

Конденсация углерода при детонации зарядов ТГ разного диаметра

И.А. Рубцов^{1,4}, К.А. Тен^{1,4}, Э.Р. Прууэл^{1,4}, А.О. Кашкаров^{1,4},
С.И. Кременко^{1,4}, Б.П. Толочко^{2,4}, В.В. Жуланов^{3,4}, Л.И. Шехтман^{3,4}

¹Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

³Институт ядерной физики СО РАН

⁴Новосибирский государственный университет

22 Марта 2017

Проблема

Получение экспериментальной информации о динамике конденсации углеродных наночастиц при детонации взрывчатых веществ с отрицательным кислородным балансом.

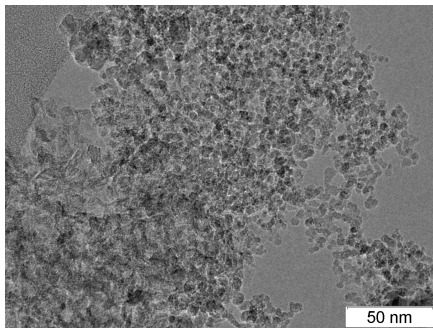
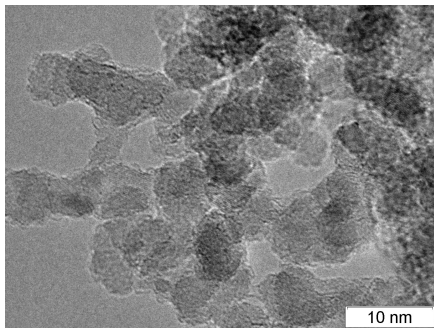
Методы

Динамическая регистрация мало-углового рентгеновского рассеяния (МУРР) синхротронного излучения ускорительного комплекса ВЭПП-4М. Применение высоко-периодических вспышек синхротронного излучения (СИ) от ускорительного комплекса ВЭПП-4М для измерения МУРР с экспозицией 0.1 нс позволяет проследить динамику сигнала при детонации взрывчатых веществ.

Образцы

Исследовались литые цилиндрические заряды ТГ (50/50) диаметром 20, 30 и 40 мм.

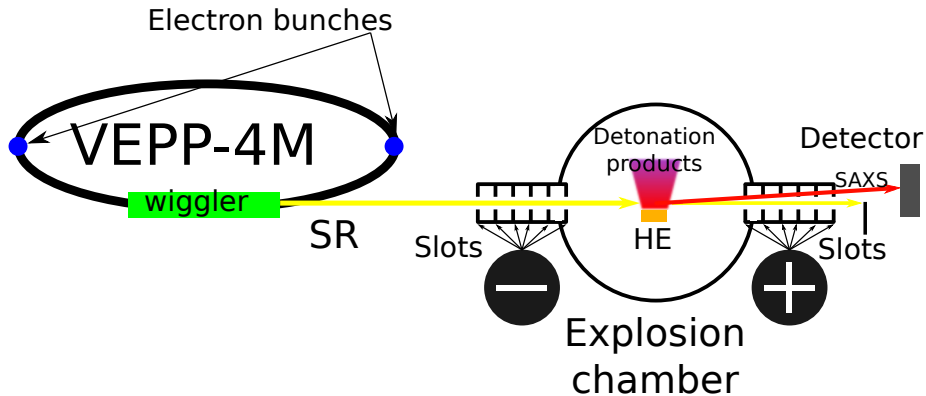
Углеродистый остаток (сажа) при детонации ТГ



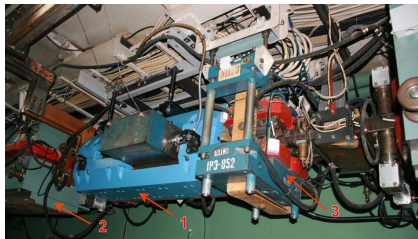
Детонационный углерод – фотоальбом:
<http://ancient.hydro.nsc.ru/srexpl/detcarbon/>



Схема экспериментов

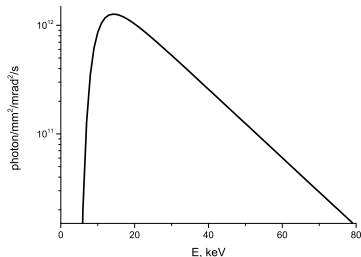


Излучение вигглера на ВЭПП-4М



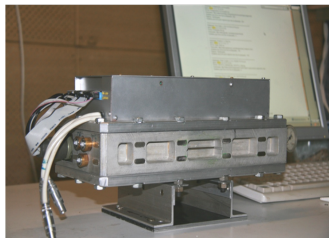
Вигглер (1) расположенный между поворотными магнитами (2); дополнительная катушка (3).

$B=1.2$ Тл

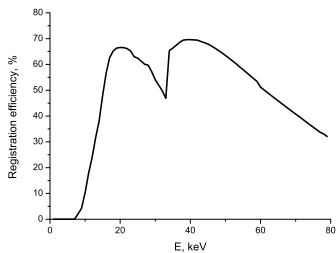


Спектр СИ 7-ми полюсного вигглера на ВЭПП-4М

DIMEX – детектор для изучения детонационных процессов

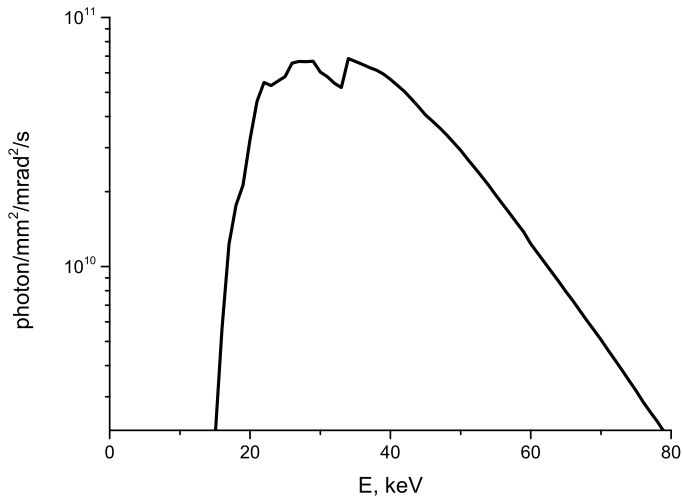


Детектор DIMEX-3



Эффективность регистрации
детектором фотонов различной
энергии

Реальный спектр излучения на станции SYRAFEEMA



Теория МУРР

МУРР от сферических частиц:

$$I = I_0 \cdot \left[\frac{\sin(qR) - (qR) \cos(qR)}{(qR)^3} \right]^2$$

$$\vec{q} = \vec{k} - \vec{k}_0, \quad q = 2k \sin(\theta) = \frac{4\pi \sin(\theta)}{\lambda}$$

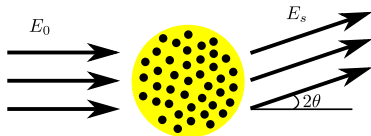
где

R – радиус сферической частицы,

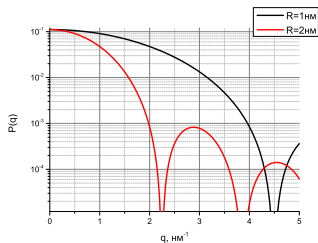
\vec{q} – вектор рассеяния,

2θ – угол рассеяния,

\vec{k} – волновой вектор.

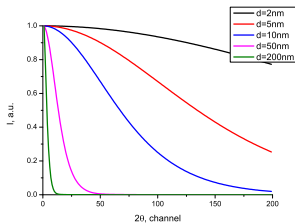


Рассеяние монохроматического излучения на однородной сферической частице

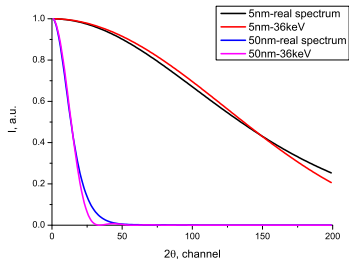


Форм-фактор рассеяния на сферической частицы диаметром 1 и 2 нм.

Рассчитанный сигнал МУРР



МУРР для сферических частиц различных размеров с учетом реального спектра



МУРР с учетом спектра и эффективной энергии

Приближение Гинье

В приближении Гинье

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{(qR)^2}{5}\right)$$

Взяв логарифм интенсивности

$$\ln(I(q, R)) = \ln(I_0) - q^2 R^2 / 5$$

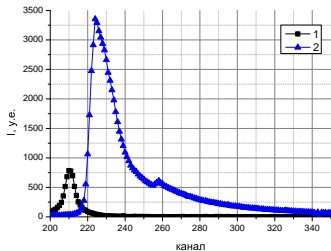
получим функцию линейно спадающую от q^2 . Можно восстановить размер сферических частиц используя наклон к этой прямой.

$$D = 2R = 2\sqrt{5|k|}$$

Экспериментальная сборка



Настройка



- 1 – ослабленный прямой пучок,
- 2 – рассеяние на частицах ультрадисперсного алмаза (УДА).

Разрешение методики восстановления распределения частиц по размерам по сигналу МУРР зависит от длины волны рассеивающего излучения и диапазона углов рассеяния $q_{\min} \leq q \leq q_{\max}$:

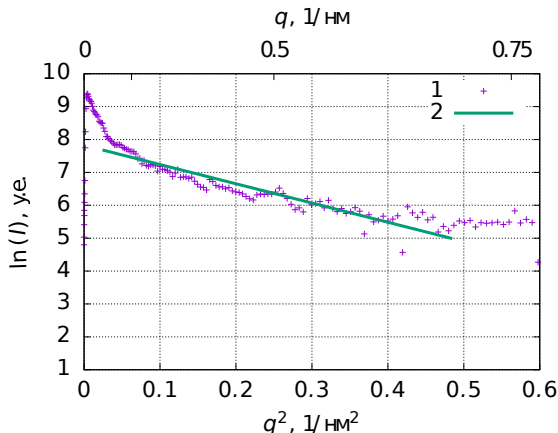
$$d_{\min} = \pi/q_{\max} = \lambda/4 \sin(\theta_{\max}) \approx 2 \text{ нм},$$
$$d_{\max} = \pi/q_{\min} = \lambda/4 \sin(\theta_{\min}) \approx 100 \text{ нм}.$$

$$0.06 \text{ мрад} \leq 2\theta \leq 5.8 \text{ мрад}$$

Расстояние от центра заряда до детектора
 $L=3432 \text{ мм}$

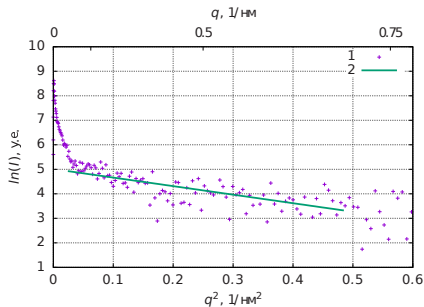
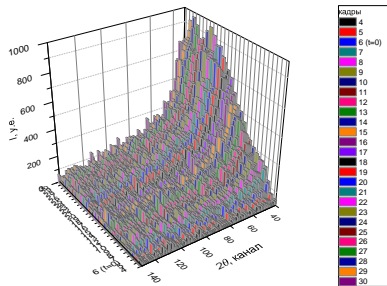
1 канал детектора (0.1 мм) = 0.02914 мрад

Обработка статических экспериментов в приближении Гинье



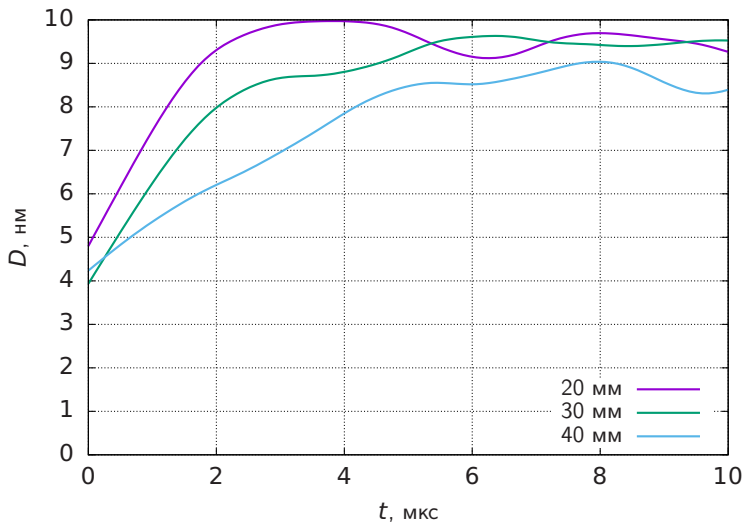
Зависимость $\ln(I)$ от q^2 : 1 – $\ln(I)$, 2 – аппроксимация прямой линией для УДА ($k \approx -5.3$, $D \approx 10 \text{ nm}$)

МУРР при детонации ТГ



Левый: МУРР при детонации ТГ диаметром 40 мм.

Правый: 1 – МУРР при детонации ТГ через $5 \mu\text{s}$ за фронтом,
2 – приближение Гинье.



Средний размер углеродных частиц от времени при детонации цилиндрических зарядов ТГ диаметром 20, 30 и 40 мм.

Основные результаты

- Проведены эксперименты и измерена динамика распределений интенсивности МУРР при детонации зарядов ТГ разного диаметра;
- По измеренному МУРР восстановлена динамика роста наночастиц углерода при детонации зарядов ТГ разного диаметра;
- Для зарядов разного диаметра наблюдается разная кинетика конденсации углерода (время роста наночастиц увеличивается с ростом диаметра заряда);

Спасибо за внимание

<http://ancient.hydro.nsc.ru/srexp1>

Работа поддержана РФФИ
(проект № 16-29-01050).