



Изучение выброса микрочастиц из неоднородностей ударно-нагруженных металлов с использованием синхротронного излучения.

Тен^{1,2} К.А., Прууэл^{1,4} Э.Р., Кашкаров^{1,4} А.О., Рубцов^{1,4} И.А., Шехтман^{2,4} Л.И., Жуланов^{2,4} В.В., Толочко³ Б.П., Музыря⁵ А.К., Просвирнин⁵ К.М., Смирнов⁵ Е.Б., Смирнов⁵ В.Н., Столбиков⁵ М.Ю.

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

⁵РФЯЦ-ВНИИТФ



Актуальность использования СИ для регистрации потоков микро и наночастиц.



- 1. Для получения сверхвысоких параметров в сплошной среде требуются большие скорости ударников. При больших ускорениях впереди ударника появляется поток микрочастиц (пыление).*
- 2. Существующие методики (особенно рентгеновские) плохо позволяют регистрировать потоки микрочастиц с линейной массой менее 0.01 г/см².*
- 3. Синхротронное излучение может быть полезным ввиду мягкого энергетического спектра (до 30 кэВ) и возможности использования прецизионных рентгеновских детекторов.*



Обзор работ по «пылению».

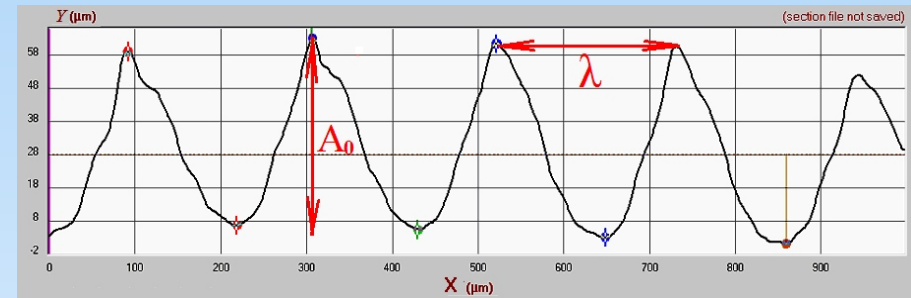
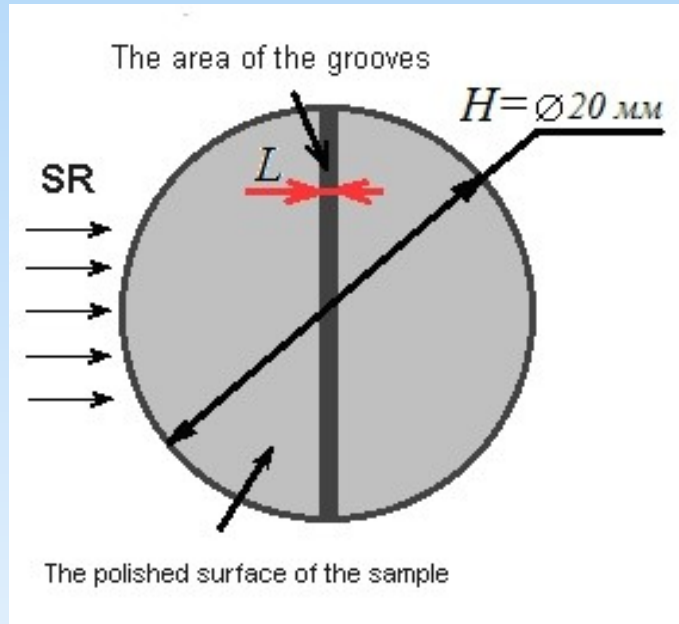


Во ВНИИЭФ [1,2], при помощи рентгенографической и пьезоэлектрической методик получены мгновенные распределения плотности частиц вылетающих со свободной поверхности свинца. Для получения удовлетворительного качества использовались протяженные канавки (щели).

Сотрудниками LLNL проделаны эксперименты по оптической регистрации пылевого потока [3].

- *Антипов М.В., Георгиевская А. Б., Панов К.Н., и др..В. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ВЫБРОСА ЧАСТИЦ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ // Extreme states of substance. Detonation. Shock waves. Proceedings International conference XVII Khariton's topical scientific readings, March 23 – 27, 2015. RFNC-VNIIEF, Sarov.*
- *5. А.Л. Михайлов. В. Л. Огородников, В. С. Сасик и др., Экспериментальное исследование процесса выброса частиц с ударно-нагруженной поверхности. // XV Международная конференция Харитоновские научно-тематические чтения «Экстремальное состояние вещества. Детонация. Ударные волны», г. Саров, 18-22 марта 2013 г. Стр. 279*
- *M.V. Zellner. W. Vogan McNeil, J.E. Hammerberg et al. Probing the underlying physics of ejecta production from shocked Sn samples // Journal of applied physics, 103, 123502, 2008.*

Стандартная постановка экспериментов.



Профиль возмущений на свободной поверхности.

• Вид с торца на свободную поверхность образца

| № version | The roughness parameters FS | | | H, мм | The pressure in the explosion chamber, barr |
|-----------|-----------------------------|-----------------|-------|-------|---|
| | A, мкм | λ , мкм | L, мм | | |
| 1 | 6 | 50 | 20 | 65 | 0.03 |
| 2 | 60 | 250 | 5 | 28 | 0.038 |

a – the depth of the groove roughness,
 λ – the distance between the grooves

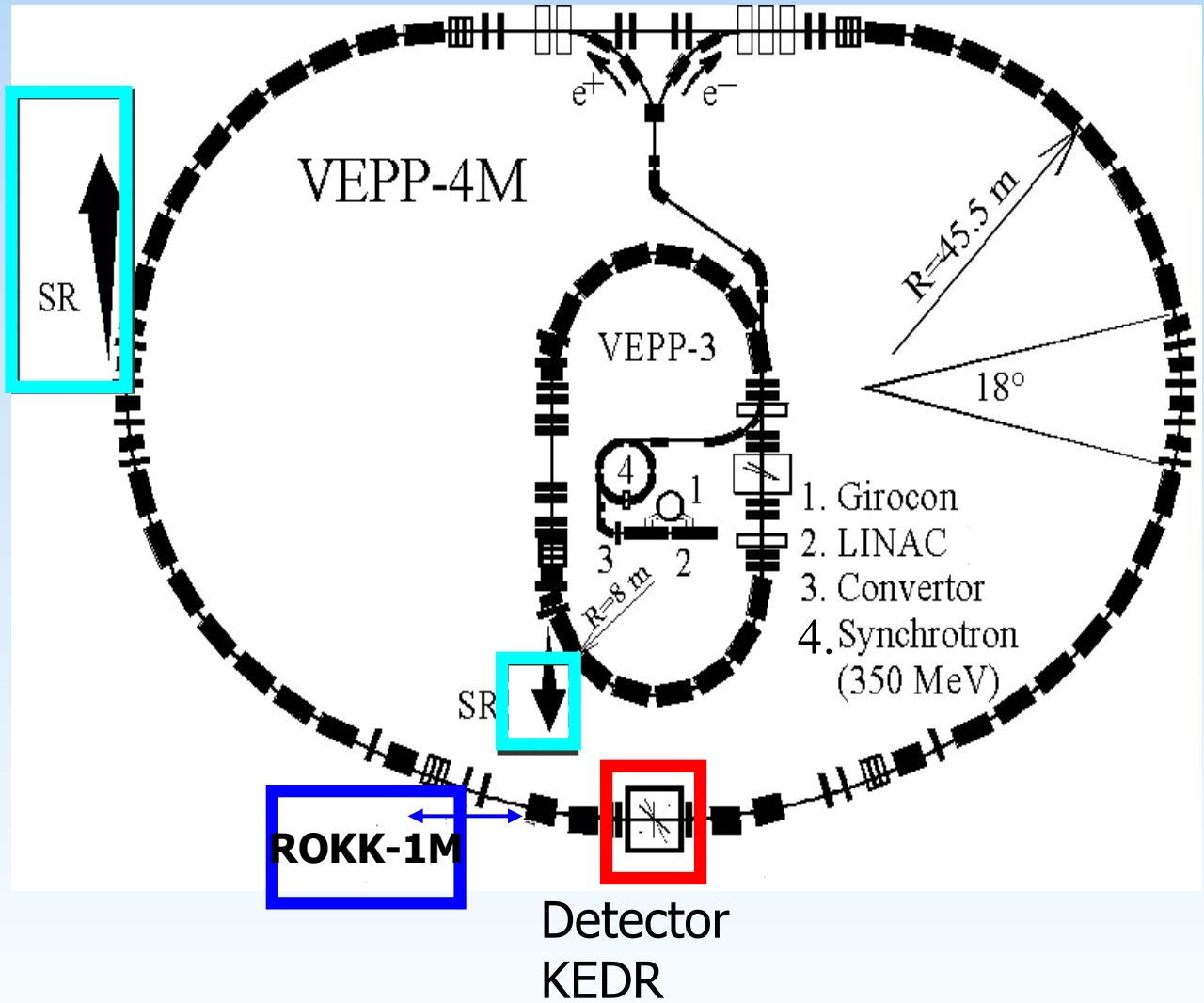


Цели и задачи.

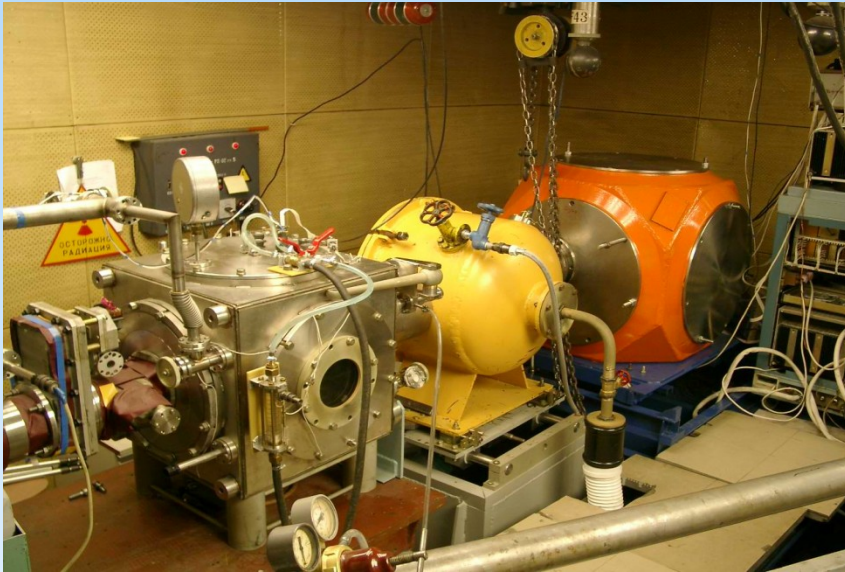
Провести исследования потоков нано и микро частиц со свободной поверхности металлов при наличии сопряжений (стыков) различной формы.

- 1. Получить динамику распределения плотности вдоль потока микрочастиц образующихся из щелей (канавок) микронного размера.*
- 2. Получить сравнительную динамику распределения плотности потока микрочастиц из стыков и сопряжений пластин.*

Acceleration complex VEPP-3 - VEPP-4 is the basis of the experiments with HE.



Experimental base in INP

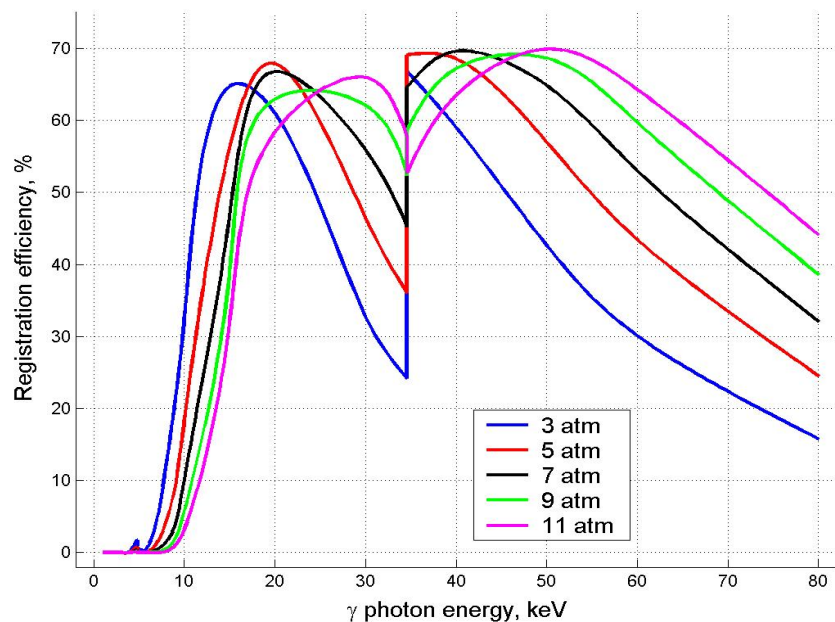


Stand for study of detonation processes on VEPP-3 beam line 0

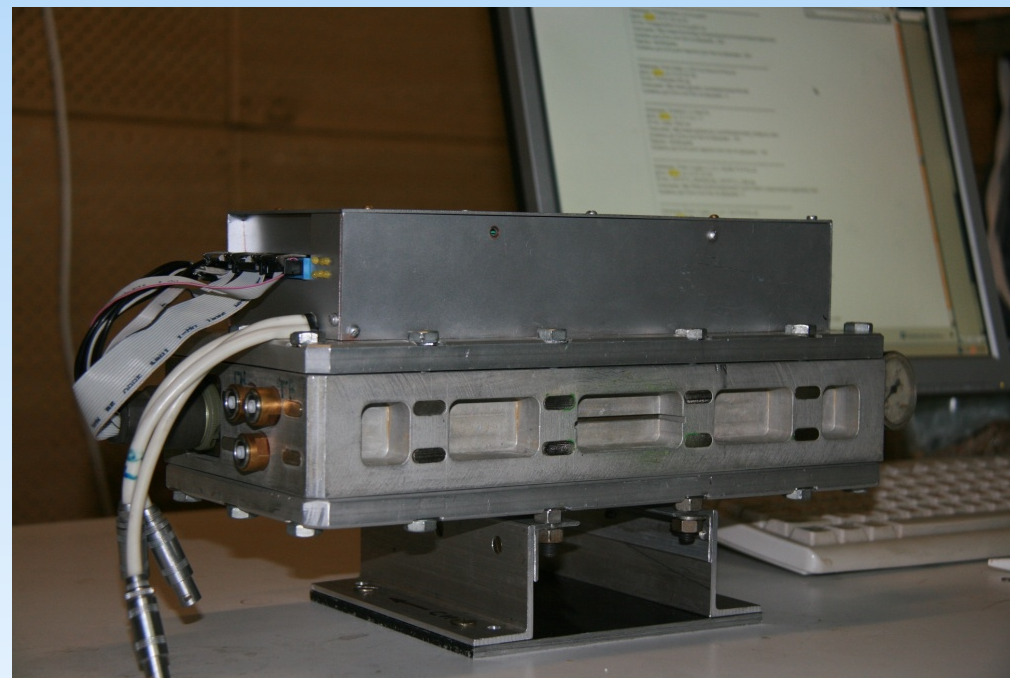


General view of the new station in the VEPP-4 bunker. 1 - unit of collimators, 2 - explosion chamber, 3 - recording unit,

DIMEX - detector for study of the detonation processes.



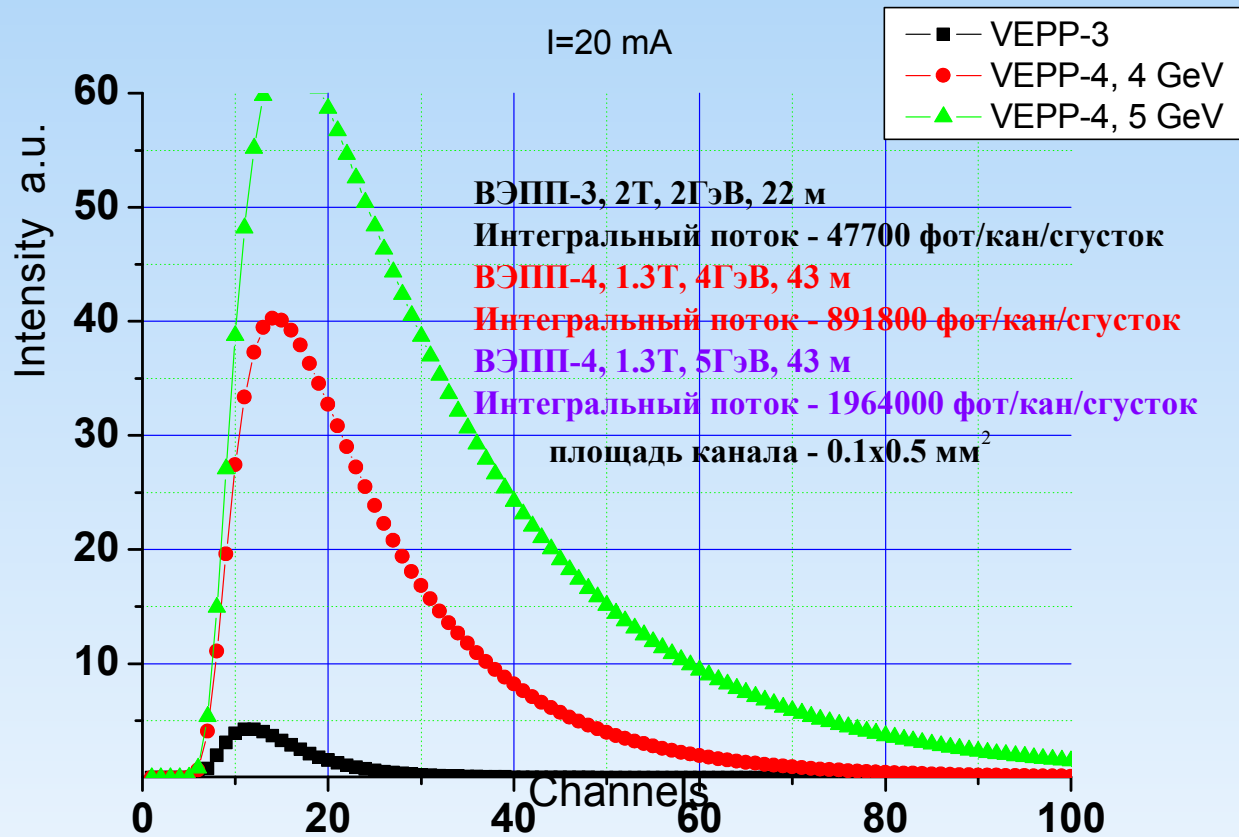
Dependence efficiency of registration from photon energy.



General view of DIMEX. Channels size 100 μm ,
Channel numbers – 512,
number of frames – 100, time between frames – 125 ns.



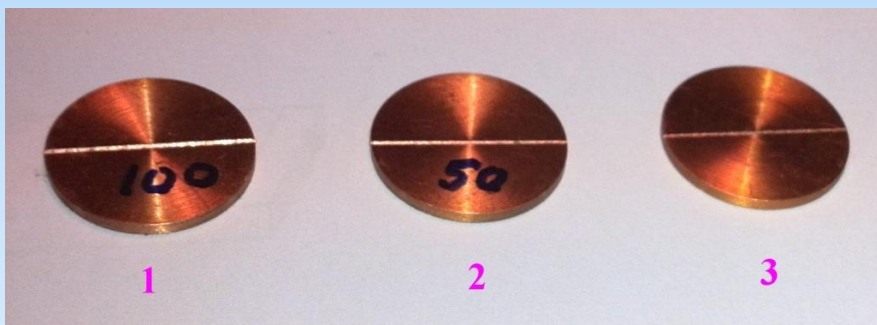
Параметры СИ на ВЭПП-3 и ВЭПП-4.



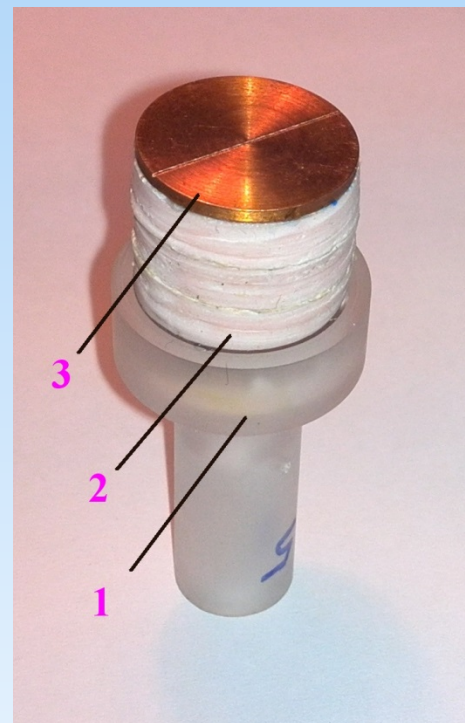
Сравнение спектров из вигглеров на ВЭПП-3 (черные точки) и ВЭПП-4 (красные точки $E=4$ ГэВ, зеленые – $E=5$ ГэВ).



Постановка экспериментов.



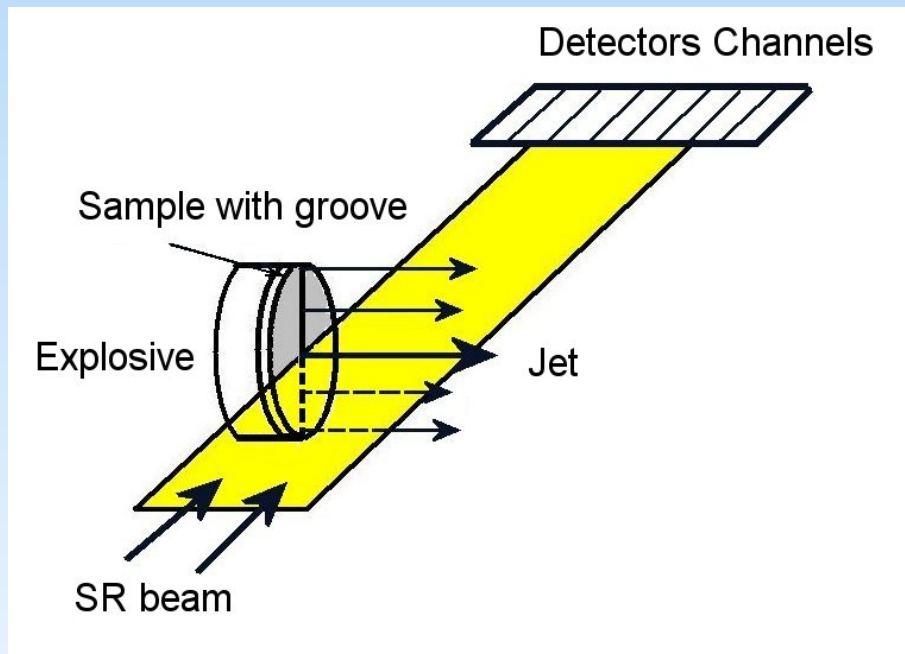
Медные диски (диаметр 20 мм, толщина 2 мм) с канавками: (1) – 100 мкм, (2) – 50 мкм, (3) – 30 мкм.



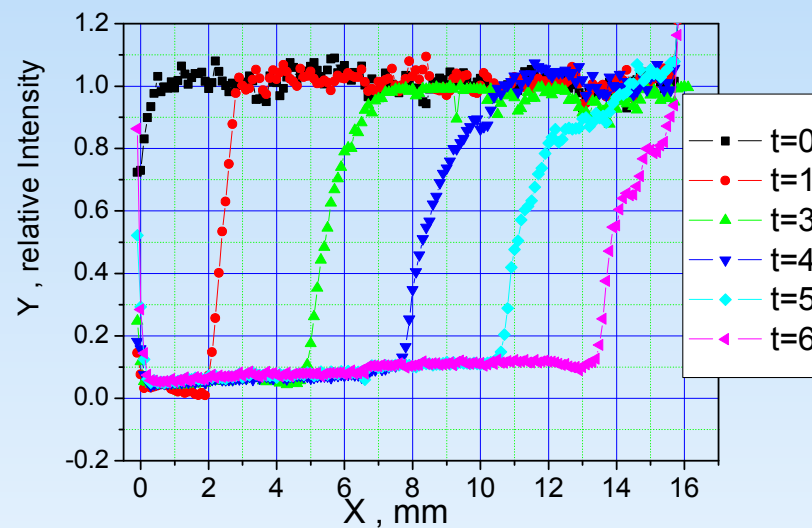
Экспериментальная сборка. 1 – взрывная линза, 2 – заряд ВВ (пластифицированный тэн, диаметр 20 мм, длина 20 мм), 3 – медный диск с канавкой.



Постановка экспериментов.



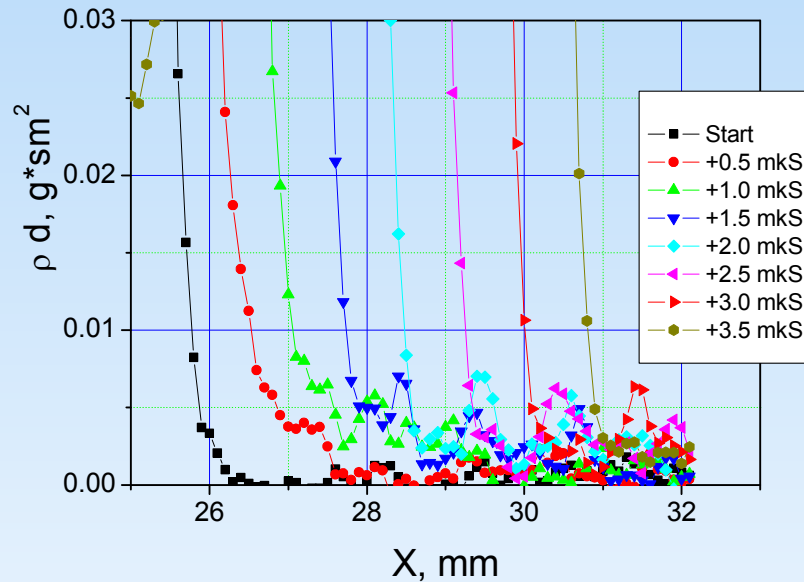
Рентгенографическая регистрация по длине микроструи



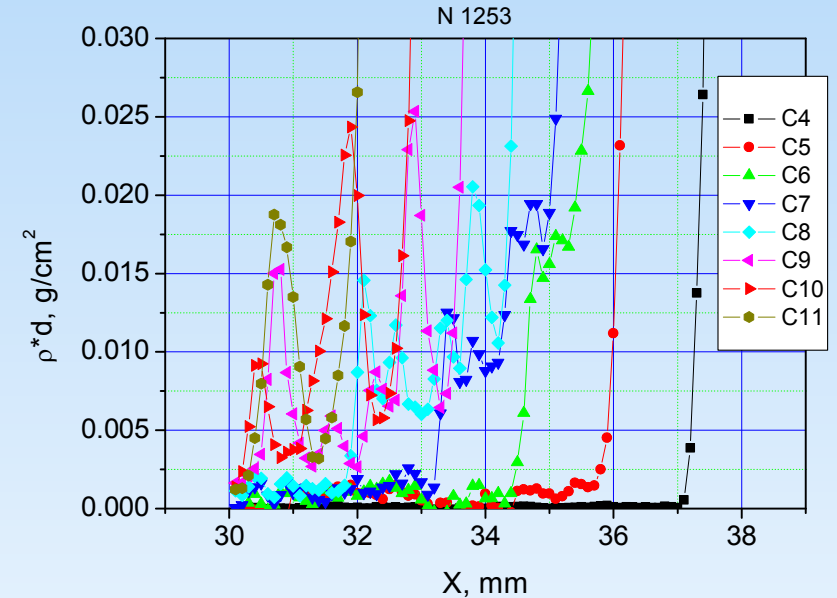
Рентгенографическая тень полета диска. X – направлена вдоль движения диска.



Микро-струи из канавок .



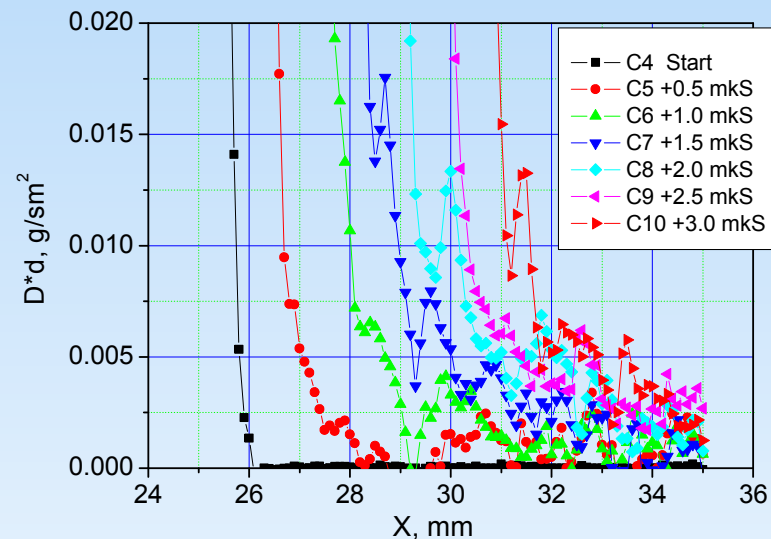
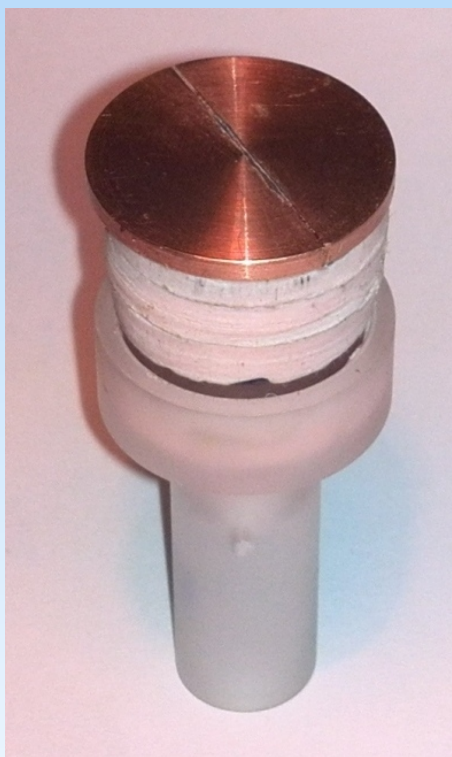
Динамика распределений массы вдоль струи . Струя движется слева направо. Канавка 30 мкм.



Динамика распределений массы вдоль струи . Струя движется справа налево. Канавка 100 мкм.



Микро-струи из стыков.

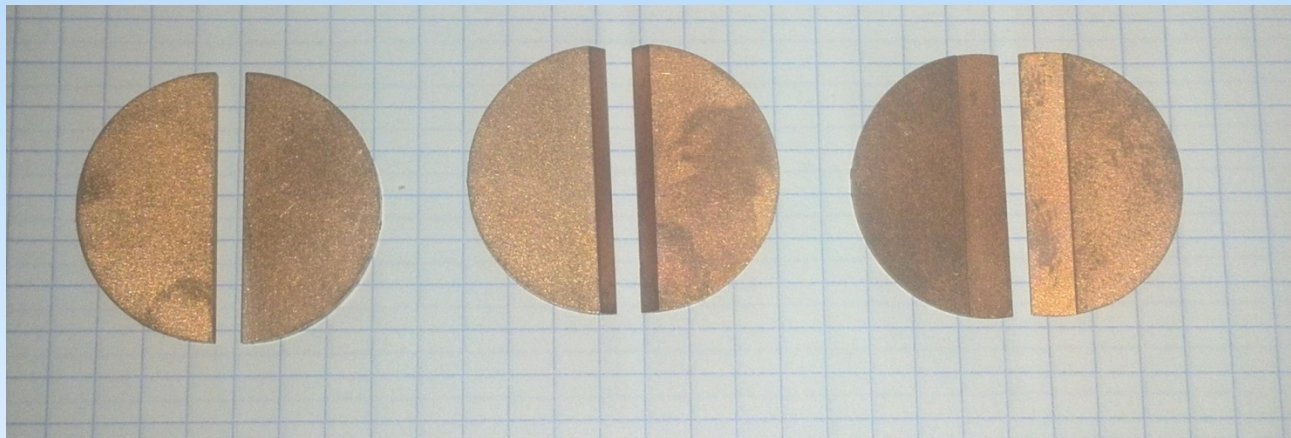


Общий вид сборок для получения микро-струй. Слева – прямой стык, справа – косой стык.

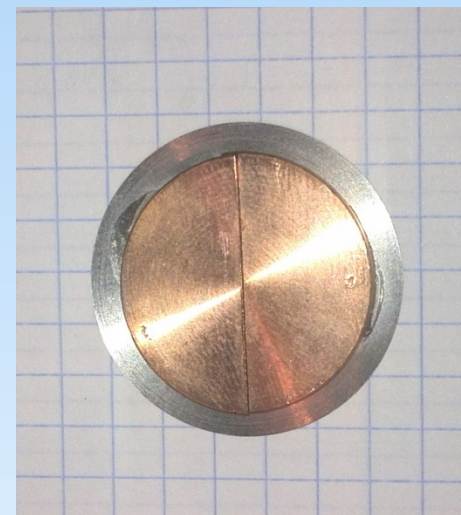
Динамика распределений массы вдоль струи . Прямой стык.



Микро-струи из стыков.



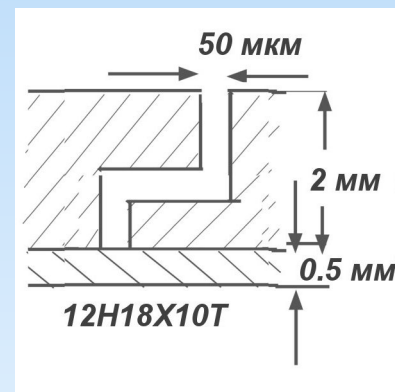
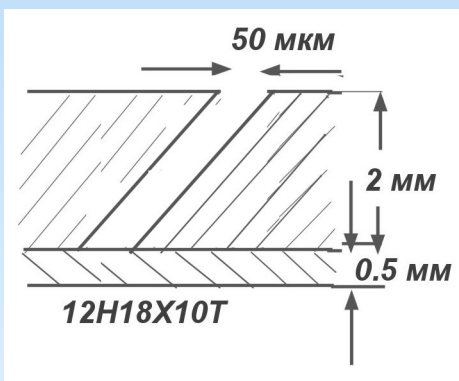
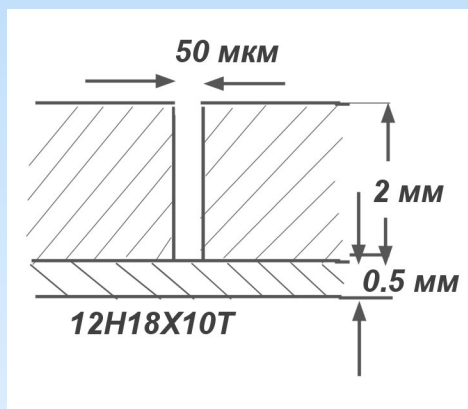
Общий вид пластин со стыками: Слева – прямой стык, в центре – косой стык, справа – стык ступенькой. Медь – М1, диаметр 30 мм



Общий вид сборок для исследования микроструй. Подложка – 12Н18Х10Т (h=0.5 мм). Прямой стык, медь М1 (h=2 мм)



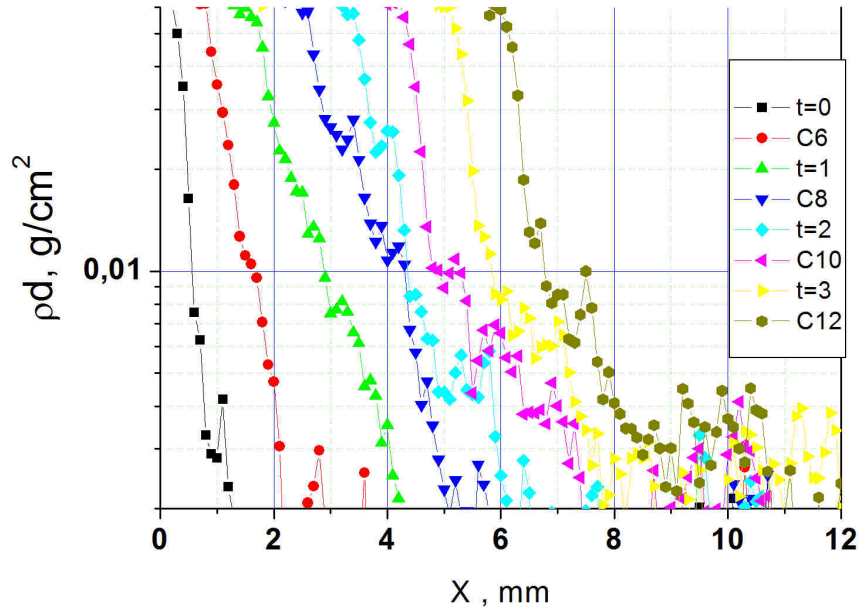
Микро-струи из стыков.



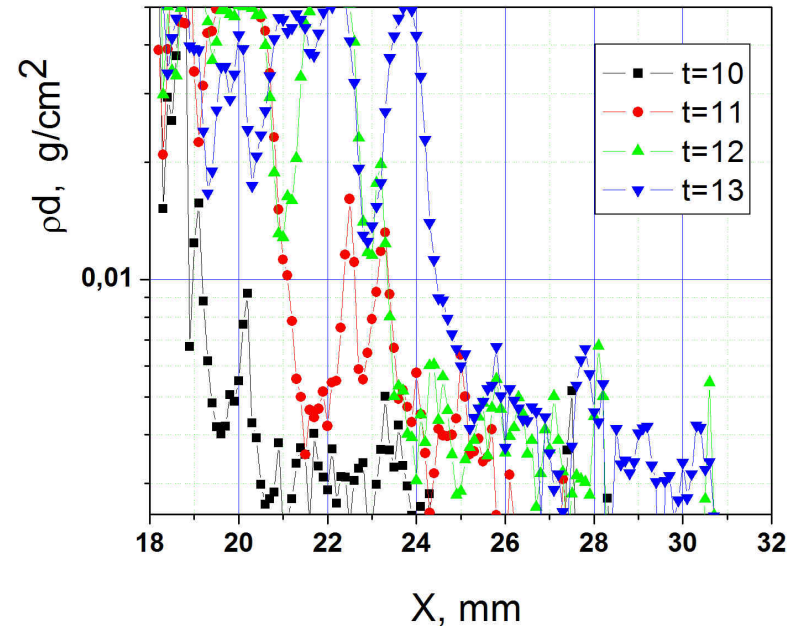
Детальные рисунки стыков медных пластин. Слева – прямой стык, справа – косой стык. Детали крепились на подложку из 12Н18Х10Т



Микро-струи из прямого стыка.



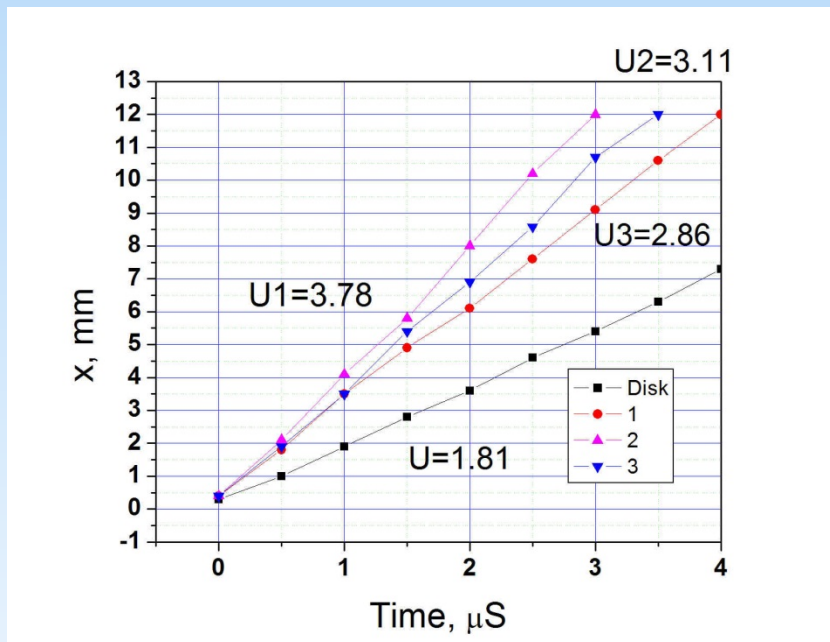
Динамика распределений массы струи от времени. Прямой стык. 1-3.5 мкс.



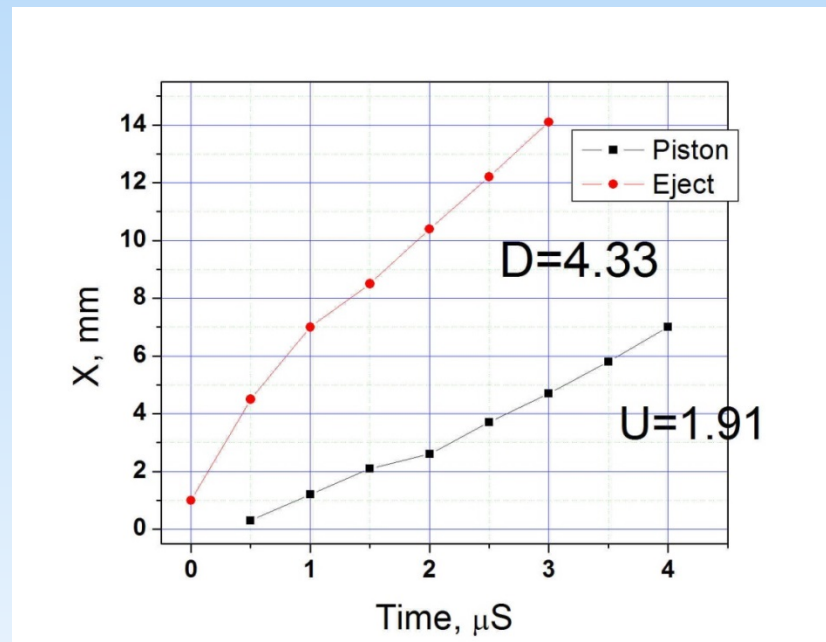
Динамика распределений массы струи от времени. Прямой стык. 10-13 мкс.



Микро-струи из прямого стыка.



X-t диаграмма положения диска и струи из стыков. 1-прямой, 2-ступенька, 3-косой.



X-t диаграмма положения диска и струи из отверстий.



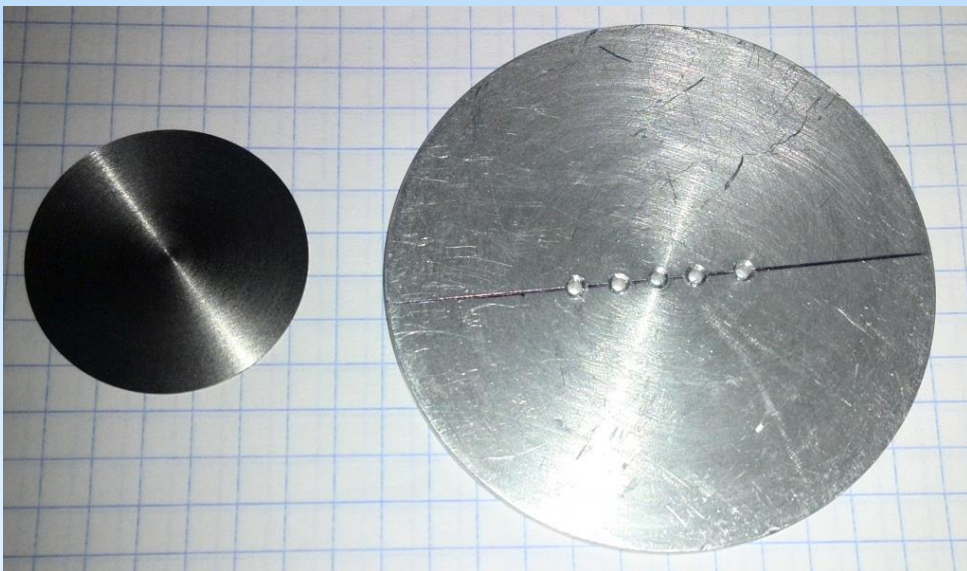
Микро-струи из стыков.

| Время | Масса струи, мг/мм | | |
|---------|--------------------|-------|-----------|
| | Прямой | Косой | Ступенька |
| t=1 мкс | 0.454 | 0.242 | 0.323 |
| t=2 мкс | 0.882 | 0.438 | 0.638 |
| t=3 мкс | 1.221 | 0.668 | 0.944 |
| t=4 мкс | 1.521 | 0.878 | 1.134 |

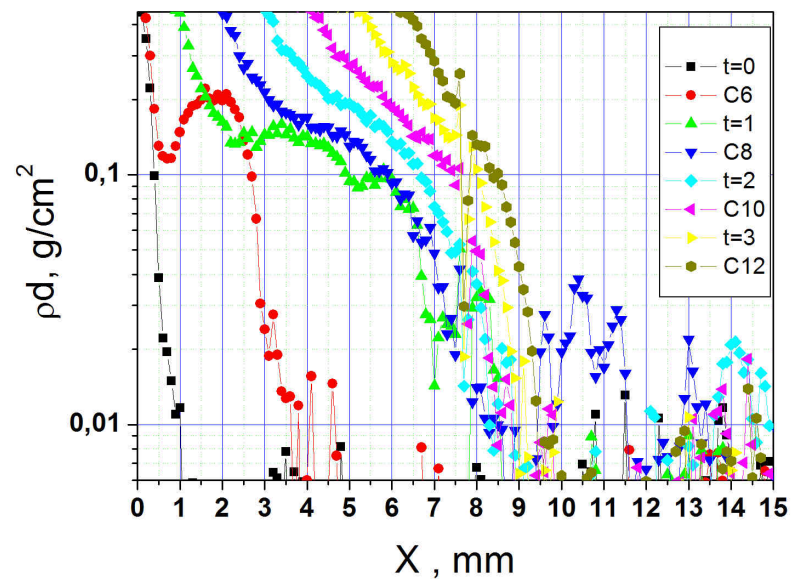
Динамика массы потока частиц от времени для разных видов соединений. Масса приведена на 1 мм высоты струи.



Микро-струи из отверстий.



Общий вид алюминиевого диска с отверстиями диаметром 1 мм.



Динамика массы струи от времени для диска с отверстиями.



Выводы.

Проведены эксперименты по регистрации распределения массы вдоль струи из канавок и стыков различной формы.

1. Измерены скорости пластины и струи в зависимости от времени для канавок размером 30, 100 и 200 мкм.
2. Измерены скорости пластины и струи в зависимости от времени для стыков (соединений).
3. Получены распределения массы вдоль струи из канавок в зависимости от их ширины. Минимальная измеряемая линейная масса - 0.001 г/см^2
4. Получены распределения массы вдоль струи из стыков. Наименьший выброс массы зарегистрирован из косого стыка.

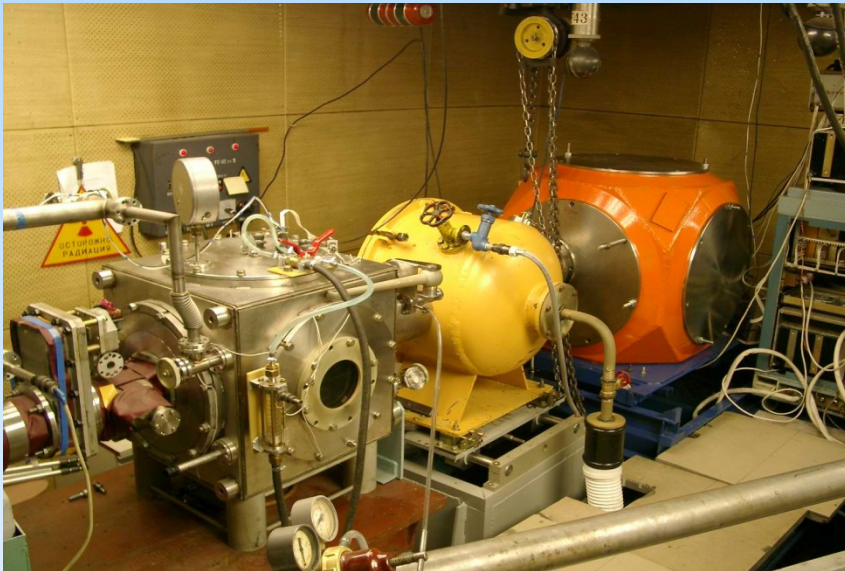


*Thank you
for your attention!*



Микро-струи из отверстий.

Экспериментальная база.

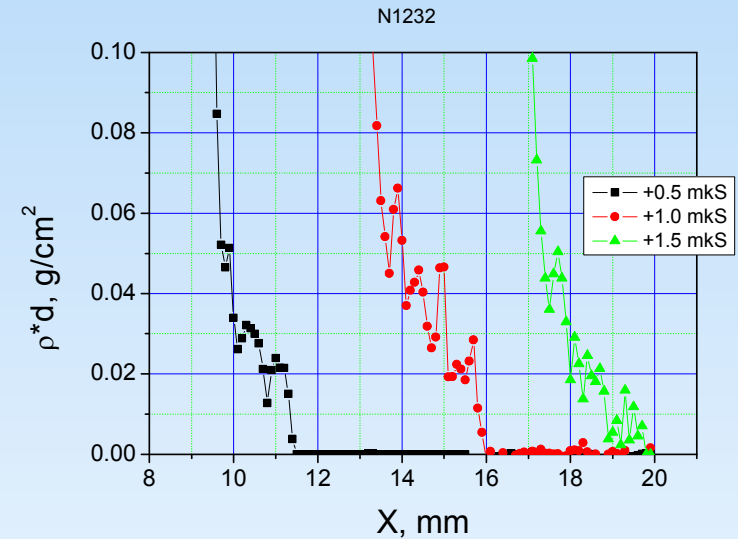
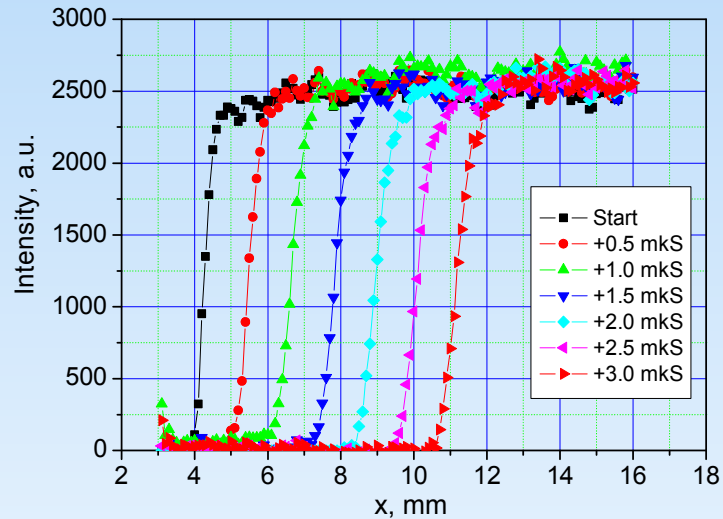


Стенд по исследованию детонационных процессов на 0-м канале накопителя ВЭПП-3.



Общий вид новой станции в бункере ВЭПП-4. 1 – входная труба для СИ, 2 – блок коллиматоров, 3 – взрывная камера, 4 – блок регистрации, 5 – свинцовая ловушка

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.