



Исследования на нейтронном комплексе ИЯИ РАН



n

участники работ на пучках Нейтронного комплекса:

- Лаборатория нейтронных исследований ИЯИ

- физика конденсированного состояния
- материаловедение
- ядерная физика и ядерные технологии

- Отдел экспериментальной физики

- Лаборатория атомного ядра

- ядерная физика и ядерные технологии



Учреждение Российской академии наук

ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES



Нейтронные источники на экспериментальном комплексе ИЯИ





Нейтронные источники испарительного типа в мире

действующие:

1) LANSCE (Los-Alamos, США) 1986	1 источник
2) ISIS (RAL, Didcot, Великобритания)	2 источника
3) SINQ (PSI Villigen, Швейцария) 1997	1 источник
5) SNS (ORNL, Ок-Ридж, США) 2006	1 источник
6) JSNS (J-PARC, Япония) 2008	1 источник
7) Нейтронный комплекс ИЯИ (Троицк) 2010	3 источника

проектирование или начало строительства:

1) CSNS (Dongguan, КНР) ~ 2017	1 источник
2) ESS (Lund, Швеция) 2019 ?	2 источника

время работы на эксперименты на нейтронных пучках:

в мире: ~250 дней за год, Нейтронный комплекс ИЯИ - 7-14 дней в год
потребности ИЯИ ~50 дней, для пользовательской программы >120 дней



Области применения нейтронных источников ИЯИ

Физика твердого тела:

- структурные исследования, фазовые переходы, в том числе при высоком давлении и в сильных магнитных полях
- магнитные структуры
- сильнокоррелированные электронные системы, тяжелые фермионы, сверхпроводники
- динамические свойства конденсированных сред (твердых тел и "soft matter")

Материаловедение, физика наносистем, физика Земли:

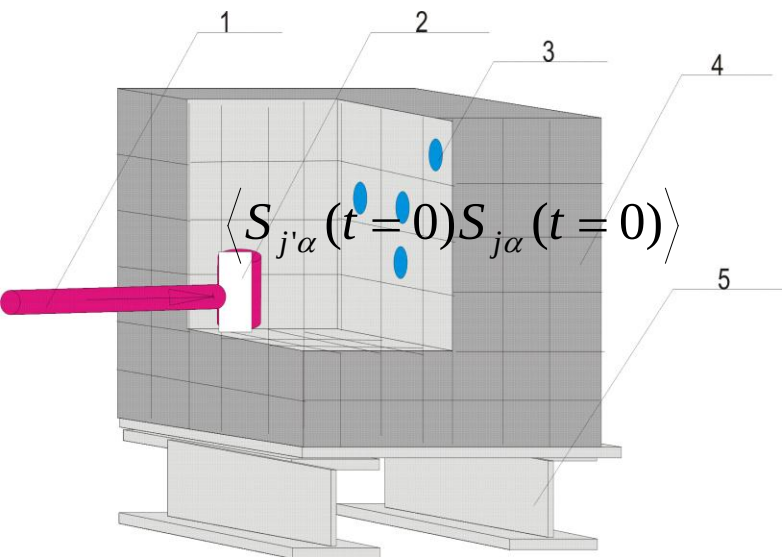
- водородсодержащие системы (геттеры водорода, полимеры, биологические объекты)
- высокопрочные сплавы, в том числе и с наноразмерными включениям
- тонкие пленки, в том числе магнитные
- соединения земной коры, мантии под высоким давлением
- термоэлектрические и магнетокалорические материалы
- материалы для ядерной энергетики

Ядерная физика и ядерные технологии:

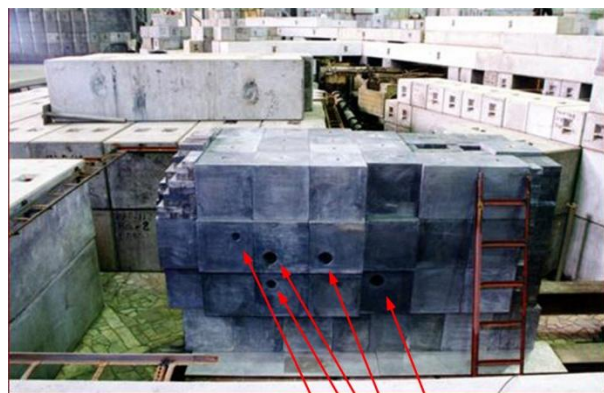
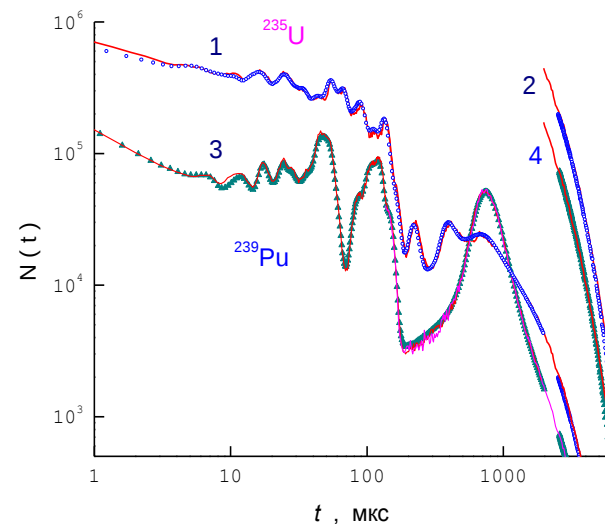
- ядерно-физические константы
- нейтрон-нуклонные взаимодействия



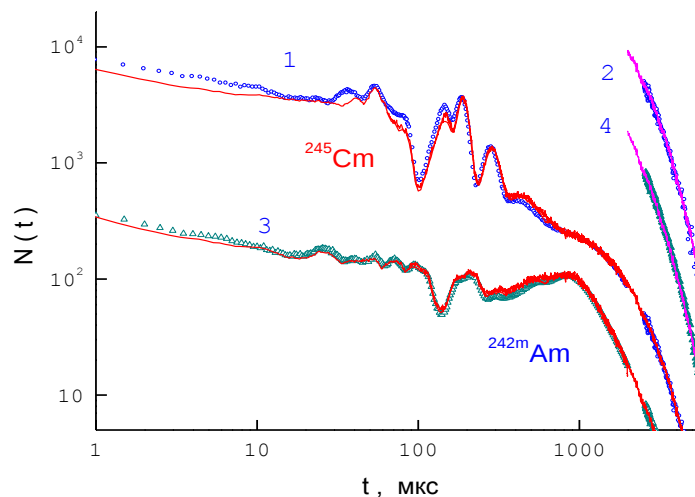
Источник нейтронов СВЗ-100



- 1 - ионопровод протонного пучка
- 2 - свинцовая мишень СВЗ
- 3 - измерительные каналы
- 4 - свинцовые блоки СВЗ
- 5 - стальная подставка



Измерительные каналы



Спектры событий деления $N(t)$ $^{235}\text{U}(n, f)$ (1, 2) и $^{239}\text{Pu}(n, f)$ (3, 4). Данные при $t > 2000$ мкс увеличены в 100 раз

Временные спектры событий деления для ядра ^{245}Cm (1, 2) и $^{242\text{m}}\text{Am}$ (3, 4).



Недавние результаты, полученные на СВЗ-100

В ИЯИ РАН совместно с ГНЦ РФ-ФЭИ измерены сечения деления младших актинидов $^{243, 244, 245, 246, 247, 248}\text{Cm}$ и $^{241, 242\text{m}, 243}\text{Am}$.

Интерес к ядрам этой группы связан с нерешенными проблемами физики переходных состояний при делении сильно деформированных ядер и практическими вопросами ядерной трансмутации отходов ядерной энергетики. Исследовались высоко активные и спонтанно делящиеся изотопы сверхвысокой чистоты.

Результаты измерения сечения деления ядер $^{242\text{m}}\text{Am}$ и ^{245}Cm (в области энергии нейтронов 0,03 эВ – 20 кэВ) занесены в международную базу данных (<http://www.nndc.bnl.gov>) Брукхейвенской лаборатории.

Результаты исследований ряда изотопов в рассматриваемой области энергий нейтронов получены впервые и представлены в серии публикаций.

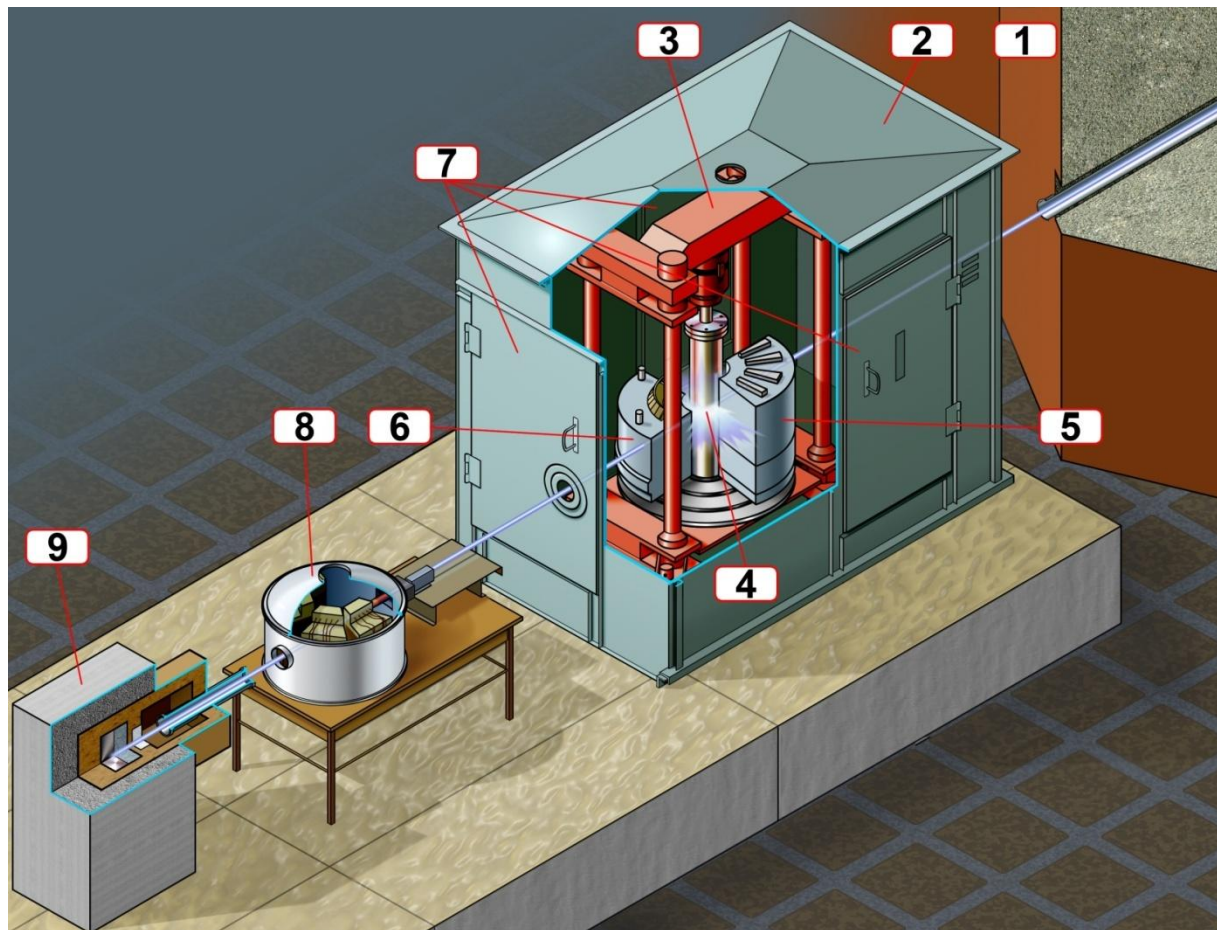


Нейтронный комплекс ИЯИ РАН для исследования конденсированных сред. 1-я очередь установок на импульсном источнике ИН-06





Установка Геркулес-ДИАС на источнике ИН-06

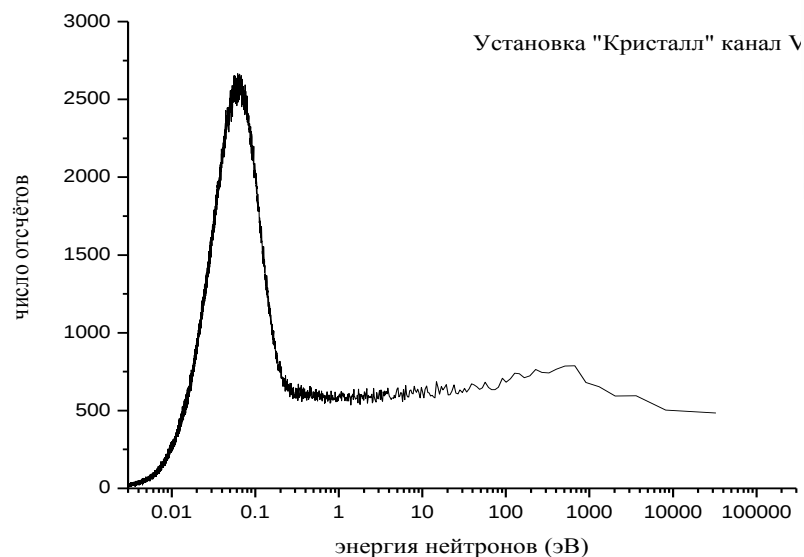


1 - защита источника нейтронов,
2 — герметичный сейф с возможностью создания водородной атмосферы,
3 — пресс для создания давления,
4 — образец в криостате,
5 — блок детекторов упругого рассеяния,
6 — блок детекторов неупругого рассеяния,
7 - двери сейфа,
8 — многоцелевой дифрактометр «Диас»,
9 — ловушка нейтронного пучка.

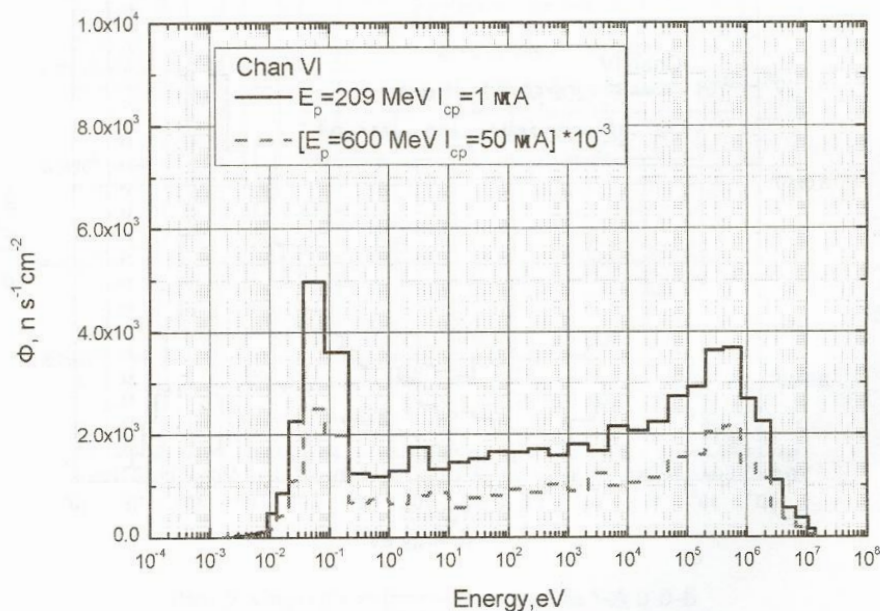


Нейтронные спектры источника ИН-06: эксперимент и расчет

эксперимент



Монте-Карло моделирование 2005 г.



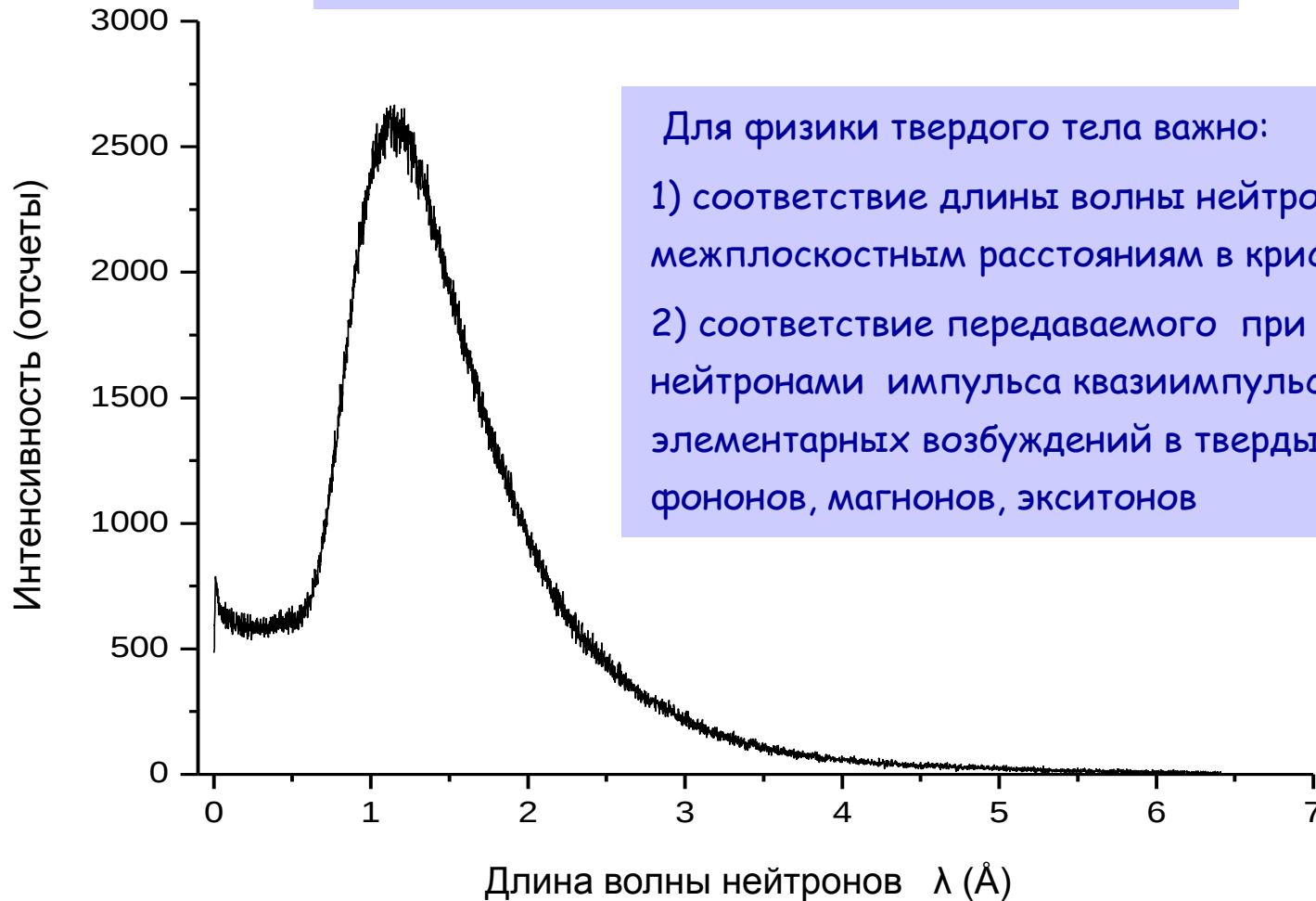
при выборе областей научного применения для установок ИН-06, типов установок и их параметров мы опирались на расчетные нейтронные спектры - препринт ИЯИ 1140 (2005)

- эксперименты в целом подтвердили расчеты
- спектр ИН-06 существенно "жестче" спектров прочих российских источников (ИБР-2, ТИК, ИР-8, ВВР-М, ИВВ-2М) в нем больше горячих и эпитепловых нейтронов, максимум тепловой (почти максвелловской) части спектра смещен в большие энергии



Нейтронный спектр ИН-06 в терминах волновых свойств нейтронов

показан спектр на канале установки "Кристалл"

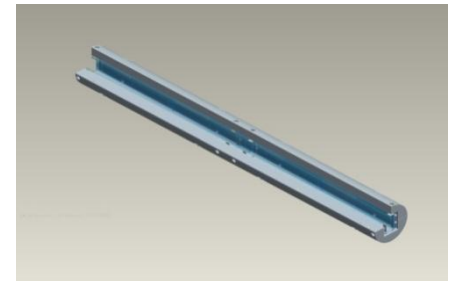
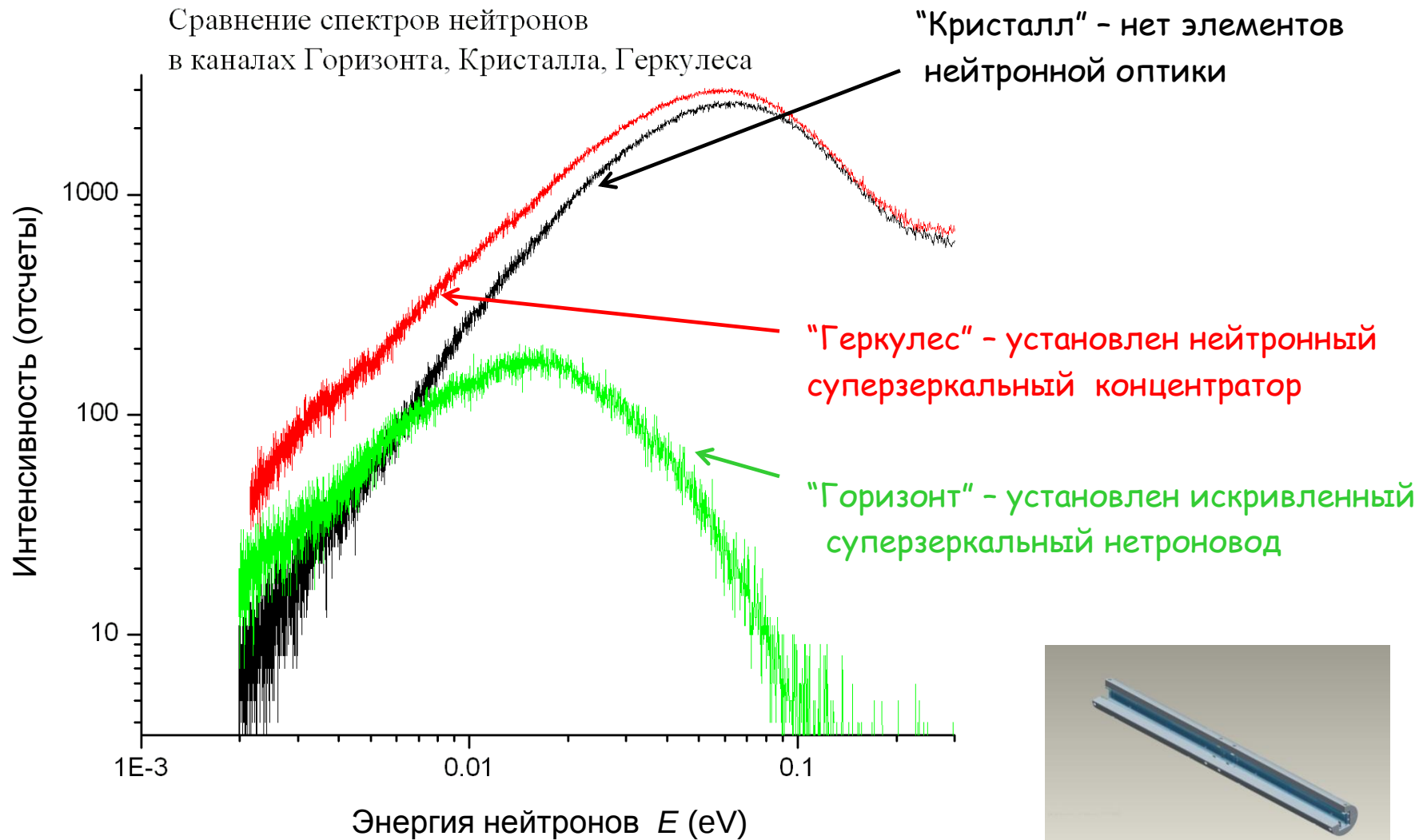


Для физики твердого тела важно:

- 1) соответствие длины волны нейтрона межплоскостным расстояниям в кристаллах
- 2) соответствие передаваемого при рассеянии нейтронами импульса квазиимпульсам элементарных возбуждений в твердых телах - фононов, магнонов, экситонов

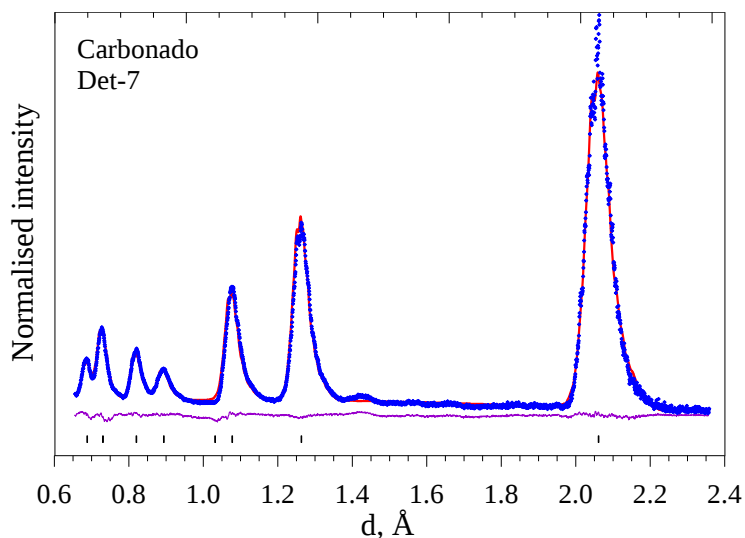
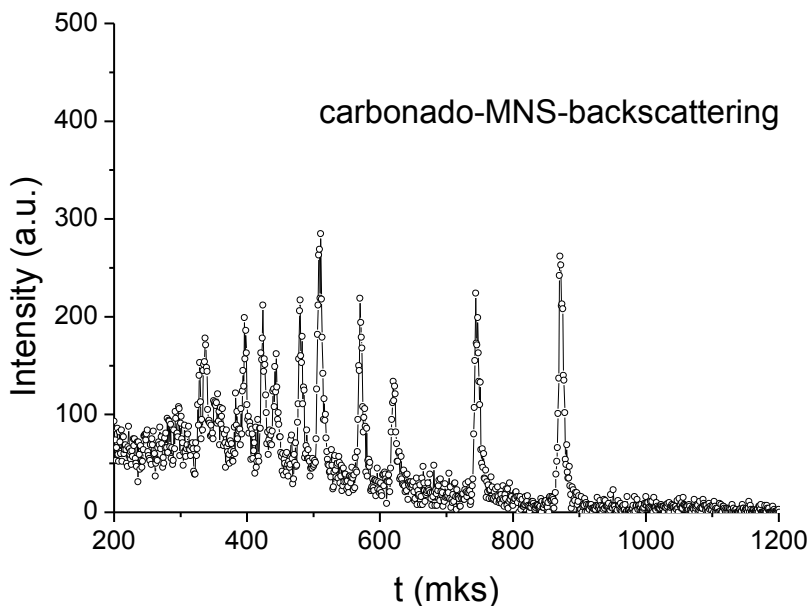
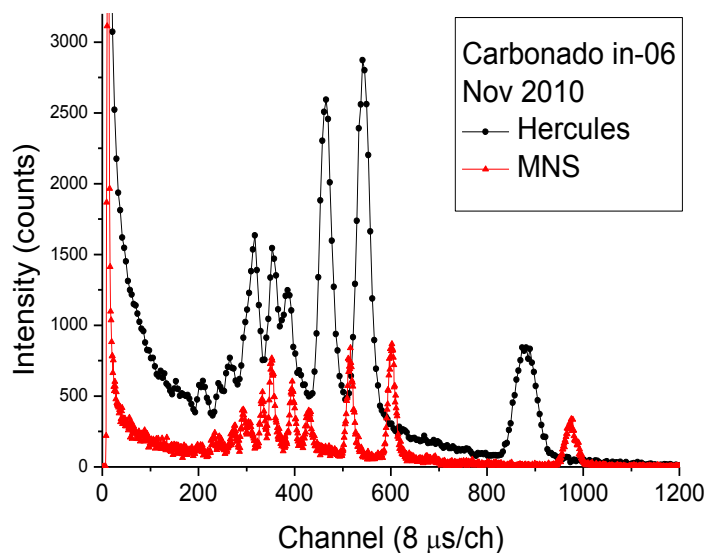


Проверка наших возможностей по изменению нейтронных спектров





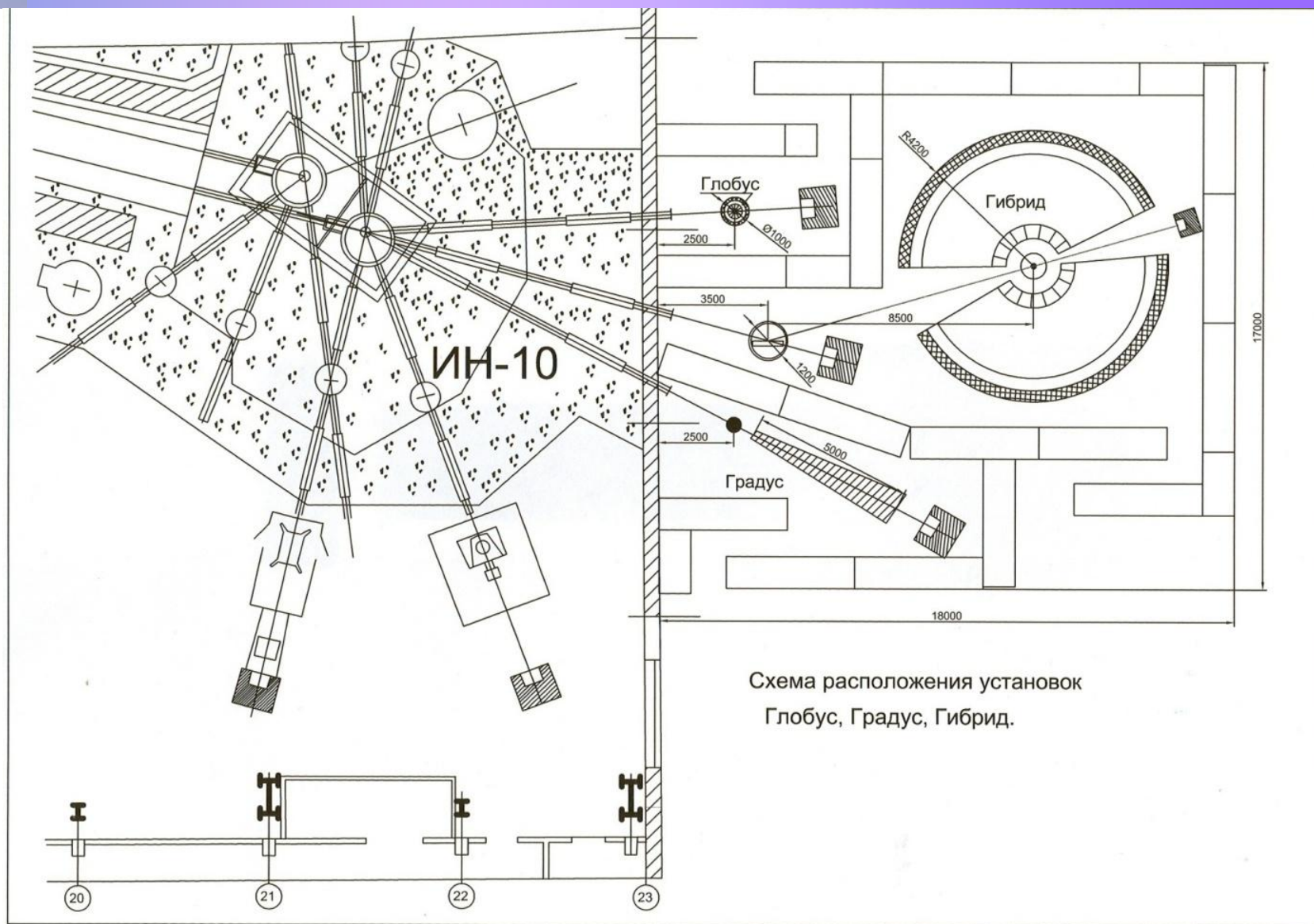
Эксперименты на установках 1-й очереди. Нейтронная дифракция



были получены нейтронные дифрактограммы эталонных образцов и образцов функциональных материалов при нейтронном потоке источника ИН-06 в несколько единиц % от номинала. Тем самым продемонстрирован большой потенциал источника ИН-06 для нейтронной дифракции



ИН-06 (ИН-10), установки второй очереди





Спектрометр "Гибрид"

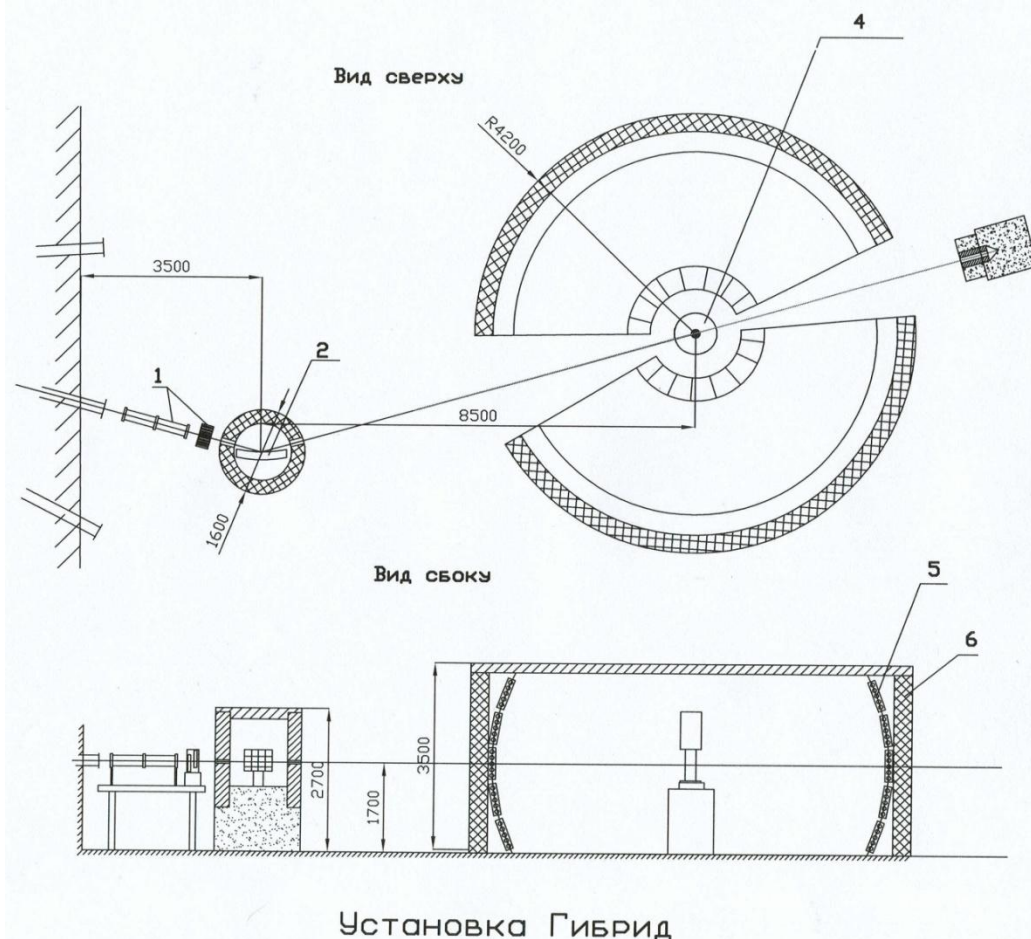
тип прибора: спектрометр по времени пролета прямой геометрии с монохроматором
аналоги: FOCUS (SINQ), HYSPEC (SNS)

область применения:
магнитные возбуждения,
динамика решетки

основные параметры:
переданная энергия
 $-30 \text{ meV} < E < 150 \text{ meV}$
энерг. разрешение $\sim 5\%$
(оценка на основе М-К
модели, зависит от E)
Расст. образец-детектор 4 м

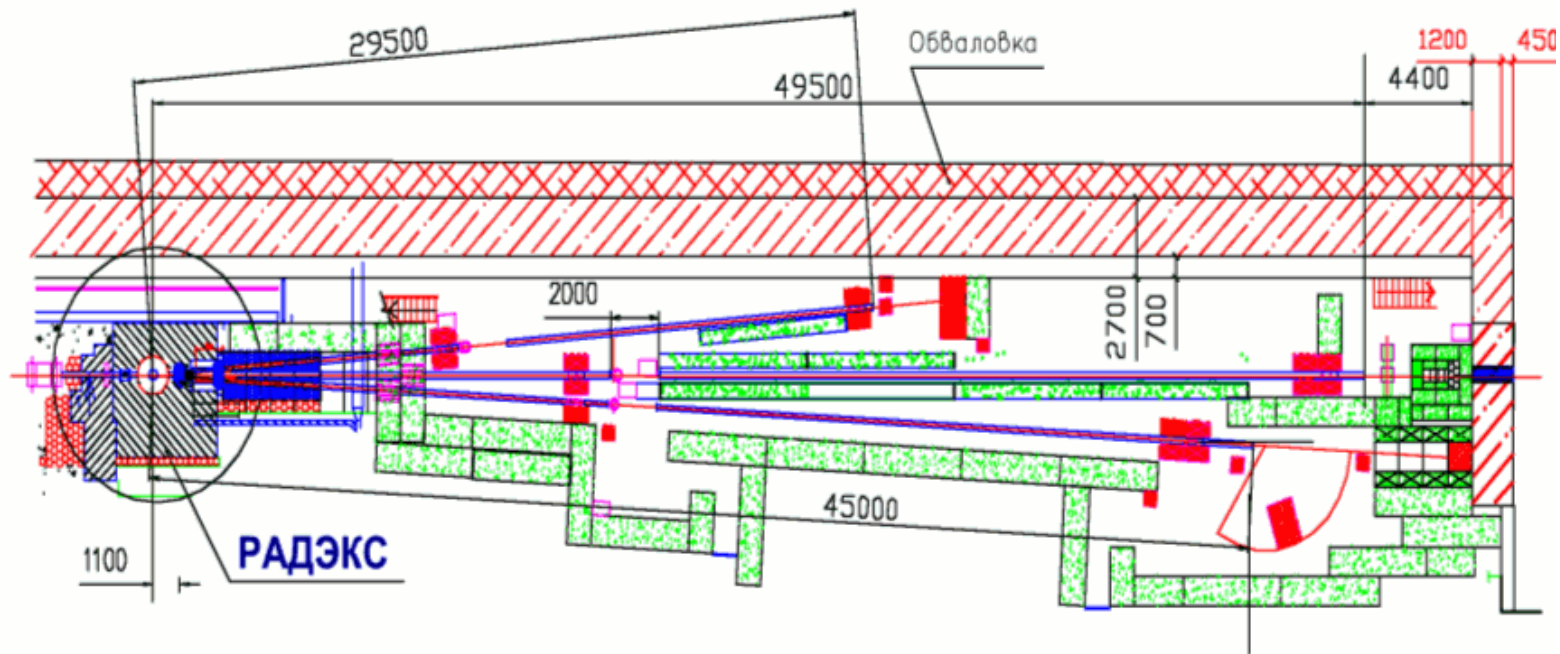
угол рассеяния для
монохроматора:

$$2\theta_M = 2\sin^{-1}\left(\frac{1}{2d_M} \sqrt{\frac{81.81}{E_i}}\right)$$





Импульсный источник эпитепловых нейтронов РАДЭКС

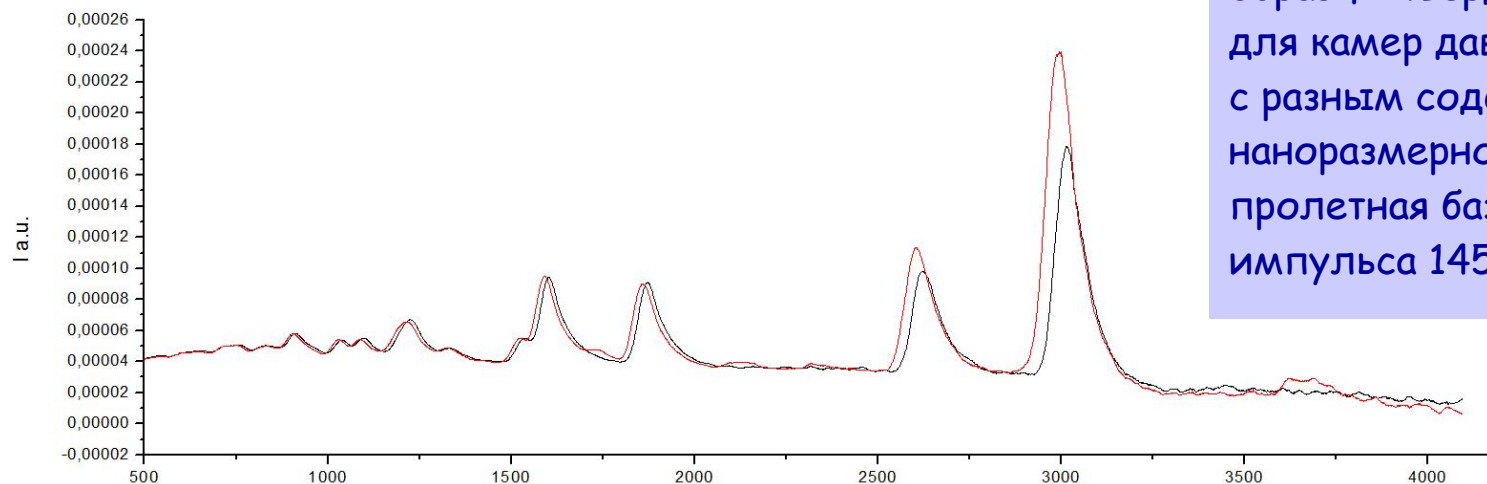


установки для исследования конденсированных сред:

- дифрактометр ТРЕСС-1
- дифрактометр ТРЕСС-2 с модулем неупругого рассеяния нейтронов

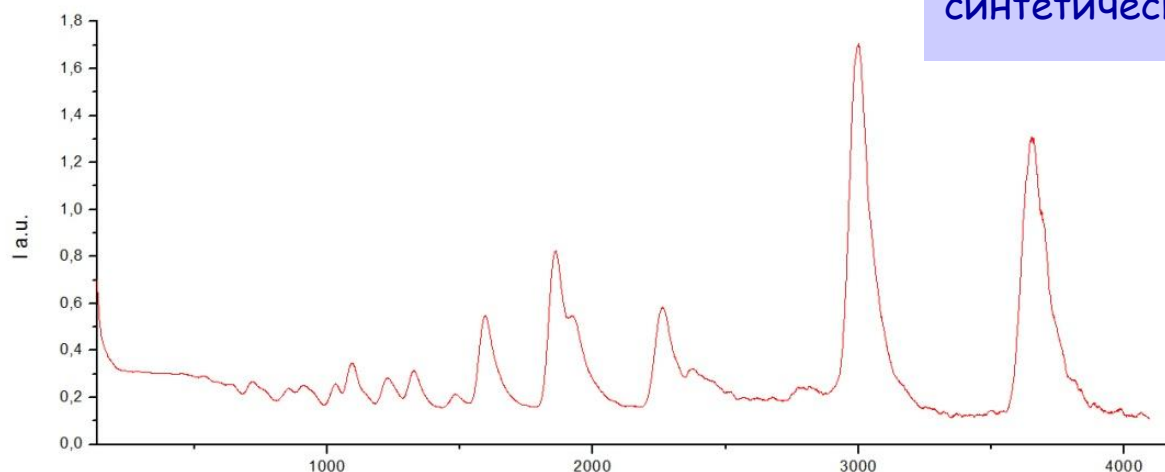


Дифрактограммы, полученные на РАДЭКС 2 февраля 2012



Channel (4 $\mu\text{s}/\text{ch}$)

образцы твердого сплава
для камер давления (NiCrAl)
с разным содержанием
наноразмерной фазы
пролетная база 10 м, длина
импульса 145 мкс



Channel (4 $\mu\text{s}/\text{ch}$)

синтетический алмаз с кремнием



Сильные и слабые стороны источников ИН-06 и РАДЭКС

Сильные стороны:

- спектр богат горячими и эпитепловыми нейтронами
- контроль над длительностью импульса ($1 \div 100 \mu\text{s}$, против $320 \mu\text{s}$ на ИБР-2)
- отсутствие делящихся материалов, легкий режим доступа
- единственные в стране источники, основанные на победившем в мире принципе генерации нейтронов для исследования конденсированных сред (SNS, JSNS, ISIS, ESS)
- географический фактор – близость институтов Москвы и окрестностей (пользователи), большое число вузов (подготовка кадров)

Слабые стороны:

- пока не достигнуты проектные параметры по потоку нейтронов (энергии протонов и току)
- высокая стоимость сеанса (электроэнергия), малое число сеансов в год
- малое число физиков и инженеров, обслуживающих и создающих установки на ИН-06

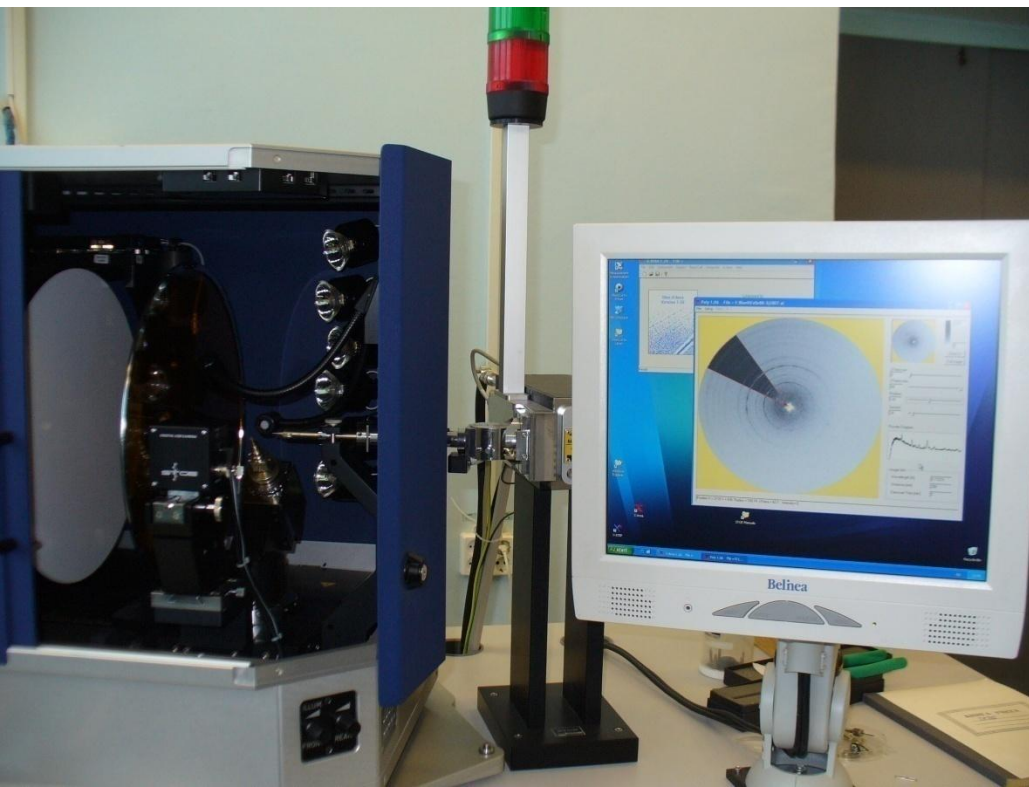
Установки рентгеноструктурного анализа



Порошковый дифрактометр STADI MP фирмы STOE.



● 4-х кругный дифрактометр для исследования моно-кристаллов при низких температурах фирмы HUBER



● дифрактометр для исследования монокристаллов IPDSII с IMAGE PLATE фирмы STOE.



Заключение

- продемонстрирована работоспособность всех 3х источников Нейтронного комплекса ИЯИ, измерены спектры нейтронных пучков, изучены фоновые условия
- проведены измерения не только модельных образцов, но и важных для приложений материалов
- ведется работа по разработке установок 2й очереди комплекса
- необходимо увеличение плотности нейтронных потоков (т.е. повышение энергии протонного пучка, тока) и времени работы ускорителя на пучковые эксперименты

*мы благодарны за сотрудничество нашим коллегам из:
ФИАН, ТИЯФ, ГНЦ ФЭИ, НИЦ «Курчатовский институт», ИФВД*