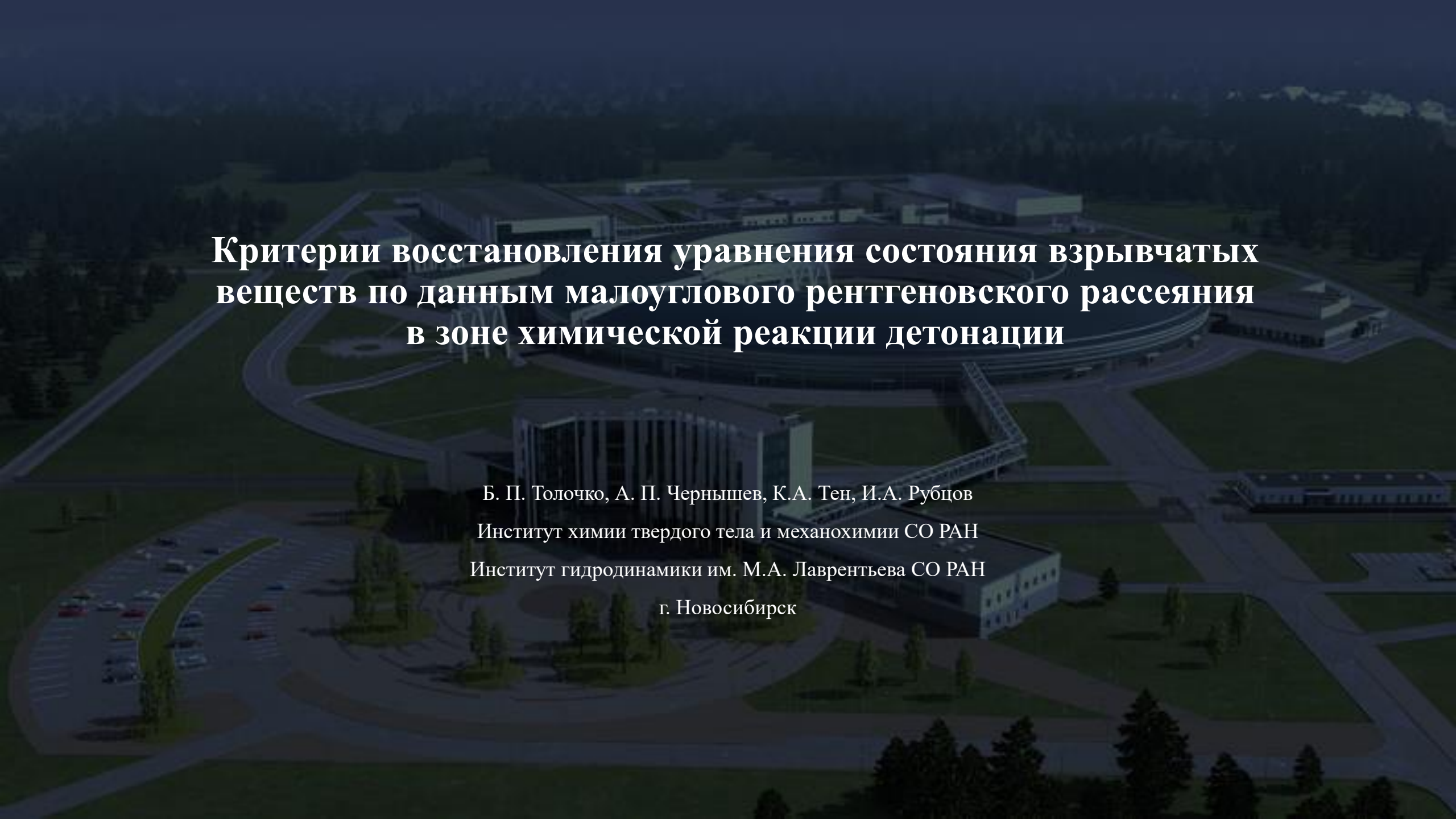




Критерии восстановления уравнения состояния взрывчатых веществ по данным малоуглового рентгеновского рассеяния в зоне химической реакции детонации

Б. П. Толочко, А. П. Чернышев, К.А. Тен, И.А. Рубцов

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

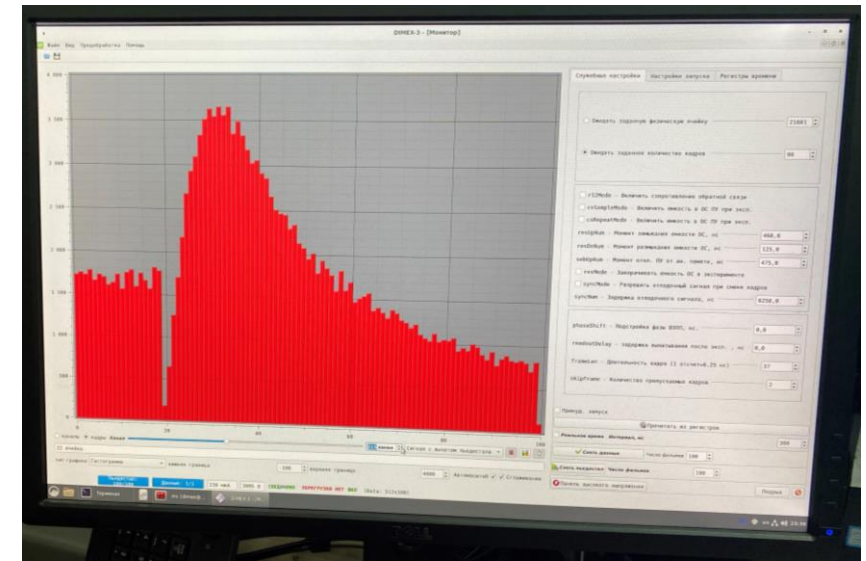
Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН

г. Новосибирск

Введение

При проведении исследования систем октоген – наночастицы (наноалмаз, наноалюминий) был обнаружен следующий эффект: на фронте детонационной волны сигнал малоуглового рентгеновского рассеяния падал до нуля, а в зоне химической реакции экспоненциально возрастал.

Цель данной работы объяснение наблюдаемого эффекта и разработка нового метода диагностики - восстановление уравнения состояния взрывчатых веществ по данным малоуглового рентгеновского рассеяния в зоне химической реакции детонации.



Экспериментальные данные о поведении интегрального сигнала МУРР во время детонации заряда октаген – алюминий (алекс).



По данным малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) системы наночастицы (НЧ) – взрывчатое вещество (ВВ) на начальных стадиях прохождения детонационной волны можно восстановить уравнение состояния (УС) ВВ. Сформулированы критерии получения УС ВВ из данных МУРР. Критерии основаны на использовании контраста МУРР между электронными плотностями продуктов детонации и наночастиц в приближении Гинье для определения интенсивности МУРР:

$$I(q) = I_e N V^2 (\Delta\rho)^2 \exp\left(-\frac{q^2 R_g^2}{3}\right) \quad (1)$$

где N – количество наночастиц, V – средний объем наночастицы, $\Delta\rho = \rho - \rho_0$ – контраст рентгеновских лучей, который пропорционален разнице в электронной плотности между частицей (ρ) и ее ближайшим окружением (ρ_0), а R_g – радиус инерции, I_e – интенсивность рассеяния по Томсону. В соответствии с уравнением, экспоненциальный множитель, зависящий от q , определяется исключительно размером и формой частиц (через радиус инерции, R_g), в то время как масштабирование, обусловленное прохождением детонационной волны, связано с одним из трёх факторов: N , V и $\Delta\rho$.

Система октоген-алюминий достаточно хорошо изучена [1, 2]. Показано, что скорость детонации во всех случаях при добавлении наноалюминия снижается.

Закон сохранения массы запишем в виде [3]:

$$\delta = \frac{D}{(D-u)k}, \quad (2)$$

здесь $\delta = \rho/\rho_0$, ρ и ρ_0 – текущая плотность и плотность вещества при нормальных условиях соответственно; $k = \rho_0/\rho_{00}$, здесь ρ_{00} – максимальная плотность вещества при нормальных условиях; D – скорость детонационной волны.

В работе [4] подгонкой по методу наименьших квадратов к экспериментальным данным было получено соотношение

$$D = 5.281(14) + 1.306(17)u_s \quad (3)$$

Решение системы уравнений (2)–(3) позволяет рассчитать D и u_s . Затем, воспользовавшись уравнением Гюгонио

$$E_\Gamma - E_0 = (p_\Gamma + p_0) \frac{k\delta - 1}{2\rho_0\delta} \quad (4)$$

и законом сохранения импульса

$$p_\Gamma = p_0 + \rho_0 D u \frac{1}{k} \quad (5)$$

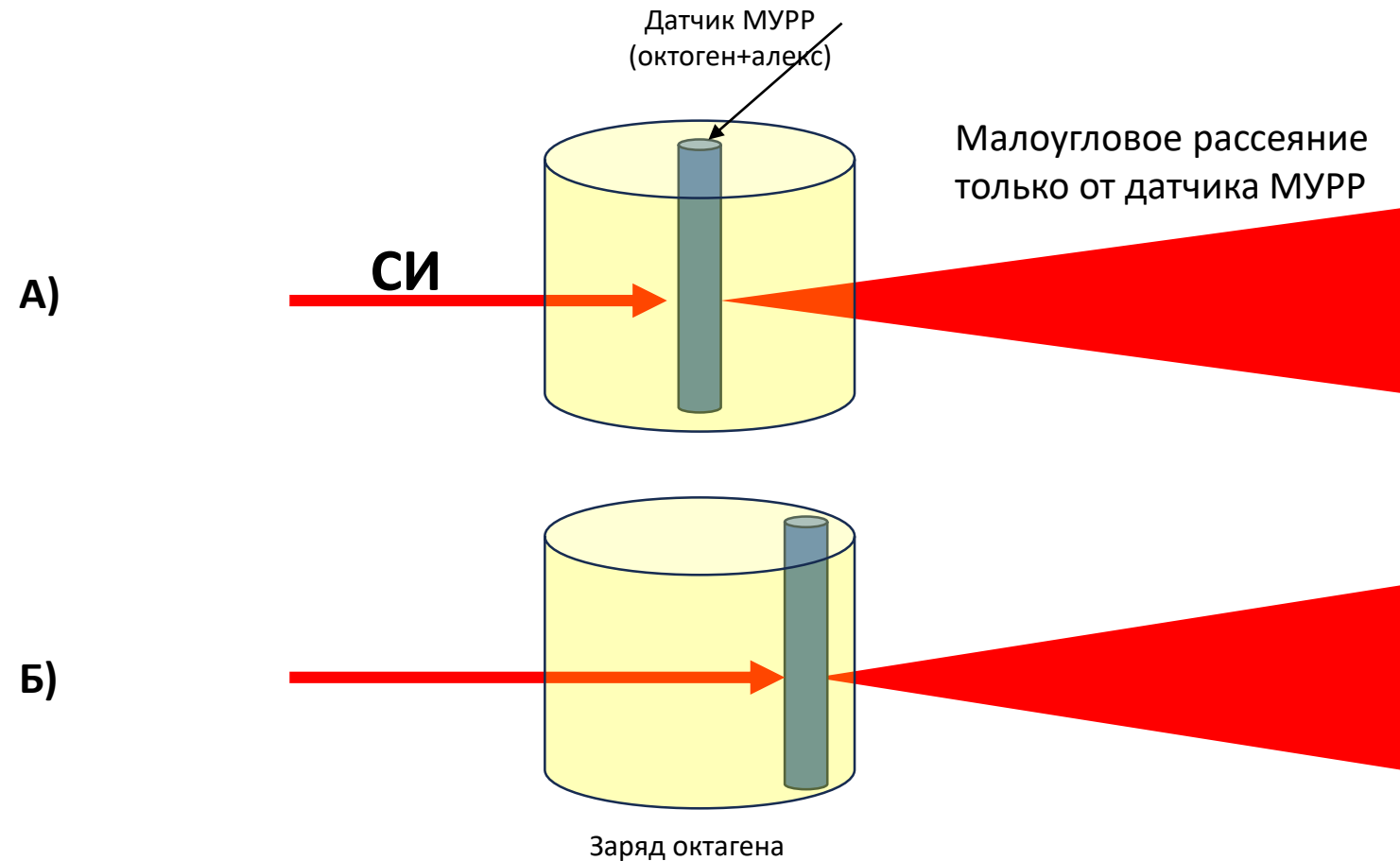
можно найти давление и энергию на фронте ударной волны. Здесь p – давление, E – удельная внутренняя энергия.

Осталось связать контраст и степени сжатия октогена и алюминия δ_1 и δ_2 на фронте ударной волны:

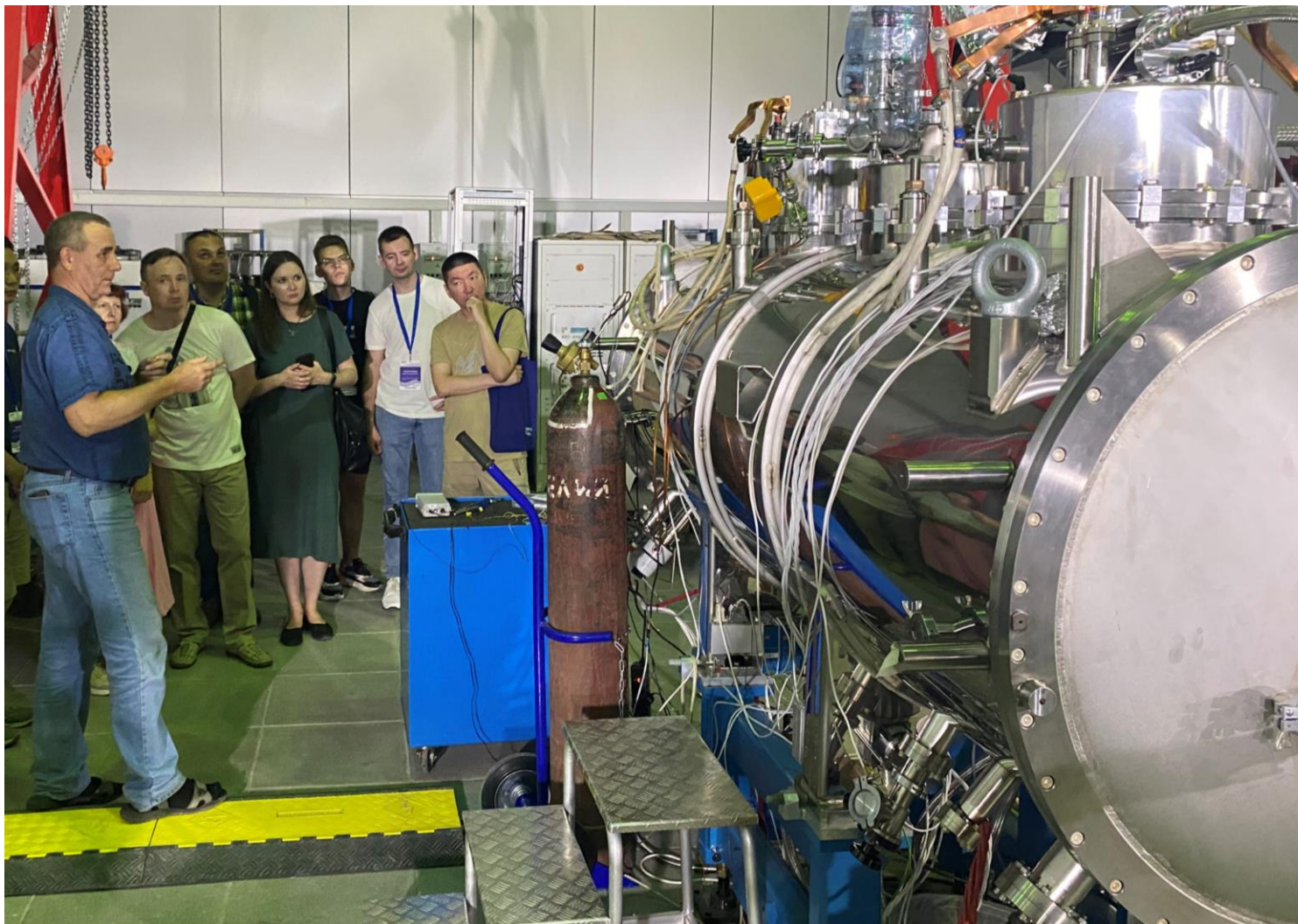
$$\rho_2 - \rho_1 = \delta_2 \rho_{20} - \delta_1 \rho_{10} \quad (6)$$

Для этого можно воспользоваться уравнениями состояния октогена и алюминия, например в форме JWL. Имея два калорических уравнения состояния $p_{1\Gamma} = p_{1\Gamma}(\delta_1, E_1)$ и $p_{2\Gamma} = p_{2\Gamma}(\delta_2, E_2)$ для октогена и алюминия соответственно, и используя соотношение (6) можно рассчитать $p_{1\Gamma}$, ρ_2 и ρ_1 .

Предложение использования «Датчика МУРР» для прямого измерения динамики плотности в любой точке детонирующего заряда на СКИФ



Два варианта расположения «Датчика МУРР» в детонирующем заряде октагена:
А) в центре заряда, Б) на краю заряда.



Вигглер для разрабатываемой методики уже готов

Литература

1. Гоголя М. Ф., Махов М. Н., Бражников М. А., Долгобородов А. Ю., Архипов В. И., Жигач А. Н., Лейпунский И. О., Кусков М. Л. Взрывные характеристики алюминизированных нанокомпозитов на основе октогена. Физика горения и взрыва. 44 (2) (2008) 85–100.
2. Жигач А. Н., Лейпунский И. О., Пивкина А. Н., Муравьев Н. В., Моногаров К. А., Кусков М. Л., Афанасенкова Е. С., Берёзкина Н. Г., Пшеченков П. А., Брагин А. А. Нанокомпозиты алюминий/октоген: синтез, микроструктура и горение. Физика горения и взрыва. 51 (1) (2015) 117–124.
3. Гордеев Д. Г., Гударенко Л. Ф., Жерноклетов М. В., Куделькин В. Г., Мочалов М. А. Полуэмпирическое состояние металлов. Уравнение состояния алюминия. Физика горения и взрыва. 44 (2) (2008) 61–75.
4. J. Zhang; L. Zhao; R. Zhang; G. Yang, G. Luo, Q. Shen. Equation of state remeasurements for aluminum and copper under low-impact loading. AIP Advances 13, 045202 (2023); doi: 10.1063/5.0142851.