



Детектирование микро и нано частиц в динамических процессах.



*Тен^{1,4} К.А., Прууэл^{1,4} Э.Р., Кашкаров^{1,4} А.О., Рубцов⁴ И.А.,
Шехтман² Л.И., Жуланов² В.В., Толочко³ Б.П., Рыкованов⁵ Г.Н.,
Музыря⁵ А.К., Смирнов⁵ Е.Б., Столбиков М.Ю., Просвирнин⁵
К.М., ,*

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

² Институт ядерной физики им.Г.И. Будкера СО РАН

³ Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

⁴ Новосибирский Государственный Университет

⁵РФ-ЯЦ ВНИИТФ



Актуальность проблемы регистрации микро и наночастиц.



1. Для получения сверхвысоких параметров требуются большие скорости ударников.
2. Эффективность сжатия материалов сильно падает ввиду появления впереди ударника потока микрочастиц (пыли).
3. Существующие методики регистрации позволяют регистрировать микрочастицы размером порядка 3-5 микрон.
4. В настоящее время только дифракционные динамические методики с использованием СИ могут регистрировать присутствие наночастиц.



Обзор работ по «пылению».

Сотрудниками ЛАНЛ [1, 3] проведена серия экспериментов в области давлений, когда металл находится в смешанном твердо-жидком состоянии в волне разгрузки. Экспериментально было показано, что масса выброшенных частиц определяется профилем УВ, выходящей на свободную поверхность (СП), и параметрами начальных возмущений.

Во ВНИИЭФ [4,5], при помощи рентгенографической и пьезоэлектрической методик получены мгновенные распределения плотности частиц вылетающих со свободной поверхности свинца. Для получения удовлетворительного качества использовались протяженные канавки (щели).



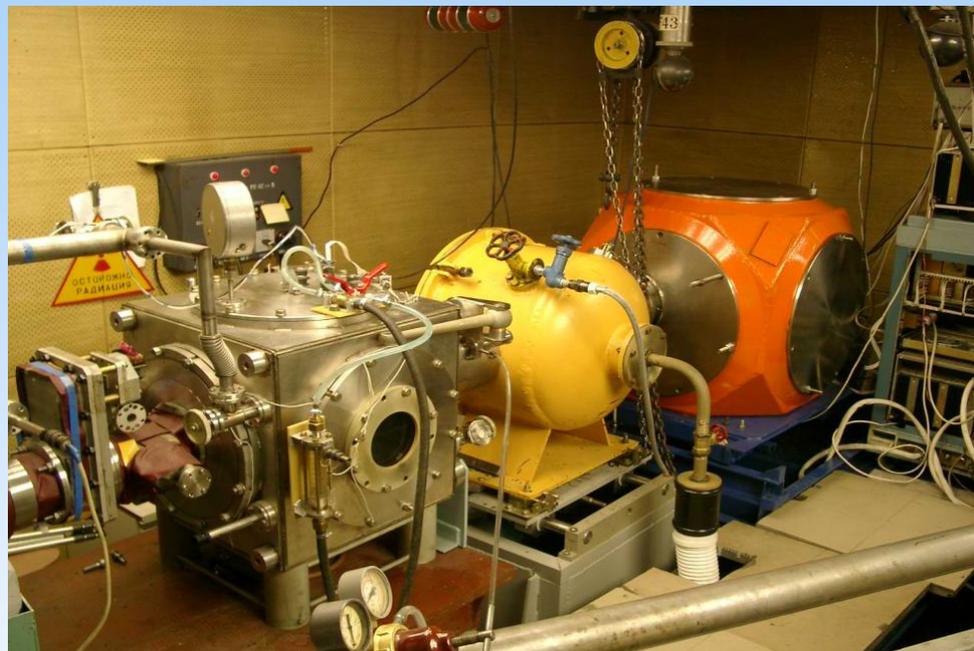
Цели и задачи.



С помощью регистрации СИ провести исследования потоков нано и микро частиц со свободной поверхности разных материалов (меди, олова). Получить динамику распределения плотности вдоль потока микрочастиц образующихся из щелей микронного размера.

Зарегистрировать потоки наночастиц при ударном нагружении разных материалов.

Экспериментальная база в ИЯФ.

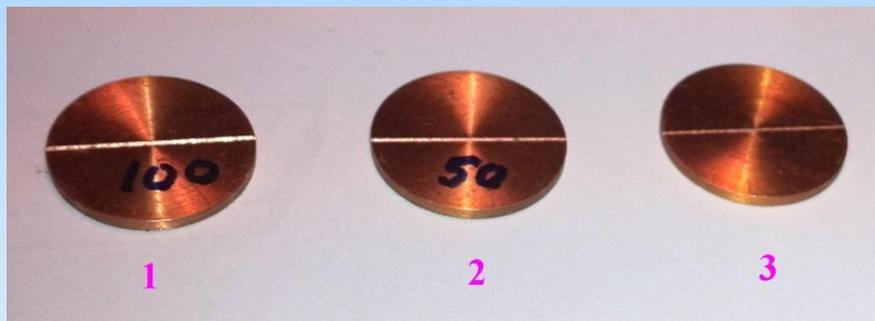


Стенд по исследованию детонационных процессов на 0-м канале накопителя ВЭПП-3.

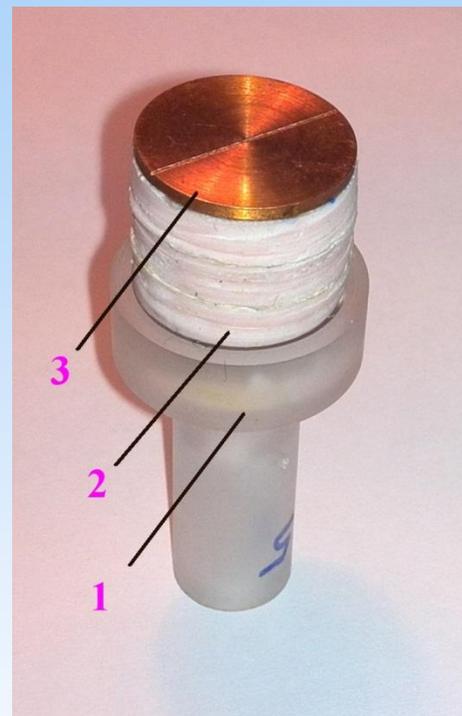


SYRAFEEMA (Synchrotron Radiation Facility for Exploring Energetic Materials) на ВЭПП-4

Постановка экспериментов.

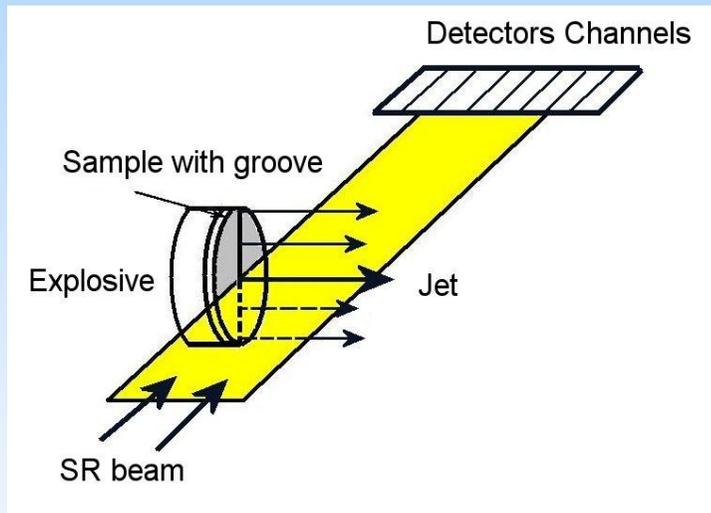


Медные диски (диаметр 20 мм, толщина 2 мм) с канавками: (1) – 100 мкм, (2) – 50 мкм, (3) – 30 мкм.

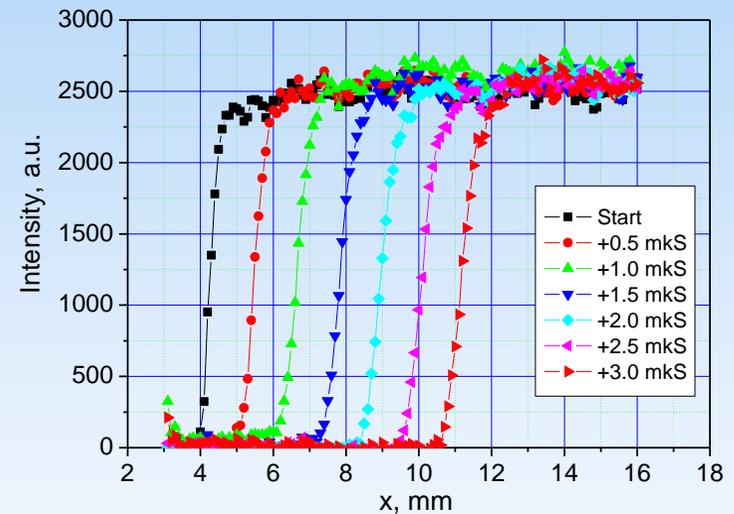


Экспериментальная сборка. 1 – взрывная линза, 2 – заряд ВВ, 3 – медный диск с канавкой.

Постановка экспериментов.

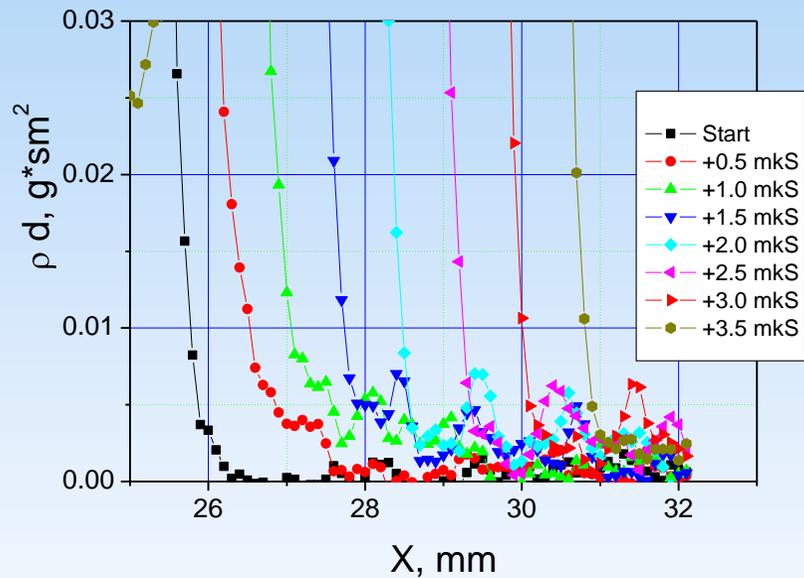


Рентгенографическая регистрация
по длине микроструи

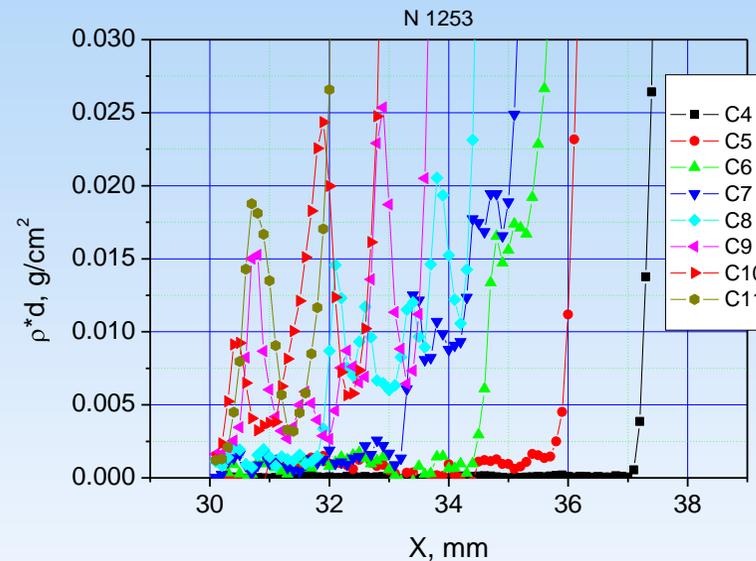


Рентгенографическая тень полета
диска. X – направлена вдоль
движения диска.

Микро-струи из канавок

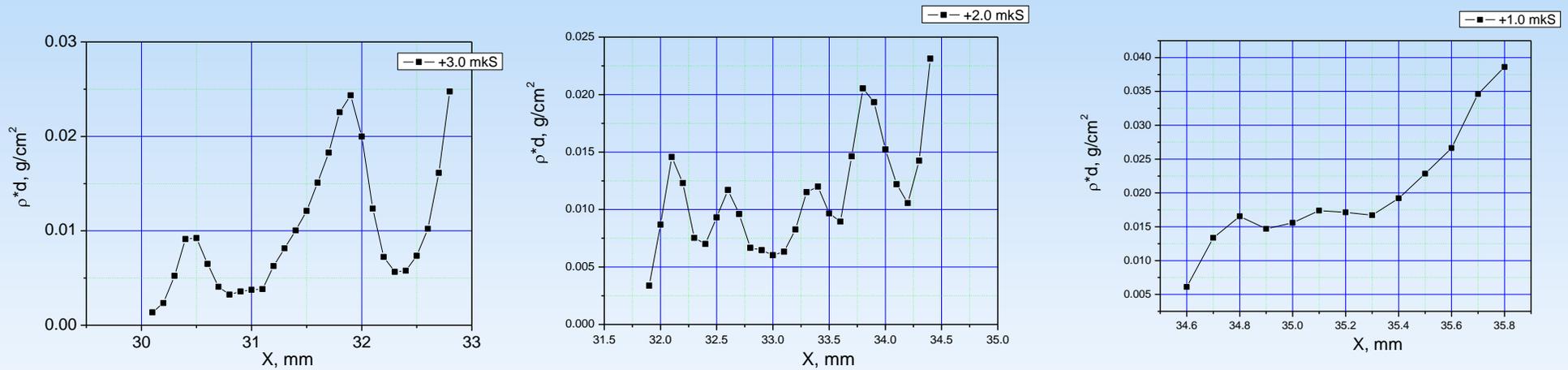


Рентгенографическая регистрация по длине микроструи (слева направо, 50 мкм).



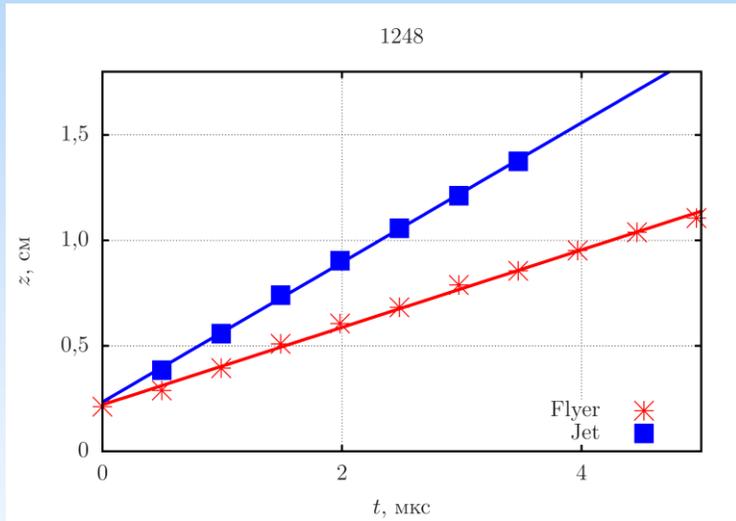
Рентгенографическая регистрация по длине микроструи (справа налево, 100 мкм).

Микро-струи из канавок .



Распределение массы вдоль движения струи через 1 мкс, 2 мкс и 3 мкс (справа налево). Полная масса струи равна 0.56 мг/мм (высоты).

Микро-струи из канавок .

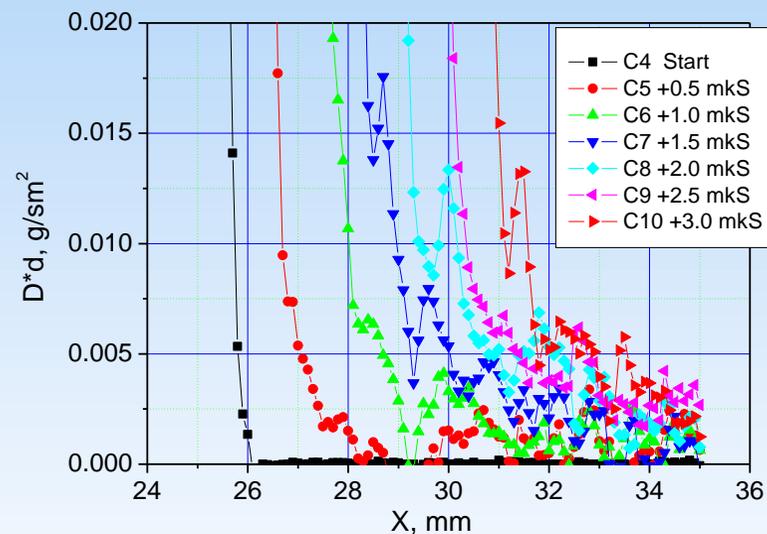


X-t диаграмма положения струи и диска. Скорость диска и струи равны 1.84 km/s и 3.31 km/s, соответственно.

	Jet mass, mg		
Groove size	50 μm	100 μm	200 μm
time			
t=1 μs	0.25	0.56	0.8
t=2 μs	0.22	0.56	1.45
t=3 μs	0.14	0.5	0.97

Таблица 1.
Динамика массы микрочастиц из канавок 50, 100 и 200 мкм.

Микро-струи из стыков.



Общий вид сборок для получения микро-струй. Слева – прямой стык, справа – косой стык.

Распределение массы вдоль потока частиц. (прямой стык).

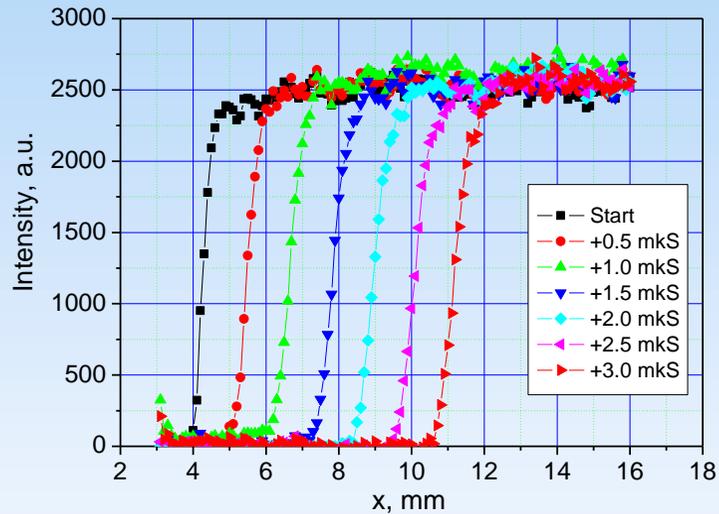
Микро-струи из стыков.

	Jet mass, mg		
	Rectangular joint	Ground rectangular joint	Skew joint
Time			
t=1 μ S	0.454	0.242	0.23
t=2 μ S	1.182	0.238	0.238
t=3 μ S	1.244	0.268	0.44

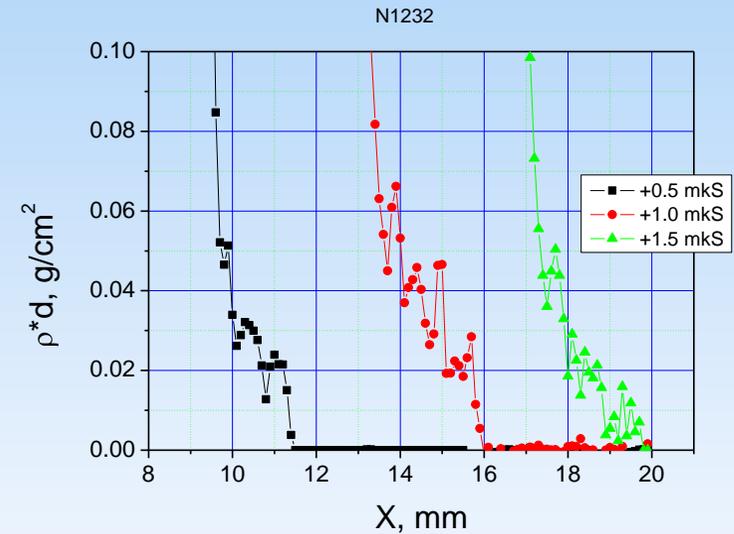
Таблица 2.

Динамика массы микрочастиц из стыков (слева – прямой, в центре – прямой шлифованный в обойме, справа – косой).

Микро-струи из гладких поверхностей.



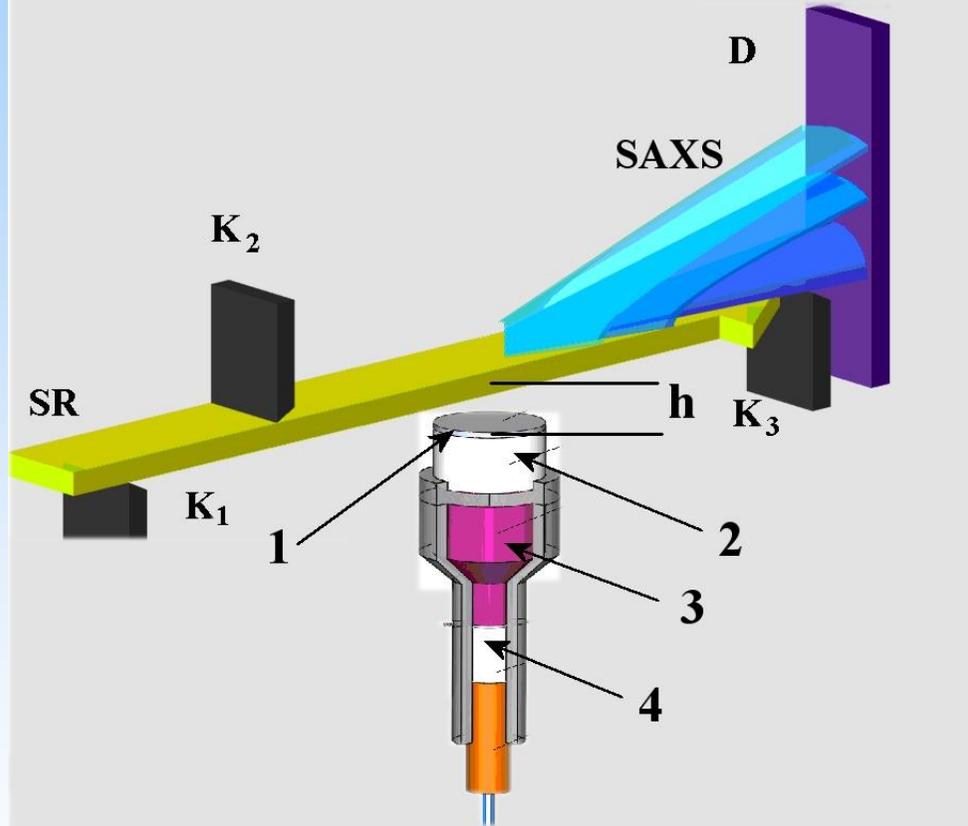
Рентгенографическая тень полета диска. X – направлена вдоль движения диска. $U=2,4$ км/с.



Динамика распределений массы потока микрочастиц из олова. $U=7,6$ км/с.



Динамическая регистрация наночастиц. Схема постановки экспериментов.



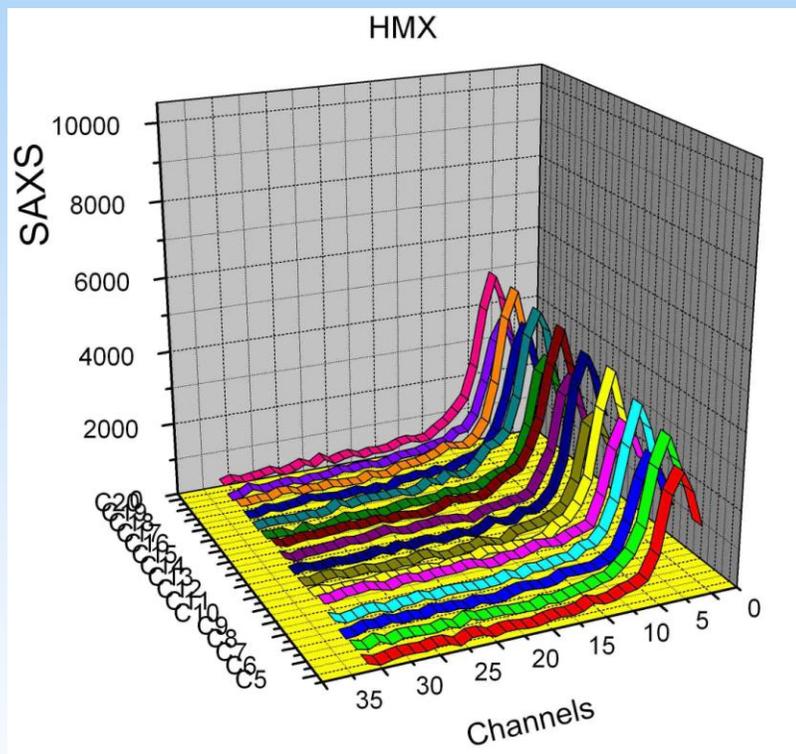
В опытах изменялись:

- материал фольги (олово, УДА, тантал, медь, молибден)
- ускоряющее ВВ – прессованный октоген, ТГ50/50, пластик ПТ-84
- расстояние между фольгой и плоскостью регистрации (h)

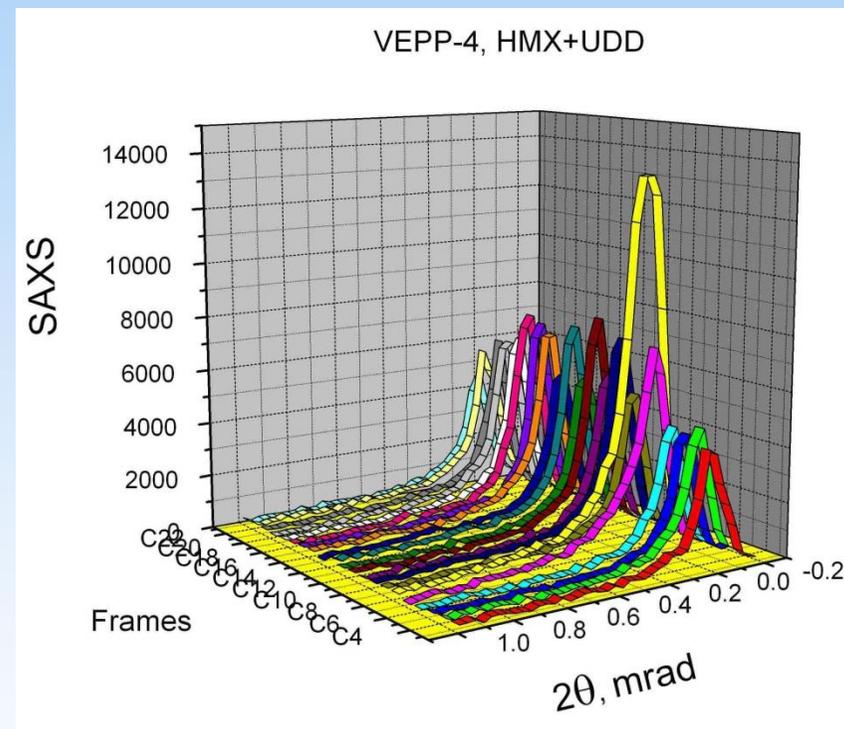
Схема измерения МУРР. K_1 и K_2 – ножи, формирующие пучок SR размером 20 x 0,5 мм, R_3 – нож, закрывающий прямой пучок SR, SAXS – рассеянное излучение SR, D – детектор DIMEX-3. h – расстояние между пучком SR и метаемой пластиной. 1 – исследуемая пластина; 2 – ускоряющий заряд; 3 – плоскостоволновая линза; 4 – порошковый тэн.



Регистрация наночастиц при высокоскоростном нагружении металлических пластин.



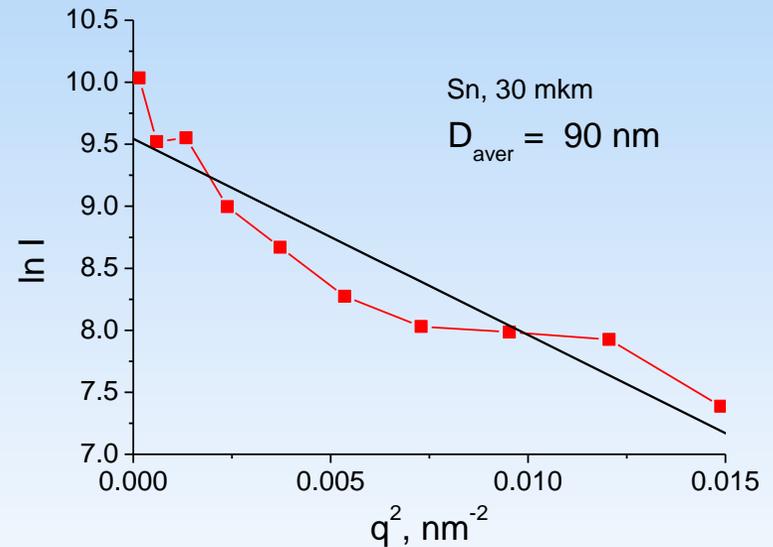
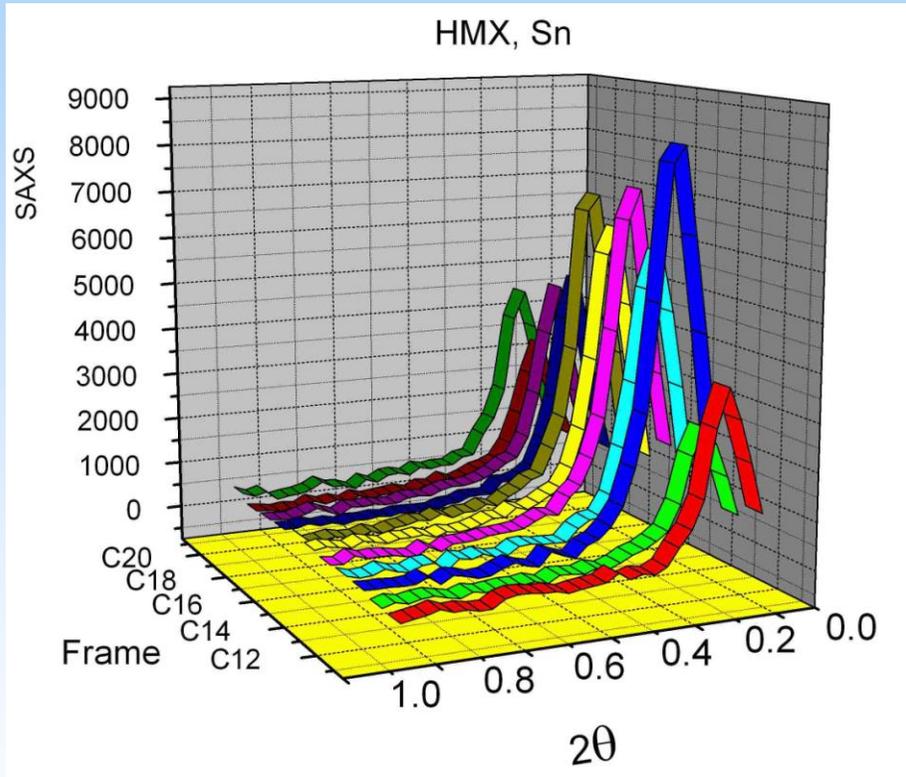
Динамика распределений МУРР при детонации НМХ. Угол рассеяния 2θ приведен в каналах детектора. 1 канал = 0,029 мрад. Время между кадрами 600 нс.



Динамика распределений МУРР при движении UDD. По оси X угол рассеяния 2θ в мрад. Время между кадрами 600 нс.



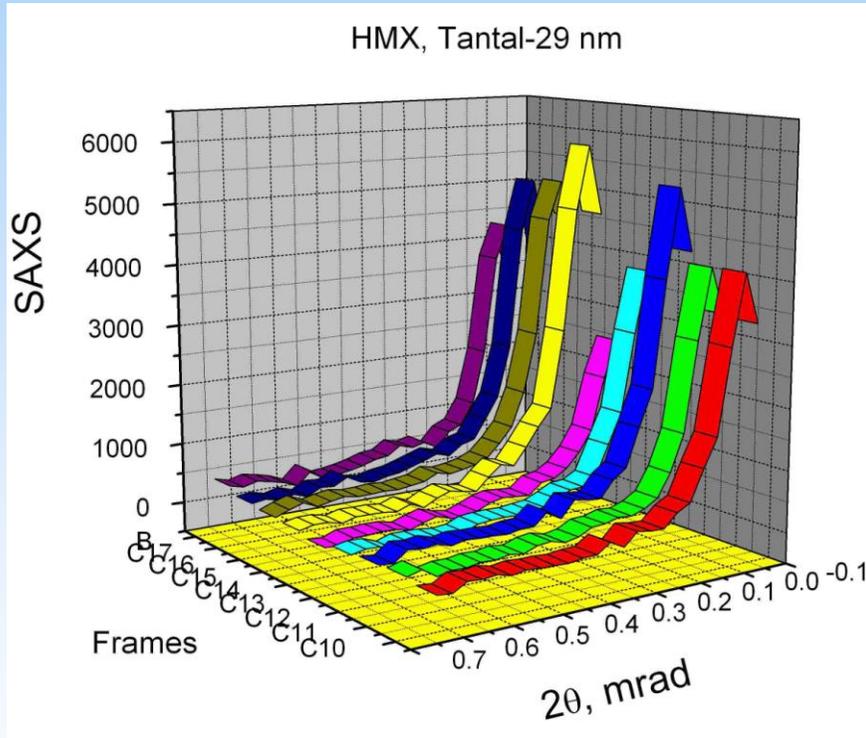
Регистрация наночастиц при высокоскоростном нагружении металлических пластин.



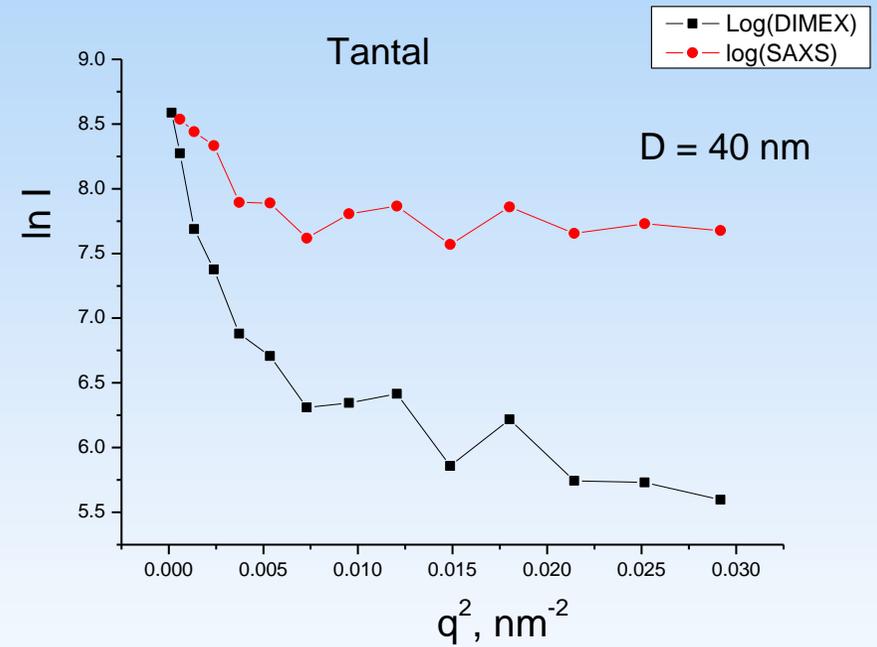
Динамика распределений МУРР при движении фольги из олова. По оси X угол рассеяния 2θ в mrad. Время между кадрами 600 нс.



Регистрация наночастиц при высокоскоростном нагружении металлических пластин.



Динамика распределений МУРР при движении фольги из тантала. По оси X угол рассеяния 2θ в mrad. Время между кадрами 600 нс.



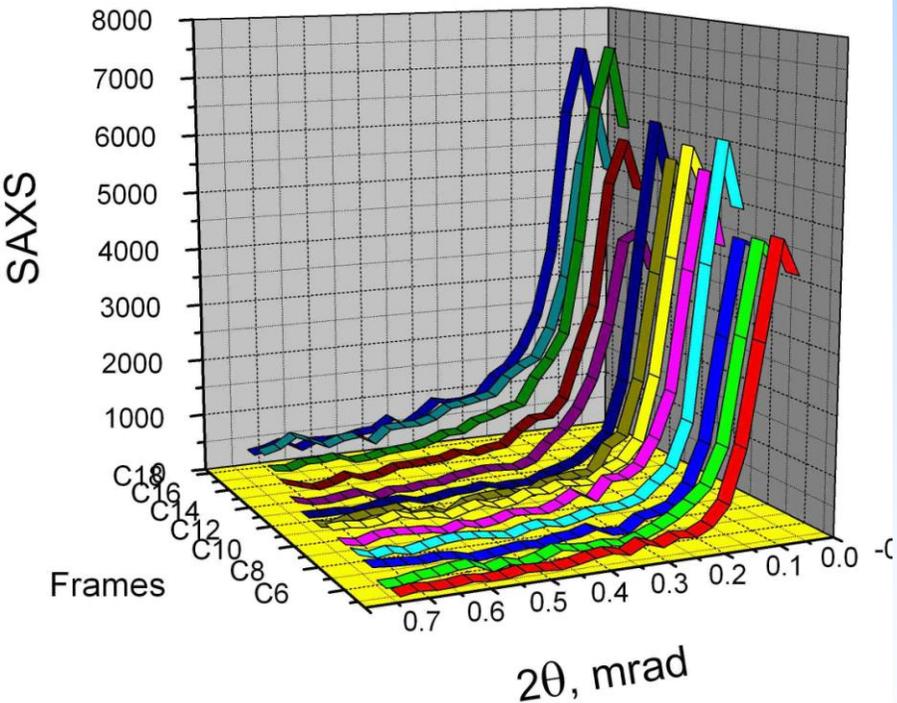
Динамика распределений МУРР при движении фольги из олова. Расстояние до плоскости регистрации 10 мм. Время между кадрами 600 нс.



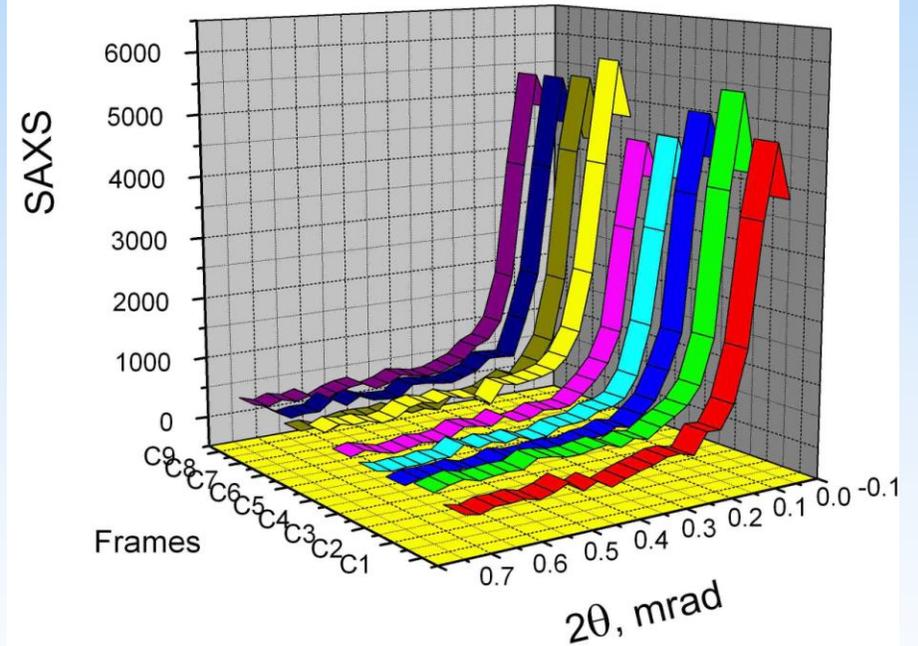
Регистрация наночастиц при высокоскоростном нагружении металлических пластин.



PT-84, Sn-72 мкм



HMX, Sn, h=10mm



Динамика распределений МУРР при движении фольги из олова. Заряд из ПТ-84. Время между кадрами 600 нс.



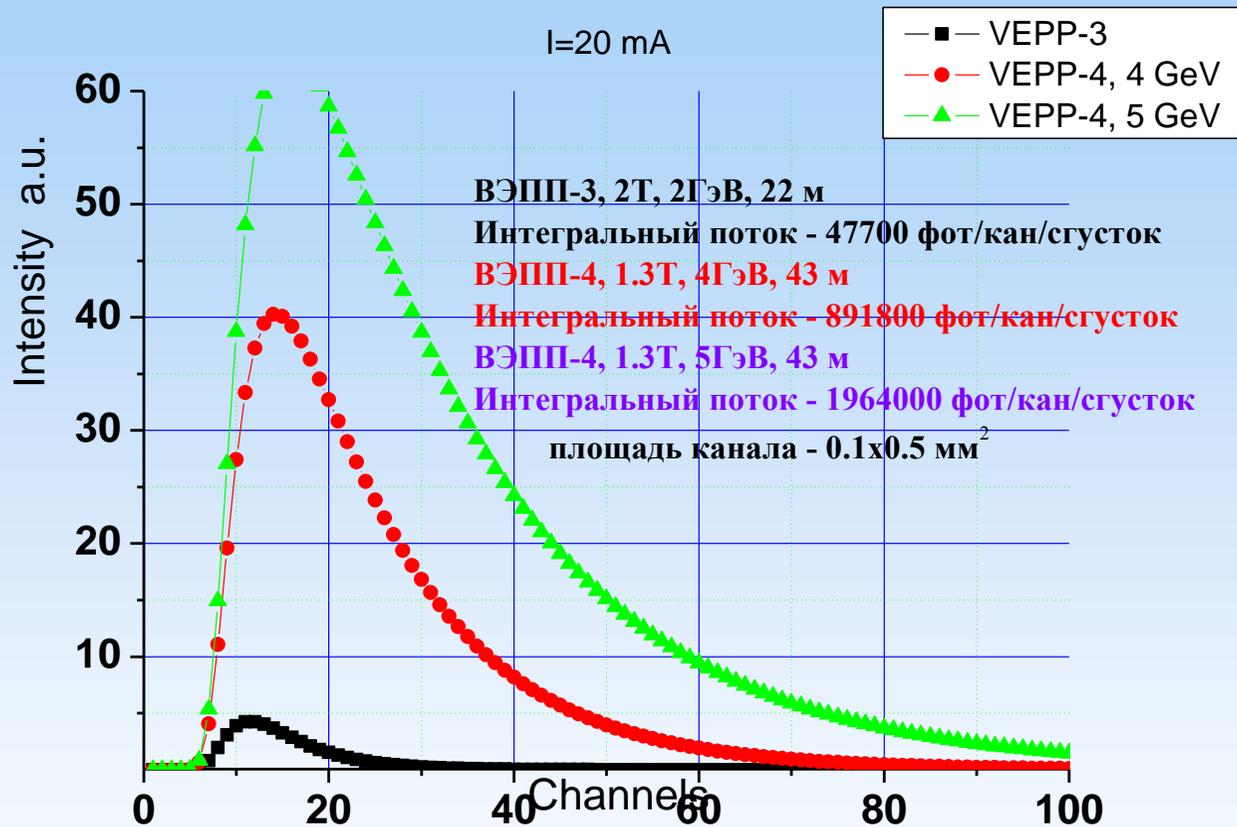
Выводы.



1. Измерены динамика распределения массы вдоль потока микрочастиц из микроканалов, стыков и гладких поверхностей.
2. При метании фольги (толщиной от 20 до 70 нм) из олова впереди зарегистрирован поток наночастиц (размером порядка 100 нм).
3. Из исследованных материалов (Cu, Mo, Al, Ta) поток наночастиц зарегистрирован из тантала (размером порядка 40 нм).

Спасибо за внимание.

Параметры СИ на ВЭПП-4.



Сравнение спектров из вигглеров на ВЭПП-3 (черные точки) и ВЭПП-4 (красные точки $E=4 \text{ ГэВ}$, зеленые – $E=5 \text{ ГэВ}$).