

ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ

Уникальной научной установки

«Лазерный тераваттный фемтосекундный комплекс» ОИВТ РАН на 2023-2027 гг.

1 Концепция развития УНУ на 2023-2027 гг.

Концепция развития УНУ состоит в создании научного центра, способного в кооперации с другими научными организациями решать на передовом уровне фундаментальные научные и прикладные проблемы в области изучения экстремальных состояний, возникающих при взаимодействии мощного фемтосекундного лазерного излучения с веществом и разработки современных лазерных технологий, в том числе:

- Экспериментальные исследования свойств неидеальной плазмы твердотельной плотности, образующейся при воздействии мощных фемтосекундных лазерных импульсов (ФЛИ) на металлы. T_e – до 100эВ, P - до 100 Мбар
- Фундаментальные исследования процессов и явлений, происходящих при взаимодействии терагерцового излучения с веществом, разработка новых технологий зондирования и визуализации в ТГц области спектра.
- Экспериментальные исследования экстремальных состояний вещества высокой плотности энергии, неравновесных процессов, фазовых превращений, деформирования и разрушения, наноструктурирования материалов при воздействии ультракоротких лазерных импульсов ближнего и дальнего ИК диапазона (включая терагерцовый) на конденсированные среды.
- Генерация быстрых электронов и рентгеновское излучение, возникающие при образовании лазерной плазмы с помощью воздействия мощных фемтосекундных лазерных импульсов на металлические мишени и кластеры.
- Исследование кинетических, гидродинамических и излучательных характеристик плазмы, возникающей при воздействии высокоинтенсивных фемтосекундных лазерных импульсов на газы, твердые тела и структурированные мишени (в частности, кластеры).
- Разработка новых лазерно-плазменных методов ускорения заряженных частиц до сверхвысоких энергий и источников короткоимпульсного рентгеновского и терагерцового излучения.
- Создание новых методов диагностики сверхсильных плазменных полей, генерируемых в плазме интенсивным лазерным излучением.
- Экспериментальные исследования ускорения ионов в поле фемтосекундных лазерных импульсов мощностью порядка 200 ТВт,

- Динамика электрон-фононной релаксации, частоты столкновений электронов, сверхбыстрые фазовые переходы в металлах и полупроводниках под воздействием ФЛИ.
- Исследование динамики деформации поверхности металлической мишени, гидродинамического расширения поверхностного слоя и движения откольного слоя под действием мощных ФЛИ, исследования высокоскоростной деформации свободной поверхности мишени при выходе ударной волны.

За время функционирования УНУ были получены важнейшие фундаментальные результаты и решены ряд прикладных задач:

- Разработана и создана первая отечественная фемтосекундная тераваттная лазерная система, получен патент на полезную модель.
- Проведена модернизация фемтосекундной хром-форстеритовой лазерной системы, позволяющая получать генерацию импульсов с различной временной формой (получен патент на полезную модель)
- Разработан и освоен метод фемтосекундной Фурье-интерферометрии, предназначенный для диагностики короткоживущих экстремальных состояний.
- Впервые получены экспериментальные данные о свойствах неидеальной плазмы твердотельной плотности, создаваемой на поверхности металлических мишеней в начальной стадии её существования, механизмах генерации быстрых электронов и рентгеновского излучения.
- Получены новые экспериментальные данные о динамике электрон-фононной релаксации, сверхбыстрых фазовых превращений и абляции, происходящих в металлах, полупроводниках, ферромагнетиках и графите, динамике образования и релаксации электрон-дырочной плазмы с высокой плотностью носителей в полупроводниках.
- Разработана и освоена технология резки и профилирования различных материалов.
- Разработан и изготовлен фемтосекундный лазерный «пинцет-скальпель» на базе российских комплектующих изделий.
- Разработан источник импульсного ТГц излучения с возможностью достижения напряженности электрического поля до 100 МВ/см длительностью 1 пс.
- Разработан узкополосный источник ТГц излучения с перестраиваемой центральной частотой.

Уникальная научная установка «ЛТФК» дает возможность комплексного проведения экспериментальных исследований в области физики высоких концентраций энергии, а его уникальность обусловлена тем фактом, что в мире не существуют аналогов. УНУ «ЛТФК» дает возможность комплексного проведения экспериментальных исследований в области физики сверхсильных полей и взаимодействия излучения с веществом. В настоящее время УНУ «ЛТФК»

по уровню оснащенности научным и технологическим оборудованием не уступает ведущим зарубежным и отечественным центрам, а по ряду позиций и превосходит их. В состав УНУ «ЛТФК» ОИВТ РАН в настоящее время входит следующее оборудование:

1. Фемтосекундная хром-форстеритовая лазерная система, не имеющая аналогов в мире, позволяет получить генерацию импульсов с энергией до 80 мДж, длительностью 80 фс, с длиной волны излучения 1240 нм и частотой повторения 10 Гц.

2. Измерительный комплекс для фемтосекундной лазерной системы, в состав которого входят: анализатор спектра, измерители энергии и мощности, измерители длительности импульса и контраста, визуализаторы излучения.

3. Фемтосекундная лазерная система ТФЛК-2. Позволяет получить генерацию импульсов с энергией до 1.5 мДж, длительностью не более 100 фс с длиной волны излучения 1240 нм и частотой повторения импульсов 100 Гц.

4. Генератор импульсов излучения в дальней ИК (терагерцевой) области спектра с рекордными значениями энергии, созданный на базе хром-форстеритовой лазерной системы. (Частота излучения 0.5-4 ТГц, длительность импульса 0.7 -1.5 пс в зависимости от используемого ТГц кристалла, энергия в импульсе до 120 мкДж).

5 Экспериментальный стенд для генерации импульсов терагерцевого излучения с узким спектром и перестраиваемых по частоте параметры (ширина спектра от 30ТГц до 300 ТГц с центральной частотой от 0.5 до 4 ТГц).

6. Экспериментальный стенд для проведения измерений отклика различных сред с фемтосекундным временным разрешением на воздействие терагерцевого излучения. Стенд включает в себя схему pump-probe. В качестве накачки используется импульс ТГц излучения, а в качестве зондирующего – импульс хром-форстеритовой лазерной системы с длиной волны излучения 1240 нм или второй гармоники длительностью не более 100 фс.

7. Экспериментальный стенд на основе фемтосекундной лазерной системы субтераваттного уровня мощности для изучения оптических и теплофизических свойств веществ в экстремальном состоянии с применением методов высокоскоростной интерференционной микроскопии, спектроскопии и электронно-оптической регистрации в пикосекундном диапазоне в видимой и ближней ИК области спектра

8. Экспериментальный стенд для исследования ударно волновых явлений методами лазерной спектральной интерферометрии при повышенных ударных нагрузках (мегабарный диапазон) пикосекундной длительности

9. Методики управления морфологией поверхности с точностью до нескольких атомных слоев фемтосекундными лазерными импульсами для нужд нанoeлектроники.

10. Лазерный фемтосекундный пинцет-скальпель, не имеющий аналогов в мире

11. Экспериментальный стенд для исследований воздействия сверхкоротких импульсов терагерцового излучения на жизнеспособность и развитие клеточных культур.

12. Экспериментальный стенд для исследований воздействия сверхкоротких лазерных импульсов на биологические объекты для разработки основ технологий в регенеративной и репродуктивной медицине.

Концепция развития УНУ ЛТФК также включает:

Научно-методическое и приборное обеспечение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, проводимых организациями Российской Федерации в рамках различных научных программ, а также в соответствии с тематическими планами организаций, финансируемых из федерального бюджета.

Предоставление организациям возможности использования методов научных исследований, разработанных и освоенных на оборудовании УНУ «ЛТФК».

Развитие материально-технической базы УНУ путем дооснащения и модернизации имеющихся специализированных комплексов приобретаемым научным оборудованием и разработка методов выполнения измерений для обеспечения и развития экспериментальных исследований.

Совершенствование организационно-экономических механизмов предоставления услуг в сфере проведения исследований для различных организаций.

Поддержание уровня загрузки научного оборудования УНУ «ЛТФК» путем формирования собственных годовых планов исследований и планов исследований по заявкам заинтересованных организаций;

Поддержка отечественных научных школ, повышение квалификации исследователей и привлечению молодых специалистов;

2 Мероприятия по развитию материально-технической базы УНУ «ЛТФК»

В состав УНУ входит научное оборудование, позволяющее вести исследования по перечисленным выше направлениям. Однако развитие науки и техники ставят перед учеными новые задачи, для решения которых необходимо приобретение ряда новых приборов и оборудования.

Стратегической задачей на ближайшие годы является создание мультитераваттной фемтосекундной лазерной системы мощностью не менее 200 ТВт с контрастом по интенсивности излучения порядка 10^9 . Данная установка необходима для проведения исследований лазерного ускорения ионов, создания источников когерентного гамма излучения, разработки технологий ионной терапии. Подобных лазерных систем в России в настоящее время не имеется.

Планируется приобретение и изготовление также следующего оборудования:

- Лазеров накачки тераваттной фемтосекундной хром-форстерит лазерной системы для увеличения частоты следования импульсов до 1000 Гц, что существенно расширит спектр применений данной установки для исследований с использованием терагерцового излучения.
- Органического кристалла для генерации терагерцового излучения с высокой энергией импульса.
- Диагностическое оборудование для проведения экспериментов с использованием терагерцового излучения.

3 Обеспечение достоверности (единства) измерений

Спецификой исследований, проводимых с использованием оборудования, входящего в состав УНУ «ЛТФК», является проведение измерений во временном диапазоне длительностей $10^{-13} \div 10^{-9}$ с. Обеспечение достоверности (единства) измерений достигается наличием сертифицированного оборудования для регистрации спектральных и энергетических параметров лазерных импульсов, а также применением специальных методик измерений длительности и контраста импульсов лазерного излучения. Ремонт оборудования осуществляется на фирмах-производителях с выдачей сертификационных документов.

4. Мероприятия по совершенствованию имеющихся и развитию новых методов и методик измерений.

Совершенствование существующих методик исследования и отладка новых будет основываться на применении последних достижений современной науки, техники и технологий.

В рамках мероприятий по совершенствованию имеющихся и развитию новых методов и методик измерений планируются следующие работы:

- разработка фемтосекундной интерферометрической методики измерений в ИК диапазоне спектра;
- разработка методик спектральных измерений в рентгеновском диапазоне спектра (энергия квантов 10-100кэВ)
- разработка методов оптической регистрации высокоскоростных деформаций в лазерных ударно-волновых экспериментах с использованием стрик – камеры с пикосекундным временным разрешением;
- разработка новых лазерных методов для проведения медико-биологических исследований, в том числе биопсии эмбрионов, трансфекции и гибридизации клеток с использованием фемтосекундных лазерных импульсов.

5. Мероприятия по расширению и совершенствованию сферы услуг УНУ «ЛТФК»

Проведение исследований в рамках договоров НИОКР.

Проведение совместных исследований, результаты которых будут составлять основу дальнейших совместных проектов, совместных публикаций и докладов на конференциях.

Проведение исследований и разработка новых технологий с помощью фемтосекундных лазерных импульсов.

Разработка, создание и вывод на рынок новых физических методов и приборов, основанных на применении фемтосекундных лазеров.

Проведение метрологических измерений.

Выполнение работ прикладного характера, включая разработку новых технологий.

Использование научно-исследовательской базы УНУ для освоения новых образовательных технологий. Организация консультаций, стажировок, практикумов и семинаров на базе УНУ «ЛТФК».

Развитие межвузовских, в том числе международных связей, взаимодействие с научно-исследовательскими и производственными организациями.

6. Прогноз на ближайшую перспективу потребностей в услугах УНУ «ЛТФК»

За последние годы значительно увеличилась потребность в использовании мощных импульсных источников излучения в ближнем и дальнем ИК диапазонах спектра как со стороны российских научных организаций, так и со стороны зарубежных.

Основная ближайшая перспектива – это расширение применения оборудования, входящего в состав УНУ «ЛТФК», не имеющего аналогов в мире, для генерации мощного короткоимпульсного терагерцового излучения, рекордные параметры которого сегодня достигнуты только в России, в ОИВТ РАН и его применение в различных областях науки. Очень широк круг задач, где терагерцовое излучение с такими параметрами может быть эффективно применено. Это силовое воздействие на различные материалы, дистанционная диагностика, фундаментальные исследования быстропротекающих процессов, происходящих в конденсированных телах, высокотемпературной плазме, в медицине и биологии.

Руководитель УНУ «ЛТФК»

Зав. лаб. 1.2 ОИВТ РАН



Ситников Д.С.