

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Институт ядерной физики и технологий
Кафедра физики элементарных частиц №40

Выпускная квалификационная работа на тему:

“ПОТЕРИ В СПЕКТРОСМЕЩАЮЩЕМ ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ ДЕТЕКТОРА ВВС ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА SPD@NICA”

Научный руководитель:

к. ф.–м.н., доцент

П.Е.Тетерин

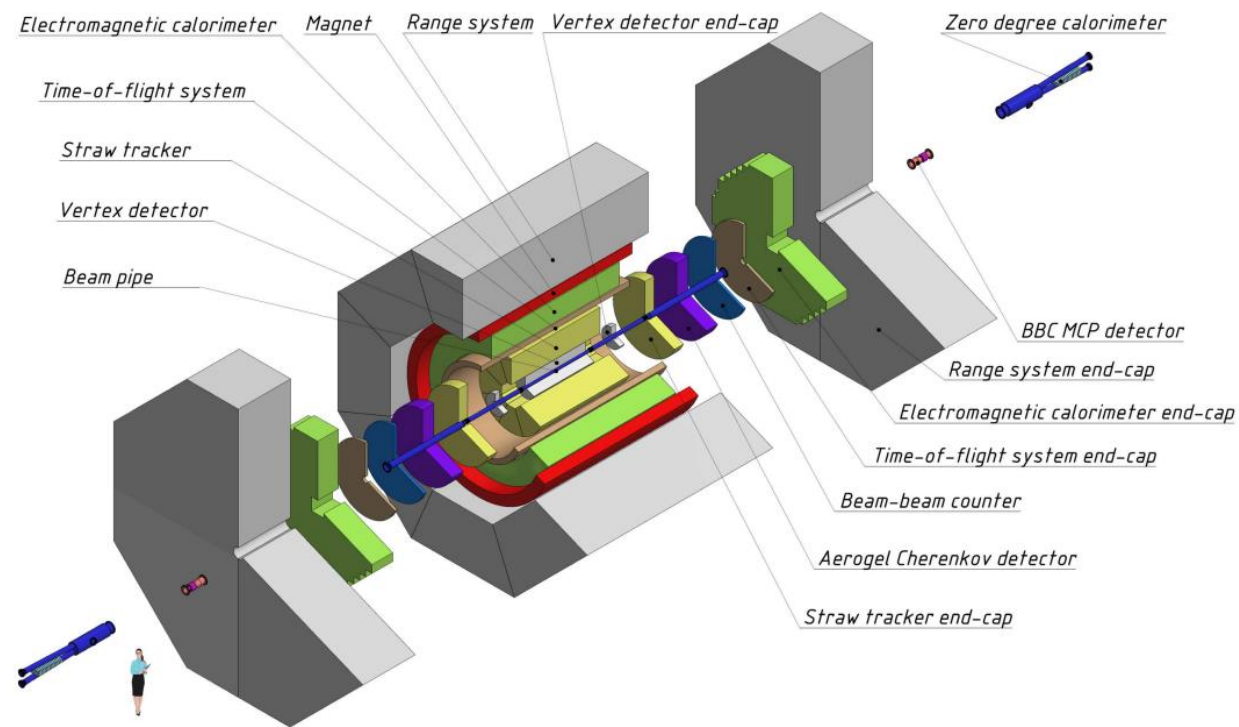
Студент:

А.Д. Манаконев

г.Москва 2024

Основные задачи и устройство эксперимента SPD

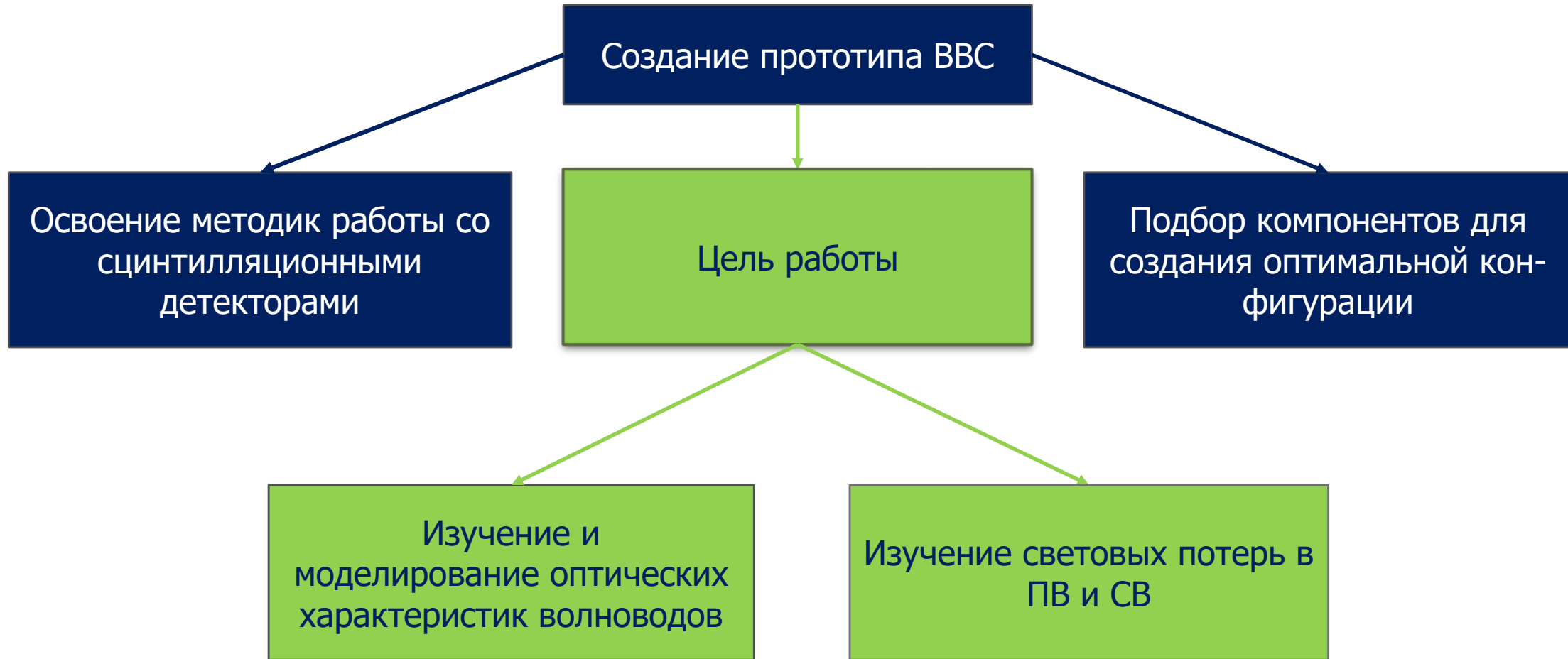
Задачи эксперимента: изучить неполяризованные и поляризованные глюоны используя различные способы, а также полный момент глюона и изучении спиновой структуры протона и дейтерона.



- Beam-beam counter (BBC) – Счётчик пучков
- Range System (RS) – Мюонный детектор
- Time-of system (TOF) - Времяпролетный детектор
- Straw Tracker (ST)- Трековый детектор на основе тонких трубок
- Vertex detector (VD) – Вершинный детектор
- Electromagnetic calorimeter (Ecal) - Электромагнитный калориметр
- Magnet – Магнитная система
- Beam-pipe – Вакуумная трубка
- Zero degree calorimeter - Адронный калориметр
- Aerogel Cherenkov detector - Аэрогелевый черенковский детектор

Основной целью локальной поляриметрии в SPD: постоянный контроль поляризации луча
Один из способов управления протонным пучком - это измерение азимутальной асимметрии инклюзивного образования заряженных частиц при столкновении поперечно поляризованных протонных пучков.

Цель

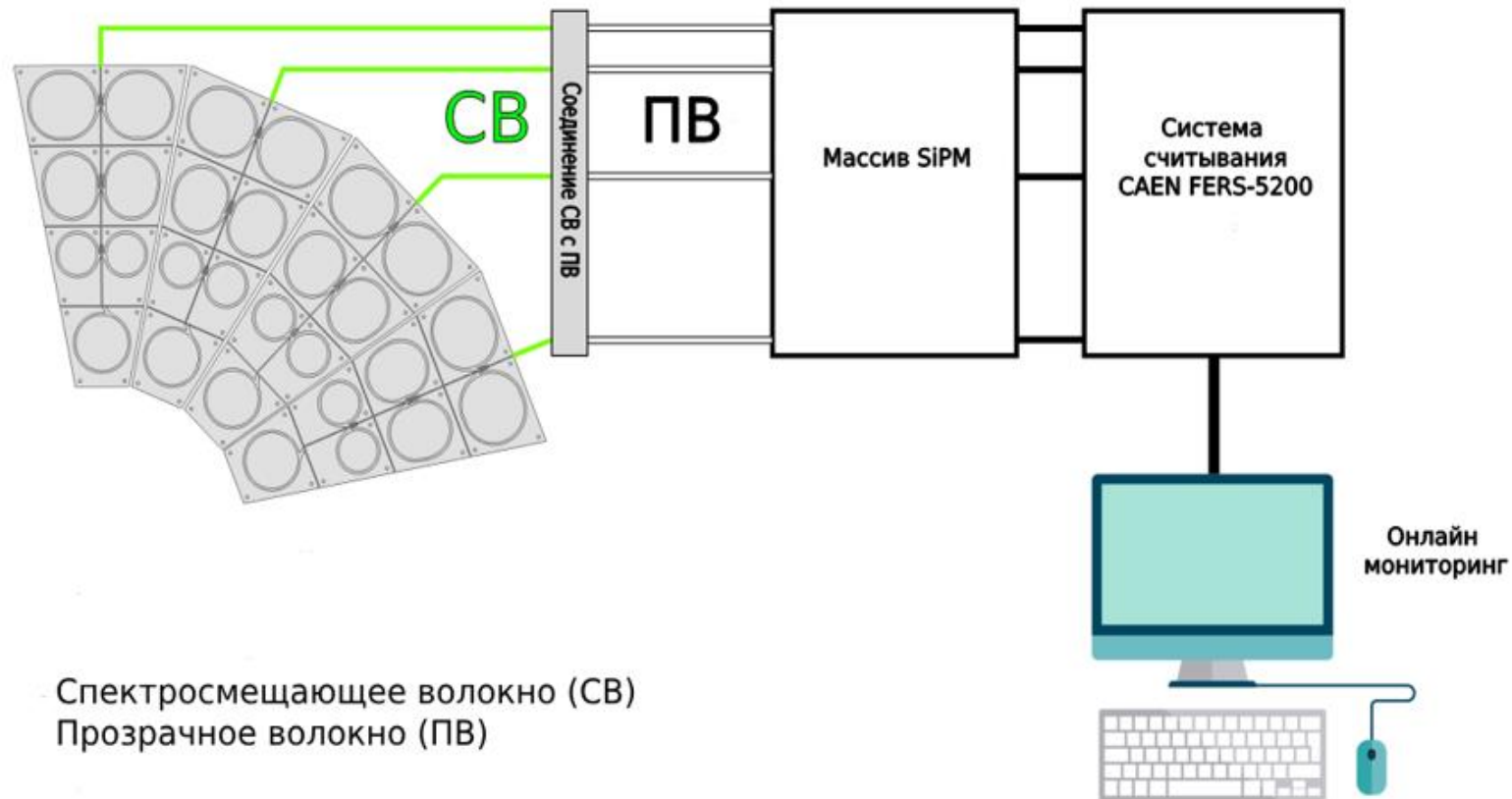
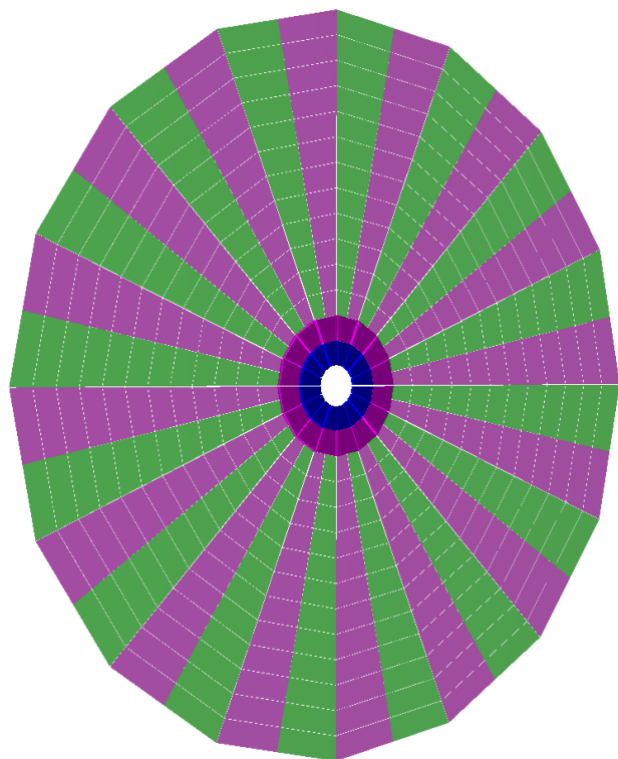


Примечание:

*ПВ - Прозрачное волокно

*СВ - Спектрсмещающее волокно

ВВС



- 2 ВВС планируется установить перед TOF системой установки SPD симметрично относительно точки взаимодействия.
- Детектор будет состоять из внутренней MCP и внешней части из быстрых сцинтилляционных элементов.

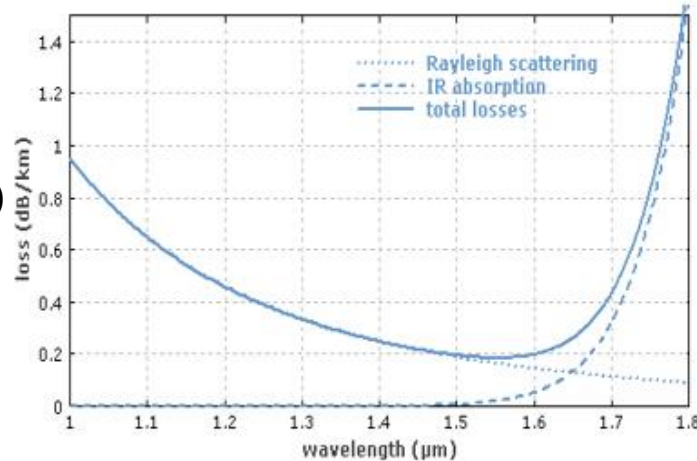
Основные задачи ВВС:

- Локальная поляриметрия в SPD, основанная на измерениях азимутальных асимметрий поляризованных протонных пучков;
- Мониторинг столкновений пучков;

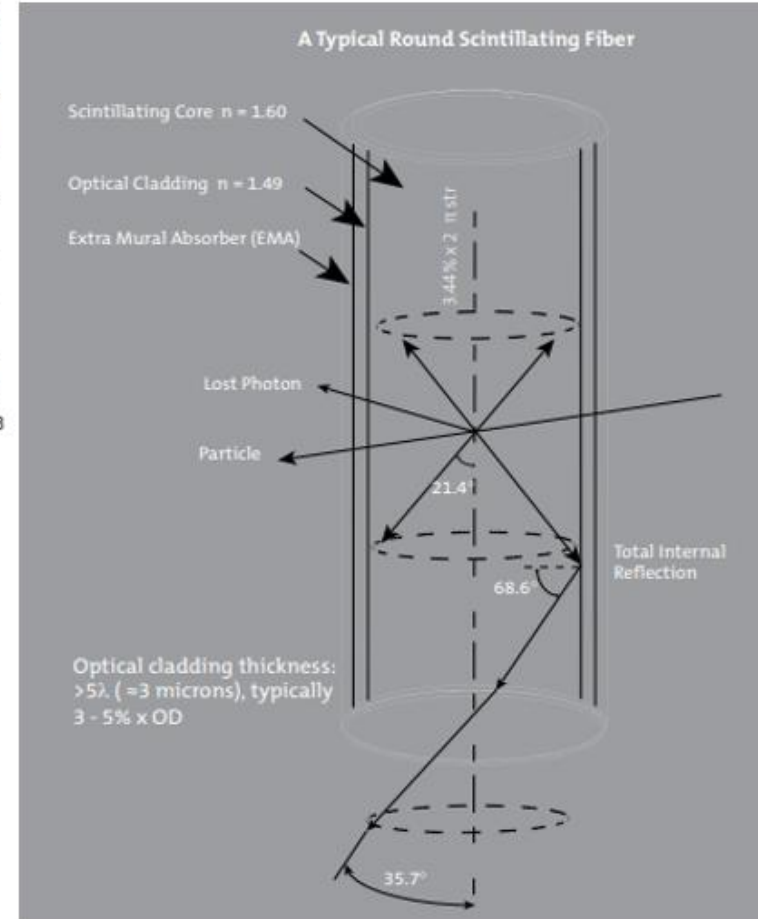
Потери в оптоволокне при его изгибе

Виды потерь:

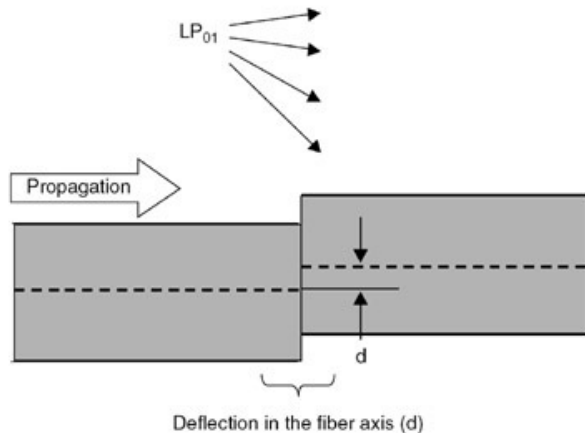
- Внутреннее поглощение материала
- Рэлеевское рассеяние (линейное рассеяние)
- Потеря макроизгиба
- Потеря микроразрыве



Внутренние потери волокна из аморфного стекла



Процесс внутри волокна



Потери в оптоволокне при микроразрыве

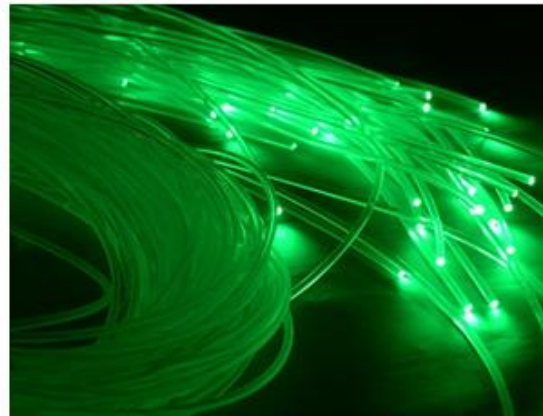
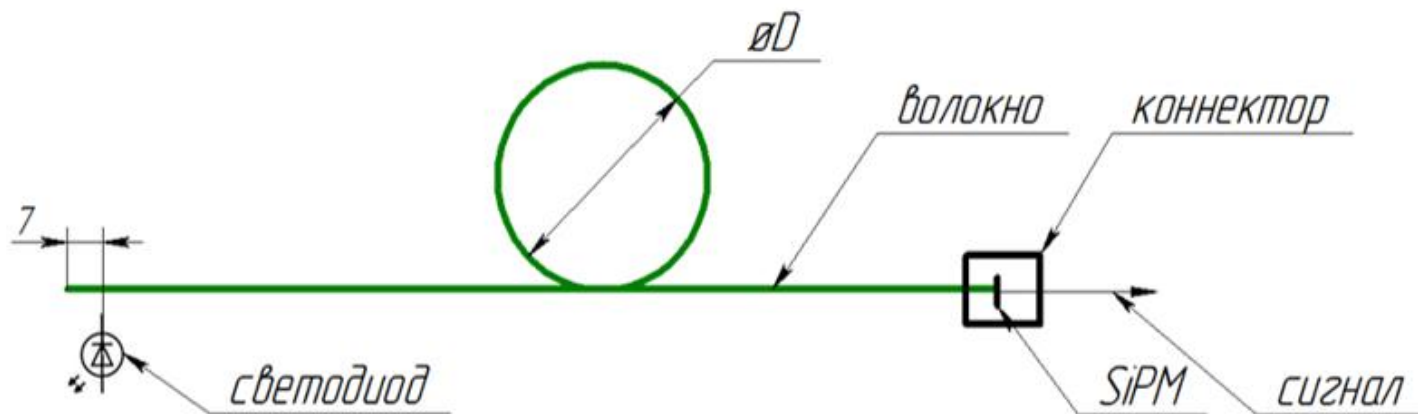
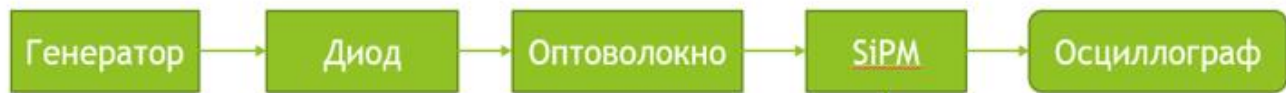
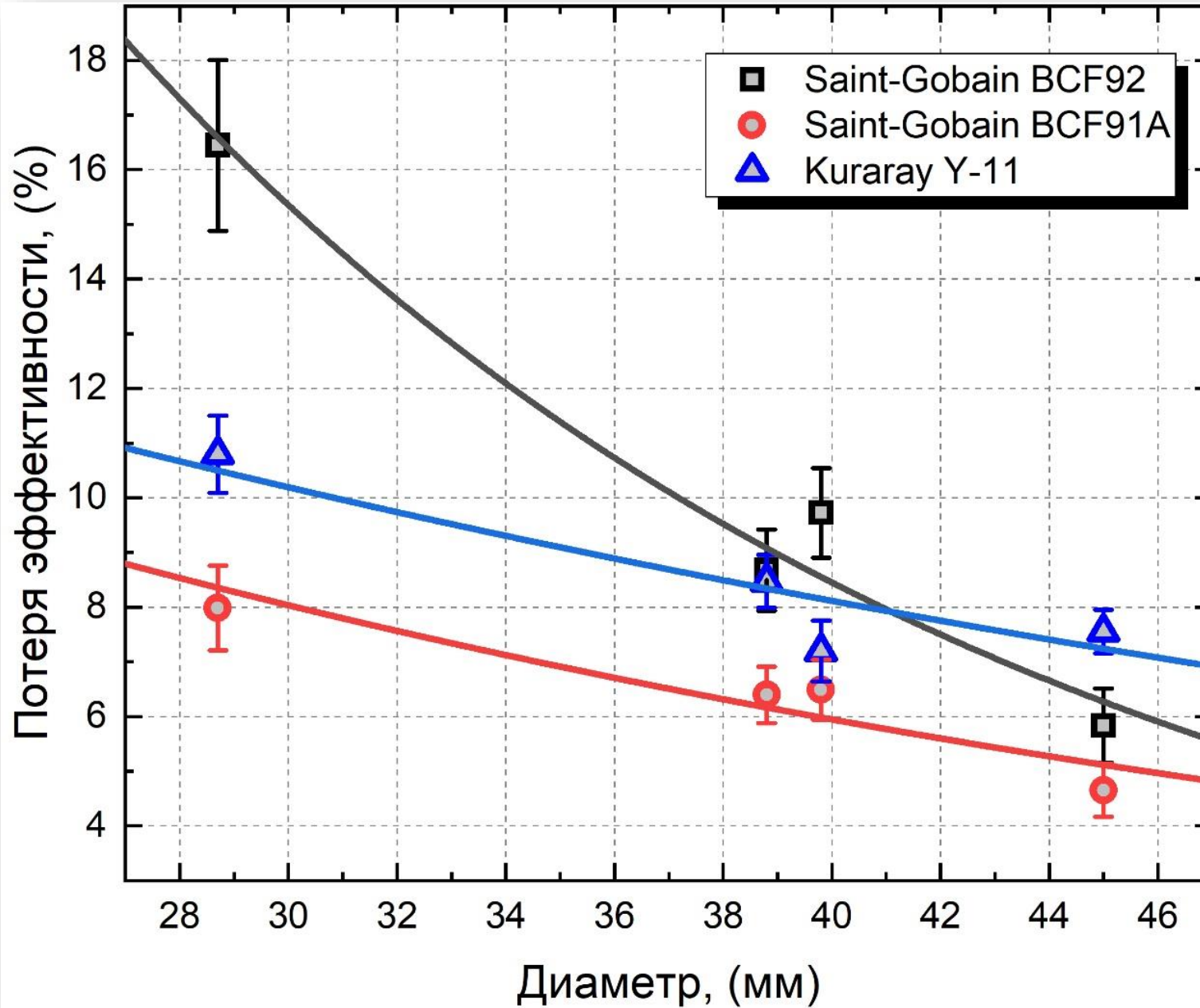


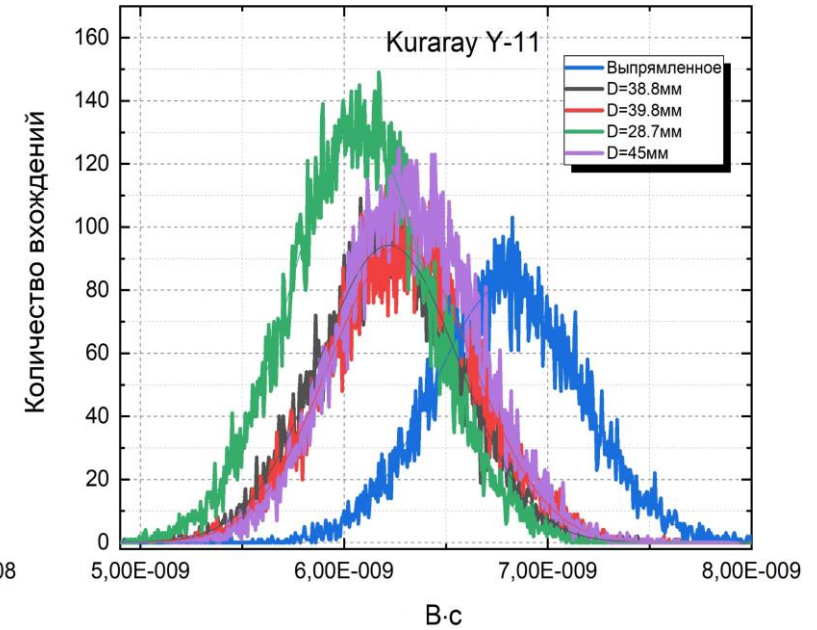
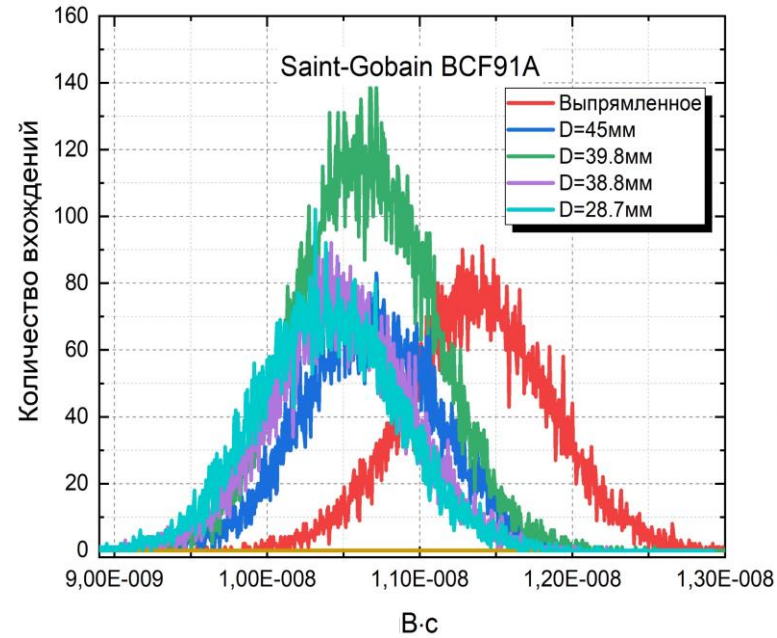
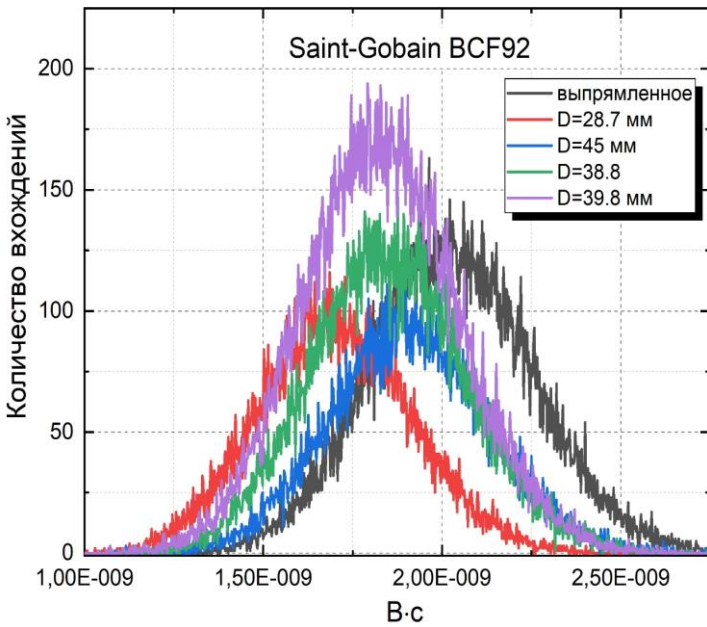
Схема измерений



Результаты измерений



Методика измерений



$$\eta_f = \left(1 - \frac{x_n}{x_0}\right) \times 100\%$$

η_f - потери эффективности от скручивания

x_n - мода распределения скрученного волокна

x_0 - мода распределения выпрямленного волокна

Δx - погрешность моды распределения (найдена из среднего отклонении мат ожидания распределения)

$\Delta \eta_f$ - погрешность потерь (найдена по погрешности косвенных измерений)

Моды спектросмещающего волокна Kuraray Y-11

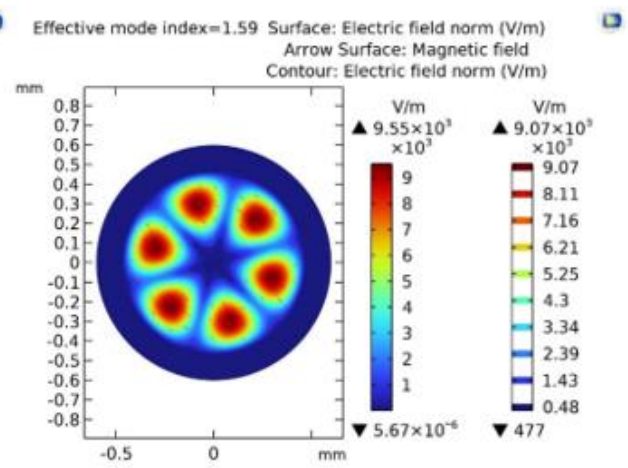
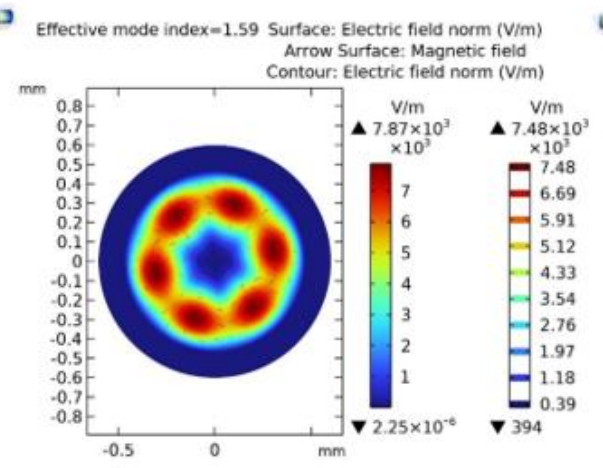
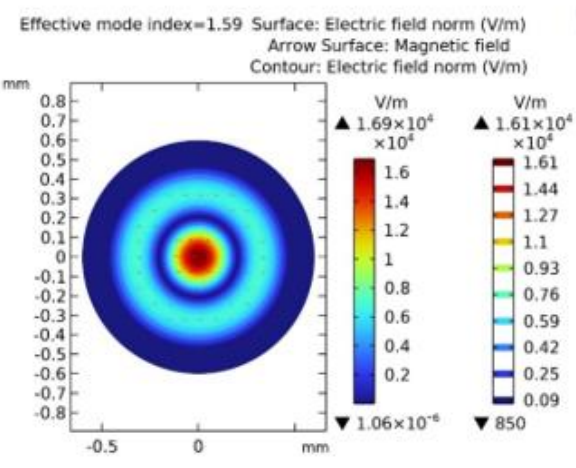
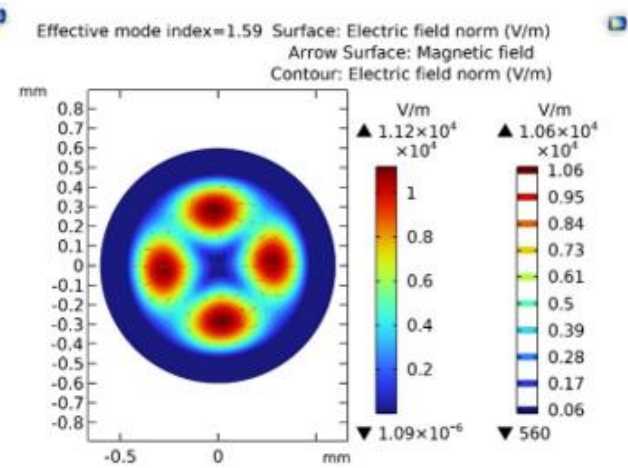
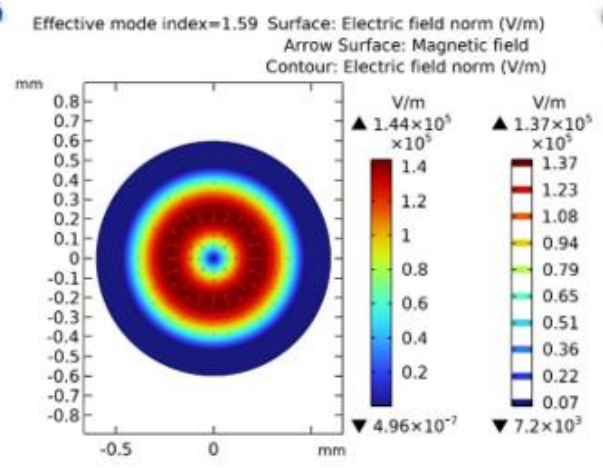
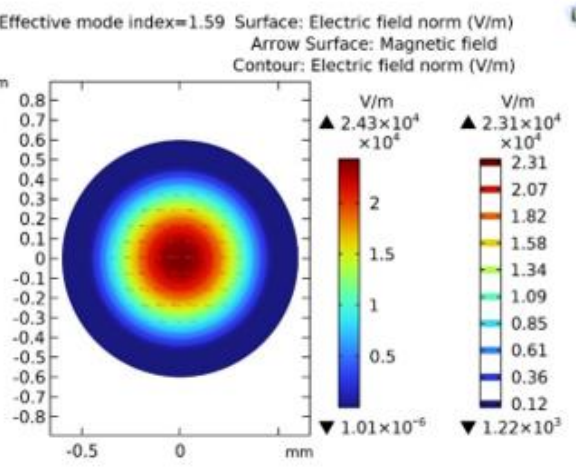
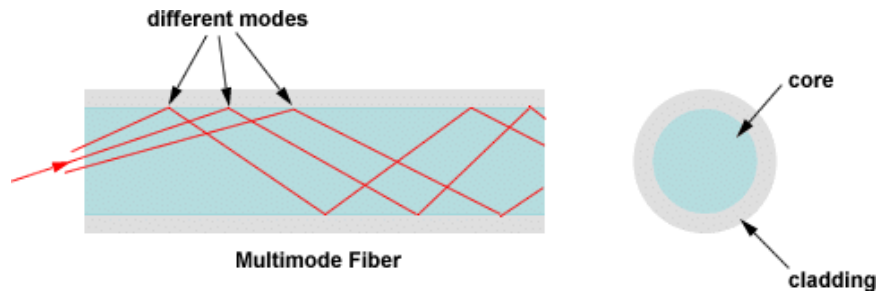
$n_{core} = 1.59$

$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_{core}^2 - n_{clad}^2} \approx 3041$ (волноводный параметр)

$n_{clad} = 1.49$

$M = \frac{V^2}{2} \approx 4.6 \cdot 10^6$ (кол-во мод)

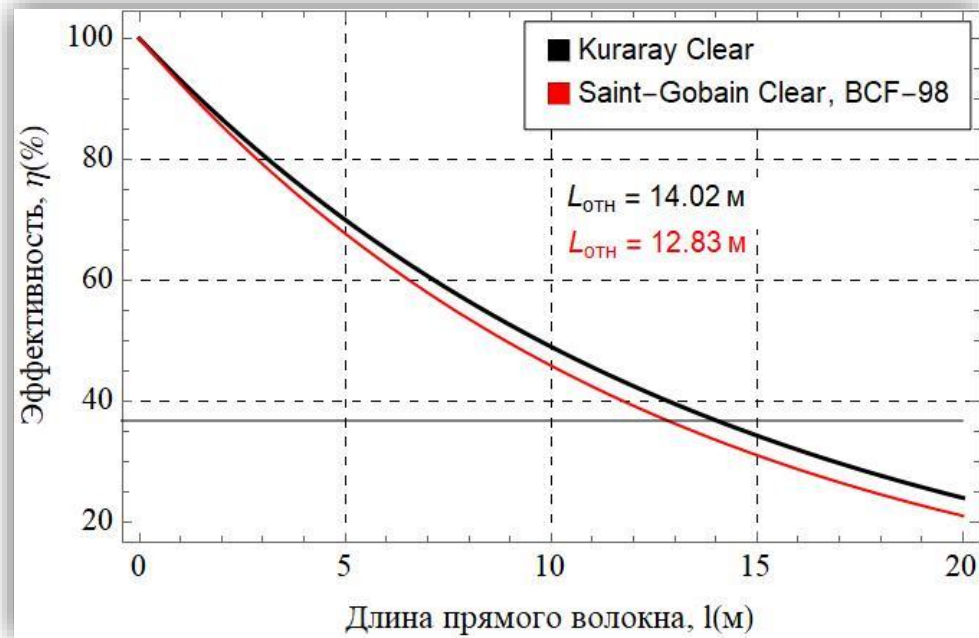
a – радиус сердцевины волокна, a=0.48 мм



Мода — стабильное состояние электромагнитного поля внутри оптоволокна.

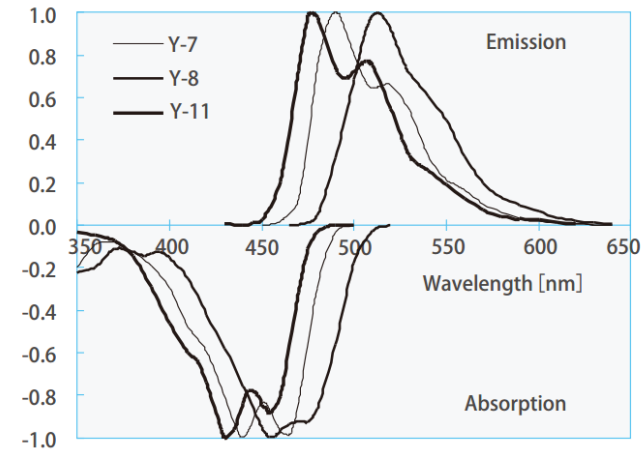
Эффективность прозрачного волокна марки Kuraray Clear и Saint-Gobain BCF-98

- Для спектра испускания спектросмещающего волокна Kuraray Y-11, найдено среднее значение ($\lambda = 503 \text{ нм}$).
- Для этой длины волны были найдены удельные потери в прозрачном волокне Kuraray и Saint-Gobain BCF-98 (α).
- Построен график зависимости эффективности Kuraray Clear и Saint-Gobain BCF-98 (η) от длины выпрямленного волокна (x).
- $\eta(\%) = e^{-\alpha \cdot x} \cdot 100(\%)$.
- Найдена относительная длина волокна, на которой интенсивность света падает в e раз (Kuraray - $L_{\text{отн}} = 14.02 \text{ м}$; BCF-98 - $L_{\text{отн}} = 12.83 \text{ м}$)



Теоретический график эффективности прямого прозрачного волокна Kuraray Clear и Saint-Gobain BCF-98 от длины

Y-7, Y-8, Y-11



Спектры испускания и поглощения света волокон марки Kuraray (Y-11, Y-8, Y-7)

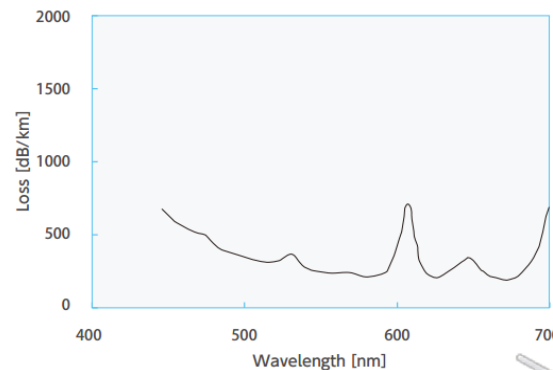


График удельных потерь для прозрачного волокна Kuraray Clear

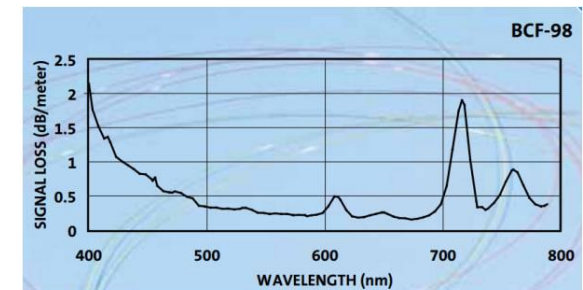


График удельных потерь для Saint-Gobain BCF-98

Моделирование потерь лучей света в оптоволокне Kuraray Y-11 в среде COMSOL

Этапы:

- Для геометрии спектросмещающего волокна марки Kuraray была создана 3D модель
- Сферический источник помещался внутрь волокна, испускал 1000 первичных лучей, вторичных 0
- Вокруг геометрии была задана сфера-счётчик вылетевших лучей при скручивании (N_{nout})
- Над источником был задан цилиндр-счётчик вылетевших лучей из волокна за счёт геометрии источника (N_{noise})
- Моделировалось скручивание радиуса R от 10 мм до 30 мм с шагом 5 мм
- Построена зависимость потерь света от R: $\eta(\%) = \frac{N_{out}}{1000 - N_{noise}} \cdot 100\%$

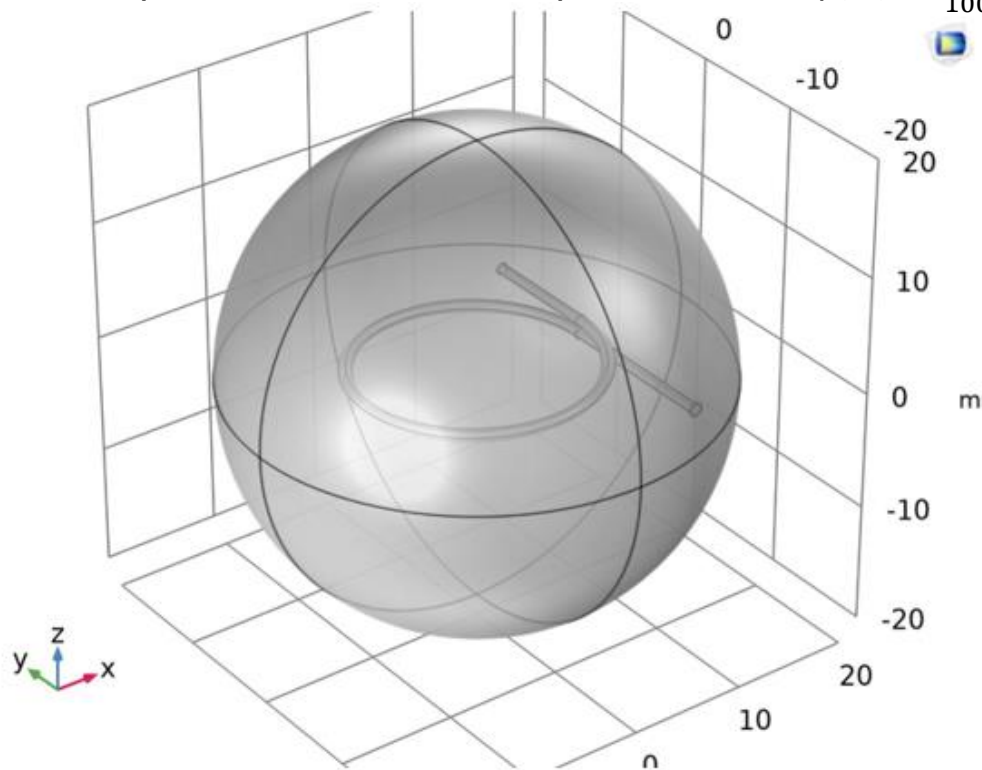


Схема моделирования волокна

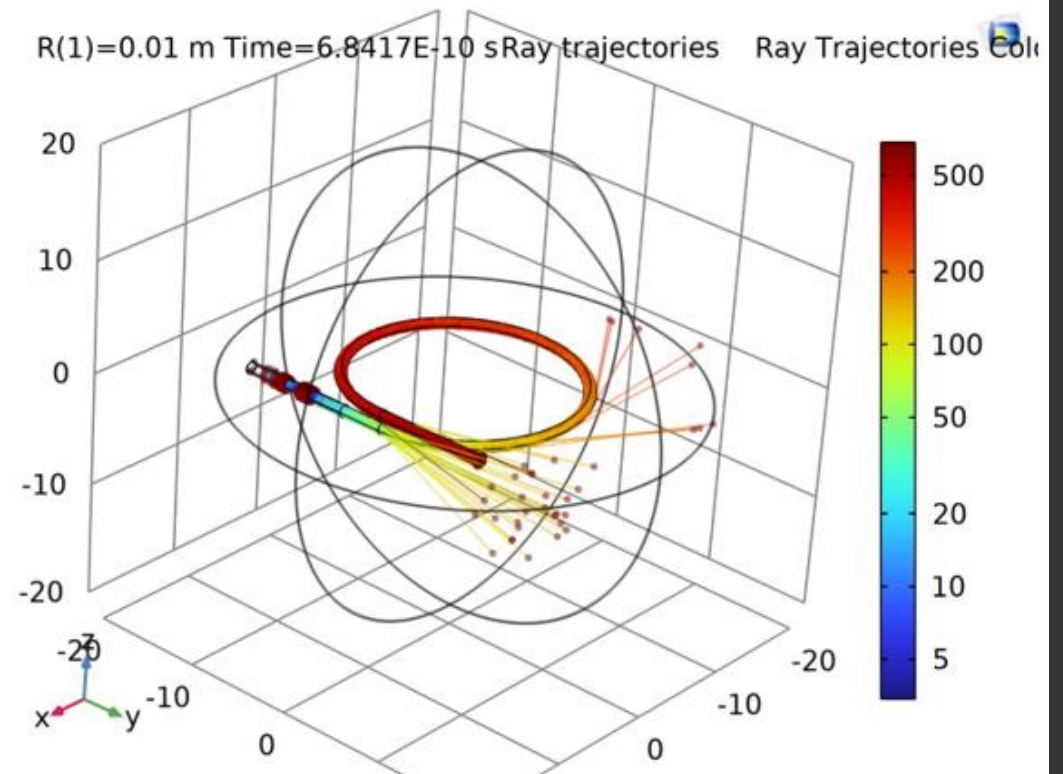
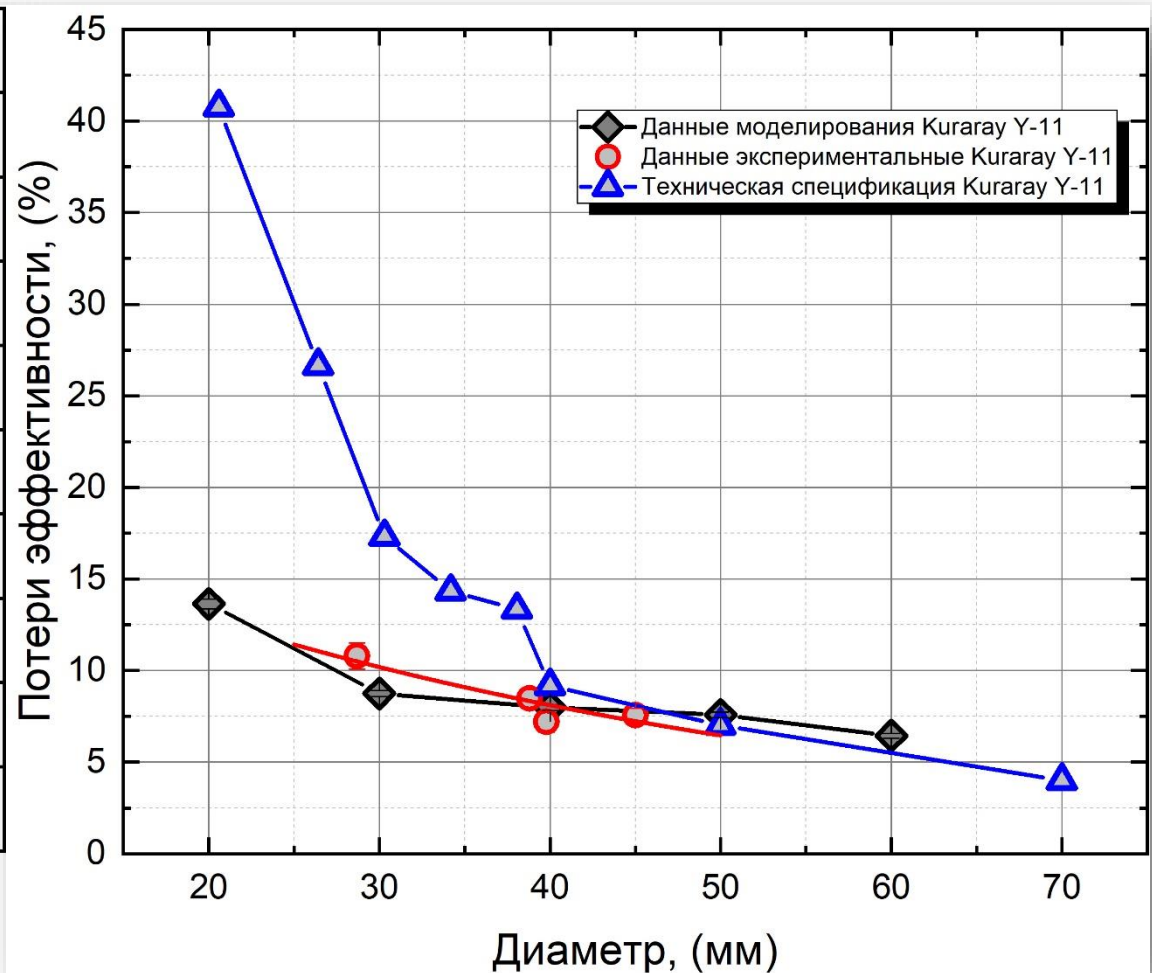
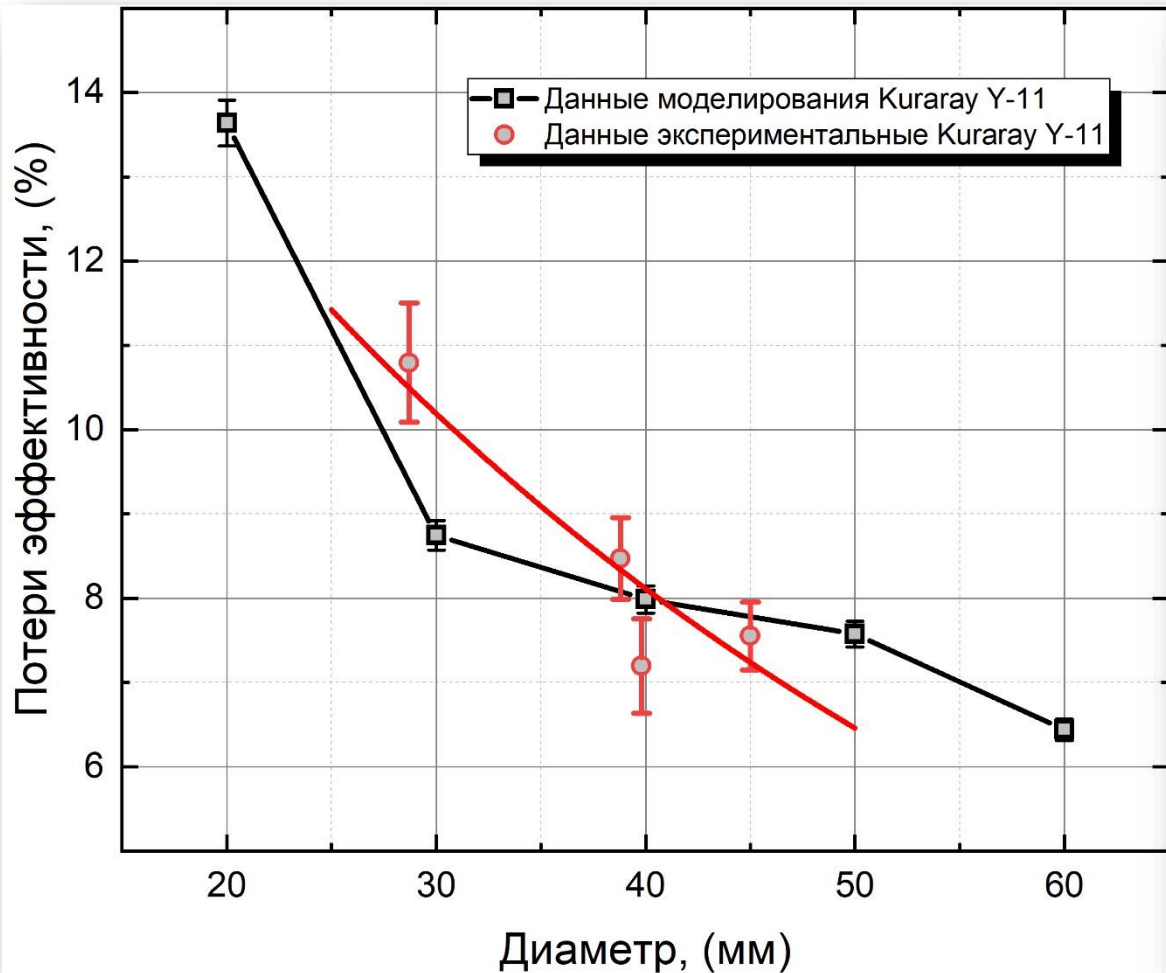


Фото с потерями света при скручивании

Сравнение результатов моделирования с экспериментальными и техническими данными



Заключение

- ✓ Изучена конструкция и назначение SPD детектора на NICA
- ✓ Произведен обзор литературы посвященной подобным оптоволоконам
- ✓ Изучена работа осциллографа Lecroy, генератора, источника питания
- ✓ Получены графики зависимостей потерь от скручивания оптоволокон Saint Gobain BCF92, BCF91A и Kuraray Y-11
- ✓ Были сравнены потери от скручивания Saint Gobain BCF92, BCF91A и Kuraray Y-11
- ✓ Проведен модовый анализ для спектросмещающего и прозрачного оптоволокна марки Kuraray Y-11
- ✓ Построен график промоделированных данных потерь света в спектросмещающем оптоволокне марки Kuraray Y-11 данные были сравнены с экспериментальными и техническими
- ✓ Найдена относительная длина прозрачного волокна Kuraray и Saint-Gobain Clear BCF-98: $L=14.02; 12.83$ м