

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ СИ



<u>Тен¹ Константин А.,</u> Титов¹ Владимир М., Прууэл¹ Эдуард Р., Кашкаров¹ Алексей О., Толочко² Борис П.

¹ LIH SB RAS, Novosibirsk, Russia ² ISSCM SB RAS, Novosibirsk, Russia

e-mail kten276@gmail.com

•XIV международная конференция «ЗАБАБАХИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ», 18–22 марта 2019 г. Снежинск, Россия



План доклада.



- 1. Измерение мало-углового рентгеновского рассеяния (МУРР) на ВЭПП-4М.
- 2. Возможности измерения МУРР на синхротроне СКИФ.
- 3. Динамические измерения дифракционных рефлексов в больших углах (WAXS) и возможности на СКИФ.
- 4. Развитие платформ и регистрационной аппаратуры для динамических измерений.



- 1. Проводить измерения проходящего СИ (радиография). По сравнению с протонной
 - (радиография). По сравнению с протоннои радиографией, СИ имеет меньший диапазон измеряемых ro*d, но возможно измерять численное значение плотности (из-за возможности проводить калибровку пучка СИ).
- 2. Принципиальное преимущество СИ Возможность измерять фазовое состояние вещества (спектроскопия, дифракционные рефлексы).
- 3. Мало-угловое рентгеновское рассеяние возможность получить распределение наноструктур (пор) по размерам (от 5 нм до 2 мкм).



Метод мало-углового рентгеновского рассеяния.





В микроскопе рассеянное излучение собирается линзой.

В методе МУРР рассеянное излучение записывается детектором и структура образца восстанавливается математически.



Теория мало-углового рентгеновского рассеяния.



$$E(q) = \frac{i_0}{4\pi} \int n(\vec{r}) \exp(iq\vec{r}) d\vec{r}$$

$$\vec{q} = \vec{k} - \vec{k}_0 = 2kSin\theta = \frac{4\pi Sin\theta}{\lambda}$$

$$E(q, R) = i_0 \cdot n \cdot \frac{1}{q^3} [Sin(qR) - (qR) \cdot Cos(qR)]$$

2 θ -- угол рассеяния,
 $I_0(q, R) \approx (R^3 n)^2 \cdot (\rho - \rho_0)^2 \cdot P(q, R)$

$$P(q,R) = \frac{1}{q^6} [Sin(qR) - (qR) \cdot Cos(qR)]^2 \quad \Phi \text{орм-фактор}$$

Элементы станции на ВЭПП-4М.





Взрывная камера на канале № 8 в бункере ВЭПП-4.

Расположения экспериментальной сборки относительно детектора.

•XIV международная конференция «ЗАБАБАХИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ», 18–22 марта 2019 г. Снежинск, Россия

Измерение МУРР при детонации ВВ.



Размер пучка на ВЭПП-4 ~ 1 mm

 $2\theta_{\min} = 0,10mrad$ $2\theta_{\max} = 3,00mrad$

Dmin = π /q max = λ /(4 θ max) \approx 4,0 nm,

Dmax = π/q min = $\lambda/(4\theta$ min) = ~ 150 nm.

Желтая стрелка – падающий пучок СИ, фиолетовый конус – рентгеновское рассеяние (МУРР) на углеродных наночастицах.



Измерение МУРР при детонации ВВ.





Угловое распределение МУРР (кадры) в зависимости от времени для ТГ50/50 (слева) и ТАТБ (справа). Разными цветами обозначены кадры, снятые через 0.5 мкс. Угол рассеяния 20 приведен в каналах детектора DIMEX. 1 канал = 0,1 мрад.

Определение динамики размеров наночастиц.





Рост размеров наночастиц при детонации БТФ, ТНТ, ТГ и ТАТБ от времени. Размеры частиц приведены в логарифмическом масштабе.

Относительное распределенние конденсированных наночастиц по размерам за фронтом детонации в БТФ

Измерение МУРР при детонации ВВ.



Динамика средних размеров наночастиц конденсированного углерода при детонации ТНТ диаметром 20, 30 и 40 мм. Динамика средних размеров наночастиц конденсированного углерода при детонации БТФ диаметром 20 и 40 мм.



Что хотелось бы измерить?



1. Расширить диапазон измерений размеров наночастиц.

- Для частиц менее 4 нм недостаточно интенсивности
- Для частиц более 150 нм нужен меньший размер пучка СИ
- 2. Надо иметь распределение частиц по размерам
- недостаточно интенсивности.
- 3. Для измерений в зоне химической реакции надо иметь временное разрешение ~ 10 нс.
- Сейчас на ВЭПП-3 временное разрешение 125 нс

Вывод.

Нужен более мощный источник СИ с меньшими размерами пучка и с лучшим временным разрешением.



Сейчас в Новосибирске реализуется проект



Сибирский Кольцевой Источник Фотонов

•XIV международная конференция «ЗАБАБАХИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ», 18–22 марта 2019 г. Снежинск, Россия

Цель проекта:



Реализация пилотного проекта ЦКП «СКИФ» с целью создания отечественной сетевой инфраструктуры синхротронных и нейтронных исследований нового поколения:

- головной объект в НИЦ «Курчатовский институт» (Протвино, МО),
- пилотный объект в СО РАН (р.п. Кольцово, НСО),
- специализированный объект в ДФО (о. Русский, Владивосток).

Задачи проекта:

1. Формирование конкурентной инфраструктуры и среды, соответствующей современным стандартам научных исследований

2. Формирование системы подготовки и профессионального роста научных кадров, обеспечивающей условия для создания научных лабораторий и конкурентоспособных коллективов

3. Увеличение количества исследований мирового уровня по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации

4. Развитие технологий и увеличение доли конкурентоспособной продукции отечественного наукоемкого бизнеса и промышленности на мировом рынке

Источники СИ



Параметры источника:



Рабочая энергия, ГэВ	3
Периметр, м / полный период, нс	480/1600
Эмиттанс, пм*рад (с учётом специальных	186 (61)
решений)	
Полный ток, мА	400
Частота резонатора, МГц	350
Количество суперпериодов / прямолинейных	
участков для устройств генерации СИ	16 / 14
Экспериментальных станций 1-й очереди	6
Полное количество экспериментальных станций	
(вигглеры, ондуляторы, шифтеры, поворотные магниты)	30
Персонал, чел	300 (100 – н.с.)
Количество пользователей (ежегодно), чел	до 10 000
Количество студентов / аспирантов, в год	до 500 / до 250
Количество организаций-пользователей после	
выхода на проектную мощность, в год	более 200

План первого этажа





Расположение СКИФа.





•ХІV международная конференция «ЗАБАБАХИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ», 18–22 марта 2019 г. Снежинск, Россия



18 http://catalysis.ru

Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

Секция динамических процессов

Поведение материалов и элементов конструкций при ударном воздействии Свойства энергетических материалов, структура ударного и детонационного фронта, уравнение состояния, фазовые переходы при сжатии, химические реакции, динамическое формирование наноструктур, скоростное деформирование и разрушение материалов.

Свойства энергетических материалов

Исследование динамических характеристик (горение, детонация, инициирование) промышленно используемых и разрабатываемых новых энергетических материалов.









19 http://catalysis.ru

Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

Секция "Плазма"

Исследование воздействия высокой температуры и плазмы на материалы в условиях термоядерного реактора. Поведение структуры материала под воздействием тепловой нагрузки, деформации материала при интенсивных градиентах температур, влияние плазмы на материал.

Исследование воздействия импульсного лазерного излучения (терраваты) на вещество. Генерация сверхсильных (сотни ГПа) ударных волн. Уравнение состояния в этих условиях.



Секция экстремально высоких температур

Исследование синтеза высокотемпературных материалов

- Проведение исследований в ходе синтеза высокотемпературных материалов (оксидов, боридов и карбидов) в процессе электроно-лучевой и лазерной обработки.
- Получение высокотемпературных композиционных материалов для деталей гиперзвуковых и космических летательных аппаратов и нужд ядерной энергетики.
- Материаловедческие задачи (отжиг, рекристаллизация, текстурирование) при высоких температурах.







Требования к пучку СИ на секциях станции

Время между банчами	Распределение по периметру	Ток в банче (не менее), мА	Полный ток в накопителе
2.86 нс	Равномерное заполнение	0.71	0.4 А (560 банчей) T=1600 нс Основной режим работы ускорителя
11.44 нс	Поезд (train)	8	0.4 А (≈50 банчей)
22.88 нс	Поезд (train)	8	0.4 А (≈50 банчей)
50 нс	Равномерное заполнение	12	0.4 А (32 банча)
133 нс	Равномерное заполнение	25	0.4 А (12 банчей)

Методики станции нацелены на исследования, требующие высокого временного разрешения (до одного банча).

Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

Проектный офис ЦКП

http://catalysis.ru

Спектры нового источника СИ.



Спектр источников СИ. Планируемый размер пучка по X – 60 мкм, по У – 6 мкм.







Секция динамических процессов

Что позволит СКИФ в плане измерения МУРР.

- Исследования структуры фронта ударной волны (в том числе детонационной) в новых материалах (в том числе в ВВ) с высоким временным (~ 1 пс) и пространственным (~ 20 мкм) разрешением.
- 2. Позволит измерять размеры частиц от 2 нм до 4 мкм (размер пучка менее 10 мкм)
- Позволит получить распределение частиц по размерам (увеличение интенсивности на три порядка).



Time-Resolved X-ray Diffraction Текущее состояние станции Плазма.









Постановка экспериментов

Time-Resolved X-ray Diffraction (t ≈ 10 микросекунд)





Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

Наблюдение поведения трещины при импульсном нагреве





Треснувший образец

Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

Проектный офис ЦКП

http://catalysis.ru



Основные методики.

Платформы для получения ударных волн.

- Пневмопушка (скорость ударника до 500 м/с) – до 1 Гпа
- **2. 2-х каскадная пушка** (скорость ударника до 4-5 км/с) до 50 ГПа
- **3.** Взрывные камеры на 50 г. и на 2 кг ВВ. до 200 ГПа
- **4. Мощный лазер** для получения ударных волн (100 пс, 100 Дж) – свыше 300 ГПа







Основные методики.

Регистрирующая аппаратура.

- 1. Детектор DIMEX (кремниевый, высокая чувствительность).
- 2. Электронно-оптические камеры (ЭОК) Nanogate-12, (фазово-контрастное рентгеновское изображение (PCI))
- 3. Лазерная интерферометрия (PDV)
- 4. Стрейк камеры с пикосекундным разрешением.
- 5. Контактные датчики (измерение, синхронизация)



Получение сильных ударных волн с помощью лазерного импульса.





1 – лазерный луч, 2 – движение облака, 3 – мишень, 4 - зона поглощения , 5 – ударно-сжатое вещество

Принцип работы стрейк камеры.

C4575-03

Enables ultrafast measurements of X-rays in the range of 10 eV - 10 keV with 0.5 ps or less temporal resolution and high spatial resolution



Operating principle of streak camera



В настоящее время В ИЯФе работает streak camera в видимом диапазоне с разверткой 1 пс. Для использования в рентгеновском диапаоне необходимо использование преобразователя (золотой фольги).



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для дальнейшего развития работ по исследованию быстропротекающих процессов необходима новая экспериментальная станция на новом источнике СИ.

На новой станции (СКИФ) возможно получение данных мирового уровня, что позволит продвинуться вперед как в фундаментальных, так и в прикладных исследованиях. Авторы доклада надеются на широкую кооперацию с заинтересованными организациями в постановке совместных экспериментов.



Thank you for your attention!

Благодарю

за внимание!

Партнеры и заинтересованные организации:



Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН



Основные методики.

Новое оборудование.

- Новую взрывную камеру с окном на 40 мм.
- Газовую пушку (калибр 20 мм)
- Фотокамеры Наногейт







Благодарю за внимание!

Моделирование МУРР СИ на ВЭПП-4.





Распределения МУРР от шариков диаметром от 2 до 100 нм из вигглера на ВЭПП-4 с учетом спектра поглощения детектора DIMEX. Сравнение МУРР от шариков диаметром 4 и 40 ннм из вигглера на ВЭПП-4 и от монохроматического излучения с энергией 40 кэВ.

Детекторы DIMEX для исследования взрывных процессов.





Сверху-DIMEX-1, снизу- DIMEX-3, Справа- спектральная характеристика DIMEX-1



- 18 ноября 1999 год первый взрывной эксперимент.
- 29 ноября 2002 года первый прототип детектора DIMEX
- 18 апреля 2004 года рентгеновский детектор DIMEX-1
- 25 июня 2010 года рентгеновский детектор DIMEX-3
- 12 июня 2013 года тест микрочипа, собственной разработки
- 18 июля 2015 года изготовление 45 микрочипов