



Планы работ на ВЭПП-4

Часть 1.

Дифракция и осесимметричная микротомография

Основные направления работ

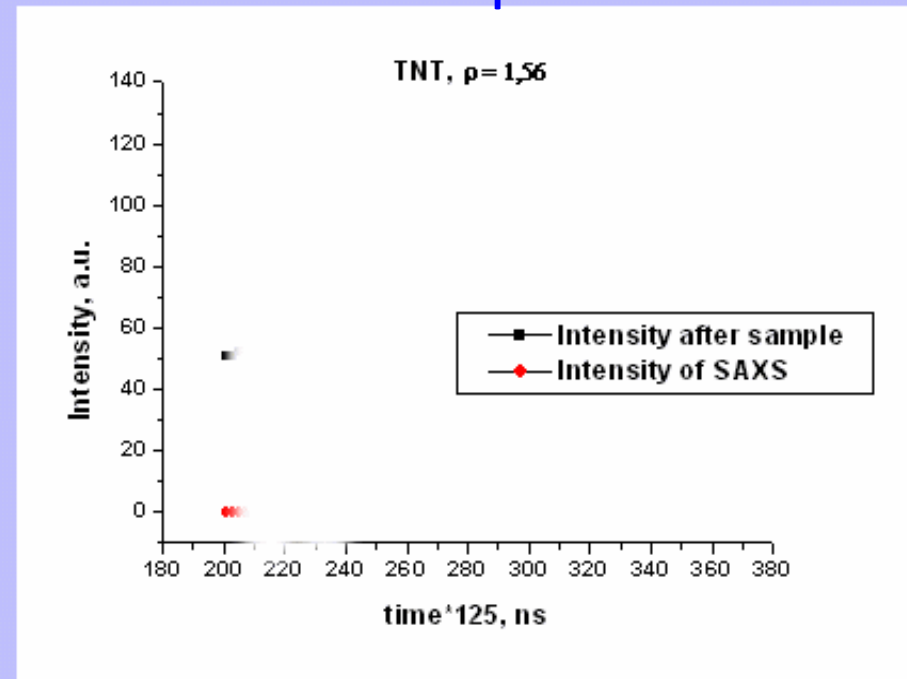
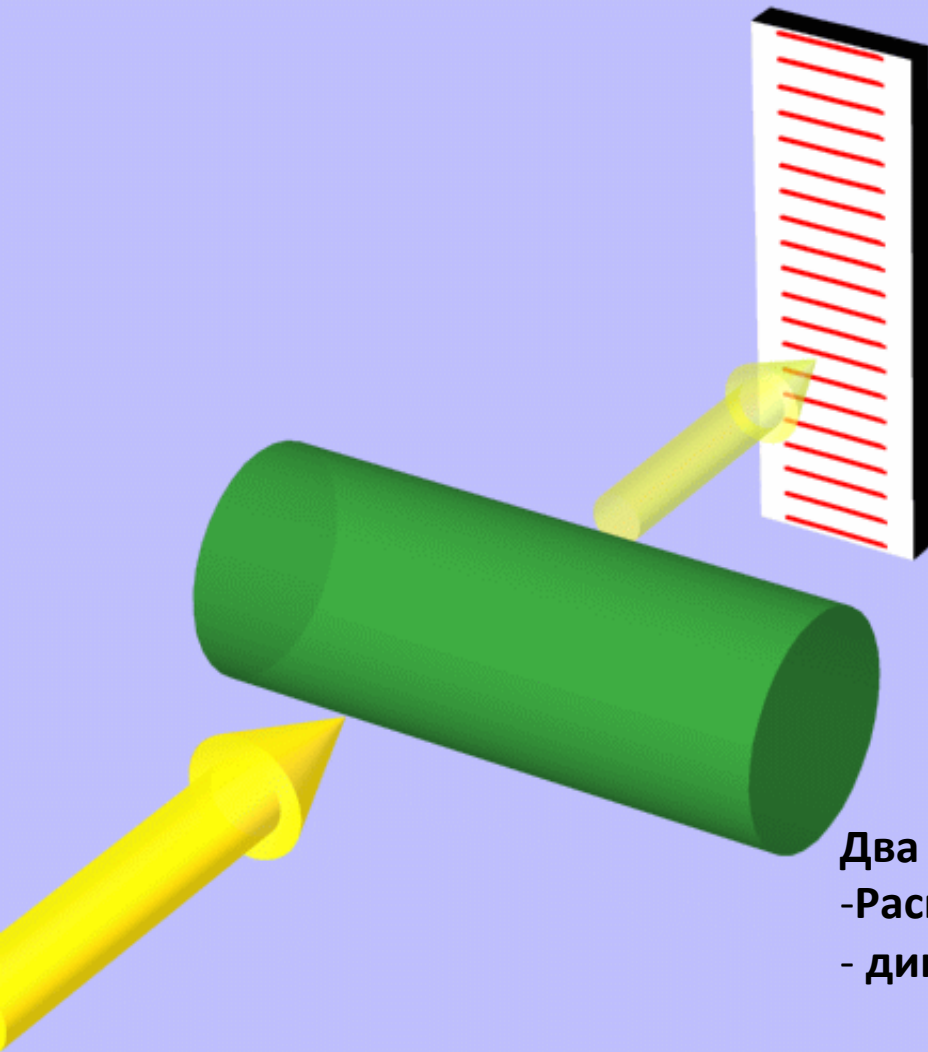
- Сотрудничество с ФЯЦ ВНИИТФ - детонация
- Сотрудничество с ФЯЦ ВНИИЭФ – ударные волны
- Работа по проекту РФ ИЯФ – исследование поведения структуры первой стенки термоядерного реактора
- Сотрудничество с ФНПЦ АЛТАЙ – твердое ракетное топливо
- Коллаборация с институтами РАН – уравнение состояния

Статус работ

Реализовано два метода:

- Микротомография с наносекундным разрешением (осесимметричный случай)
- Рентгеновская дифракция, малоугловое рассеяние (МУРР)

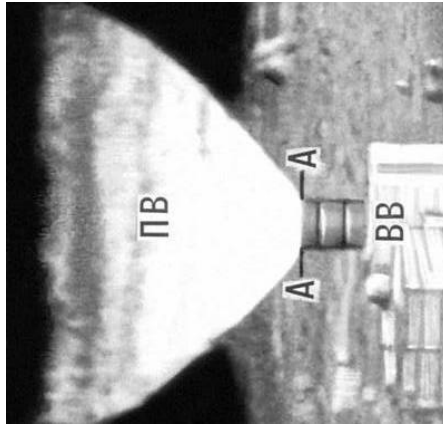
Детонация и ударноволновые процессы



Два направления исследований:

- Распределение плотности за фронтом детонации
- динамика образования продуктов детонации

ВЭПП-3 модельные системы 15 г, ВЭПП-4 – реальные изделия 200 г



The photography of explosion



Pressure distribution

Микротомография с наносекундным разрешением (осесимметричный случай)

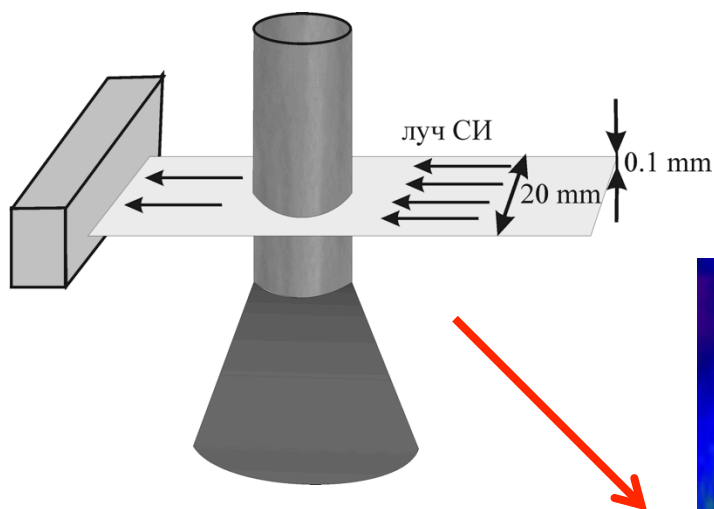
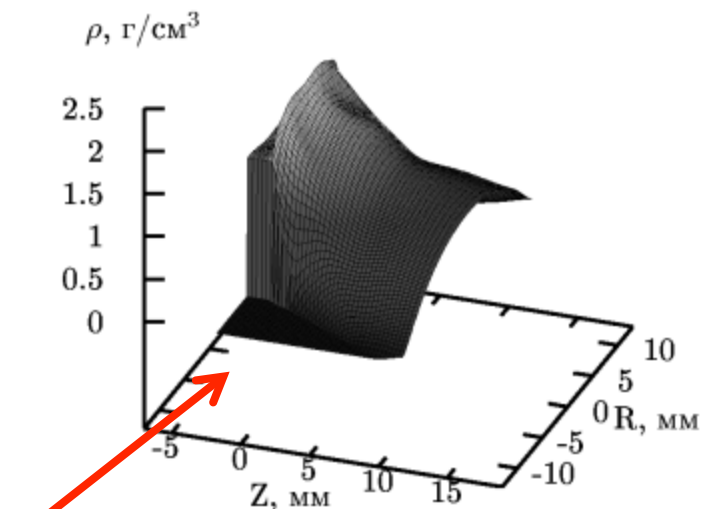
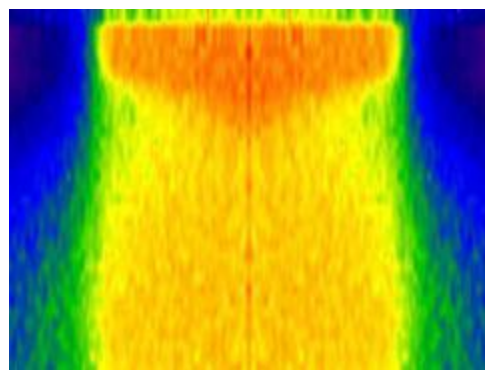


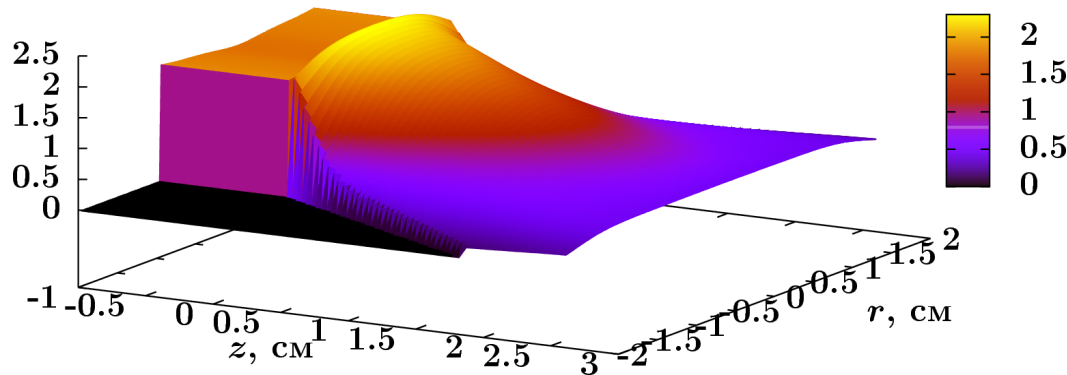
Схема эксперимента рентгеновской томографии цилиндрически симметричных объектов для восстановления распределения плотности внутри течения в волне стационарной детонации.



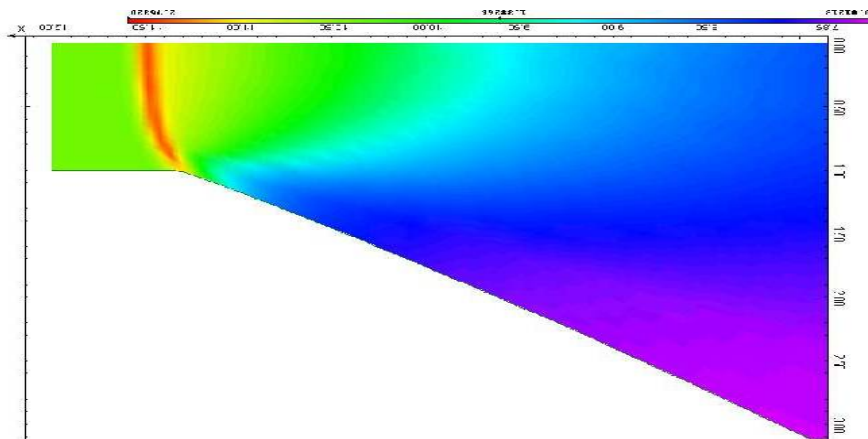
Распределение плотности разлетающихся продуктов детонации, восстановленная по экспериментальным данным. Свойства заряда: цилиндрический заряд прессованного тротила диаметром 12,5 мм, плотностью 1.6 г/см³.

Сравнение экспериментальных данных ИЯФ и компьютерных расчетов ФЯЦ ВНИИТФ ФЯЦ ВНИИЭФ

ρ , г/см³, ТУ 75 11903-538-90

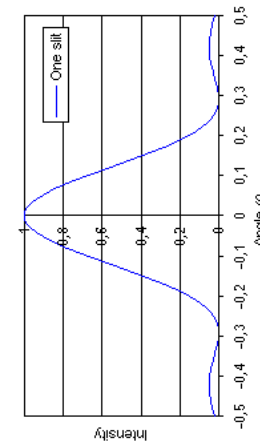
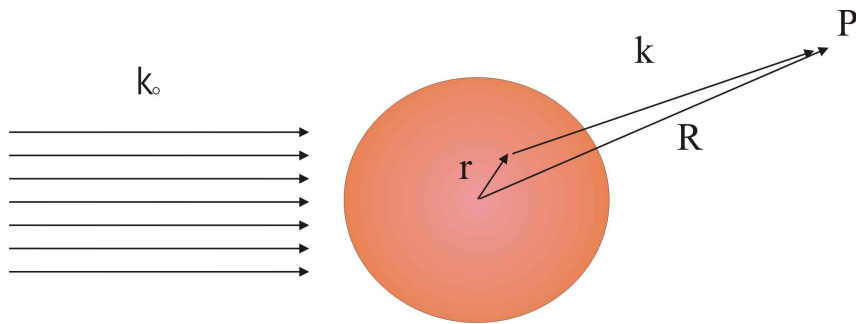


Экспериментальные данные распределения плотности за фронтом детонации, полученные в ИЯФ



Данные компьютерных расчетов распределения плотности за фронтом детонации, полученные в ФЯЦ ВНИИТФ ФЯЦ ВНИИЭФ

Дифракция рентгеновских лучей на частице размером ~ 10 нм

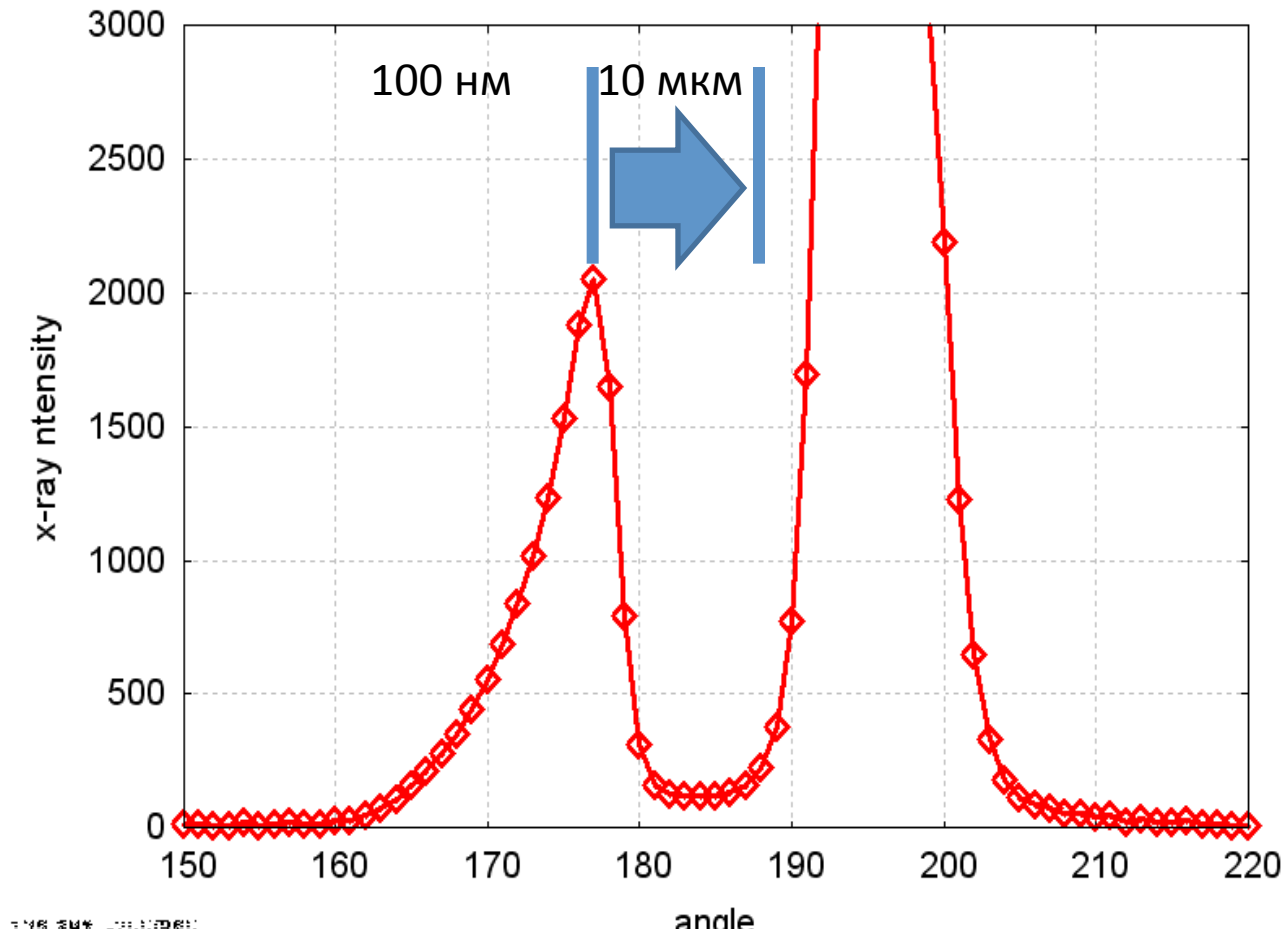


$$I(k) = \iiint \rho(r) \exp(-ikr) dV$$

$$\rho(r) = \iiint I(k) \exp(ikr) dk$$

$$k = 2\pi / \lambda$$

Рентгеновская дифракция, малоугловое рассеяние (МУРР)



МУРР с экспозицией 70 пс

ВЭПП-3 наночастицы 10-100 нм, ВЭПП-4 – наночастицы 10-10000нм

Требования заказчика к новому контракту ИЯФ-ВНИИТФ*



Научный руководитель ФЯЦ
ВНИИТФ, академик РАН
Г.Н.Рыкованов

- Увеличение интенсивности – 80 раз
- Расширение спектрального диапазона – до 100 кэВ
- Улучшение временного разрешения – 100 нс
- Экспозиция – 80 пс
- Улучшение пространственного разрешения – 50 мкм
- Информация МУРР о частицах и порах – 600 нм
- Реализация Лауэ дифракции

* По сравнению с результатами на ВЭПП-3

Пожелание заказчика по перспективному развитию методов*



Научный руководитель ФЯЦ
ВНИИТФ, академик РАН
Г.Н.Рыкованов

- Увеличение интенсивности – 1000 раз
- Расширение спектрального диапазона – до 600 кэВ**
- Улучшение временного разрешения – 20 нс
- Улучшение пространственного разрешения – 10 мкм
- Информация МУРР о частицах и порах – 10 мкм
- Реализация порошковой дифракции
- Разработка 2Д детекторов

- По сравнению с результатами на ВЭПП-3
** для решения задачи 2

Зачем нужен жесткий диапазон СИ ?

Ударноволновой эксперимент

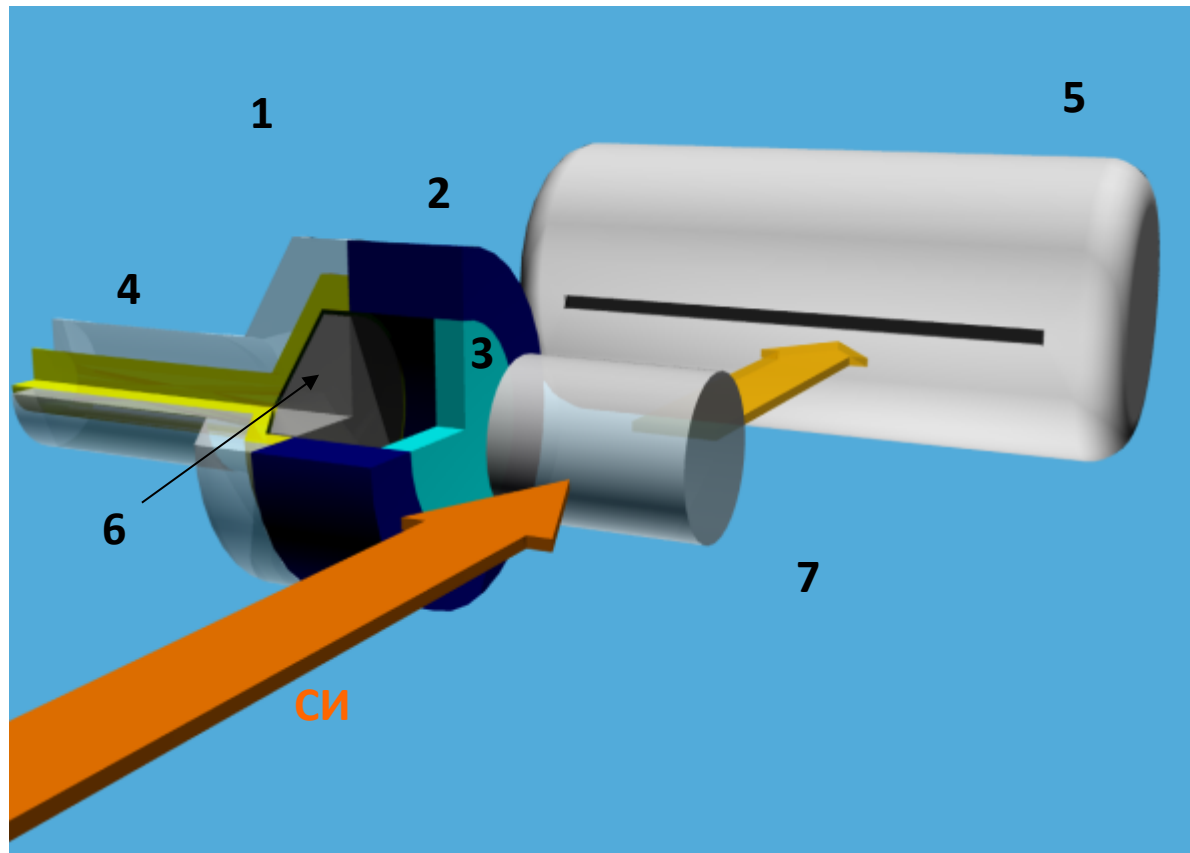
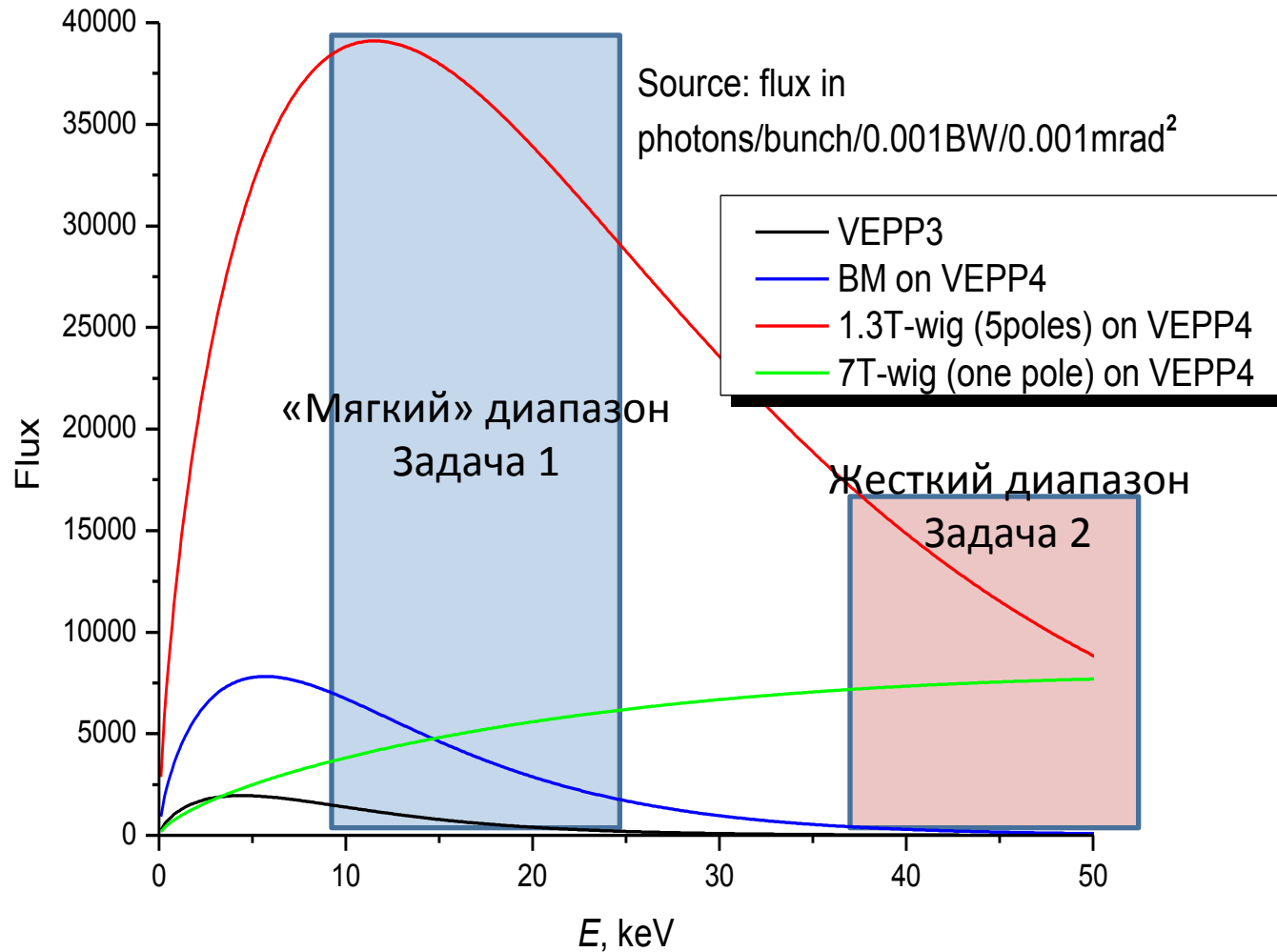


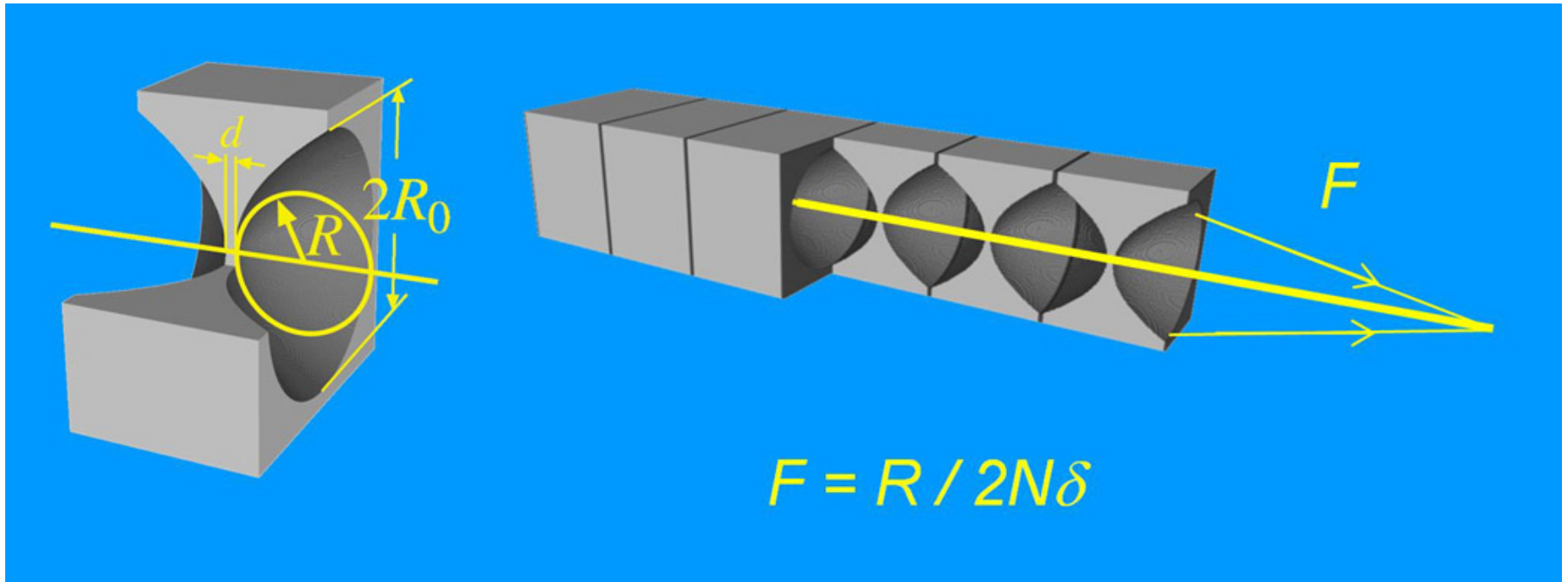
Схема эксперимента: 1- генератор плоской волны, 2- пушка, 3-пуля, 4-детонатор, 5-детектор, 6- BB, 7- образец.

Реализуемость требований

Увеличение интенсивности и спектра с переходом на ВЭПП-4

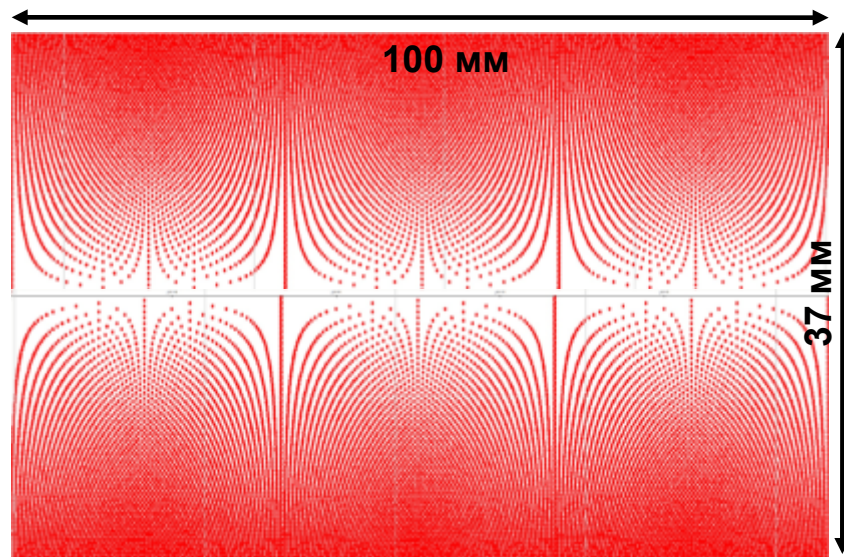


Рефракционная оптика

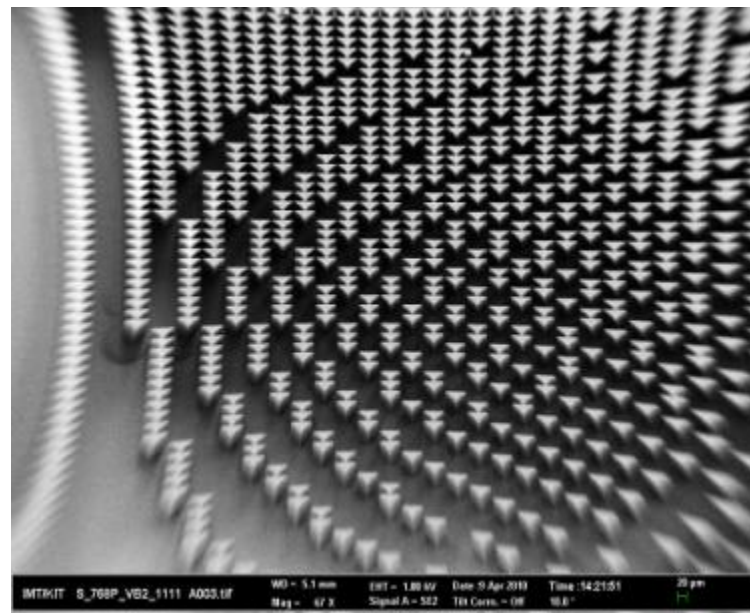


Рентгеновская рефракционная мозаичная оптика

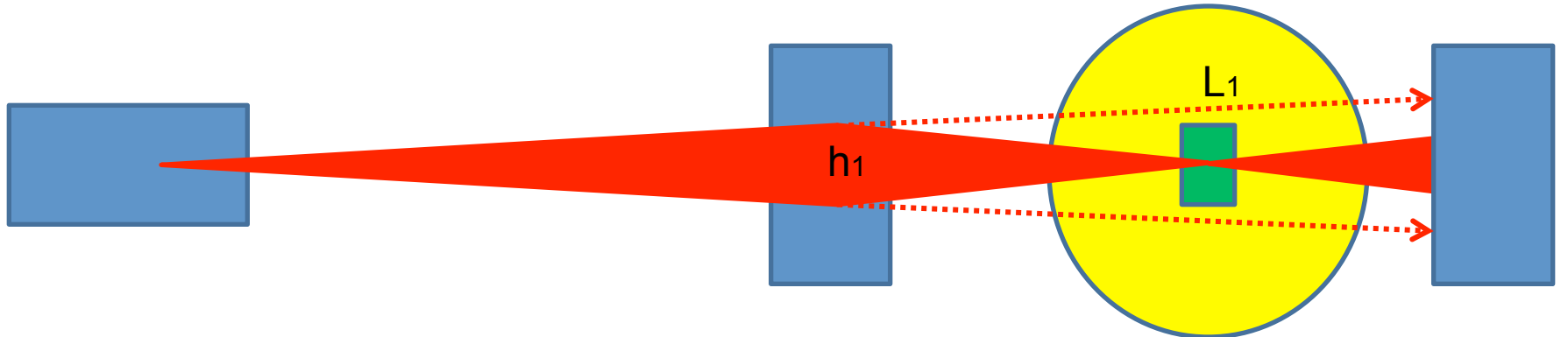
Дизайн фокусирующей преломляющей линзы.
Высота микроструктур от 500 мкм до 2000 мкм.
N=100000 элементов



Пример готовой линзы



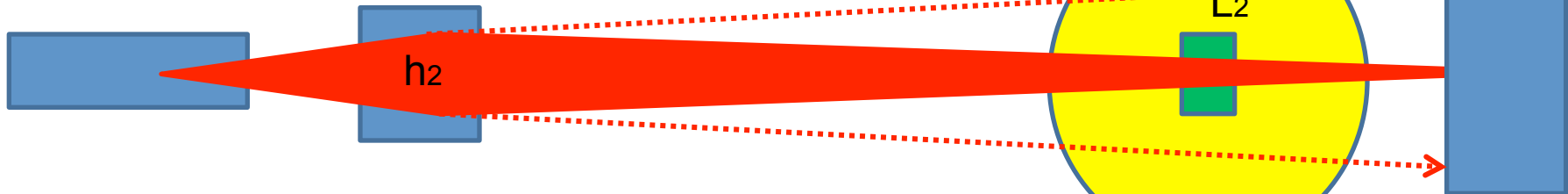
X-ray optics



Wiggler

SU-8 lens
 $h_1=40$ mm

$L_1=0,1$ mm



Wiggler

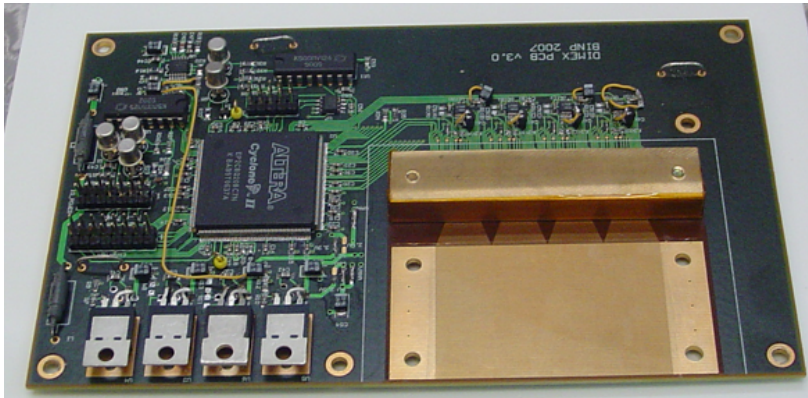
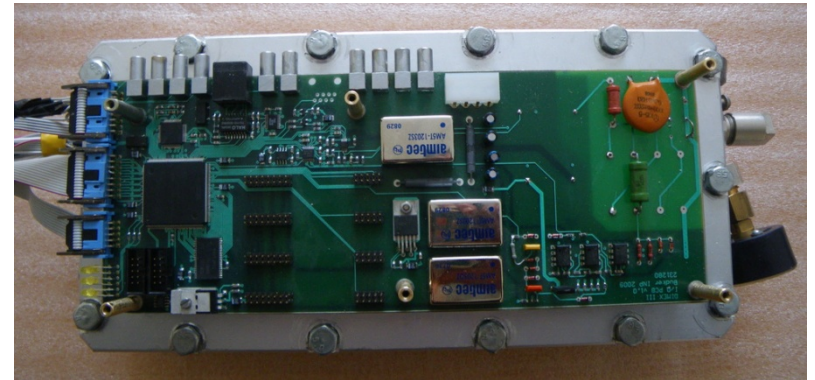
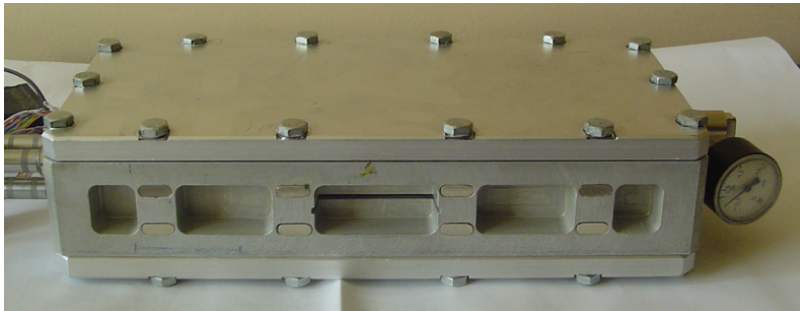
Ni lens
 $h_2=60$ mm

$L_2=40$ mm

Рентгеновский детектор для изучения быстропротекающих процессов

DIMEX

(Detector for IMaging of Explosions)



DIMEX3: 512 каналов шаг 0.1мм

- Интегрирующий режим
- Физические регистрирующие каналы
- 1 вспышка СИ → один кадр
- Число кадров 32
- Минимальная длительность кадра 125 нс.

Si- сенсор.

Для обеспечения точности определения плотности потока квантов **0,1%** необходимо регистрировать в канале от одного банча **10^6 фотонов/банч**.

При энергии фотонов 20 кэВ это соответствует:

$$2 \cdot 10^4 [\text{эВ}] / (4 [\text{эВ}/(\text{пару})]) \cdot 10^6 [\text{фотонов}] = 5 \cdot 10^9 [\bar{e}],$$

или $5 \cdot 10^9 [\bar{e}] \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} [\text{К}] = 8 \cdot 10^{-10} [\text{К}/(\text{канал} \cdot \text{банч})]$.

Полагая длительность импульса тока 10ns, получим **$\sim 0,1$ [А/(канал*банч)]**. При числе каналов в детекторе $\sim 10^3$ получим **10^2 [А/(детектор*банч)]**.

Средний ток при периоде следования сгустков 600 ns (скважность 60) соответственно будет **1,6 [мА/канал]** и **1,6 [А/детектор]**.

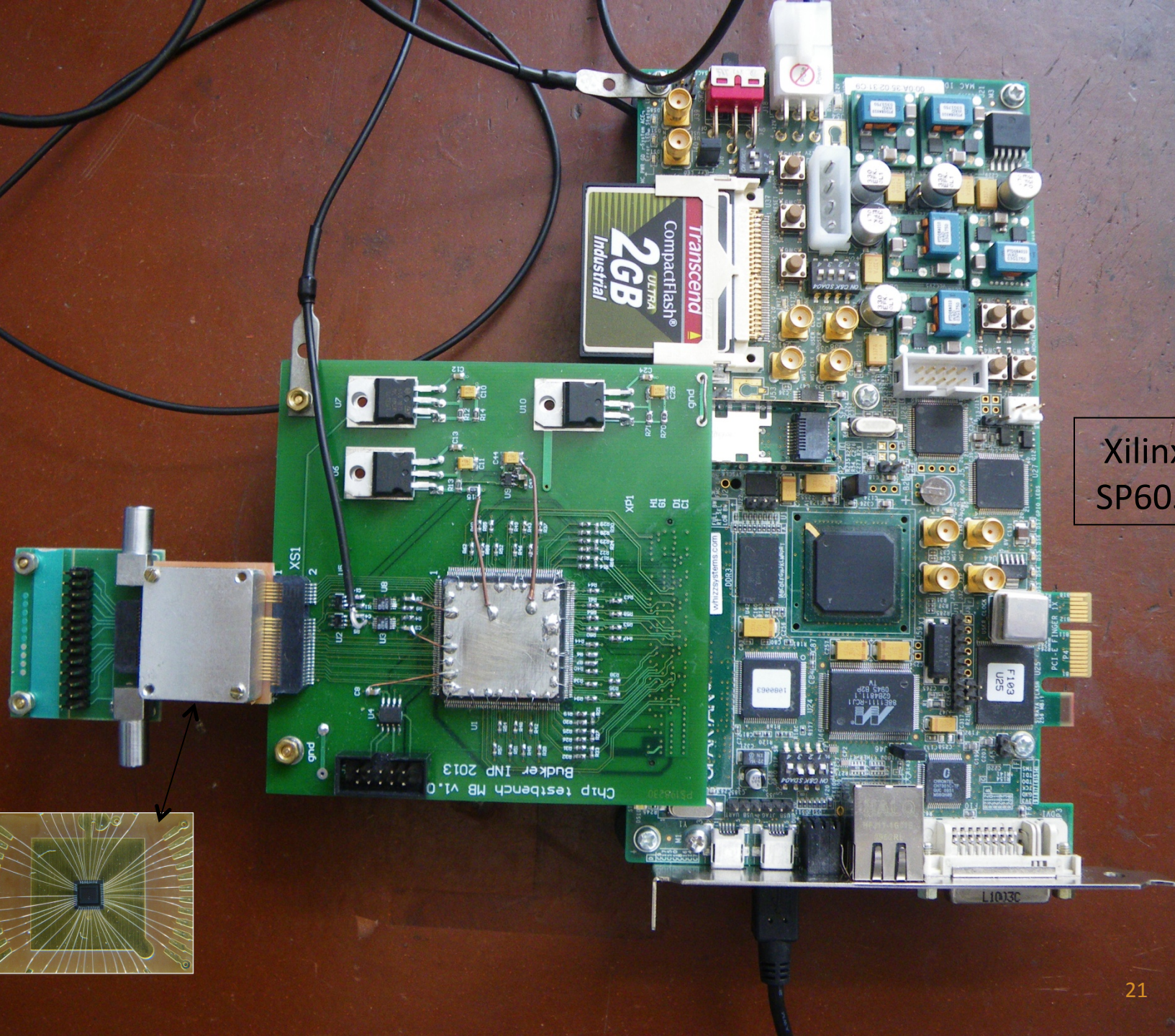
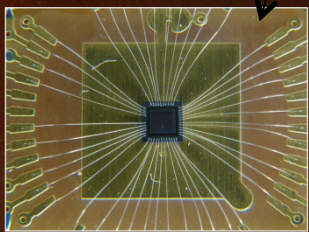
Абсолютно необходимо использовать быстрый затвор для снижения средней загрузки.

Полагая время открытого состояния затвора ~ 30 мкс, что вполне достаточно для взрывных экспериментов, и период ~ 20 мс (3000 оборотов/мин), получаем $1,6 [\text{А}/\text{дет.}] \cdot 30 \cdot 10^{-6} [\text{с}] / (20 \cdot 10^{-3} [\text{с}]) = 2,4 [\text{мА}/\text{дет.}]$.

При напряжении смещения на детекторе ~ 500 в мощность рассеиваемая на детекторе составит **1,2 ватта**.

Необходим микрополосковый сенсор с очень низким ($\sim 50 \div 100$ ом) сопротивлением между полосками и «землёй».

Xilinx
SP605



Физический пуск нового канала синхротронного излучения на ВЭПП-4 «Детонация»

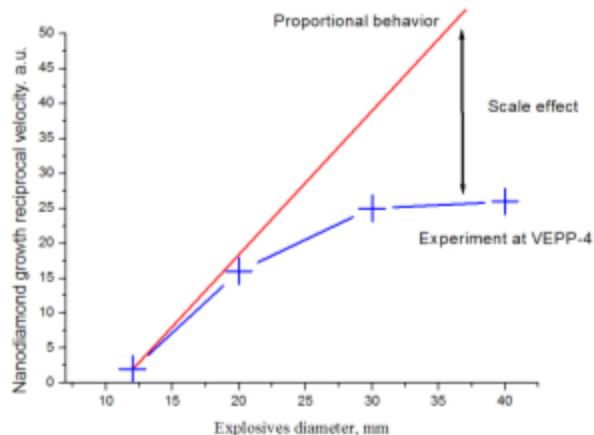


Станция ДЕТОНАЦИЯ

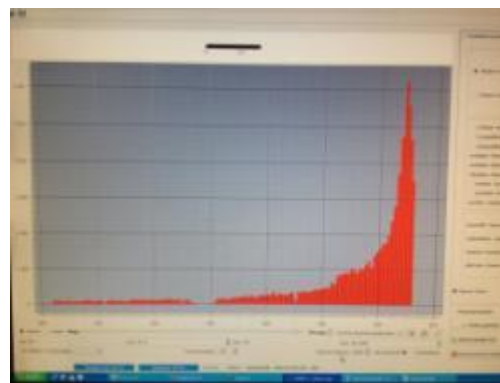
Запуск станции позволил начать работу с реальными образцами специзделий ФЯЦ ВНИИТФ диаметром 40 мм и мощностью 200 г в тротиловом эквиваленте. Всего проведено 25 экспериментов. Полученные данные уже позволят улучшить параметры разрабатываемых специзделий. На 2015 год планируется 50 экспериментов ФЯЦ ВНИИТФ и ФЯЦ ВНИИЭФ, а также эксперименты ИГиГ СО РАН, ИХТТМ СО РАН, ИПХФ РАН и ИВТ РАН.



Детектор DIMEX, для экспериментов МУРР.



Масштабный эффект роста наноалмазов



Сигнал МУРР от детонационных нано алмазов, полученный за 1 нс.

Моделирование поведения материалов первой стенки термоядерного реактора (Лаб – 10, Бурдаков А.В, Аракчеев А.С)

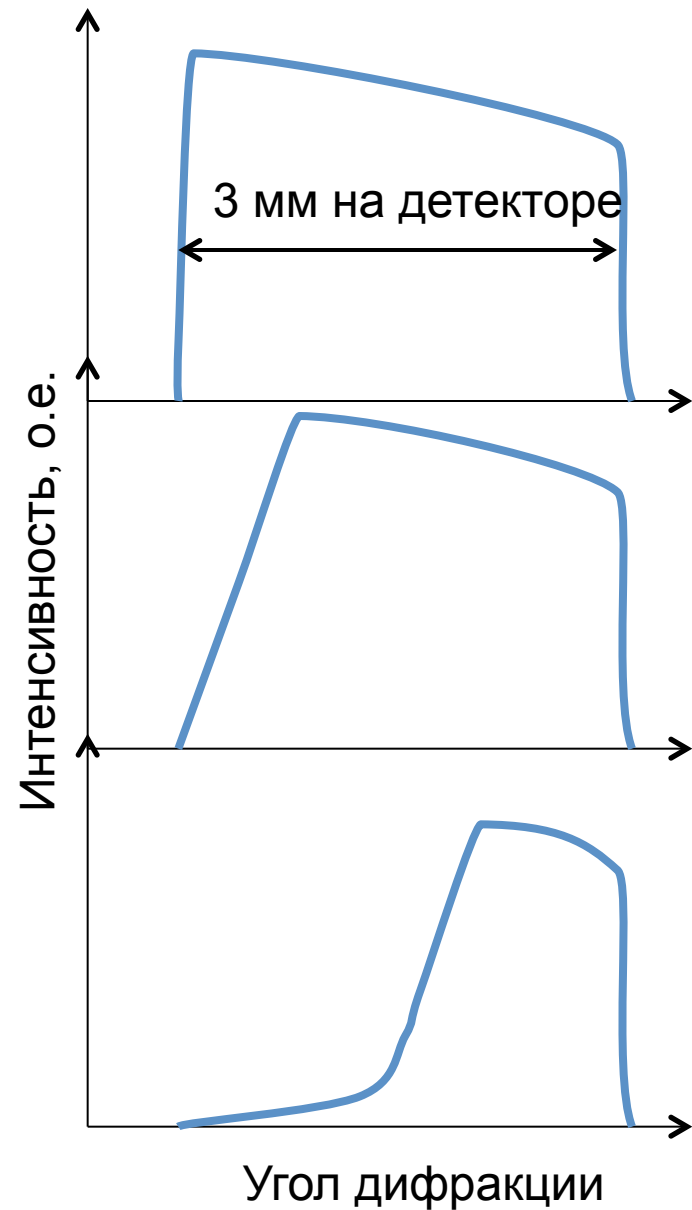
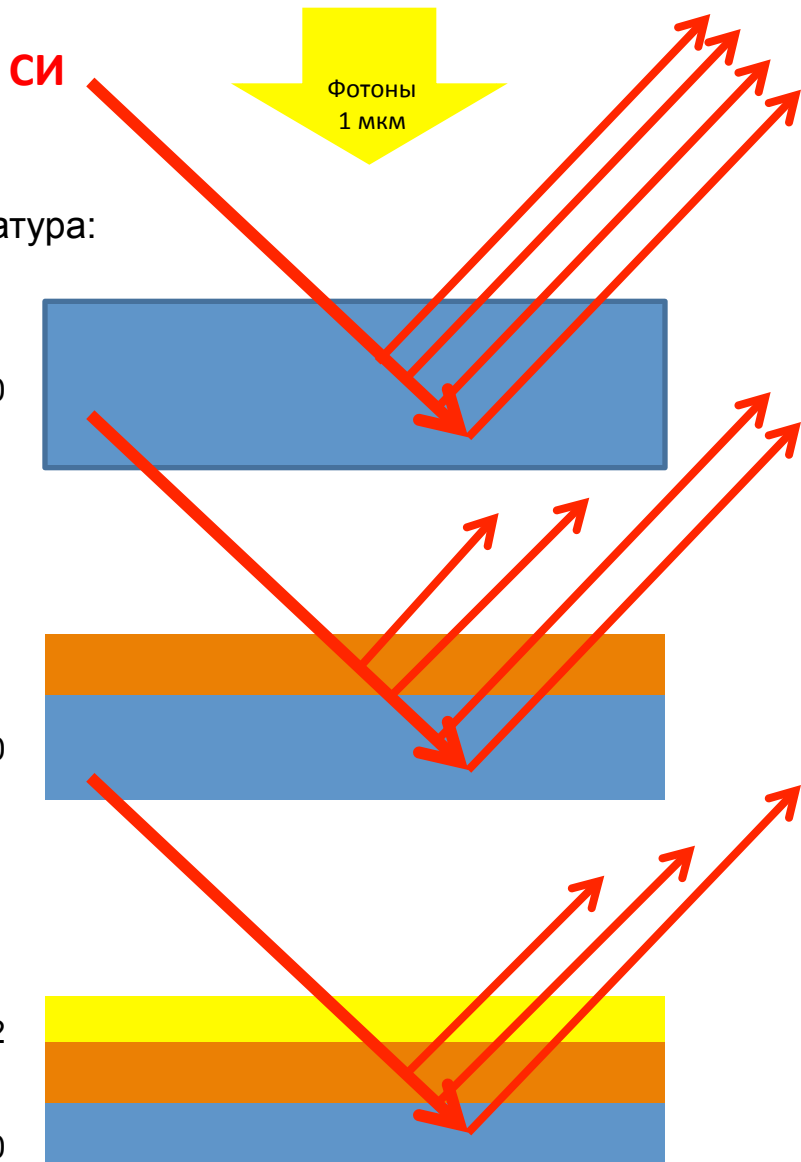


Interior of [Alcator C-Mod](#) showing the [molybdenum](#) tiles used as first wall material

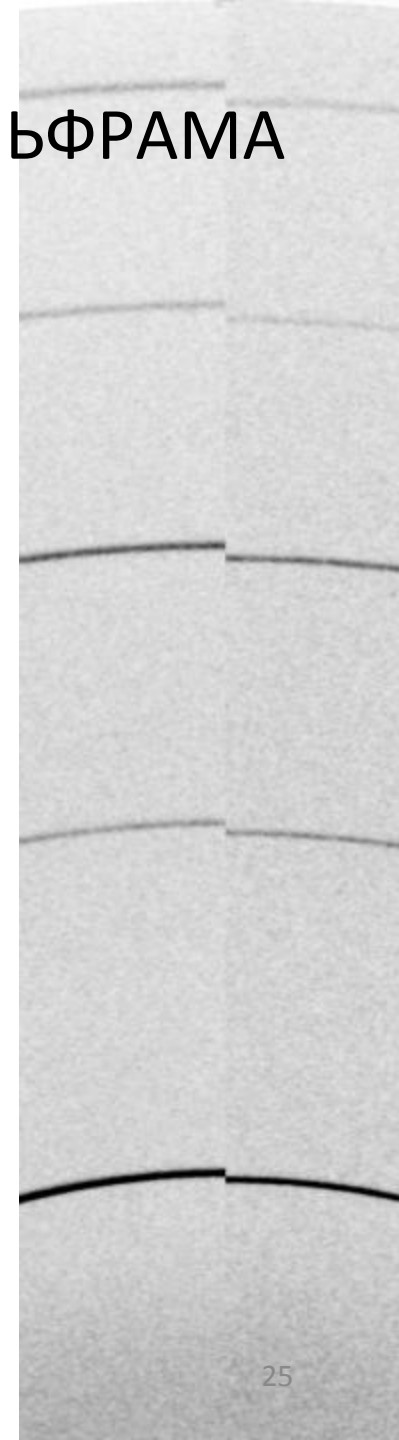
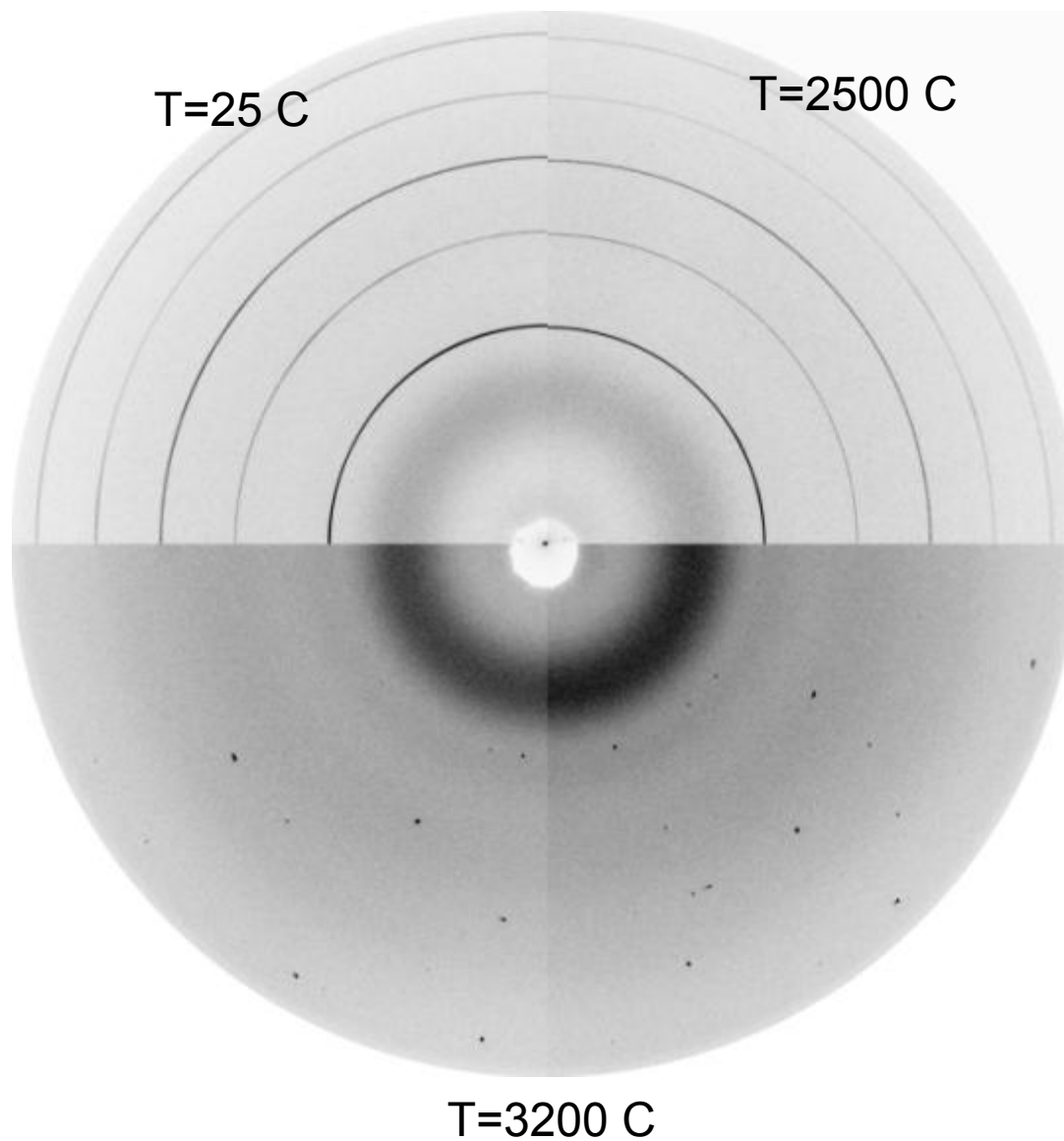


Interior of [Tokamak à configuration variable](#) showing the [graphite](#) tiles used as first wall material

Сканирование по глубине образца Ti на энергии излучения 50 кэВ. Ожидаемые дифракционные профили



ТЕСТОВЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО НАГРЕВУ ВОЛЬФРАМА



Колаборация с институтами РАН

- ИВТ РАН Москва, Черноголовка
- ИФМ УрО РАН Екатеринбург
- ИСМ РАН Черноголовка
- ИК СО РАН
- ИНХ СО РАН
- ИГиГ СО РАН
- ИХТТМ СО РАН
- ИХН СО РАН



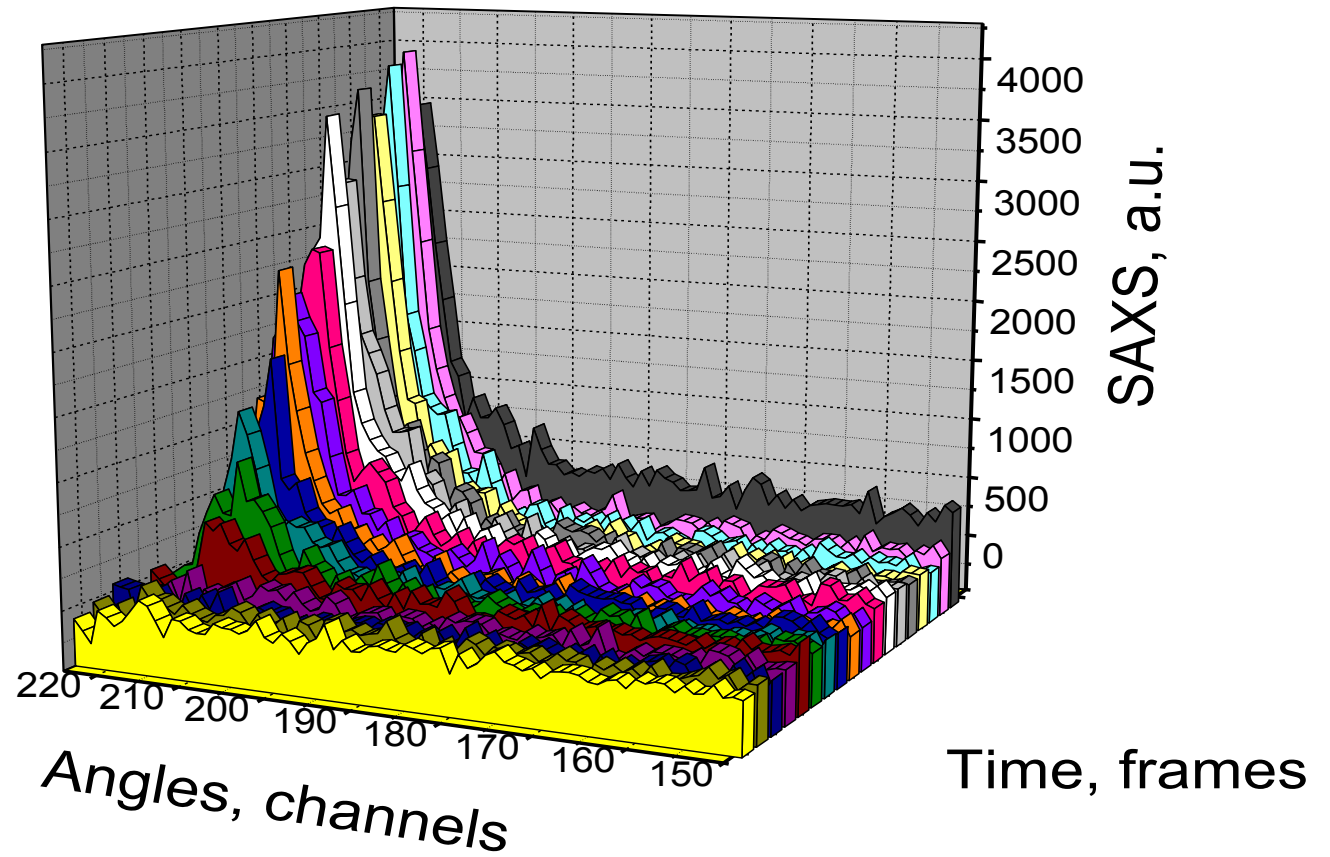
Совещание в ФЯЦ ВНИИТФ по контракту 2014 г
№ 13-148 и обсуждения перспективных работ на ВЭПП-4 с ИЯФ СО РАН

Спасибо за внимание

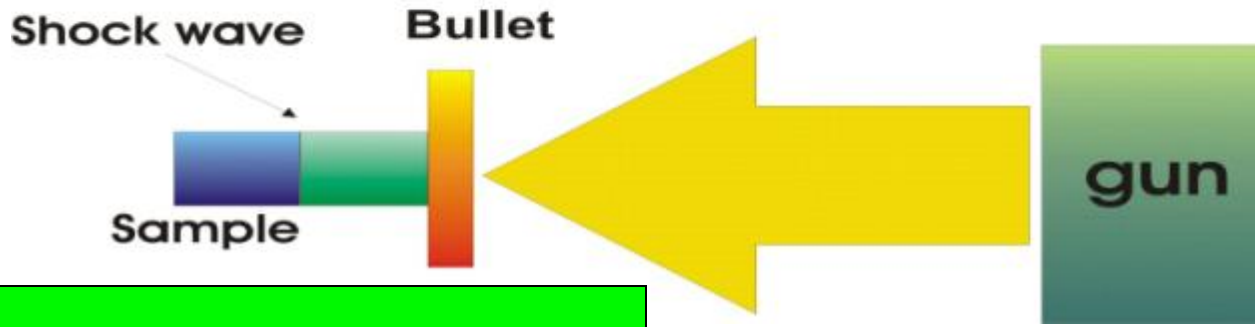
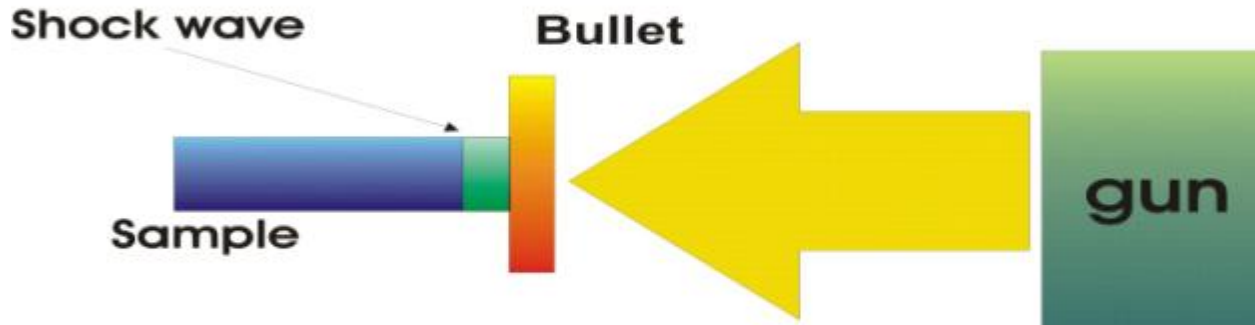
Финансирование на 3 года

- Детонация – выделено 42 млн руб, получено 14 млн руб
- Плазма – выделено в РФ ИЯФ 15 млн руб
- РАН – выделено 5 млн руб (РФФИ ОФИ-М)
- СО РАН ~ выделено 30 млн руб (базовое финансирование)
- ФНПЦ АЛТАЙ – включены в план финансирования на 2016

TG, D=40mm



The technical realization



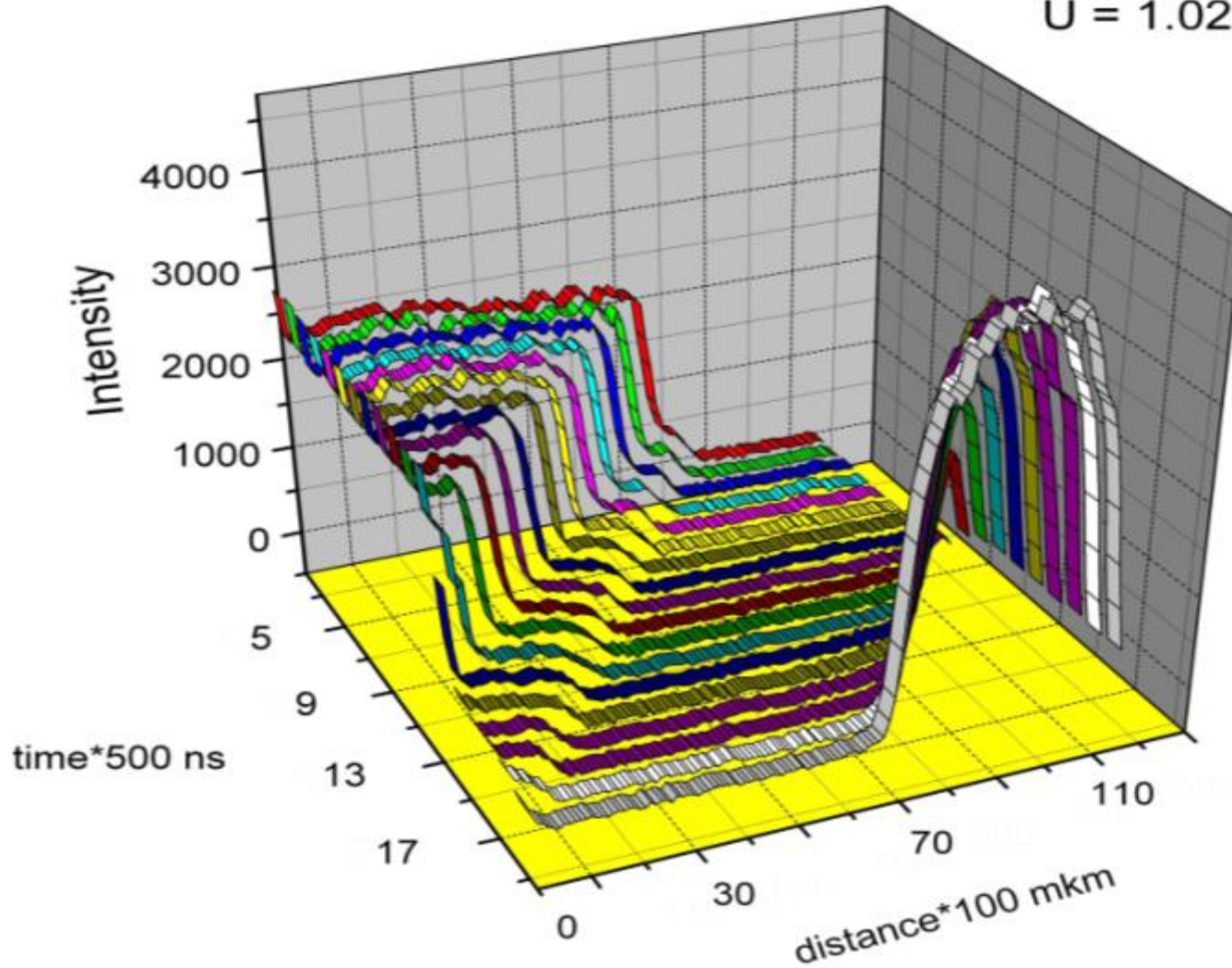
1-coordinate
detector

Shock wave propagation in SiO₂

N 443 Aerogel

D = 1.28 km/s

U = 1.02 km/s



Investigating the Isothermic Compression of Triamino-Trinitrobenzene with Synchrotron Radiation

L. Kh. Badretdinova^a, O. V. Kostitsyn^b, E. B. Smirnov^b, A. V. Stankevich^b,
K. A. Ten^c, and B. P. Tolochko^d

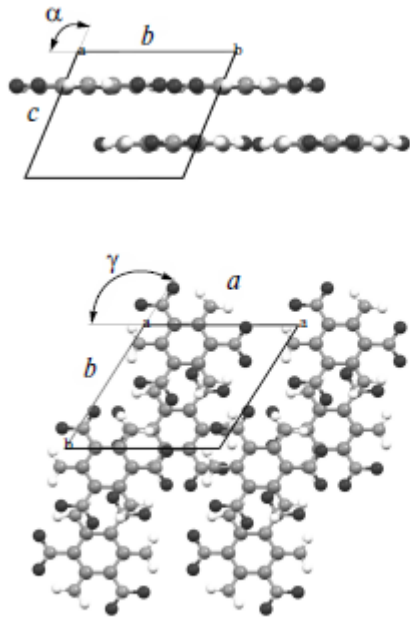


Fig. 1. Unit cell of the TATB molecule.

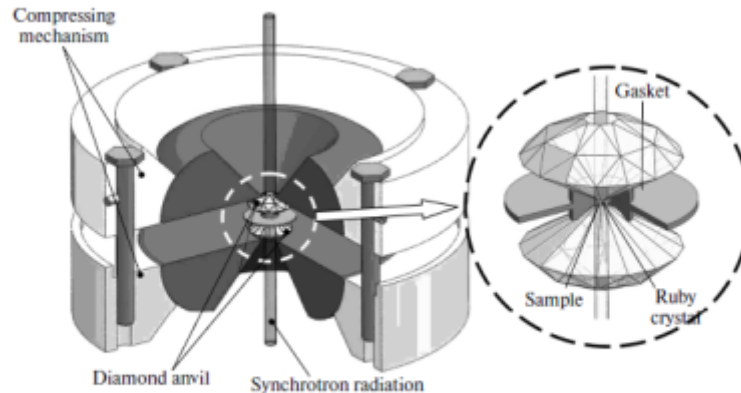
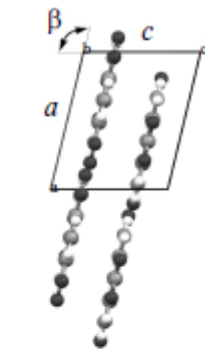


Fig. 2. Schematic of the high-pressure diamond anvil cell.

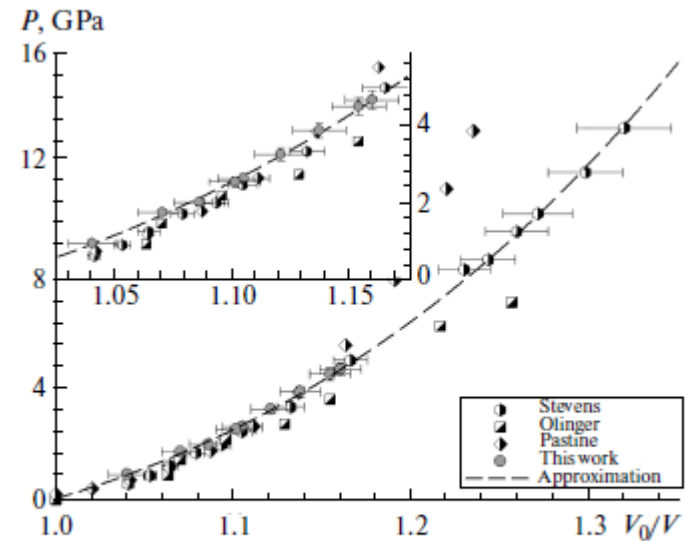


Fig. 5. Isotherm of TATB at $T = 293$ K.

ВЭПП-4 – 300 кбар !