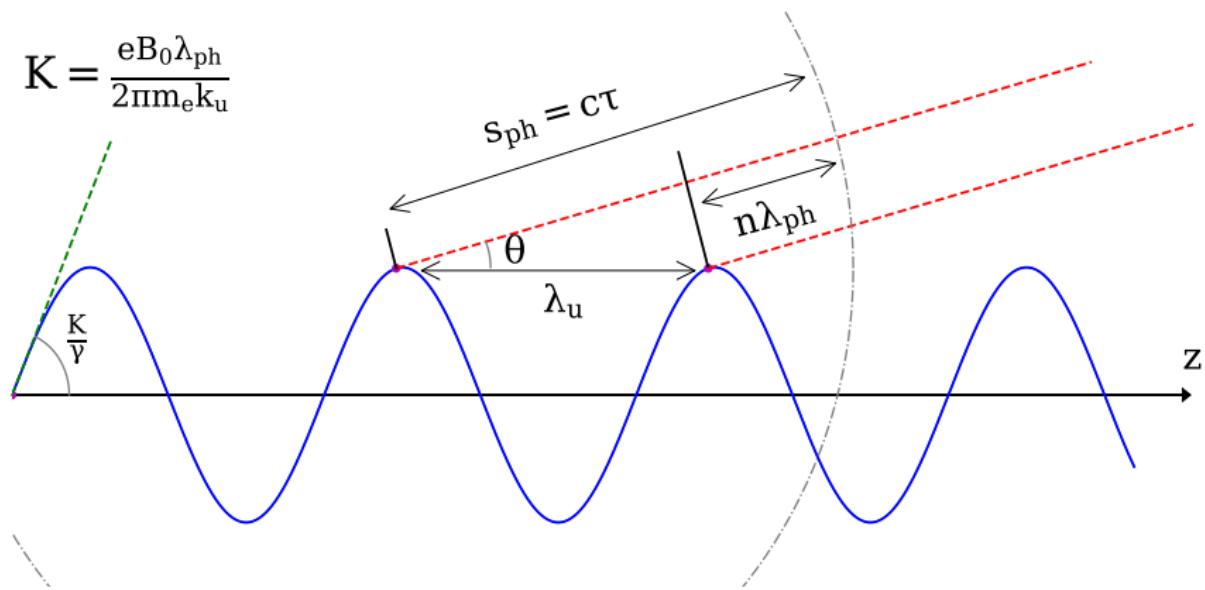
$$g_2(x_2, y_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g_1(\eta, \xi) h(x_2 - \eta, y_2 - \xi) d\eta d\xi$$



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

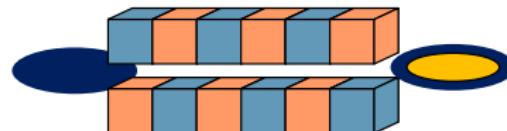
# Ондулятор — интерференционное устройство

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



# Стандартные ондуляторы для СКИФ

Сверхпроводящий ондулятор



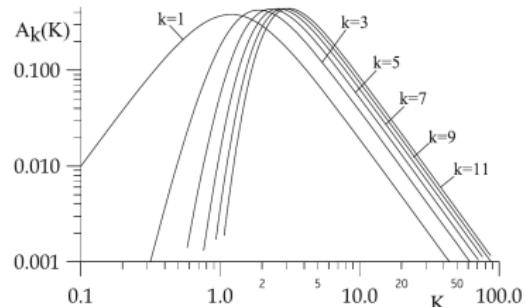
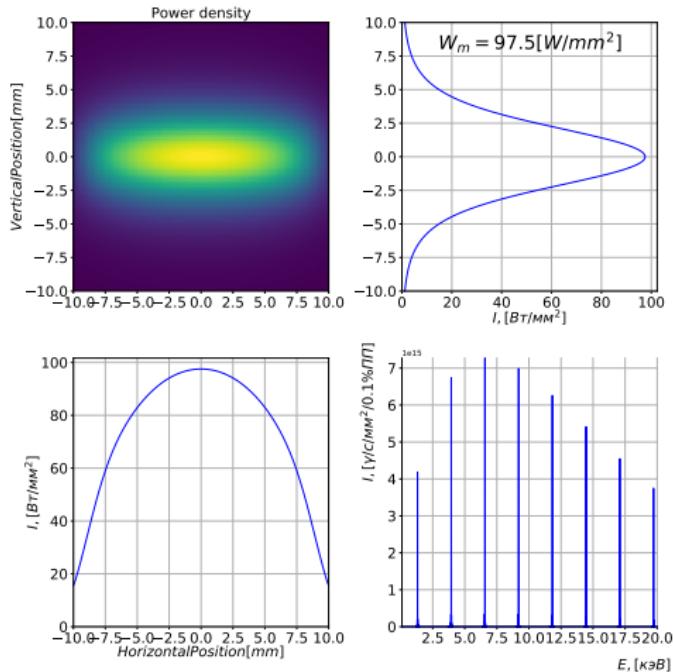
Электронный пучок

Излучение

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

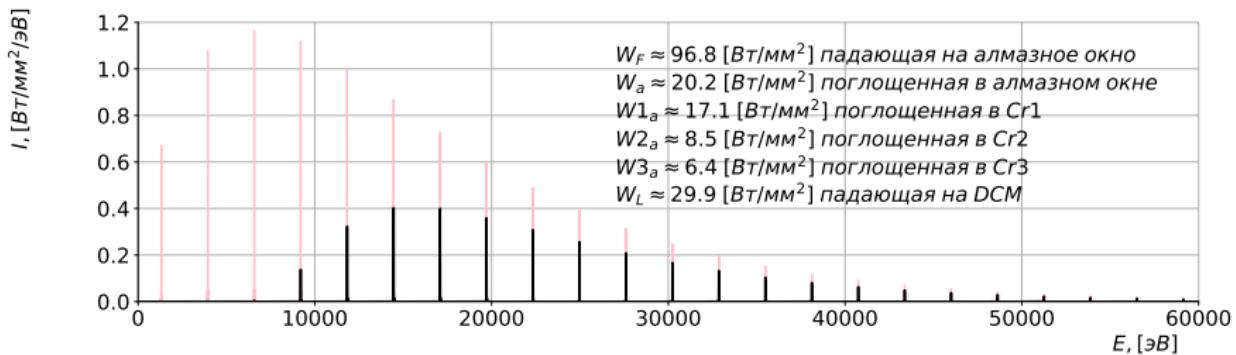
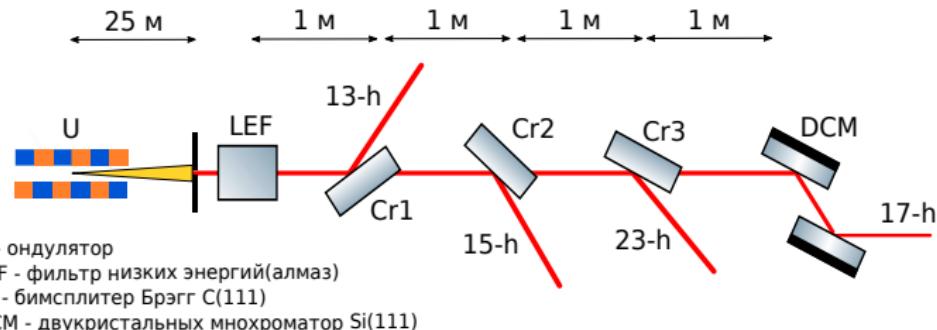
$E, [GeV]$	$I, [mA]$	$\beta_x, [m]$	$\beta_y, [m]$	
3	400	12.48	1.99	
$\sigma_x, [m]$	$\sigma_{x'}, [rad]$	$\sigma_y, [m]$	$\sigma_{y'}, [rad]$	$\Delta E/E$
$33.0 \times 10^{-6}$	$2.65 \times 10^{-6}$	$8.6 \times 10^{-7}$	$5.0 \times 10^{-7}$	$8.6 \times 10^{-4}$

# Расчёт станции 1-1. Тепловые нагрузки

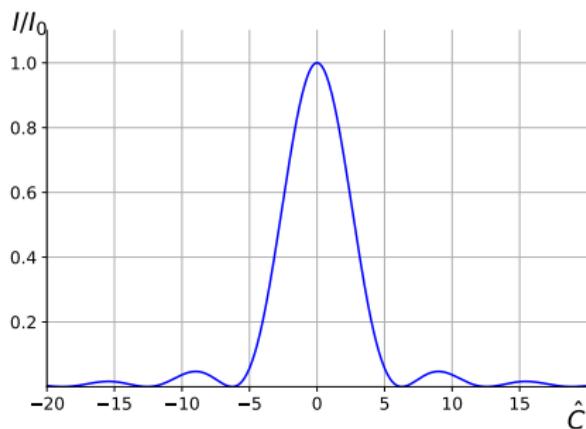
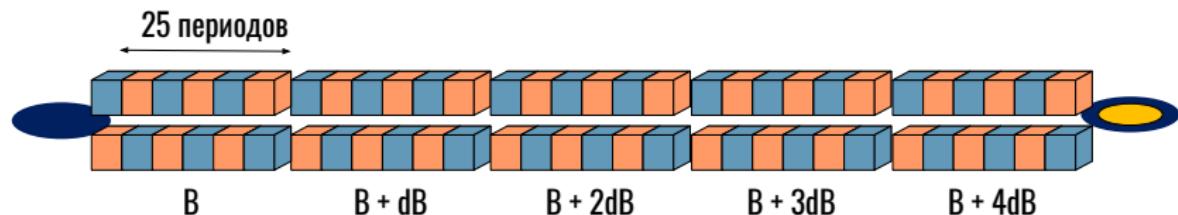


$B(K), [T]$	1.36(2.29)
$L, [m]$	2.3
$d, [mm]$	18
<b>Фазовая ошибка</b>	$\leq 3^\circ$
<b>Гармоники</b>	11, 13, 17, 23

# Оптическая схема станции 1-1. Итерация без линз



# Ондулятор станции 1-4 (Quick-XAFS)



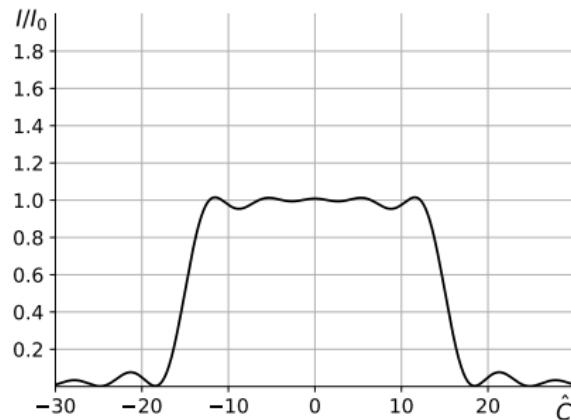
$$\hat{C} = CL_u = 2\pi N_u \frac{\Delta\omega}{\omega_r}$$

- 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

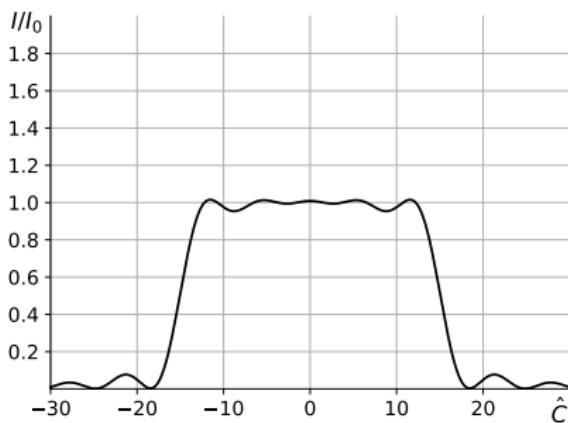
## Предсказание



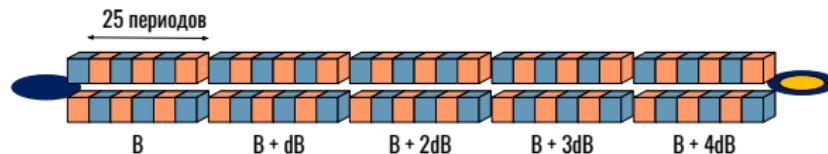
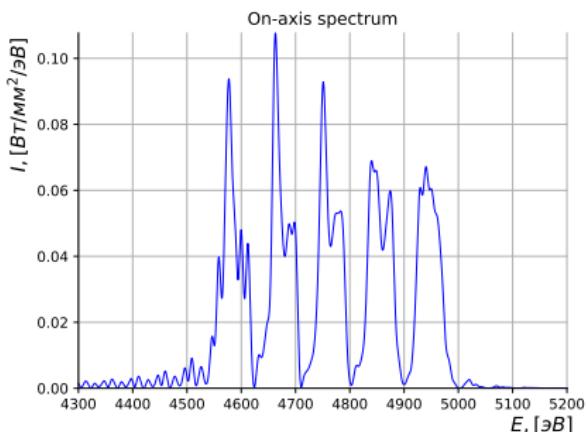
$$\tilde{I} = \left( \frac{\omega e A_{JJ}}{2c^2 \gamma z_0} \right)^2 \left[ \sum_{n=-2}^2 (K_0 + n\Delta K)^2 \operatorname{sinc}^2(\hat{C}_n) \right]$$

# Моделирование SRW

## Предсказание

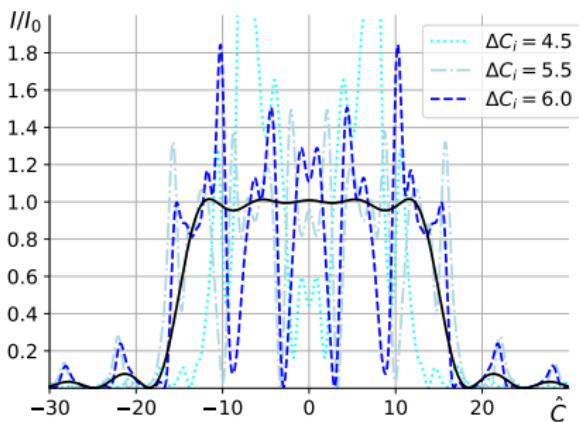


## Симуляция SRW



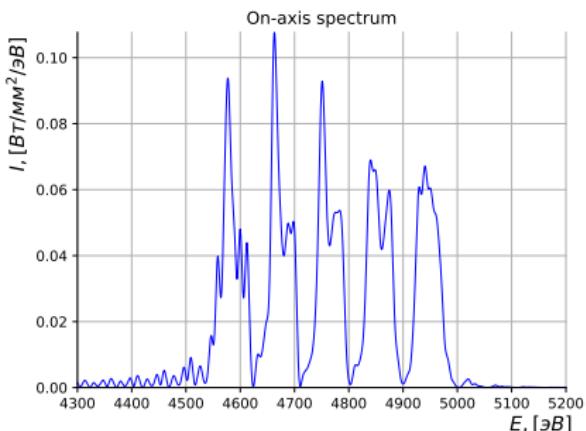
# Интерференция в спектре

## Аналитический результат



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

## Симуляция SRW



# Планы

- 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**