

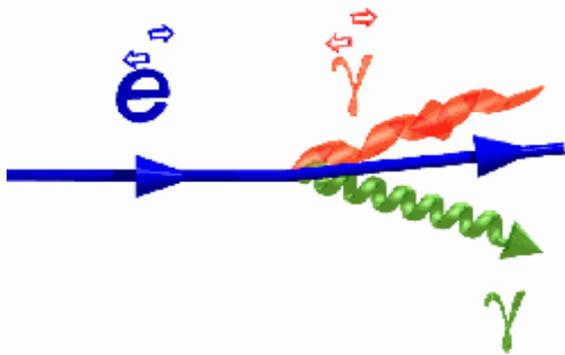


Joint Institute for Nuclear
Research

SCIENCE BRINGING NATIONS
TOGETHER

Леонид Григоренко

Лаборатория ядерных реакций
им. Г.Н. Флерова, ОИЯИ, Дубна



В качестве первой масштабной
научной установки
Национального центра физики
и математики (НЦФМ, Саров)
предлагается создание комплекса

ИНОК (ИНтенсивный Обратный Комптон)

– источника (квази)монохроматических рентгеновских и γ -квантов, основанного на эффекте обратного комптоновского рассеяния фотонов на релятивистских электронах. Базовой установкой комплекса будет электронный накопитель с рекордными параметрами.

Проект научной программы ИКИ НЦФМ

~ 20 организаций
~ 70 участников
~ 40 статей
~ 105 страниц
~ 380 ссылок

Проект научной программы ИНОК — комптоновского источника монохроматических гамма-квантов НЦФМ



Проект программы v6
доступен по ссылке

https://disk.yandex.ru/i/_i0xOzrS_UXG7g и QR коду

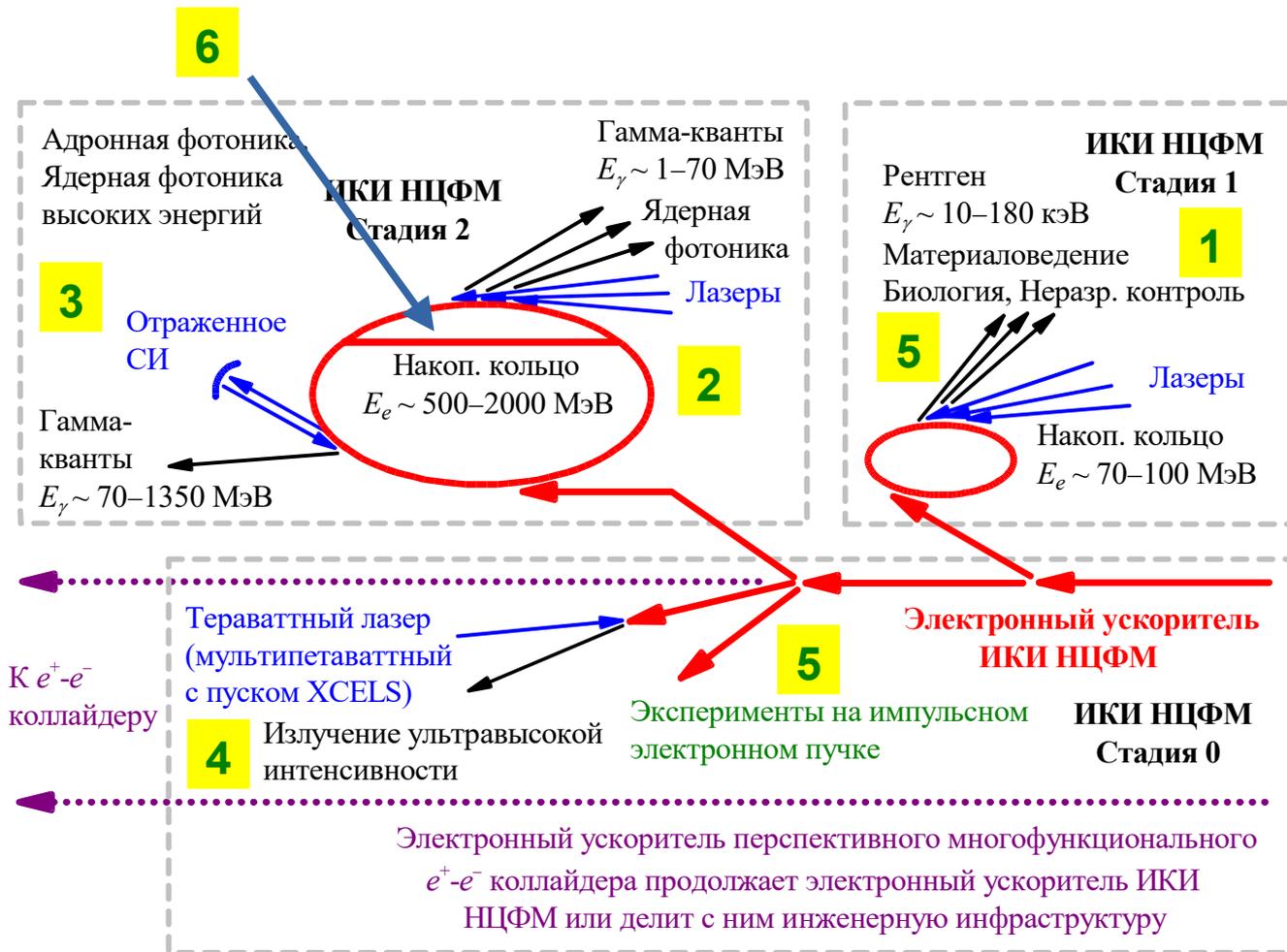
- ¹Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова, ОИЯИ, Дубна
- ²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва
- ³Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт», Москва
- ⁴Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, ОИЯИ, Дубна
- ⁵Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва
- ⁶Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск
- ⁷Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»-ПИЯФ, Гатчина
- ⁸Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ, Москва
- ⁹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва
- ¹⁰Институт Ядерных Исследований РАН, Москва
- ¹¹Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Саров
- ¹²Балтийский Федеральный Университет имени Иммануила Канта, Калининград
- ¹³Воронежский государственный университет, Воронеж
- ¹⁴Университет Матей Бела, Банска Быстрица, Словакия
- ¹⁵Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород
- ¹⁶Сколковский институт науки и технологий, Москва
- ¹⁷Национальный центр физики и математики, Саров
- ¹⁸Государственный университет «Дубна», Дубна
- ¹⁹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна
- ²⁰Госкорпорация «Росатом»

Л. В. Григоренко^{1,1,2,3}, Н. В. Антоненко⁴, И. А. Артюков⁵, М. Н. Ачасов⁶, А. Л. Барабанов^{3,2}, С. Л. Белостоцкий⁷, Э. Э. Боос^{8,9}, И. Н. Борзов^{3,4}, В. В. Варламов⁸, А. А. Васильев⁷, А. В. Виноградов⁵, Н. А. Винокуров⁶, А. А. Воробьев⁷, Л. З. Джилавян¹⁰, Р. В. Джолос⁴, А. А. Дзюба⁷, В. С. Дюбков², Н. В. Завьялов¹¹, Д. А. Зверев¹², С. Г. Кадменский¹³, С. П. Камерджиев³, В. В. Каминский⁶, И. А. Карпов¹¹, Е. Э. Коломейцев^{4,14}, И. Ю. Костюков¹⁵, П. А. Кравцов⁷, П. В. Кравченко⁷, А. А. Кузнецов^{8,9}, А. М. Лапик¹⁰, А. Е. Левичев⁶, П. В. Логачев⁶, А. И. Львов⁵, Е. М. Маев⁷, О. Е. Маев⁷, М. А. Мартьянов¹⁵, В. С. Мележик⁴, А. П. Менушенков², О. И. Мешков⁶, С. Ю. Миронов¹⁵, И. Б. Мухин¹⁵, Н. Ю. Мучной⁶, В. О. Нестеренко⁴, О. В. Палашов¹⁵, А. М. Подурец¹¹, С. М. Полозов², А. Л. Полонский¹⁰, Н. Л. Попов⁵, С. В. Попруженко², А. К. Потемкин¹⁵, А. П. Потылицын², С. Ф. Разиньков¹¹, В. И. Ращиков², С. Г. Рыкованов¹⁶, А. Б. Савельев-Трофимов⁹, А. П. Северюхин⁴, А. М. Сергеев¹⁷, Д. Ю. Сергеева², А. А. Снигирёв¹², И. А. Спирин¹¹, М. В. Стародубцев¹⁵, М. В. Таценко¹¹, А. А. Тищенко², Е. В. Ткаля⁵, О. Л. Федин⁷, А. М. Федотов², А. С. Фомичев^{1,18}, Б. Ю. Шарков^{19,17,2}, П. Г. Шаров¹, В. И. Шведунов⁸, А. А. Шемухин⁸, О. Н. Шубин²⁰, М. С. Хирк^{1,8} и В. Д. Эфрос³

Концепция ИКИ НЦФМ

Основные научные направления:

- Прикладные исследования с монохромным рентгеном (1)
- Ядерная фотоника (2)
- Адронная фотоника (3)
- Излучение ультравысокой интенсивности (4)
- Задачи ВНИИЭФ по спецтематике (5)



Проект программы v6 доступен на https://disk.yandex.ru/i/_i0xOzrS_UXG7g и по QR коду

Концепция ИКИ НЦФМ

Основные научные направления:

- Прикладные исследования с монохромным рентгеном (1)
- Ядерная фотоника (2)
- Адронная фотоника (3)
- Излучение ультравысокой интенсивности (4)
- Задачи ВНИИЭФ по спецтематике (5)

Современные программы исследований не реализуемы в рамках “советской” концепции институт-установка.

Необходимо создание национальных пользовательских центров.

“Политические” аспекты проекта:

- Высокий интерес среди исследователей
- Консенсус среди научных организаций
- Надежный генподрядчик (ИЯФ СО РАН)
- Стадийность реализации – 3 стадии →
- Низкий риск задержки старта научной программы
- Возможная синергия с будущими мегапроектами
 - XCELS и e^+e^- коллайдером



Проект программы v6 доступен на https://disk.yandex.ru/i/_i0xOzrS_UXG7g и по QR коду

Существующие и планируемые КОМПТОНОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Название	Страна	Статус	Энергия γ -квантов (МэВ)	Энергетич. разброс (σ ,%)	Поток (фот/с)
New Subaru	Япония	работает	0-76	1,2	10^5
HI γ S	США	работает	0-100	0,8	10^7
ELI-NP (VEGA)	Румыния	проект	0,2-19,5	0,5	10^8
ИКИ НЦФМ	Россия	проект	0-70	0,3	10^9
ИКИ НЦФМ	Россия	проект	70-300	0,5	10^8

Создание в России самого интенсивного в мире источника квазимонохроматического гамма-излучения позволит совершить качественный скачок в фотоядерной физике и достигнуть технологического лидерства в области создания таких установок.

Ключевые научные возможности ИКИ НЦФМ – 1

Стадия 0

**Исследования на прямом
электронном пучке**

**Импульсы 2 гэВ,
~1нКл, ~20 пс, ~1 Гц**

«Прямые» электронные пучки вводятся в «научный оборот» на весьма ранней стадии проекта.

Электронный ускоритель ИКИ НЦФМ обеспечит мощные (~1 нКл) и весьма короткие (~20 пс) импульсы для прикладных задач требующих высокого временного разрешения (включая задачи ВНИИЭФ).

Электронный ускоритель ИКИ НЦФМ будет оптимизирован для получение электронных сгустков высокого качества (минимального эмиттанса) под задачи обратного комптона. Специализированных ускорителей такого класса нет, т. к. оптимизация всегда велась под другие задачи (например синхротрон).

В «стандартной комплектации» комплекса предусматриваются исследования с излучением ультравысокой интенсивности (непертурбативная квантовая электродинамика, нелинейный эффект комптона) с использованием тераваттного лазера. В перспективе может использоваться петаваттное и мультипетаваттное излучение лазерных модулей проекта Exawatt Center for Extreme Light Studies (XCELS).

Возможная синергия с проектами XCELS и e^+e^- коллайдера

e^+e^- коллайдер



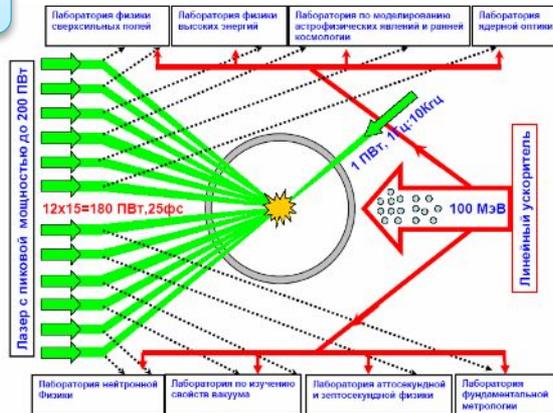
ИНОК



Электронный ускоритель коллайдера продолжает ускоритель ИКИ НЦФМ Или делит с ним инженерную инфраструктуру

Электронный пучок

XCELS

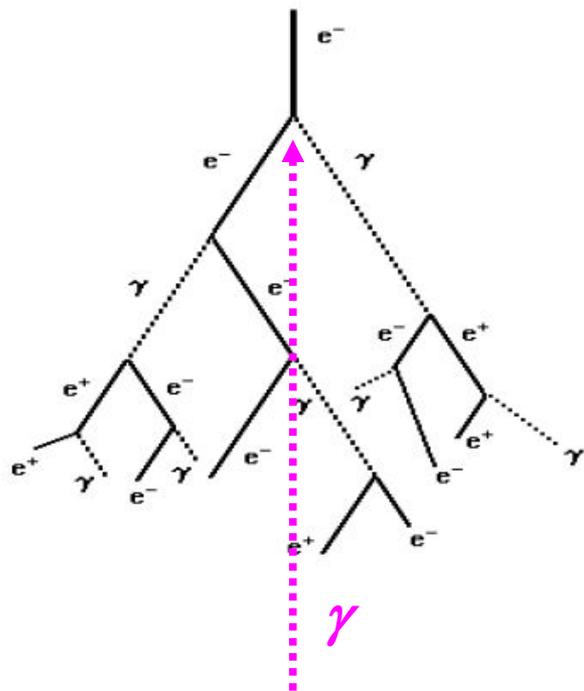


В «стандартной комплектации» ИКИ НЦФМ на прямом электронном канале установлены лазеры «~1 ТВт» и «~1 Дж, ~20 пс» С вводом XCELS становится доступно лазерное излучение «~10 ПВт» и «~100 Дж, ~20 пс»

Фундаментальная электродинамика на ИНОК/XCELS

преобразование
света в материю

ИНОК



XCELS

- Объединение мультипетаваттного промежуточного канала XCELS с высокой частотой повторения и ускорителя электронов позволит создать уникальный нелинейный комптоновский источник.
- Нелинейный режим комптоновского источника можно использовать для проведения фундаментальных экспериментов с рождением электрон-позитронных пар при взаимодействии комптоновских фотонов с лазерным излучением.
- Такие эксперименты тестируют предсказания сильно-полевой КЭД. Отклонения будут означать или предел в понимании КЭД или наличие «новой физики» (одна из возможностей здесь — проявление взаимодействия с темной материей).
- Схожей тематике посвящен большой международный проект LUXE, нацеленный, однако, на другую область параметров.

В перспективе – уникальная научная программа

Ключевые научные возможности ИКИ НЦФМ – 2

Стадия 1

Прикладные исследования с монохромным рентгеном на «малом» накопительном кольце

$E_{\gamma} \sim 10-180$
keV

- Материаловедение
- Неразрушающий контроль
- Биология
- Спецзадачи по программе ИЯРФ ВНИИЭФ
- Прототипирование «малых ИКИ» для образовательного и коммерческого применения

Монохроматизм рентгеновских квантов ИКИ — для ряда задач ключевое преимущество по сравнению с источниками синхротронного излучения.

Крайне важно — «малый» источник ИКИ НЦФМ позволит на раннем этапе начать научную и методическую работу на площадке НЦФМ, развернуть подготовку персонала ИКИ.

Ключевые научные возможности ИКИ НЦФМ – 3

Стадия 2

Исследования на основном
накопительном кольце

$E_{\gamma} \sim 1-70$
MeV

Интенсивности ИКИ НЦФМ для ядерной фотоники — на ~2 порядка лучше чем у мировых аналогов — становятся возможными ранее даже не рассматривавшиеся эксперименты.

- **Монохроматизация γ -квантов** на ИКИ получается естественно и сопровождается комфортными фоновыми условиями.
- **Для ИКИ НЦФМ поставлены рекордные требования** ($\sigma \sim 0.3 \%$) по энергетическому разрешению γ -квантов для задач ядерной фотоники — это обеспечивает новое качество экспериментов.
- **«Энергетика» основного накопительного кольца избыточна** для ядерной фотоники. Однако благодаря этому
 - (i) обеспечивается «комфортная» низкофоновая эксплуатация комплекса и
 - (ii) возникают научные возможности в области **адронной фотоники** — реакции с образованием мезонов и мезонных атомов.

**Программа по адронной фотонике
толком не проработана !!!**

Ключевые научные возможности ИКИ НЦФМ – 4

Стадия 2

Ядерная фотоника – основа научной программы ИКИ НЦФМ

- **Новые данные по структура атомного ядра:**
 - Прецизионные исследования тонкой структуры мультипольных гигантских и пигми-резонансов, **прежде всего дипольных — ГДР и ПДР.**
 - Низкоэнергетические E1 переходы и фазовые переходы в ядрах.
 - Изучение реакций с поляризованными фотонами — **комптоновские фотоны из лазерных источников могут получаться в определенных состояниях поляризации.**
 - Электромагнитные силовые функции малонуклонных систем.
- **Новые, точные, достоверные данные о сечения фотоядерных реакций**
 - Достоверное определение парциальных сечений фотоядерных реакций.
 - Исследования фотоядерных реакций с образованием заряженных частиц, **невозможные сейчас вследствие низкой интенсивности пучков квази-моноэнергетических фотонов и высокого электронного фона в экспериментах с тормозным гамма-излучением.**
- **Новые подходы к физике деления ядер**
 - фотоделение ядер (массовые, зарядовые, энергетические распределения, свойства барьеров деления) остается слабоизученными, **а между тем механизм фотовозбуждения является гораздо более «чистым» чем индуцирование деления нейтронами (эффекты сильного взаимодействия).**

Ключевые научные возможности ИКИ НЦФМ – 5

Стадия 2

Ядерная фотоника – основа научной программы ИКИ НЦФМ

- **Физика изомеров:**
 - Прецизионные данные по изомерным состояниям.
 - Изучение «возможности управления» энерговыделением из изомерных состояний **или надежное доказательство невозможности этого.**
- **Ядерная астрофизика:**
 - Фотоядерные реакции важные для ядерной астрофизики — новые данные «из лаборатории» о реакциях нуклеосинтеза в астрофизических условиях; проблема «обойденных изотопов» в нуклеосинтезе. **Процессы нуклеосинтеза в астрофизике определяются в основном радиационными захватами — а они могут изучаться через обратные процессы фотодиссоциации.**
 - Уравнение состояния ядерного вещества — основа понимания важнейших объектов и событий во вселенной: структуры нейтронных звезд, динамики слияния нейтронных звезд, вспышек сверхновых с коллапсом кора. **Уравнение состояния ЯВ тесно связано со свойствами гигантских резонансов.**
- **Новые подходы к наработке высокочистых медицинских радионуклидов, в реакциях индуцированных фотонами.**

Мотивация к созданию ИКИ НЦФМ

Важнейшими задачами ИКИ НЦФМ являются:

- Формирования фундаментального научного кластера с экспертизой в областях имеющих прямое отношение к области интересов ЯОК.
- Оживление и/или обновление как экспериментальных, так и теоретических ядерно-физических сообществ, подготовка кадров высокой квалификации.
- Создание экспериментальной базы мирового класса для отечественной фундаментальной ядерной физики.

В рамках этого проекта на одной площадке гармонично сочетаются обширные программы как **фундаментальных**, так и **прикладных** ядернофизических исследований.

- Уникальными являются кумулятивные возможности комплекса ИКИ НЦФМ по проведению высокоточных и низкофоновых «ядерно-фотонных» исследований в широчайшем диапазоне от единиц кэВ до единиц ГэВ.
- В перспективе просматривается уникальная научная программа по фундаментальной электродинамике «на стыке» ИНОК / XCELS.

2019 г. академики Рубаков и Шарков
инициируют ряд обзоров по секции
ядерной физики РАН



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

«ДОРОЖНАЯ КАРТА» В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Редактор Л.В. Григоренко

Москва
2021

Состояние дел в ядерной физике низких энергий

Авторский коллектив:

Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флёрва, Объединенный институт ядерных исследований: Л.В. Григоренко, А.С. Деникин, С.Н. Дмитриев, А.В. Карпов, С.А. Крупко, Ю.Ц. Оганесян, С.И. Сидорчук, А.С. Фомичев; Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ: Л.В. Григоренко, С.М. Полозов, С.В. Попруженко; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»: Л.В. Григоренко, А.Л. Барабанов; Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, Объединенный институт ядерных исследований: Н.В. Антоненко, Р.В. Джолос; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» — Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова: А.С. Воробьев, В.Н. Пантелеев, А.П. Серебров; Санкт-Петербургский государственный университет: С.В. Григорьев, С.Ю. Ториллов; Государственный университет «Дубна»: А.С. Деникин; Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета: Д.О. Ерёмченко, Б.С. Ишханов, А.А. Кузнецов; Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики: Н.В. Завьялов, Р.И. Илькаев; Институт ядерных исследований Российской академии наук: Л.В. Кравчук; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» — Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова: Т.В. Кулевой; GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research, Дармштадт, Германия: И.Г. Муха; Федеральный исследовательский центр «Институт прикладной физики Российской академии наук»: В.А. Скалыга; Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук: С.Ю. Таскаев; Объединенный институт ядерных исследований: Б.Ю. Шарков; Лаборатория нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединенный институт ядерных исследований: В.Н. Швецов.

2019 г. академики Рубаков и Шарков
инициируют ряд обзоров по секции
ядерной физики РАН

Состояние дел в ядерной физике низких энергий



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

«ДОРОЖНАЯ КАРТА» В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Редактор Л.В. Григоренко

Москва
2021

Некоторые уважаемые ученые считают что в РФ стратегия развития ядерной физики не нужна. Так как руководители отдельных центров и так хорошо знают как и куда развивать отечественную науку и никаких «дорожных карт» по этому поводу не требуется

Ториллов, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» — Петербургский институт ядерной физики им. П.Л. Капицы: А.С. Воробьев, В.Н. Пантелеев, А.П. Серебров; В.П. Константинова; А.С. Воробьев, В.Н. Пантелеев, А.П. Серебров; Санкт-Петербургский государственный университет: С.В. Григорьев, С.Ю. Ториллов; Государственный университет «Дубна»: А.С. Деникин; Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета: Д.О. Ерёмченко, Б.С. Ишханов, А.А. Кузнецов; Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики: Н.В. Завьялов, Р.И. Ильяев; Институт ядерных исследований Российской академии наук: Л.В. Кравчук; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» — Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова: Т.В. Кулевой; GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research, Дармштадт, Германия: И.Г. Муха; Федеральный исследовательский центр «Институт прикладной физики Российской академии наук»: В.А. Скалыга; Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук: С.Ю. Таскаев; Объединенный институт ядерных исследований: Б.Ю. Шарков; Лаборатория нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединенный институт ядерных исследований: В.Н. Швецов.

Состояние дел в ядерной физике низких энергий

Печальное

Исчерпание к концу 80-х научной повестки со стабильными пучками

Исчерпание ресурса и устаревание советской научной инфраструктуры

Исчерпание советских кадровых запасов

Светлые пятна на темном фоне

ACCU LINNA-2 (ОИЯИ)

Фабрика сверхтяжелых элементов (ОИЯИ)

ИРИНА (ПИЯФ)

Участие в FAIR (Росатом)

Перспективный тяжелоионный комплекс (DERICA?)

Тяжелоионный центр в ВНИИЭФ

Состояние дел в ядерной физике низких энергий

Печальное

Исчерпание к концу 80-х научной повестки со стабильными пучками

Исчерпание ресурса и устаревание советской научной инфраструктуры

Исчерпание советских кадровых запасов

Светлые пятна на темном фоне

АССУЛИННА-2 (ОИЯИ)

Фабрика сверхтяжелых элементов (ОИЯИ)

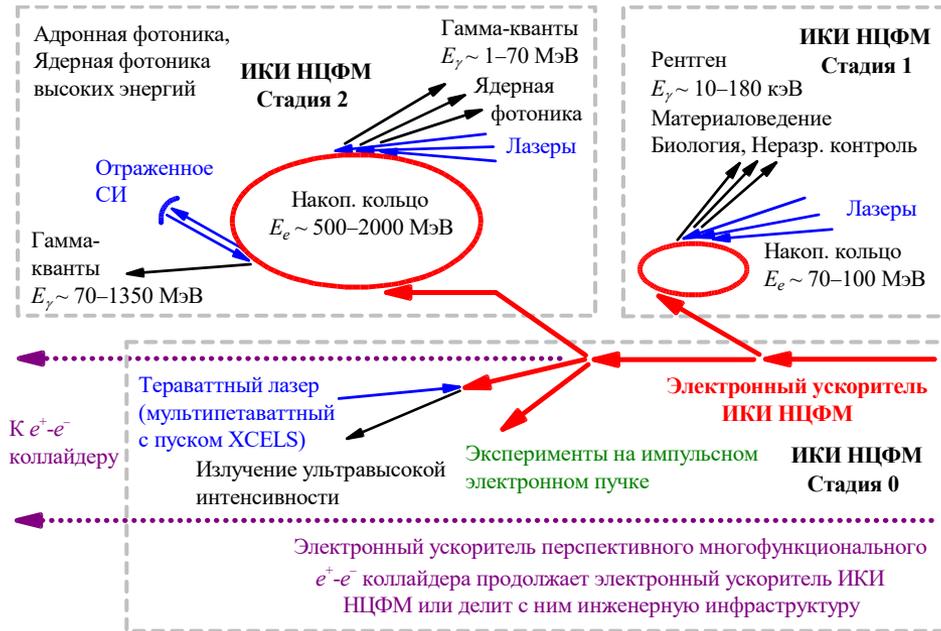
~~ИРИНА (ГНЦЯФ)~~

~~Участие в FAIR (Госатом)~~

~~Перспективный тяжелоионный комплекс (DERICA?)~~

Тяжелоионный центр в ВНИИЭФ

Состояние дел в ядерной физике низких энергий



Перспективный комптоновский комплекс получил мощный импульс к реализации

Необходимость создания перспективного тяжелоионного ускорительно-накопительного комплекса (DERICA?) не теряет актуальности

