

Что такое НЦФМ ?

А.М. Сергеев

Школа «Нелинейные волны» , Нижний Новгород, 7 ноября 2022 г.

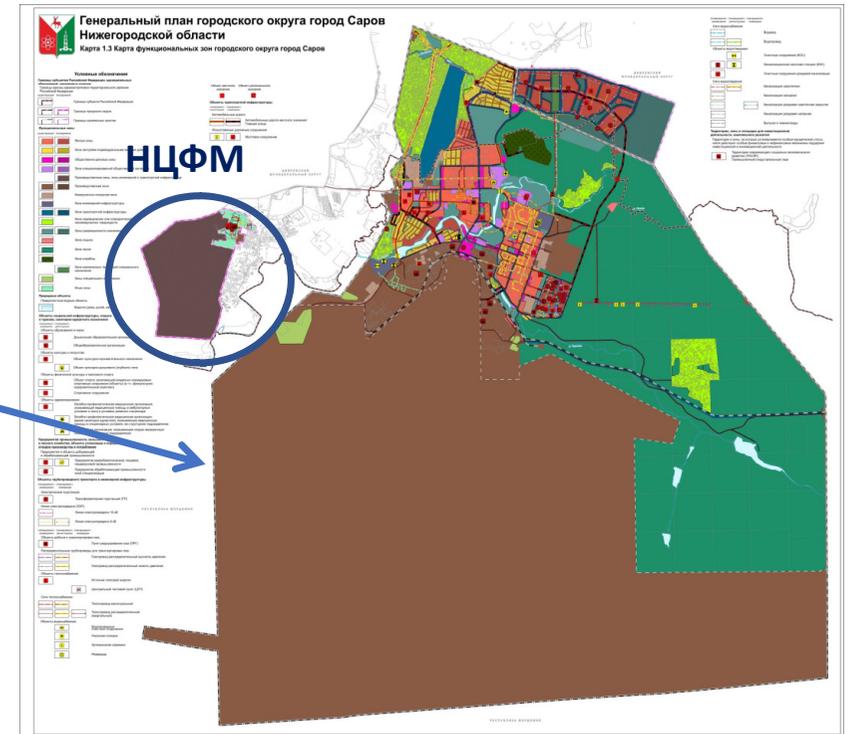


РФЯЦ-ВНИИЭФ
РОСАТОМ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ФИЗИКИ И МАТЕМАТИКИ

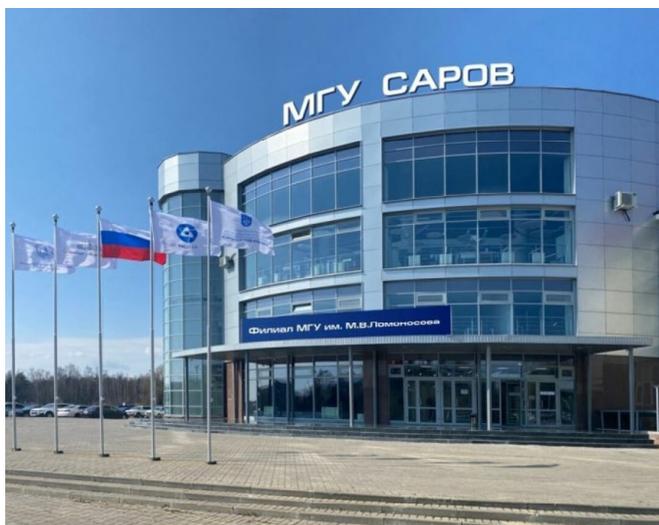
АКАДЕМГОРОДОК XXI ВЕКА







НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ФИЗИКИ И МАТЕМАТИКИ. ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА. ФИЛИАЛ МГУ





НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ФИЗИКИ И МАТЕМАТИКИ. 10 НАПРАВЛЕНИЙ НАУЧНОЙ ПРОГРАММЫ

	Основные направления научных исследований
1	Исследование архитектур суперкомпьютеров
2	Математическое моделирование на супер-ЭВМ экза- и зеттафлопсной производительности
3	Газодинамика и физика взрыва
4	Физика высоких плотностей энергии
5	Физика частиц и космология
6	Ядерная и радиационная физика
7	Сильные и сверхсильные магнитные поля
8	Физика изотопов водорода
9	Искусственный интеллект и большие данные
10	Экспериментальная лабораторная астрофизика и геофизика

Кооперация с ВНИИЭФ, учреждениями ГК Росатом, крупнейшими научными институтами и университетами



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ФИЗИКИ И МАТЕМАТИКИ. ФЛАГМАНСКИЕ ПРОЕКТЫ МЕГАСАЙЕНС

- Фотонный суперкомпьютер
- Супер с-тау фабрика
- Экзаваттный лазер XCELS

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Традиционные компьютеры

Электронная компонентная база

Задачи:

- Уменьшение размеров транзисторов
- Параллельные вычисления
- Новые архитектуры

1.1 Эксафлопс – Окридж 2022

Фотонные компьютеры

Оптическая компонентная база, классические состояния света

Задачи:

- Создание оптических чипов
- Параллельные вычисления для разных длин волн, поляризаций или оптических импульсов
- Оптоэлектронные интерфейсы

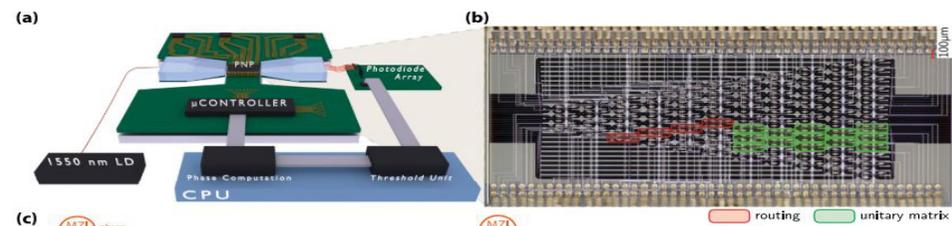
Квантовые компьютеры

Квантовые состояния вещества в различных физических системах

Задачи:

Создание квантовых чипов на основе взаимодействующих кубитов

Технологический предел традиционных электронных микрочипов практически достигнут. Необходим новый подход, использующий другое физическое взаимодействие – **ФОТОНЫ ВМЕСТО ЭЛЕКТРОНОВ** для записи, передачи и обработки информации





ФОТОННЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

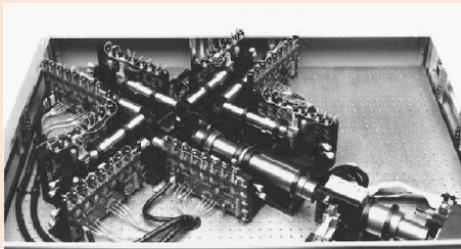
Универсальные

Компьютер полностью на основе оптических логических элементов

Процессоры, память, сетевые взаимодействия на оптической основе

Адаптация под бинарную логику

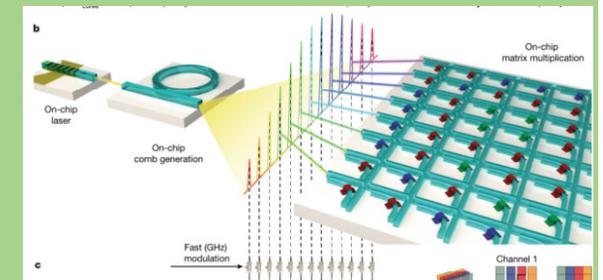
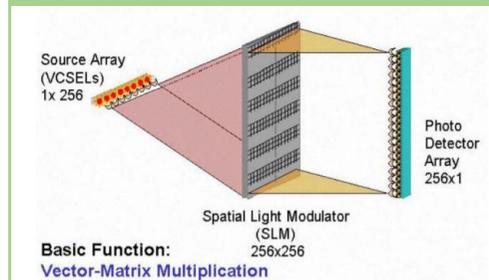
Решение универсальных задач



Специализированные

Решение специальных задач в области численного моделирования сложных систем, искусственного интеллекта и обработки больших массивов данных

(например, перемножение матриц и умножение матрицы на вектор на оптическом процессоре)



Будет создана гибридная оптоэлектронная вычислительная машина на базе оптических сопроцессоров с производительностью до 10 Зетафлопс

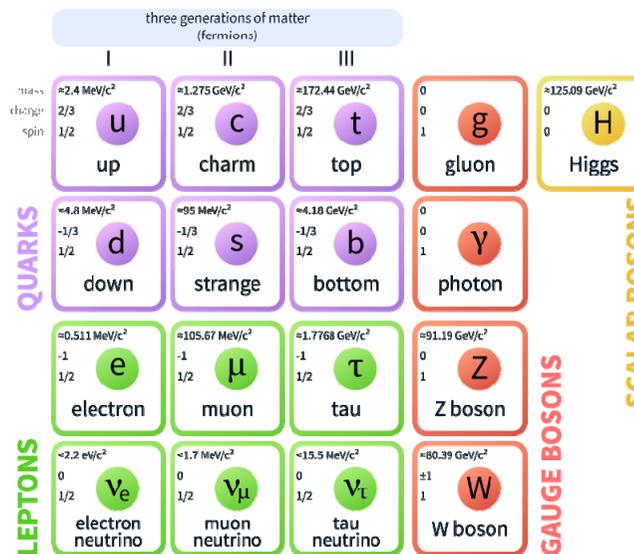


СУПЕР С-ТАУ ФАБРИКА. СТРУКТУРА МИКРОМИРА

Таблица химических элементов

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	* 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
			* 57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
			* 89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

Стандартная модель



Открытые вопросы

- Масса нейтрино
- Темная материя
- Темная энергия
- Барионная асимметрия (почему материи больше, чем антиматерии?)
- Почему три поколения? Почему именно такие частицы и группы симметрий?
- ...

Что за границами Стандартной модели и как ее расширить?



СУПЕР С-ТАУ ФАБРИКА. СТРУКТУРА МИКРОМИРА

Fermi's vision (1954)



1-ый путь

Увеличение энергии сталкивающихся частиц

- Требуются огромные трассы для ускорения:
- Для получения протонов с энергией 100 ТэВ необходима трасса около 100 км
- для достижения 1000 ТэВ в электронном пучке трасса сравнима с длиной экватора

2-ой путь

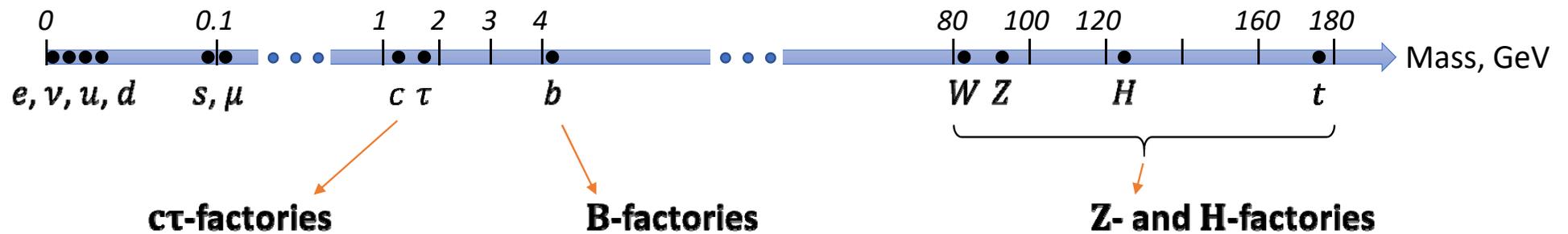
Увеличение частоты процесса рождения частиц и точности измерения

- Относительно небольшие энергии от единиц до сотен ГэВ
 - Небольшое число разрешенных реакций распада
 - Максимально возможная частота наблюдения событий для статистической достоверности – «фабрики частиц»
- электрон-позитронные коллайдеры с высокой светимостью $10^{35} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ и выше

Что за границами Стандартной модели и как ее расширить?



СУПЕР С-ТАУ ФАБРИКА. СТРУКТУРА МИКРОМИРА



Previous		PEP-II (USA), KEK-B (Japan)	LEP, LEP-2 (CERN)
Now	BEPC-II (China)		
Future	Super charm-tau factory <i>x100 gain in luminosity</i>	Super KEK-B (Japan), LHCb (CERN)	FCC-ee (CERN), CEPC (China)

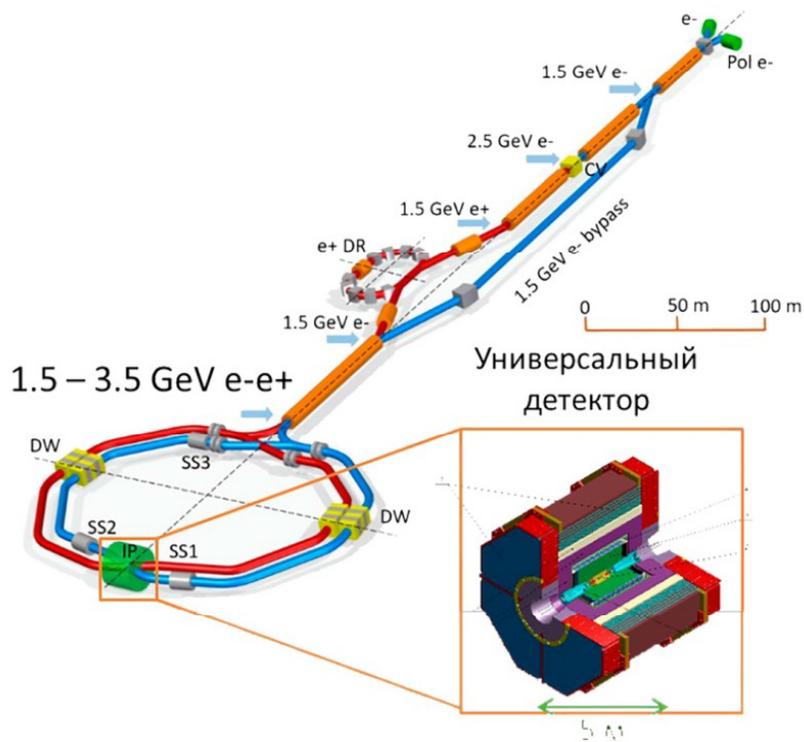
Статистика (светимость) и качество детектора определяют максимально достижимую точность

И.Б. Логашенко , ИЯФ СО РАН

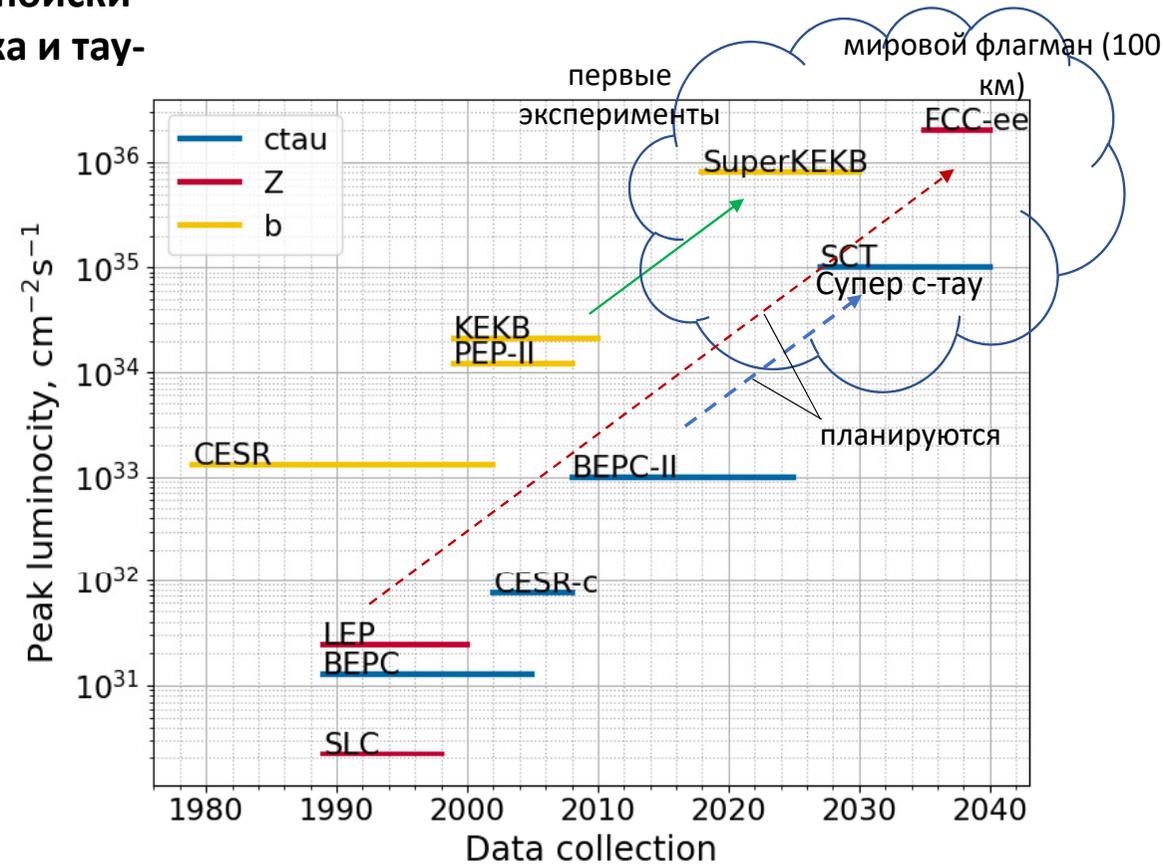


СУПЕР С-ТАУ ФАБРИКА. СТРУКТУРА МИКРОМИРА

- e^+e^- -коллайдер с энергией от 3 до 7 ГэВ и рекордной светимостью $10^{35} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$
- прецизионная проверка Стандартной модели и поиски «Новой физики» в распадах очарованного кварка и тау-лептона



Супер-коллайдеры настоящего и будущего



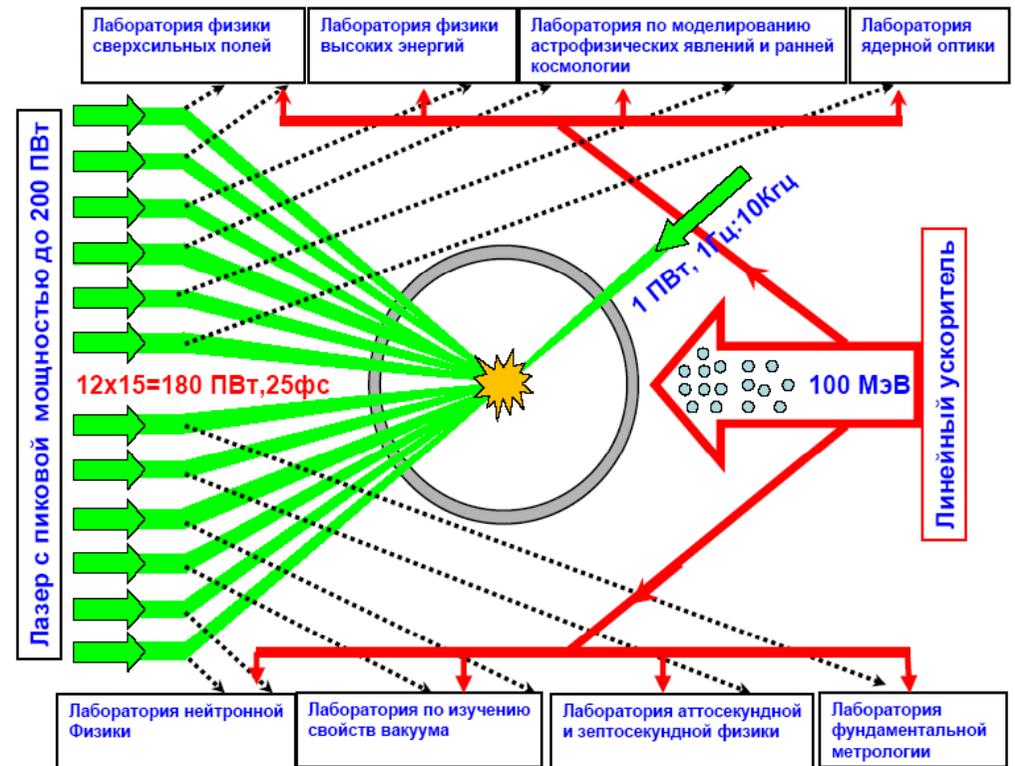
ЭКЗАВАТТНЫЙ ЛАЗЕР XCELS (eXawatt Center for Extreme Light Studies)

Исследования свойств вещества и вакуума в полях с гигантской интенсивностью излучения $10^{24}-10^{26}$ Вт/см²

Осуществляется за счет концентрации энергии лазерного излучения в импульсах сверхкороткой длительности на уровне 10^{-14} с (10 фемтосекунд) и острой фокусировки в пространстве

Достигнутая на сегодняшний день пиковая мощность составляют 10^{16} Вт (10 Петаватт), что приблизительно в 1000 раз больше суммарной мощности всех электростанций на Земле

Достигнутая интенсивность 10^{23} Вт/см²

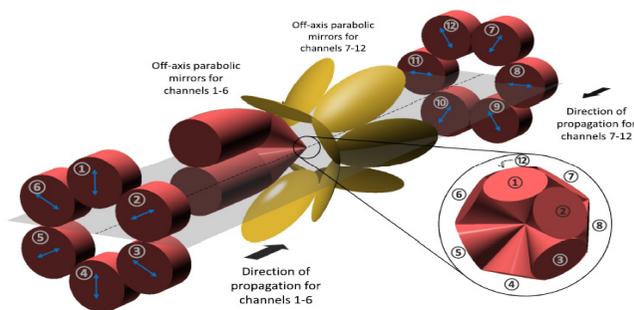


$$I \text{ (Вт/см}^2\text{)} = \frac{W \text{ (Дж)}}{\tau \text{ (с)} S \text{ (см}^2\text{)}} = \frac{100 \text{ Дж}}{10^{-14} \text{ с} \cdot 10^{-7} \text{ см}^2} = \frac{10^{16} \text{ Вт}}{10^{-7} \text{ см}^2} = 10^{23} \text{ Вт/см}^2$$

ЭКЗАВАТТНЫЙ ЛАЗЕР XCELS (eXawatt Center for Extreme Light Studies)

- Генерация сверхплотной ультрарелятивистской электрон-позитронной плазмы и гамма излучения сверхвысокой яркости
- Направленные источники гамма излучения с энергией фотонов ГэВ диапазона
- Генерация аттосекундных импульсов с полями, приближающимися к Швингеровскому пределу
- Изучение пространственно-временной структуры вакуума

Внутриатомное поле,
удерживающее
электрон в атоме
водорода



Имеющиеся
установки

XCELS

Поле, удерживающее
электрон-позитронные
пары в квантовом
вакууме (Швингеровский
предел)





СИНЕРГИЯ МЕГА-ПРОЕКТОВ НЦФМ

- **Реализация в рамках одного научного центра двух проектов мирового уровня, Супер с-тау фабрики и XCELS, позволит проводить уникальные исследования**
 - **изучение эффектов взаимодействия лазерного поля с релятивистским электронным пучком**
 - **изучение эффектов взаимодействия лазерного поля с пучком гамма-квантов**
 - **изучение влияния лазерного поля на фундаментальные процессы взаимодействия частиц высокой энергии с веществом**

- **Присутствие фотонного суперкомпьютера позволит эффективно проводить исследования на Супер с-тау фабрике и XCELS путем численного моделирования процессов взаимодействия излучения и частиц с веществом, управления экспериментами с помощью искусственного интеллекта и обработки больших массивов данных**

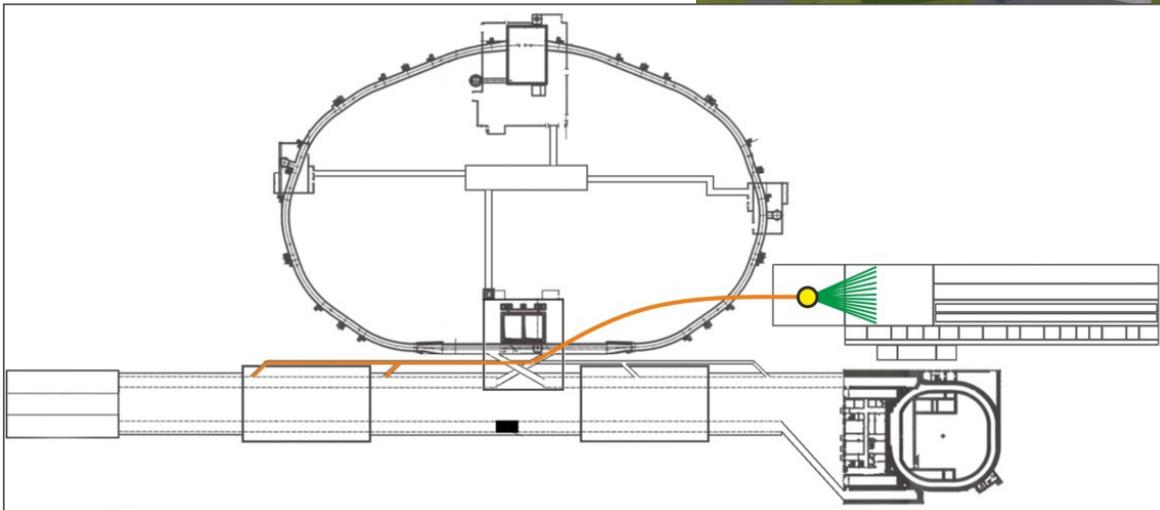
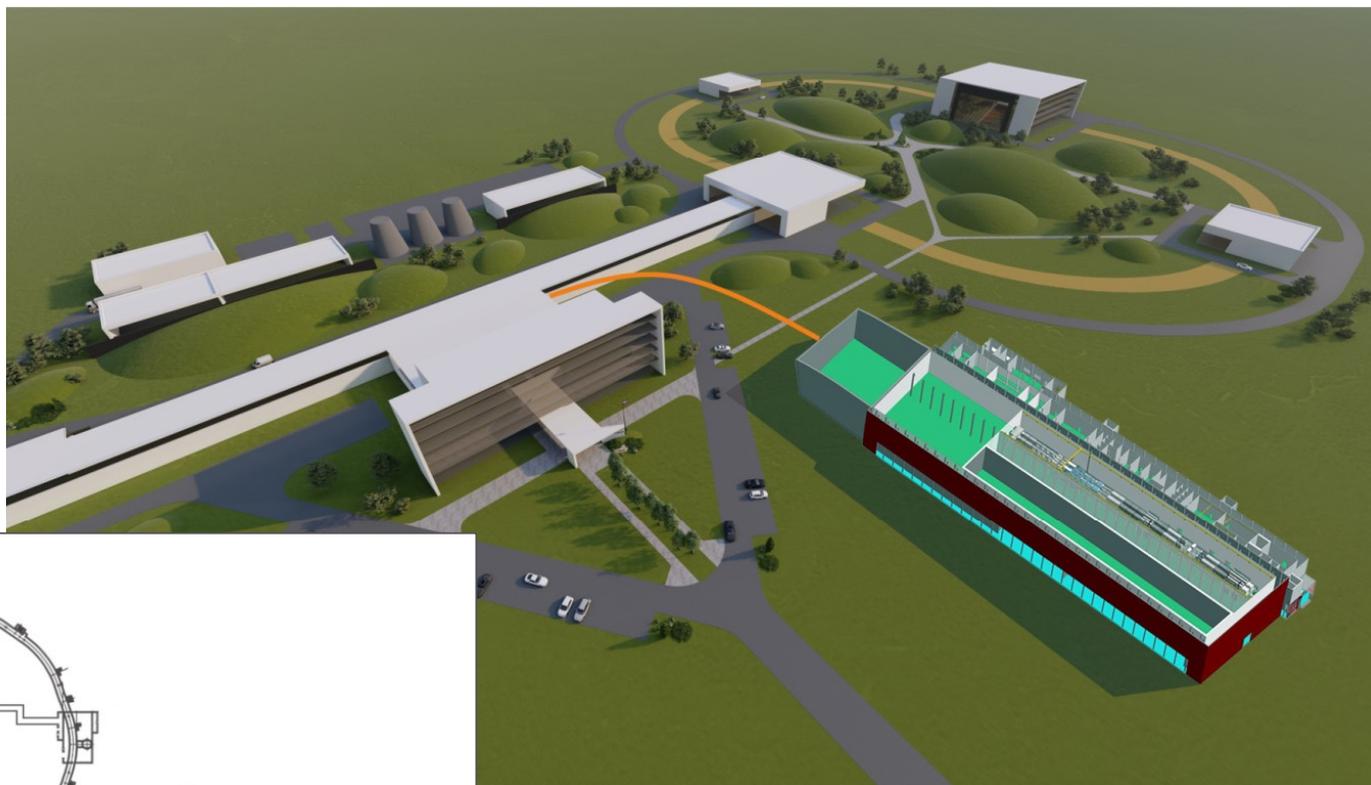
«Пост-синергетический» эффект:

в рамках одного центра будут работать ученые мирового уровня как в области лазерной физики, так и в области физики ускорителей/частиц.

Опыт развития науки подсказывает, что при этом неизбежно возникают новые идеи и направления, которые сегодня мы не можем планировать.



СИНЕРГИЯ МЕГА-ПРОЕКТОВ НЦФМ (внешний вид комплекса зданий и актуальный план)





ЦЕЛЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАУЧНОЙ ПРОГРАММЫ НЦФМ

2022

2024

- созданы ключевые элементы ФВМ, макеты фотонного процессора и памяти
- созданы новые физико-математические модели, методы и программы суперкомпьютерного моделирования
- обоснованы возможности получения рекордных интенсивностей лазерного излучения в экстремальных световых полях
- запущены установка «Мультитера» и два канала установки XCELS
- предложены новые модели темной материи и разрешение Хаббловского кризиса
- созданы нейросетевые архитектуры на отечественной элементной базе и их алгоритмическое обеспечение для обработки систем технического зрения



2025

2030

- создан Вычислительный центр коллективного пользования
- создан макет ФВМ
- созданы уникальные экспериментальные установки и измерительные системы для исследования поведения материалов в экстремальных условиях
- разработаны новый подход к проблеме квантового испарения классических черных дыр и программа исследований темной материи на перспективных коллайдерах
- создана нейтринная низкофоновая лаборатория
- созданы технологии микро- и наноэлектроники (фаблаба)



2030

2050

- создание ФВМ производительностью 1-10 зеттафлопс
- новые экспериментальные данные и знания о состоянии вещества в экстремальных условиях и с экстремальными параметрами
- новые знания в области взаимодействия сверхсильных полей с ядром и вакуумом
- новые фундаментальные знания в областях ядерной и нейтринной физики, водородной энергетики
- изучение «новой физики»
- разработка методов защиты от негативных пылевых воздействий космических аппаратов
- разработка реалистичных моделей строения Земли и планет-гигантов и развитие «новой геологии»



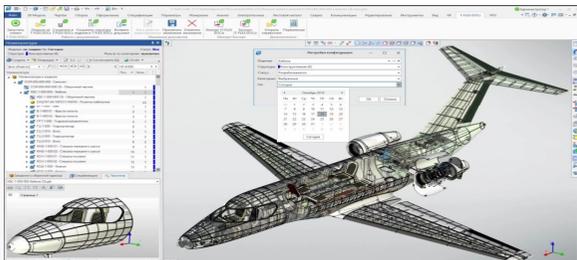


КРУПНЫЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВНИИЭФ и ПРОЕКТЫ МЕГАСАЙЕНС НЦФМ

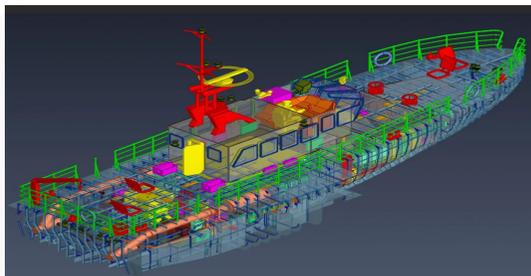


СУПЕРКОМПЬЮТЕР МУЛЬТИПЕТАФЛОПСНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Авиастроение



Судостроение



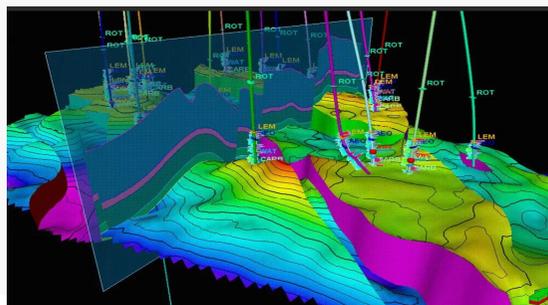
Космическая промышленность



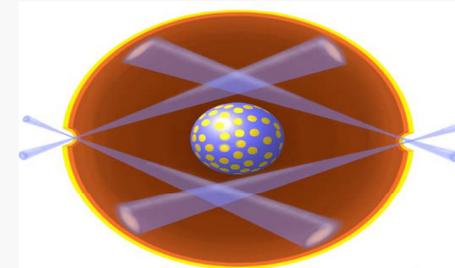
Атомная промышленность



Добывающая промышленность



Лазерный термоядерный синтез



Ключевая задача - достижение нового уровня отечественных технологий суперкомпьютерного моделирования, внедрение технологий цифровых двойников и виртуальных испытаний в высокотехнологические отрасли промышленности и фундаментальные научные исследования

Многофункциональный пакет программ инженерного анализа и суперкомпьютерного моделирования «Логос»



ТЯЖЁЛОИОННЫЙ СИНХРОТРОННЫЙ КОМПЛЕКС РФЯЦ-ВНИИЭФ



- Технологии новых ускорителей с энергией до 400 ГэВ/н
- Разработка методов защиты радиационно стойкой ЭКБ от воздействия ионизирующего излучения космического пространства
- Изучение воздействия тяжелых заряженных частиц (ионы C, N, O, Ne, Mg, Si, S, Fe, Ni и др.) на элементы полупроводниковой микро- и наноэлектроники

Бустерный ускоритель комплекса - для НИР при создании клинического центра адронной терапии

1. Максимальная энергия протонов – до 700 МэВ (для 250 МэВ пробег в теле пациента 32 г/см²)
2. Максимальная энергия ионов C¹² – до 200 МэВ/н
3. Скорость набора дозы – 2 Гр за 4 минуты
4. Точность набора заданной поглощенной дозы - 1%



МЕГАДЖОУЛЬНЫЙ НАНОСЕКУНДНЫЙ ЛАЗЕР ДЛЯ ТЕРМОЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



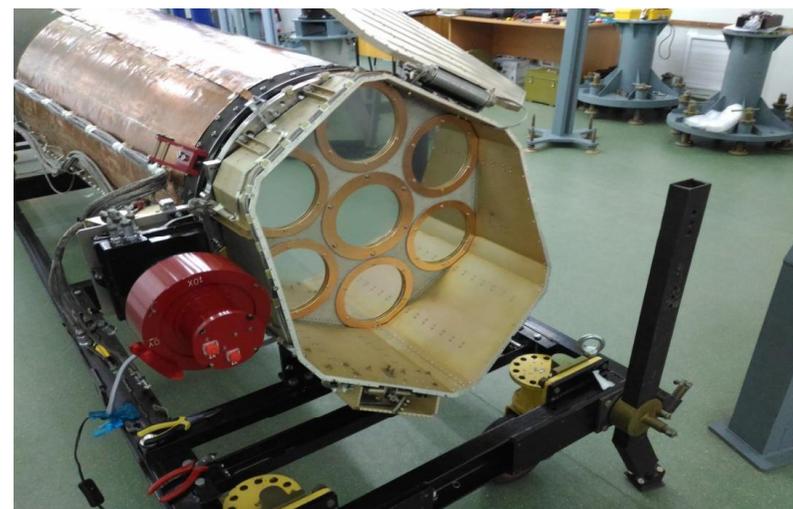
Фабрика водорастворимых кристаллов в ИПФ РАН
обеспечивает РFYЦ-ВНИИЭФ широкоапертурными
преобразователями частоты и элементами
Поккельса



ПРОЕКТЫ КЛАССА «МИДИСАЙЕНС»

- **РЕНТГЕНОВСКАЯ НАВИГАЦИЯ В БЛИЖНЕМ И ДАЛЬНЕМ КОСМОСЕ**
- **ТРИТИЕВЫЙ ИСТОЧНИК НЕЙТРИНО**
- **ЦЕНТР СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ 75 ТЛ**

РЕНТГЕНОВСКАЯ НАВИГАЦИЯ В БЛИЖНЕМ И ДАЛЬНЕМ КОСМОСЕ



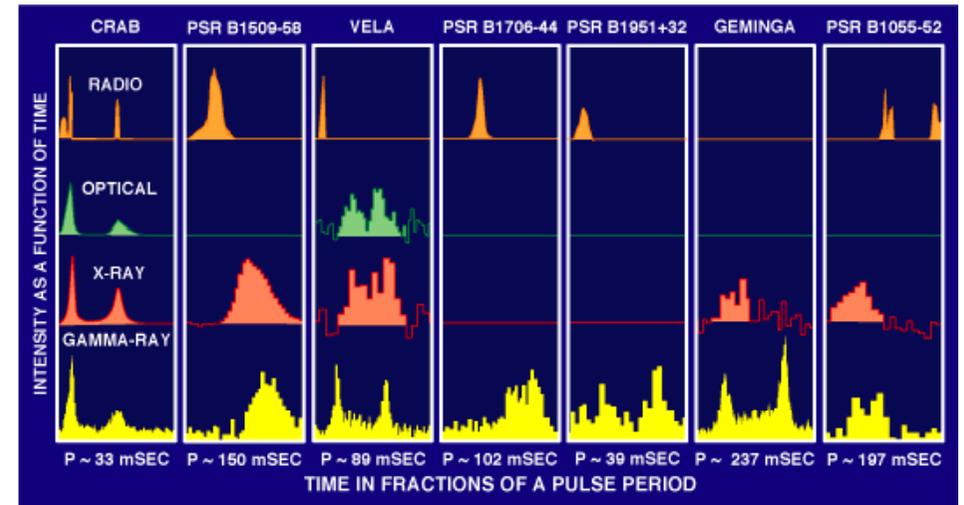
Обсерватория Спектр-РГ: запуск 13.07.2019, работает в L2
Платформа «Навигатор» (НПОЛ)
Телескоп ART-XC (ИКИ РАН+ РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров)

РЕНТГЕНОВСКАЯ НАВИГАЦИЯ В БЛИЖНЕМ И ДАЛЬНОМ КОСМОСЕ

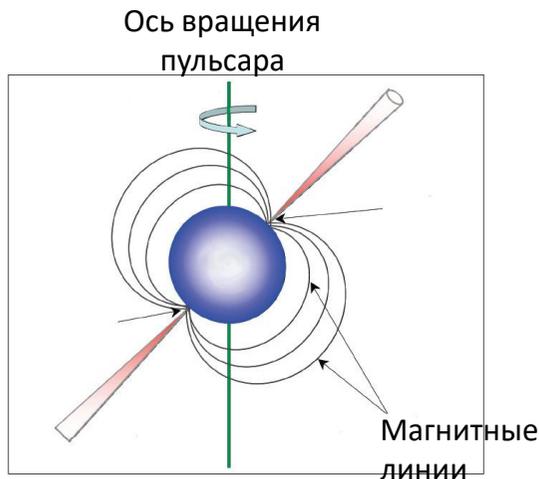
Пульсар – быстро вращающаяся нейтронная звезда, генерирующая периодический сигнал (периоды вращения мсек – сек) со стабильностью 10^{-14} /год

Период и форма сигнала уникальны для каждого пульсара и известны с высокой точностью

Пульсары могут быть использованы в качестве опорных (реперных) источников для построения системы навигации



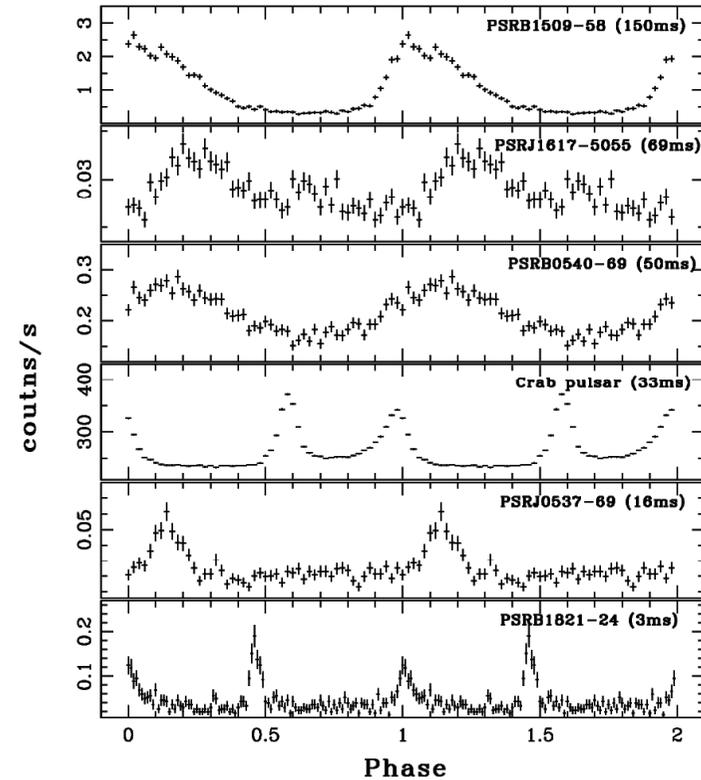
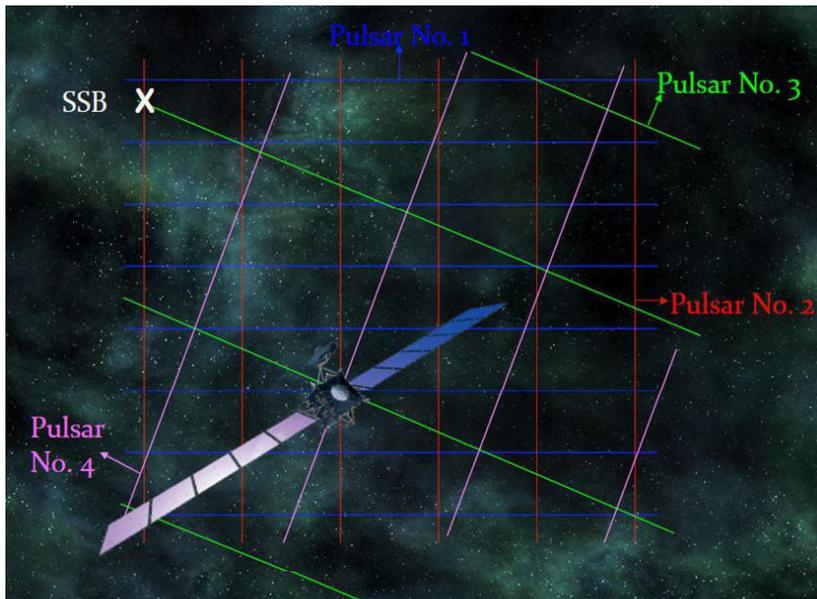
ПУЛЬСАРЫ ИЗЛУЧАЮТ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ



Диапазон	Пульсар	Детектор
Радио	Высокое качество сигнала, влияние среды на распространение	Антенна диаметром > 10 м
Оптика	Мало пульсаров, маленькая пульсирующая компонента, слабые	Зеркало диаметром > 6 м
Рентген	Достаточно много пульсаров, высокая проникаемость, яркие	Площадь < 1 м ²
Гамма	Недостаточно яркие	Тяжелые, большие

РЕНТГЕНОВСКАЯ НАВИГАЦИЯ В БЛИЖНЕМ И ДАЛЬНОМ КОСМОСЕ

Одновременно измеряя сигналы от нескольких пульсаров, КА может **самостоятельно** определить свое положение (по сдвигу фазы импульса) и вектор скорости (по эффекту Доплера) без использования дополнительной информации от наземных станций и других КА



Зарегистрированы пульсации ~3 мс
Временная точность (отн) ~30 мкс
Пространственная точность ~10 км

Для практической реализации : Диапазон энергий 0.5-8 кэВ ;Временное разрешение 0.5 мкс
Эффективная площадь – 300 см² , Масса – 97 кг , Габариты – 60x60x1500 см



ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НЕЙТРИНО РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

- АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ НЕЙТРИНО
- СОЛНЕЧНЫЕ НЕЙТРИНО
- НЕЙТРИНО ЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ (АТМОСФЕРА, РЕАКТОРЫ, УСКОРИТЕЛИ)
- ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫЙ ТРИТИЕВЫЙ ИСТОЧНИК НЕЙТРИНО

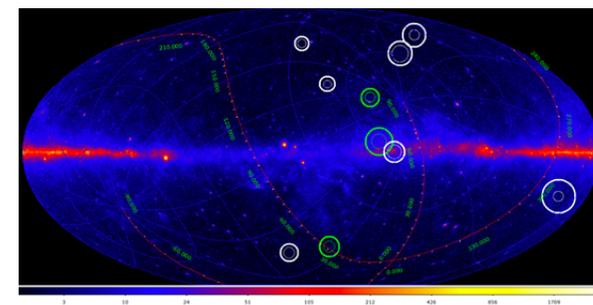
Хоумстейк (США), Садбери (Канада), Камиоканде (Япония), Борескино (Италия), Баксан (Россия), Ice-Cube (Антарктика), Baikal – GVD (Россия)

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ НЕЙТРИНО НА ГЛУБОКОВОДНОМ НЕЙТРИННОМ ТЕЛЕСКОПЕ ВАИКАЛ-GVD

Введен в эксплуатацию Байкальский глубоководный нейтринный телескопа Baikal-GVD в составе 8-ми кластеров (2304 оптических модулей). Эффективный объем детектора близок к 0.4 куб. км и он является крупнейшим нейтринным телескопом Северного полушария. При анализе данных, полученных при работе детектора, инициированные нейтрино высоких энергий астрофизической природы. Детектор Baikal-GVD включен в международные системы многоканальных оповещений, с целью поиска и последующего изучения транзитных астрофизических источников методами мультиспектральной и многоканальной астрономии.



Байкал, 13 марта 2021 г.
Торжественный запуск крупнейшего
в северном полушарии
глубоководного нейтринного
телескопа Baikal-GVD



Положение гамма-источников и первых десяти кандидатов на астрофизические нейтринные события Baikal-GVD на небесной сфере. Координатная сетка на рисунке соответствует экваториальной системе координат. Внутренняя и внешняя окружности вокруг событий соответствуют вероятности регистрации 50% и 90%.



ИЗУЧЕНИЕ КОГЕРЕНТНОГО РАССЕЙЯНИЯ НЕЙТРИНО НА АТОМАХ И ЯДРАХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ НЕЙТРИНО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕНСИВНОГО ТРИТИЕВОГО ИСТОЧНИКА (АНТИ)НЕЙТРИНО



Низкофонная нейтринная лаборатория с системой детектирования рассеяния нейтрино от интенсивного тритиевого источника (1-4 кг) на атомах жидкого гелия в сверхтекучем состоянии. Главная цель проекта – обнаружение или получение верхней границы магнитного момента нейтрино на уровне $(4-7) \times 10^{-13}$ магнетона Бора, что почти в 100 раз лучше современного рекордного ограничения на магнитный момент нейтрино.

Для измерения магнитного момента нейтрино (ММН) на уровне $2-3 \cdot 10^{-12}$ магнетона Бора в ВНИИЭФ было предложено использовать интенсивный тритиевый источник нейтрино (ИТИН) активностью 40 МКи (4 кг трития), что позволяло получать в компактной сборке потоки (анти)нейтрино на уровне $6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Проведена оптимизация такого ИТИН для измерений ММН с использованием кремниевых криогенных либо германиевых лавинных детекторов.

Позже для регистрации ММН было предложено использовать эффект рассеяния нейтрино на электронах атомов жидкого гелия. Согласно оценкам в области переданной энергии до 1 кэВ наблюдается значительное увеличение сечений по сравнению с сечениями упругого рассеяния на свободном электроны. При использовании детектора с 10 кг жидкого гелия и ИТИН с активностью 40 МКи можно получить ограничение на лабораторный предел ММН на уровне лучше 10^{-12} магнетона Бора .



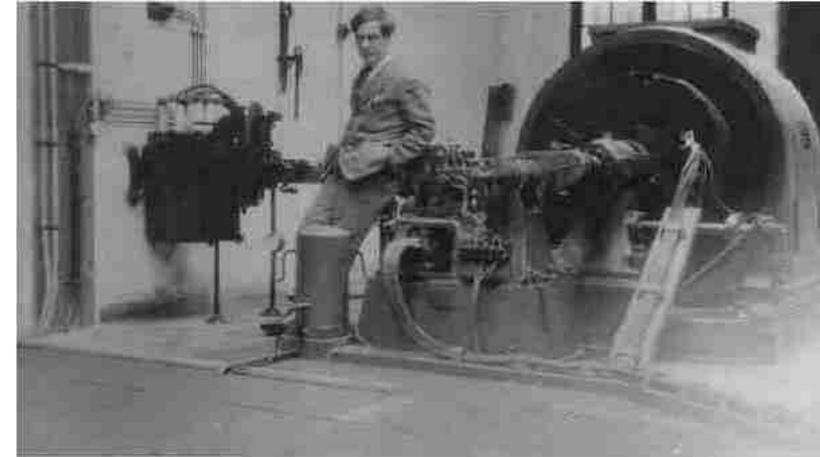
СВЕРХСИЛЬНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

В ВНИИЭФ под руководством ак. Павловского в эксперименте с взрывомагнитным генератором достигнуто магнитное поле **2800 Тесла**. Большой полезный объем 10 см³

Рекордное импульсное магнитное поле с неразрушаемым соленоидом – **100 Тесла** (Лос Аламос, Таллахасси)

Получение экспериментальных данных о фундаментальных характеристиках полупроводников, полупроводниковых гетероструктур, магнитных и сверхпроводящих материалов. Разработка новых материалов для микро- и нанoeлектроники. Моделирование астрофизических явлений.

В НЦФМ в 2024 г. будет создана установка с неразрушаемым соленоидом на 75 Тесла. Эксперименты с полями на уровне 100 – 1000 Тесла будут проводиться в ВНИИЭФ.



П.Капица в лаборатории Кавендиша в 1920 г.г. на установке для генерации сильных магнитных полей

**БЛАГОДАРЮ
ЗА ВНИМАНИЕ**