

6. Аронов М.И. // Приборы и техника эксперимента. 1959. №1. С.153.  
 7. Долгобородов А.Ю., Махов М.Н., Стрелецкий А.Н. и др. // Хим. физика. 2004. Т.23, С.85.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ МАЛОУГЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Тен К.А.<sup>1\*</sup>, Титов В.М.<sup>1</sup>, Толочко Б.П.<sup>2</sup>, Зубков П.И.<sup>1</sup>, Лукьянчиков Л.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИГиЛ СО РАН, <sup>2</sup>ИХТТМ СО РАН, Новосибирск

\*ten@hydro.nsc.ru

Синхротронное излучение отличается от других источников рентгеновского излучения большей мощностью излучения (~  $10^{16}$  фот/сек). При исследовании высокоскоростных процессов желательно использовать как можно более малую экспозицию (~ 1 нс). Поэтому общий поток рассеянного излучения составляет ~  $10^{5-6}$  фот/имп. Такой поток излучения достаточен для регистрации интегрального рассеянного излучения, но мал для регистрации углового распределения, когда размер приемного канала детектора составляет ~0,1 мм [1, 2].

В работе рассмотрен способ измерения сигналов малоуглового рентгеновского излучения (МУРР) с привязкой первого кадра к положению фронта детонации с точностью до 4 нс. Метод позволяет объединять данные МУРР нескольких экспериментов, что значительно увеличило соотношение сигнал/шум и улучшило временное разрешение с 500 до 100 нс. Измерение сигналов МУРР проводилось газоым детектором DIMEX [3]. Акцент ставился на исследование зарядов с максимально возможным начальным диаметром (~20 мм).

Схема постановки экспериментов описана в [4]. В качестве заряда ВВ использовался сплав тротил/гексоген 50/50 диаметром 7, 12,5 и 19,5 мм. Длина зарядов была равна 73 – 85 мм. Их инициирование проводилось с помощью генератора плоской волны (содержащего всего 5 грамм ВВ). Запуск детектора осуществлялся замыканием контактного датчика, установленного на торце заряда. Контактный датчик представляет собой две полоски медной фольги толщиной 50 мкм, расположенные параллельно на расстоянии 1 мм друг от друга. При замыкании контактного датчика детонационной волной время нарастания сигнала составляет ~ 15 нс. Для синхронизации работы детектора (временного положения первого кадра) с положением фронта детонации контактные датчики располагались на строго фиксированном расстоянии от плоскости пучка СИ (10 мм ± 10 мкм). Перемещение заряда по вертикали внутри взрывной камеры производилось дистанционно с помощью специально изготовленного механизма. Точность перемещения определялась поворотом рычага (поворот на 360° дает перемещение на 100 мкм). На осциллографе Tektronix 3020 фиксировались замыкание датчика, фаза ускорителя ВЭПП-3 и запуск детектора.

Динамика изменения МУРР за детонационным фронтом приведена в [4]. После прохождения фронта детонации наблюдается рост интегральной интенсивности, а также изменение наклона кривых МУРР. Изменение наклона свидетельствует об изменении размера частиц, образовавшихся за фронтом детонации.

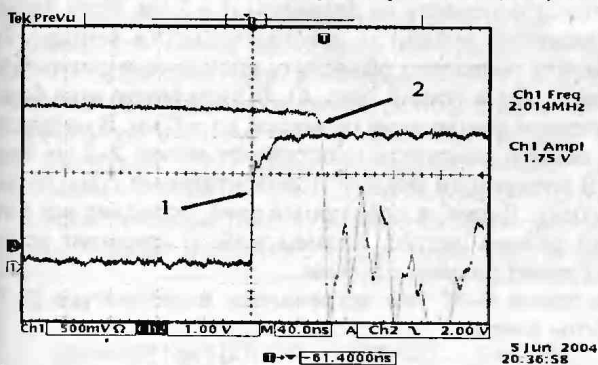


Рис. 1. Осциллограмма записи фазы ускорителя ВЭПП-3 (момент 1 – выход пучка СИ) и сигнала с контактного датчика на торце заряда (момент 2 – замыкание контактов).  
 1 – выход пучка СИ (фаза ВЭППа), 2 – контактный датчик.

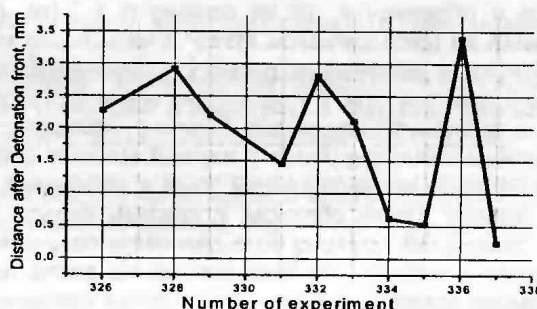


Рис. 2. Положение первого кадра (момента времени – 0) от фронта детонации в экспериментах № 326 – №337.

На рис. 1 приведена осциллограмма записи фазы ускорителя ВЭПП-3 (момент 1 – выход пучка СИ) и сигнала с контактного датчика на торце заряда (момент 2 – замыкание контактов). Время пересечения порога запуска (0–вольт) устанавливается с точностью 4 нс. Запуск детектора происходит в на отрицательном склоне фазы ускорителя (через 250 нс от момента 1). Таким образом, для данного эксперимента время между замыканием датчика и запуском детектора составляет  $250 - 62 = 188$  нс. Учитывая, что детонационная волна проходит 10 мм за время 1,31 мкс для каждого эксперимента было вычислено время от фронта детонации до первого кадра. Результаты приведены на рис. 2. Видно, что можно усреднять эксперименты №326, №329, №333, №328, №332, №334 и №335. Эти эксперименты увеличивают временное разрешение с 500 до ~100 нс.

Полученные данные МУРР для зарядов диаметром 7 и 19 мм были обработаны по методике, разработанной нами для восстановления среднего размера рассеивающих частиц [4, 5]. Результаты (рис. 3) показывают, что конечный средний размер наночастиц составляет 5–6 нм, но время, за которое они его достигают для 7 мм зарядов составляет ~ 0,5 мкс, а для 19 мм оно увеличивается до ~ 2,5 мкс.

Результаты ранних наших экспериментов [1, 2] показывали, что рост сигнала МУРР продолжался ~ 2 мкс. Столь большое время нарастания МУРР не стыковалось с моделью, где формирование ультрадисперсных алмазов (УДА) заканчивалось в зоне химической реакции за время ~100 нс. В работе [1, 2, 6] замедление роста сигнала МУРР объясняется изменением «контрастности» наночастиц в среде с уменьшающейся плотностью. Приведенные численные расчеты для диаметра заряда 10 мм сравнивались с экспериментом и показали примерное совпадение. В случае более крупных зарядов (диаметром 19 мм) одним изменением «контрастности» наночастиц объяснить поведение кривой МУРР не удастся (МУРР растет сильнее). Тем более с моделью «мгновенного» роста не согласуются данные на рис. 3. По ним средний размер наночастиц растет ~ 2 мкс. Объяснить превышение измеренного МУРР над расчетным (по «контрастности») можно, если предположить, что наноалмазы продолжают расти в волне разгрузки, которая следует за

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ МАЛОУГЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Тен К.А.<sup>1\*</sup>, Титов В.М.<sup>1</sup>, Толочко Б.П.<sup>2</sup>, Зубков П.И.<sup>1</sup>, Лукьянчикова Л.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИГиЛ СО РАН, <sup>2</sup>ИХТТМ СО РАН, Новосибирск

\*ten@hydro.nsc.ru

Синхротронное излучение отличается от других источников рентгеновского излучения большей мощностью излучения (~  $10^{16}$  фот/сек). При исследовании высокоскоростных процессов желательно использовать как можно более малую экспозицию (~ 1 нс). Поэтому общий поток рассеянного излучения составляет ~  $10^{5-6}$  фот/имп. Такой поток излучения достаточно для регистрации интегрального рассеянного излучения, но мал для регистрации углового распределения, когда размер приемного канала детектора составляет ~ 0,1 мм [1, 2].

В работе рассмотрен способ измерения сигналов малоуглового рентгеновского излучения (МУРР) с привязкой первого кадра к положению фронта детонации с точностью до 4 нс. Метод позволяет объединять данные МУРР нескольких экспериментов, что значительно увеличило соотношение сигнал/шум и улучшило временное разрешение с 500 до 100 нс. Измерение сигналов МУРР проводилось газовым детектором DIMEX (3). Акцент ставился на исследование зарядов с максимально возможным начальным диаметром (~20 мм).

Схема постановки экспериментов описана в [4]. В качестве заряда ВВ использовался сплав тротил/гексоген 50/50 диаметром 7, 12,5 и 19,5 мм. Длина зарядов была равна 73 – 85 мм. Их инициирование проводилось с помощью генератора плоской волны (содержащего всего 5 грамм ВВ). Запуск детектора осуществлялся замыканием контактного датчика, установленного на торце заряда. Контактный датчик представляет собой две полоски медной фольги толщиной 50 мкм, расположенные параллельно на расстоянии 1 мм друг от друга. При замыкании контактного датчика детонационной волной время нарастания сигнала составляет ~ 15 нс. Для синхронизации работы детектора (временного положения первого кадра) с положением фронта детонации контактные датчики располагались на строго фиксированном расстоянии от плоскости пучка СИ ( $10 \text{ мм} \pm 10 \text{ мкм}$ ). Перемещение заряда по вертикали внутри взрывной камеры производилось дистанционно с помощью специально изготовленного механизма. Точность перемещения определялась поворотом рычага (поворот на  $360^\circ$  дает перемещение на 100 мкм). На осциллографе Tektronix 3020 фиксировались замыкание датчика, фаза ускорителя ВЭПП-3 и запуск детектора.

Динамика изменения МУРР за детонационным фронтом приведена в [4]. После прохождения фронта детонации наблюдается рост интегральной интенсивности, а также изменение наклона кривых МУРР. Изменение наклона свидетельствует об изменении размера частиц, образовавшихся за фронтом детонации.

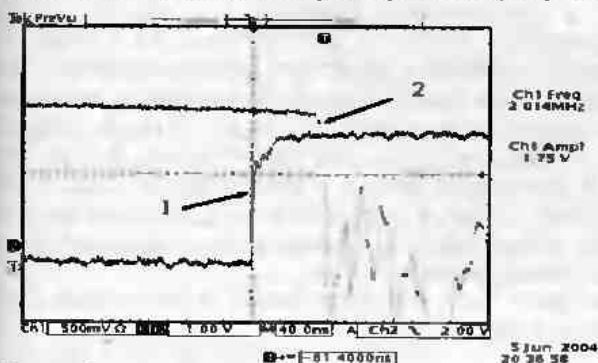


Рис. 1. Осциллограмма записи фазы ускорителя ВЭПП-3 (момент 1 – выход пучка СИ) и сигнала с контактного датчика на торце заряда (момент 2 – замыкание контактов).

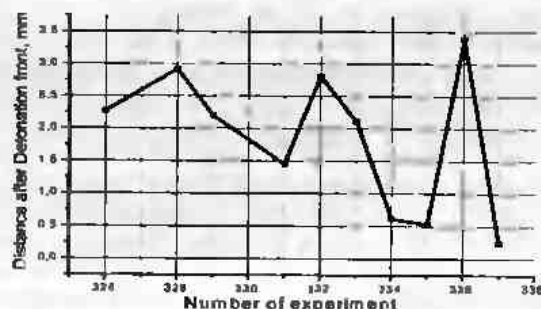


Рис. 2. Положение первого кадра (момент времени – 0) от фронта детонации в экспериментах № 326 – №337.

На рис. 1 приведена осциллограмма записи фазы ускорителя ВЭПП-3 (момент 1 – выход пучка СИ) и сигнала с контактного датчика на торце заряда (момент 2 – замыкание контактов). Время пересечения порога запуска (0-вольт) устанавливается с точностью 4 нс. Запуск детектора происходит на отрицательном склоне фазы ускорителя (через 250 нс от момента 1). Таким образом, для данного эксперимента время между замыканием датчика и запуском детектора составляет  $250 - 62 = 188$  нс. Учитывая, что детонационная волна проходит 10 мм за время 1,31 мкс для каждого эксперимента было вычислено время от фронта детонации до первого кадра. Результаты приведены на рис. 2. Видно, что можно усреднять эксперименты №326, №329, №333, №328, №332, №334 и №335. Эти эксперименты увеличивают временное разрешение с 500 до ~100 нс.

Полученные данные МУРР для зарядов диаметром 7 и 19 мм были обработаны по методике, разработанной нами для восстановления среднего размера рассеивающих частиц [4, 5]. Результаты (рис. 3) показывают, что конечный средний размер наночастиц составляет 5–6 нм, но время, за которое они его достигают для 7 мм зарядов составляет ~ 0,5 мкс, а для 19 мм оно увеличивается до ~ 2,5 мкс.

Результаты ранних наших экспериментов [1, 2] показывали, что рост сигнала МУРР продолжался ~ 2 мкс. Столь большое время нарастания МУРР не стыковалось с моделью, где формирование ультрадисперсных вкраплений (УДА) происходило в зоне химической реакции за время ~100 нс. В работе [1, 2, 6] замедление роста сигнала МУРР объясняется изменением «контрастности» наночастиц в среде с уменьшающейся плотностью. Приведенные численные расчеты для диаметра заряда 10 мм сравнивались с экспериментом и показали примерное совпадение. В случае более крупных зарядов (диаметром 19 мм) одним изменением «контрастности» наночастиц объяснить поведение кривой МУРР не удается (МУРР растет сильнее). Тем более с моделью «мгновенного» роста не согласуются данные на рис. 3. По ним средний размер наночастиц растет ~ 2 мкс. Объяснить превышение измеренного МУРР над расчетным (по «контрастности») можно, если предположить, что нанодиазиды продолжают расти в волне разгрузки, которая следует за

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ТЕПЛОФИЗИКЕ  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ФИЗИКЕ ПЛАЗМЫ  
ИНСТИТУТ ТЕПЛОФИЗИКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
НИИ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ КБНЦ РАН

---

# **ФИЗИКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА – 2005**

## Физика экстремальных состояний вещества – 2005

*Под редакцией Фортова В.Е., Ефремова В.П., Хищенко К.В., Султанова В.Г.,  
Темрокова А.И., Карамурзова Б.С., Канеля Г.И., Минцева В.Б., Савинцева А.П.*

Сборник включает в себя работы по исследованиям в области физики высоких плотностей энергии и теплофизики экстремальных состояний. Рассматриваются эффекты взаимодействия мощных ионных и электронных пучков, интенсивного лазерного, рентгеновского и СВЧ излучения с веществом, явление электрического взрыва проводников под действием мощных импульсов тока, различные способы генерации интенсивных импульсных потоков энергии, экспериментальные методы диагностики быстропротекающих процессов, некоторые задачи физики ударных и детонационных волн, модели и теоретические расчеты уравнений состояния веществ при высоких концентрациях энергии, физика низкотемпературной плазмы, а также разные физико-энергетические проблемы и технологии. Основная часть работ была представлена на XX Международной конференции «Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество» (Эльбрус, 1–6 марта 2005 г.). Издание адресовано специалистам в области физико-технических проблем энергетики.

### **ИЗ ИСТОРИИ КОНФЕРЕНЦИЙ «УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА» И «ВОЗДЕЙСТВИЕ ИНТЕНСИВНЫХ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ НА ВЕЩЕСТВО»**

Первое Всесоюзное совещание по уравнениям состояния вещества в экстремальных условиях состоялось в октябре 1978 г. в Баксанском ущелье Кавказа вблизи высочайшей европейской горы Эльбрус в гостинице «Чегет». Инициатором проведения этой научно-координационной встречи стал Киржниц Д.А., крупнейший специалист физики экстремальных состояний, ядерной физики, астрофизики и космологии. В работе первого совещания приняли участие выдающиеся советские ученые — герои Социалистического Труда Альтшулер Л.В., Бабаев Ю.Н. и Романов Ю.А., молодой доктор наук (будущий академик) Фортон В.Е.

В дальнейшем совещания по этой теме проводились на Эльбрусе каждый четный год, ответственным за организацию мероприятия стал Фортон В.Е.

После IX конференции «Уравнения состояния» (март 1994 г.) научные совещания по физике экстремальных состояний вещества обрели статус международных и стали проводиться на Эльбрусе ежегодно: тема заседаний каждого нечетного года, начиная с X Международной конференции (март 1995 г.), — «Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество», — тем самым была продолжена традиция Всесоюзных совещаний по данной тематике, проводившихся ранее в «Чегете», на Медео и Чимбулаке под Алма-Атой, во Владивостоке и в Черноголовке.

Важно, что регулярность проведения конференций по физике экстремальных состояний на Эльбрусе ни разу не была нарушена, даже в трудные для российской науки первые годы после распада Советского Союза. В этом заслуга сопредседателей — академика Фортон В.Е., Темрокова А.И. и Карамурзова Б.С., а также организаций-спонсоров — Российского фонда фундаментальных исследований (Москва), Института теплофизики экстремальных состояний Объединенного института высоких температур РАН (Москва), Института проблем химической физики РАН (Черноголовка), Кабардино-Балкарского государственного университета (Нальчик) и Научно-исследовательского института прикладной математики и автоматизации Кабардино-Балкарского научного центра РАН (Нальчик).

Конференции «Уравнения состояния вещества» и «Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество» пользуются успехом среди широкого круга специалистов современной физики экстремальных состояний не только из-за актуальности тематики, но и благодаря уникальному регламенту работы заседаний, сочетающихся с экстремальными видами активного отдыха (горный туризм, альпинизм, горные лыжи). Традицией оргкомитета стало оказание финансовой поддержки участия в конференции молодых ученых, аспирантов и студентов.