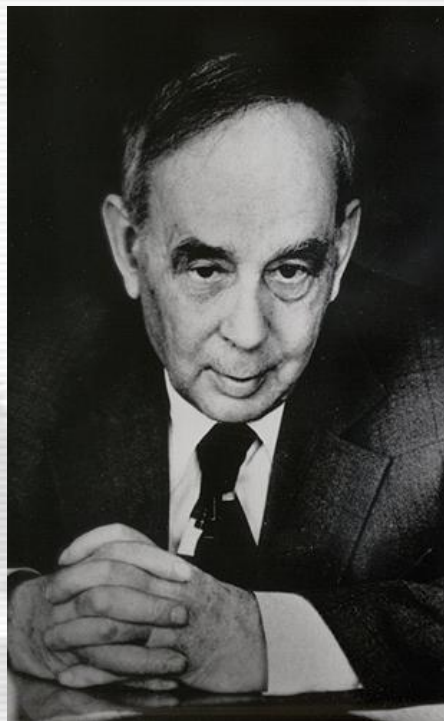


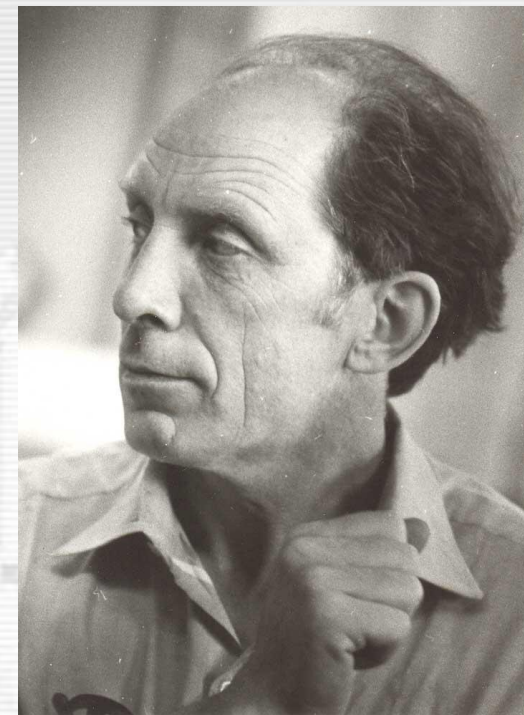
# К 40-летию реактора ИБР-2. Развитие на ИБР-2 нейтронных дифракционных исследований.



**Илья Михайлович  
Франк  
1908 – 1990**



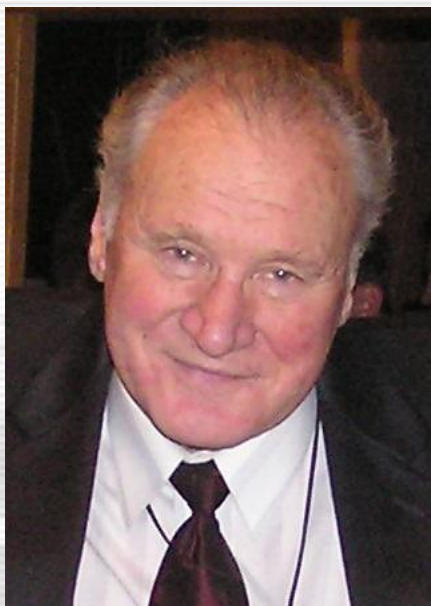
**Федор Львович  
Шапиро  
1915 – 1973**



**Юрий Мечиславович  
Останевич  
1936 – 1992**

# Фурье-дифрактометрия, высокие давления и real-time эксперименты на реакторе ИБР-2:

в память о В.А.Трунове, В.А.Соменкове и Г.М.Мироновой



20.11.1934  
06.09.2012



23.02.1937  
01.02.2018



14.06.1944  
26.12.2022

# Государственная премия Российской Федерации за 2000 год в области науки и техники

**“Разработка и реализация новых методов структурной нейтронографии  
по времени пролета с использованием импульсных и стационарных  
реакторов”**

**В.Л.Аксенов, А.М.Балагуров, В.В.Нитц, Ю.М.Останевич (ОИЯИ)**

**В.А.Кудряшев, В.А.Трунов (ПИЯФ РАН)**

**В.П.Глазков, В.А.Соменков (РНЦ КИ)**





# Виталий Андреевич Трунов, 20.11.1934 – 06.09.2012



**Виталий Андреевич Трунов  
старший лаборант**



**Фокусирующий  
монохроматор с механикой.  
12 Ge-пластин, 12x60x8 мм**

- ❖ Политехнический институт      1954 - 1959
- ❖ ЛИЯФ / ПИЯФ                      1959 – 2012
  - ❖ старший лаборант (лаборатория Г.М.Драбкина)
  - ❖ зав. отделом разработки оборудования
  - ❖ главный научный сотрудник, зав. лабораторией
- ❖ проект приборного оснащения реактора ПИК
- ❖ проект нейтронных систем реактора ПИК
- ❖ mini-SFINKS дифрактометр на ВВР-М, 1984
- ❖ серия спектрометров (Франция, Египет, Китай)
- ❖ фурье-дифрактометрия на ИБР-2, с 1986
- ❖ Государственная премия России, 2000



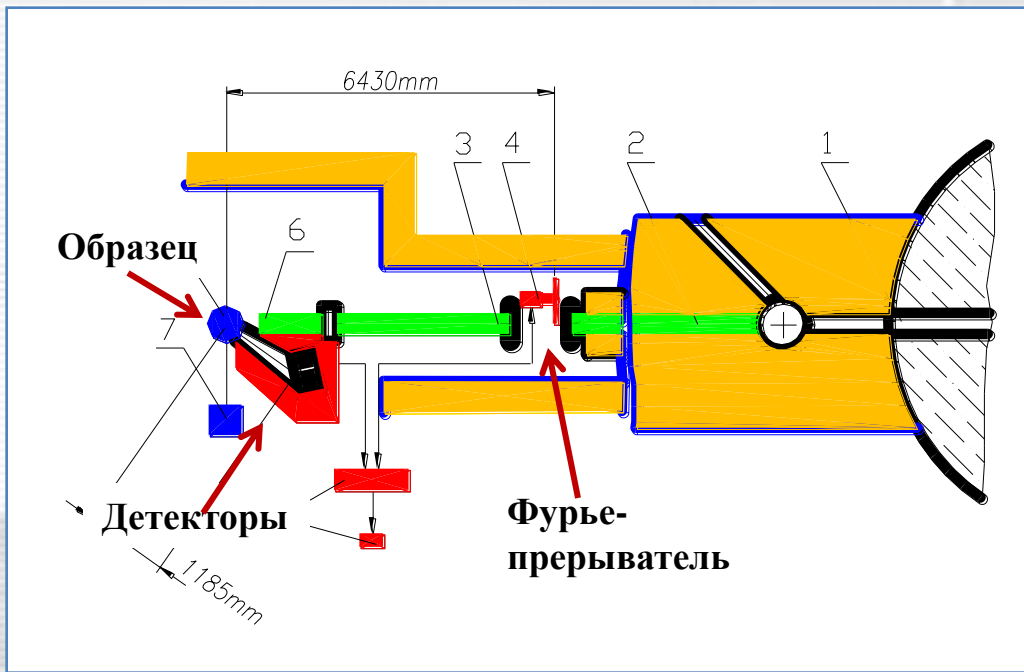
**48-детекторный  
дифрактометр с  
криостатом.**



# Нейтронная Фурье-дифрактометрия; основные моменты

- |   |             |
|---|-------------|
| <b>1. Корреляционный Фурье-метод для дифракции нейтронов</b>  | <b>1968</b> |
| J.F.Colwel, P.H.Miller and W.L.Whittemore, Neutron Inelastic Scattering, Vienna   |             |
| <b>2. Обоснование RTOF метода (Pekka Hiismaki)</b>  | <b>1972</b> |
| <b>3. Первая реализация RTOF метода в Espoo, Финляндия</b>  | <b>1975</b> |
| <b>5. mini-SFINKS – Фурье-дифрактометр на ВВР-М, Гатчина</b>  | <b>1984</b> |
| P. Hiismaki, V.A. Trounov, O. Antson et al, IAEA, Vienna  |             |
| <b>6. FSS - Фурье-дифрактометр на реакторе GKSS</b>   | <b>1988</b> |
| <b>7. HRFD - Фурье-дифрактометр на реакторе ИБР-2</b>   | <b>1992</b> |
| Aksenov, Balagurov, Simkin, Trounov, Kudrjashev, Bulkin, Muratov, Hiismaki, Tiitta, Antson<br>“Fourier diffractometer at the IBR-2 reactor: design and first results” JINR, Dubna, 1993 |             |
| <b>8. Начало регулярной эксплуатации HRFD</b>   | <b>1994</b> |
| <b>9. Начало реализации проекта FSD на реакторе ИБР-2</b>   | <b>1999</b> |
| <b>10. Государственная премия Российской Федерации</b>  | <b>2000</b> |

# Первый Фурье-дифрактометр в России на реакторе ВВР-М

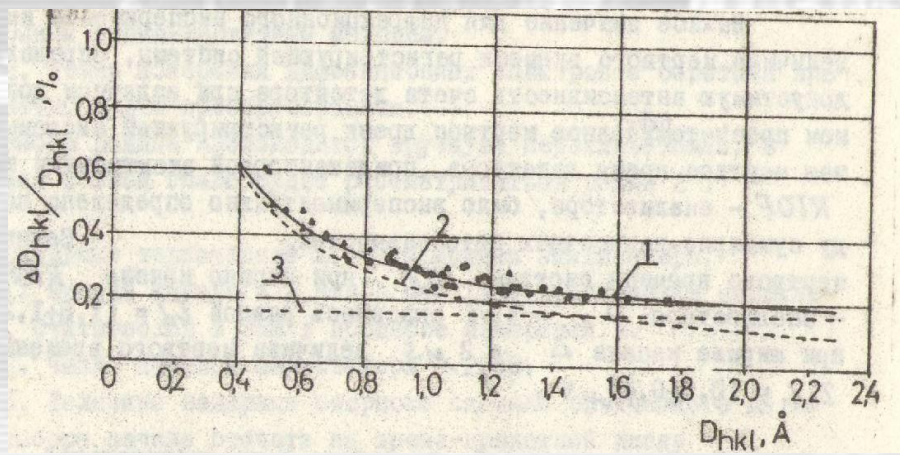



 АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
 ЛЕНИНГРАДСКИЙ  
 ИНСТИТУТ  
 ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ  
 им. Б. П. Константинова

В. А. Трунов                      П. Хиисмяки                      препринт № 1277  
 В. А. Кудряшев                    Х. Пеюрю                            май 1987  
 В. А. Ульянов                    А. Тиитта  
 А. П. Булкин                        О. Антсон  
 В. Г. Муратов                    Х. Мутка  
 Т. К. Короткова                Х. Кукконен  
 А. Ф. Щebetов                    К. Тилли

ДИФРАКТОМЕТР ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ  
 «МИНИ—СФИНКС»

Ленинград



**Функция разрешения дифрактометра мини-СФИНКС. Расстояние прерыватель – образец = 6.4 метра!**

Reactor Laboratory  
Otakaari 3 A, SF-02150 Espoo

April 4, 1986

Dr Ostanievitch

Dear Dr Ostanievitch,

We apologize for sending our considerations about applying RTOF-techniques for improving the resolution of a pulsed source supplied powder diffractometer as late as now. The reason is that we wanted to have sufficient confirmation of the theoretical expectations by electronic simulation. Indeed we found a practical way for such a simulation by utilizing the new RTOF-analyzer, of the "maxi SPINKS" diffractometer, which is currently being tested at our laboratory.

Our conclusions are that a pulsed source powder diffractometer certainly would benefit from a RTOF-analyzer. The resolution would be quite comparable with a steady state source case and no impractical aspects have arisen except that somewhat more electronics are needed for displaying the diffraction pattern compared to the steady state source case.

It is not possible to illuminate the considered application from all sides in a letter, but we believe, that sitting down together and discussing the subject is the best way to pursue it further.

Sincerely yours

Peka Hiismäki

Heikki Pöyry

**Получено 12 мая 1986**

12 мая 86.  
Получено

1) Письмо Р. Hiismäki и Н. Pöyry  
Ю.М.Останевичу:

2) Декабрь 1986, совещание в ЛИЯФ  
VTТ: Р. Hiismäki, Н. Pöyry, ЛИЯФ: В.А. Трунов  
ОИЯИ: Ю.М.Останевич, А.М.Балагуров

3) Июль 1987, Протокол ОИЯИ - ЛИЯФ  
о сотрудничестве

4) 1988 – 90: письма И.М.Бортнику,  
Г.И.Марчуку, Н.А.Черноплекову,  
А.В.Кулакову, Ю.А.Осипьяну

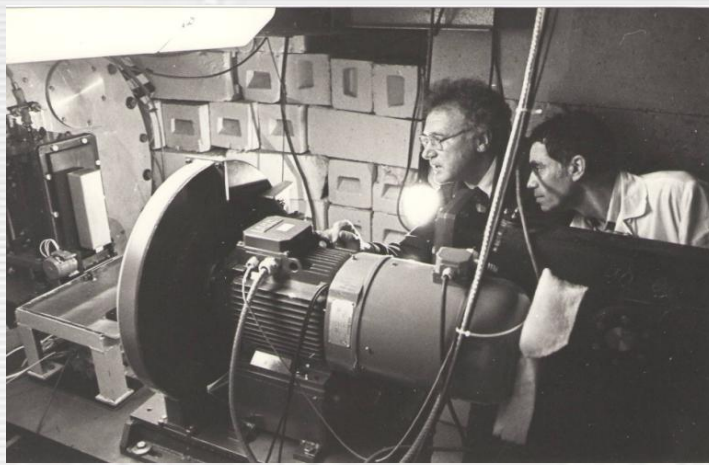
5) 12.03.1991, протокол ОИЯИ (Киш,  
Аксенов, Денисов) -ЛИЯФ (Трунов) -  
VTТ (Hiismäki) о совместной работе

6) 13.03.1991, записка В.Л.Аксенова  
Ю.Н.Денисову о выделении 520 К\$.

6) 28.05.1991, контракт с VTТ на 657 К\$

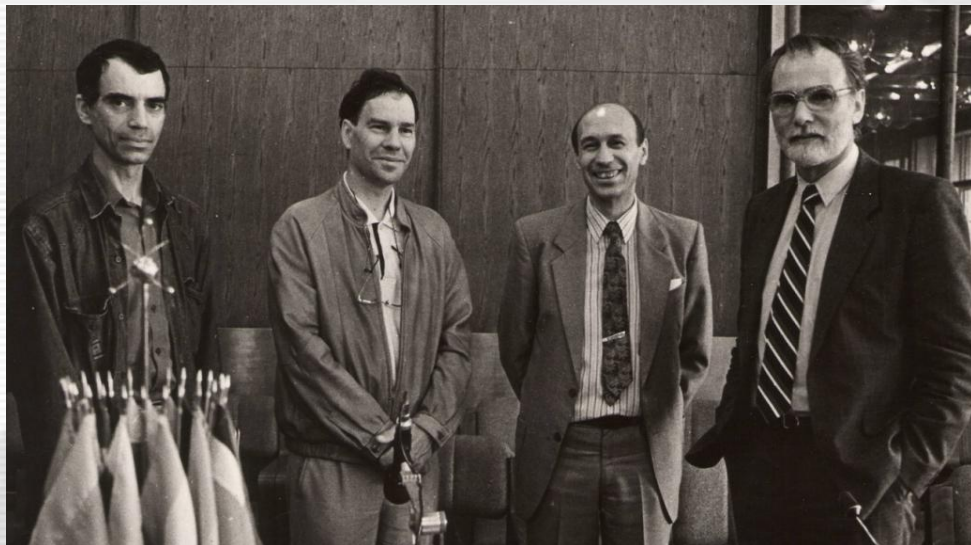


# Во время пусковых работ на первом в мире Фурье-дифрактометре на импульсном источнике нейтронов, реакторе ИБР-2



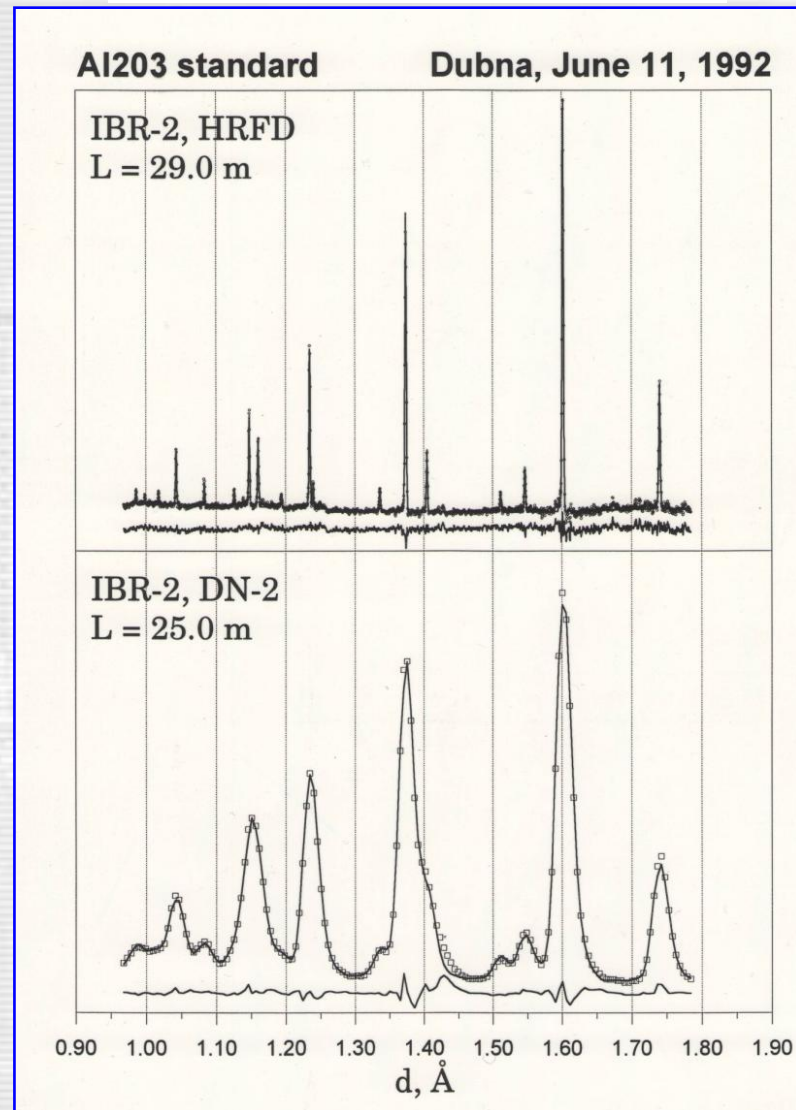
# The first high-resolution diffraction patterns were measured in June 1992

Перед Ученым советом



Vladimir Kadyshevsky (JINR Director), Victor Aksenov (FLNP Director), Pekka Hiismäki (VTT), Anatoly Balagurov (FLNP).  
A half an hour before a presentation of P.Hiismyaki. Diffraction pattern is still absent.

The very first, **11.06.1992**





# Structural Investigations at Pulsed Neutron Sources

Dubna, Russia, 1 – 4 September 1992



P.Thiyagarjan  
Ю.Н.Сердюк  
R.K.Heenan  
В.А.Трунов  
I.Natkaniec  
Б.В.Васильев  
W.I.F.David  
F.Bouree  
C.C.Wilson  
В.Л.Аксенов  
T.Springer  
P.Hiismaki  
А.М.Балагуров  
Ю.В.Таран  
В.А.Соменков



# На совещаниях



Алушта, 1990



Дубна, 1993. Аксенов, Васильев, Трунов

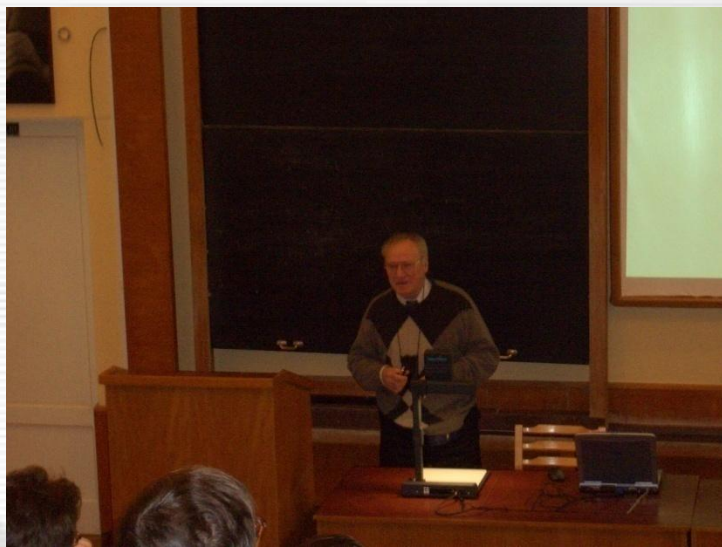


Дубна, 1993. Трунов, Аксенов



Дубна, 2005

## На рабочем совещании в Дубне, 2005 г.





V.A.Trounov, et al. "The new Fourier diffractometer at the IBR-2 reactor: design and first results" ICANS-XII, 1993, Abingdon, U.K.

V.L.Aksenov et al. "Performance of the high resolution Fourier diffractometer at the IBR-2 pulsed reactor; latest results" ICANS-XIII, 1995, Switzerland

V.L.Aksenov, A.M.Balagurov, V.A.Trounov et al. "Performance of the high resolution Fourier diffractometer at the IBR-2 pulsed reactor" J. of Neutron Research, 1997

V.L.Aksenov, A.M.Balagurov, V.A.Trounov "High-resolution Fourier diffractometry for long pulse sources" J. of Neutron Research, 1997

V.L.Aksenov, A.M.Balagurov, V.A.Trounov et al. "DN-12 TOF high-pressure neutron spectrometer for microsamples" Physica B, 1999

V.L.Aksenov, A.M.Balagurov, V.A.Trounov et al. "Investigation of Microsamples under High Pressure" Materials Science Forum, 2000

G.D.Bokuchava et al., "Neutron Fourier diffractometer FSD for internal stress analysis: first results" Applied Physics A, 2002

E.S. Kuzmin et al., "Detector for the FSD Fourier-diffractometer based on ZnS (Ag) /<sup>6</sup>LiF scintillation screen and wavelength shifting fiber readout" J. of Neutron Research, 2002

А.И. Курбаков, В.А. Трунов, А.М. Балагуров и др., "Кристаллическая и магнитная структура манганитов  $\text{Sm}_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{MnO}_3$  и  $(\text{Nd}_{0.545}\text{Tb}_{0.455})_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{MnO}_3$ " ФТТ, 46(9), 1650-1656, 2004.

## Совместные работы

*J. Neutron Research*, Vol. 6, pp. 135-148  
Reprints available directly from the publisher  
Photocopying permitted by license only

© 1997 OPA (Overseas Publishers Association)  
Amsterdam B.V. Published under license  
under the Gordon and Breach Science  
Publishers imprint.  
Printed in India.

### High-Resolution Fourier Diffractometry for Long Pulse Neutron Sources

V. L. AKSENOV<sup>a</sup>, A. M. BALAGUROV<sup>a,\*</sup> and V. A. TROUNOV<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR, 141980 Dubna, Moscow reg., Russia;

<sup>b</sup> St.-Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, Russia

Application of the Fourier technique for diffraction experiments at long pulse neutron sources is discussed. The main parameters of a neutron Fourier diffractometer are reviewed. A comparison of the parameters of the conventional TOF diffractometers at SPS and LPS with the possible characteristics of the Fourier diffractometer is carried out. The experience of operating of the HRFD instrument, the first neutron Fourier diffractometer at the LPS-type source, the IBR-2 pulsed reactor in Dubna, is discussed.

*Keywords:* neutron Fourier diffractometer; high resolution; powder diffraction; pulsed neutron source

#### 1 INTRODUCTION

The resolution of a powder neutron diffractometer is the most important parameter determining the type of the experiment the diffractometer is suitable for. With a low resolution instrument with  $\Delta d/d \geq 0.01$ , good-quality data can be obtained only for structures with high symmetry, small number of refined parameters and, in the isotropic approximation, for thermal factors. Improvement of the resolution up to 0.005 over a sufficiently wide interval of  $d_{hkl}$  provides the possibility for investigating low symmetry structures and sometimes, allows anisotropic thermal factors to be refined. Often, for precision structure refinement with simultaneous determination of the thermal and occupation factors, the resolution on the level of 0.002 or, sometimes, better is required.

\* Corresponding author. Tel.: 7-09621-65803. Fax: 7-09621-65882. E-mail: bala@nf.jinr.ru.



# Сотрудничество с PSI (Switzerland)



**Peter Fischer  
PSI**

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

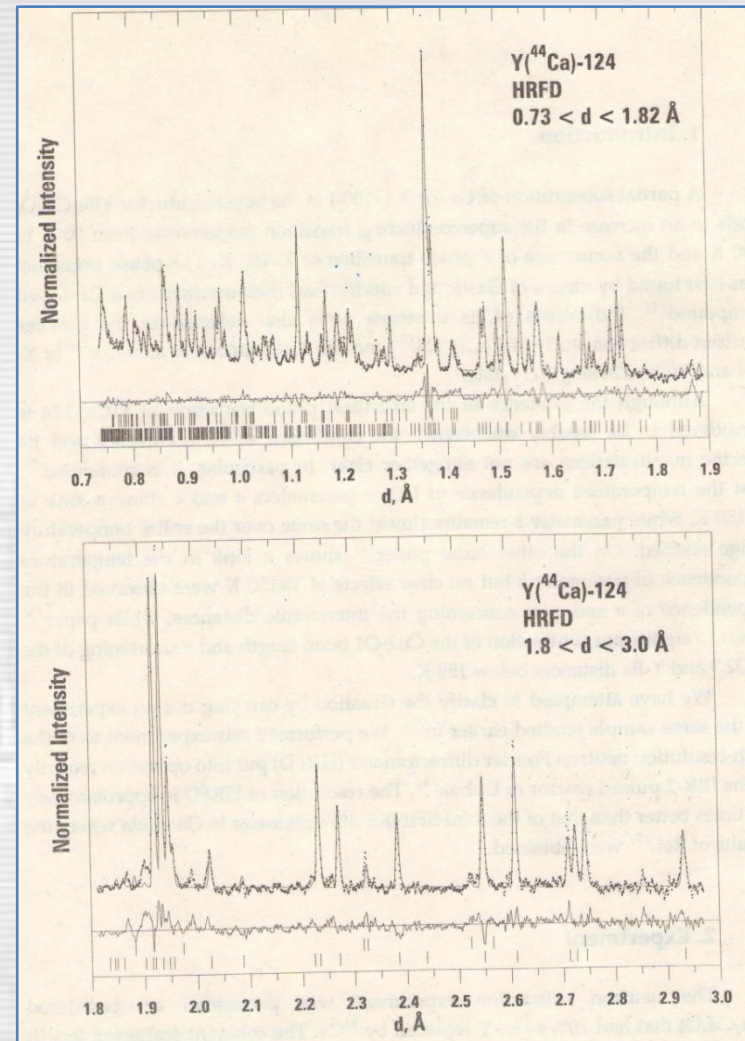
E14-94-415

A.M.Balagurov, P.Fischer<sup>1</sup>, T.Yu.Kaganovich<sup>2</sup>, E.Kaldis<sup>3</sup>,  
J.Karpinski<sup>3</sup>, V.G.Simkin, V.A.Trounov<sup>2</sup>

PRECISION FOURIER NEUTRON DIFFRACTION  
STUDY OF THE HIGH-TEMPERATURE  
SUPERCONDUCTOR  $Y(^{44}\text{Ca})\text{Ba}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$

<sup>1</sup>Laboratory for Neutron Scattering, ETH PSI Villigen, Switzerland  
<sup>2</sup>St. Petersburg Institute of Nuclear Physics, Gatchina, Russia  
<sup>3</sup>Laboratory for Solid State Physics, ETH Zurich, Switzerland

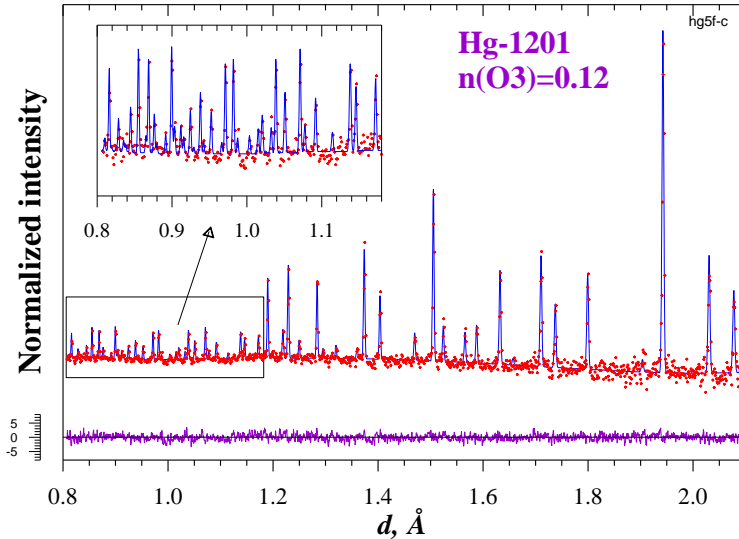
1994



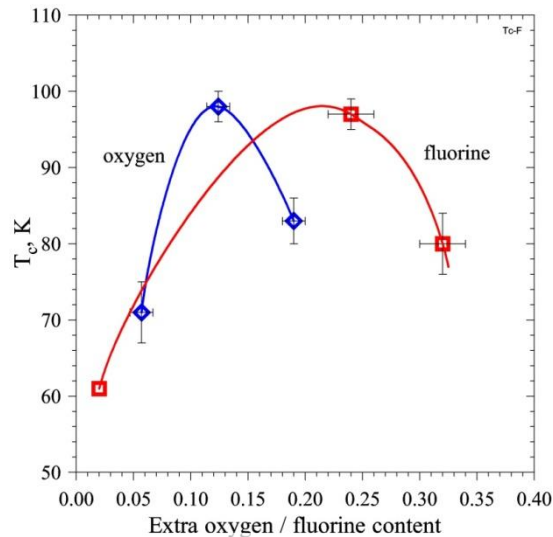
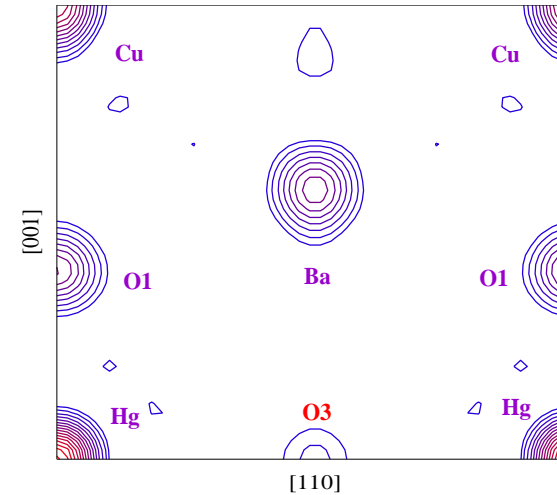
$$a = 3.84 \text{ \AA}, b = 3.87 \text{ \AA}, c = 27.26 \text{ \AA}$$

# Mercury based HTSC: PRB(1997), PRL(1998), PRB(2001) (MSU + FLNP)

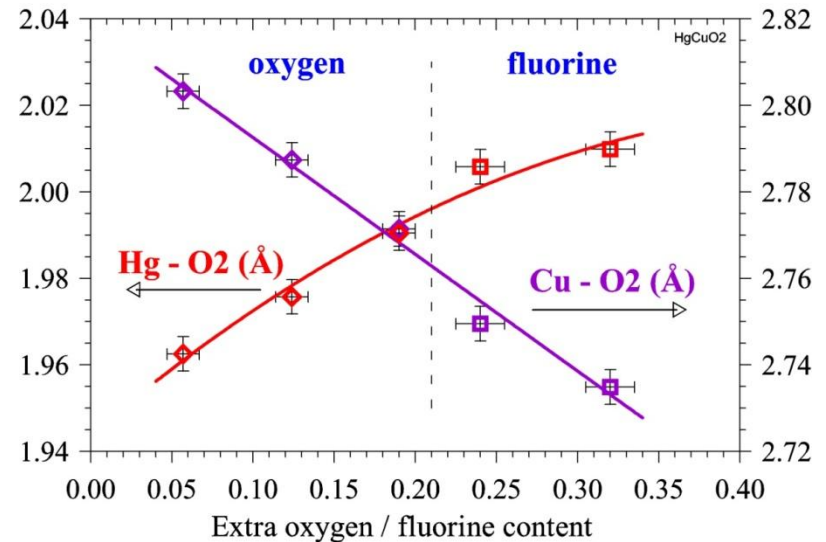
Rietveld refinement of  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4.12}$  structure



O3 position is filled partially,  $n(\text{O3}) \approx 0.12$



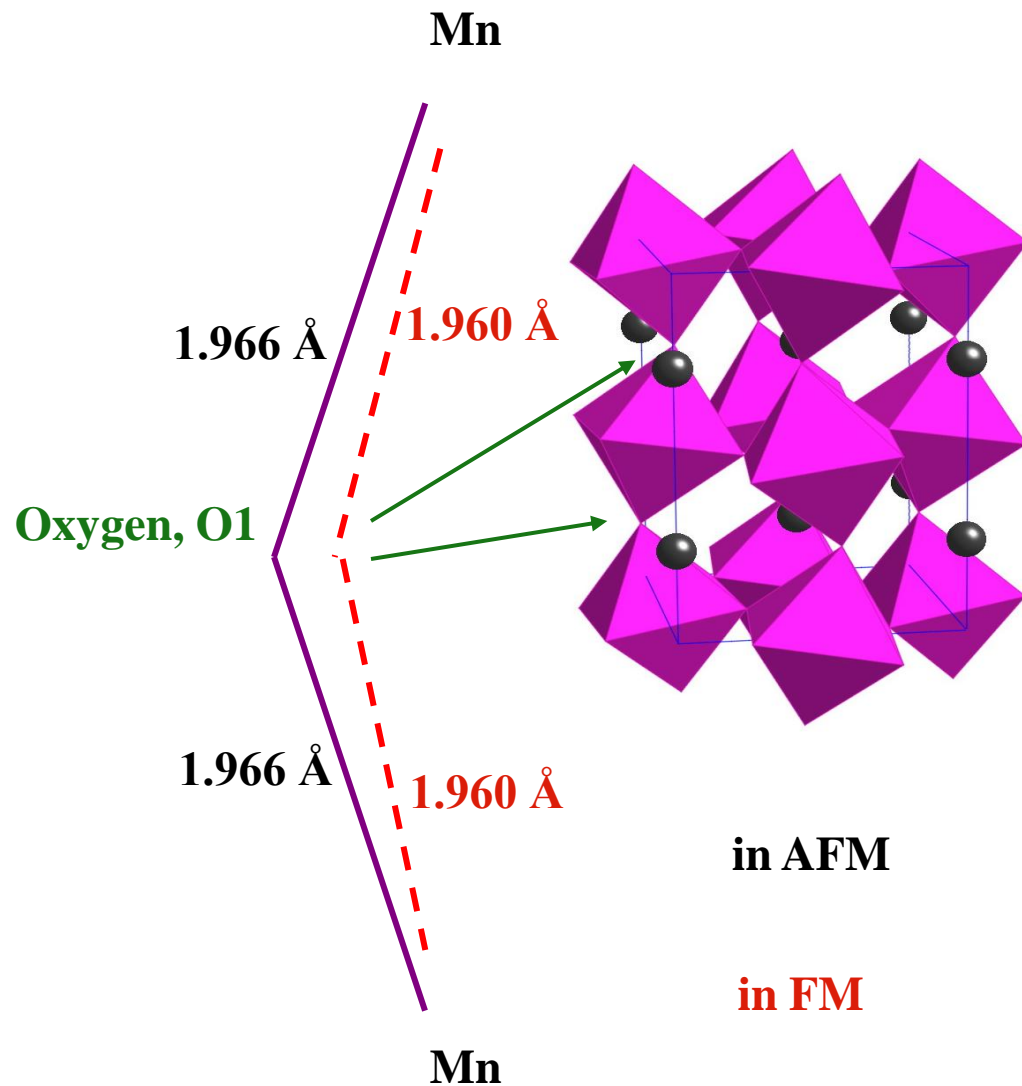
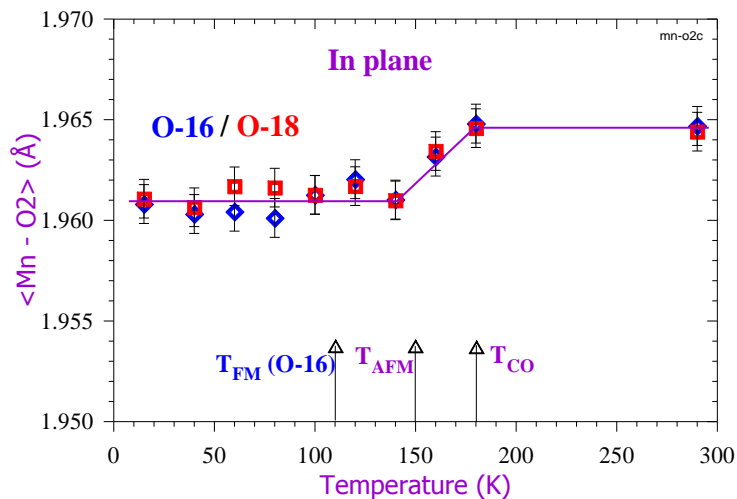
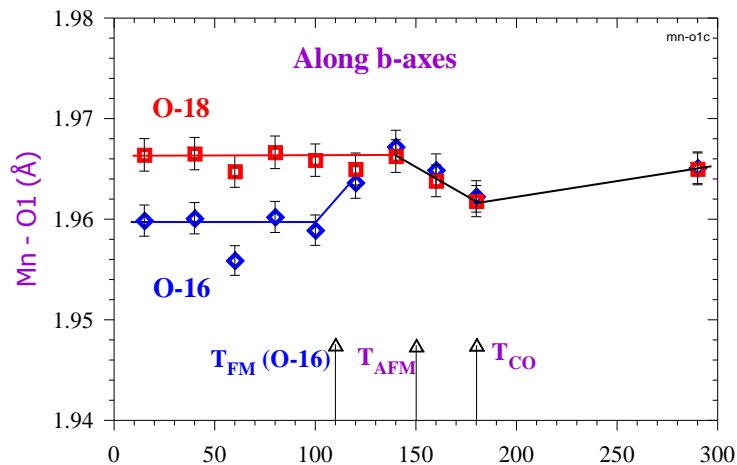
The temperature of phase transition depends on **charge!**



Apical distances depend on the **amount** of anions!

# Atomic structure is different in FM and AFM phases in $(\text{La}_{0.25}\text{Pr}_{0.75})_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ : $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ : PRB(1999), PRB(2001) (KI + MSU + FLNP)

## Mn-O distances





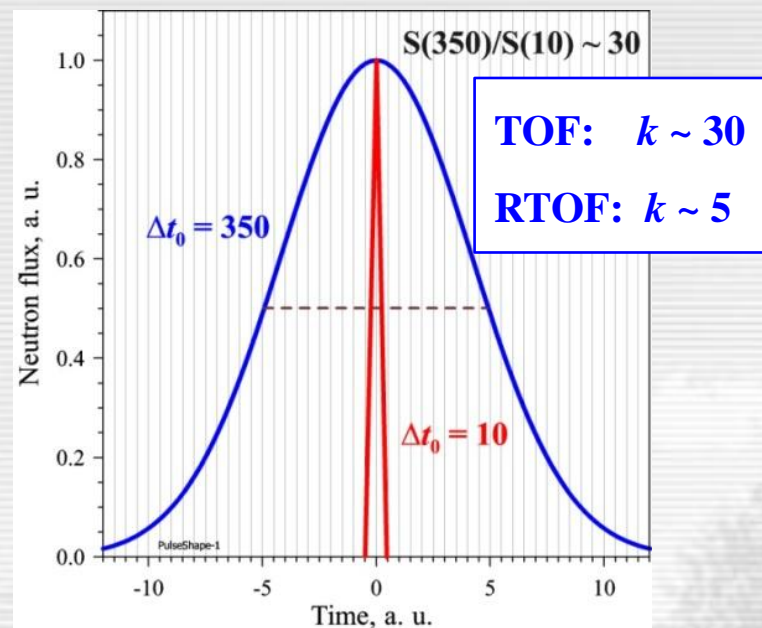
## **ФДВР на ИБР-2, наукометрические показатели**

**~300 статей в: Phys. Rev. Letters, Phys. Rev. B, Phys. Rev. Mater., Physica B, C  
Mater.&Design, Acta Mater., JALCOM, J. Appl. Cryst., JMMM  
Acta Cryst. B, Mater. Characteriz., Mater. Lett., Intermetallics  
Phase Trans., Scripta Mater., J. Sol. St. Chem., Eur. Phys. J.  
J. Power Sources, J. Solid State Electrochem. et al.  
Успехи физ. наук, Успехи химии, ЖЭТФ, Письма в ЖЭТФ  
Кристаллография, ФТТ, ФММ, Электрохимия и др.**

**Более 6000 цитирований**

**~30 проектов: РФФИ (15), БРФФИ (3), РФФИ (3), МНТС (2)  
CRDF (2), IAEA (2), INTAS (3), SNSF (1)**

Фурье-дифрактометрия – наиболее перспективный метод получения разрешающей способности с  $\Delta d/d \sim 0.001$  с сохранением высокой светосилы.



**Главный вывод:**

Решение развивать фурье-дифрактометрию на реакторе ИБР-2, принятое в 1986 году по инициативе В.А.Трунова и поддержанное дирекцией ОИЯИ в 1991 году, было абсолютно правильным!



# Виктор Александрович Соменков, 23.02.1937 – 01.02.2018



**Виктор Александрович Соменков**  
ведущий научный сотрудник

- ❖ МИСиС (Москва) 1956 - 1960
- ❖ ИАЭ имени И.В.Курчатова 1960 – 2018
  - ❖ начальник лаборатории
  - ❖ начальник отдела НИКС
  - ❖ ведущий научный сотрудник
- ❖ дифрактометр ДИСК на ИР-8, 1988
- ❖ спектрометр ДН-12 на ИБР-2, 1995
- ❖ Государственная премия СССР, 1986,
- ❖ Заслуженный деятель науки РФ, 1998
- ❖ Государственная премия РФ, 2000



**Реактор ИРТ (с 1957) / ИР-8 (с 1981)**

**В.А. Соменков** “Начало и продолжение: к истории нейтронных исследований по физике твёрдого тела на реакторе ИР-8”

**Вопросы атомной науки и техники, 2017.**

Изложена история первых экспериментов по физике твёрдого тела на реакторе ИР-8, написанная одним из участников этих исследований. Подведены итоги научной деятельности за всё время существования реактора.

# Основные темы

## Гидриды

“Фазовые превращения водорода в металлах”  
Обзор. Москва: ИАЭ, 1978.

“Структура и фазовые превращения гидридов переходных металлов”  
диссертация, д.ф.-м.н.  
Москва, 1979.

“Строение ионных и металлических гидридов”  
в “Структурная нейтронография” М., 1979.

“Термодинамические и гистерезисные характеристики гидридов для тепловых насосов”  
монография, М., 1998.

## Высокие давления

Дифрактометр ДИСК на ИР-8,  
1988,  $DyD_2$  при 37 ГПа

Набор камер с сапфировыми и алмазными наковальнями

NSHP-I, Dubna, 1994

Спектрометр ДН-12 на ИБР-2,  
1995

NSHP-II, Dubna, 1999

IUCr, Dubna, 2006

## Интроскопия

### Станции:

- Диктор
- РАДИ
- Дракон

### Виды контраста:

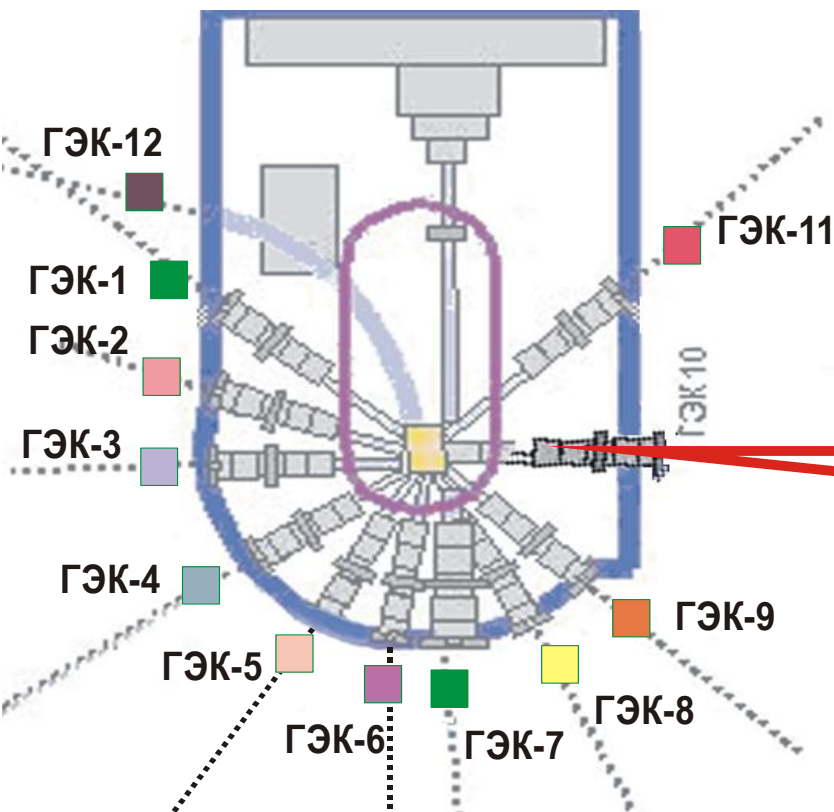
- Абсорбционный
- Дифракционный
- Фазовый
- Рефракционный
- Малоугловой
- Деполяризационный
- Изотопный
- Резонансный

### Варианты интроскопии:

- Микрорадиография
- $\gamma$ - и  $n\text{-}\gamma$  интроскопия
- Синхротронная интроскопия
- Real-time интроскопия

# Схема экспериментального зала ИР-8

## Горизонтальные каналы



**ГЭК 1 – нейтронная микроскопия**

**ГЭК 2 – ядерная спектроскопия**

**ГЭК 3 – физика деления**

**ГЭК 4 – монокристаллы (МОНД)**

**ГЭК 5 – спектры возбуждений (АТОС)**

**ГЭК 6 – высокие давления (ДИСК)**

**ГЭК 7 – капиллярная оптика**

**ГЭК 8 – нейтронная радиография**

**ГЭК 9 – малоугловое рассеяние (СТОИК)**

**ГЭК 10 – неупругое рассеяние**

**ГЭК 11, 12 – ультрахолодные нейтроны**



# Государственная премия СССР, 1986



За цикл работ: 1961—1984

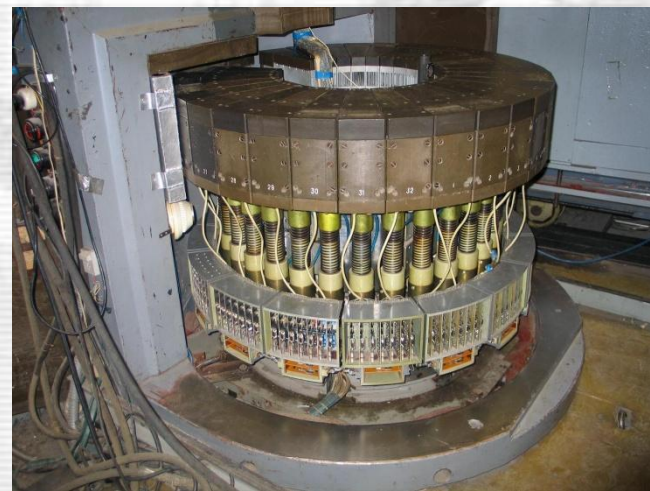
«Новые методы  
исследования твёрдого  
тела на основе рассеяния  
нейтронов от стационарных  
ядерных реакторов»

ИАЭ: И.В. Наумов, М.Г. Землянов, С.Ш. Шильштейн,  
Н.А. Черноплёков, В.А. Соменков, А.Ю. Румянцев

ЛИЯФ: Г.М.Драбкин, С.В.Малеев, А.И.Окороков

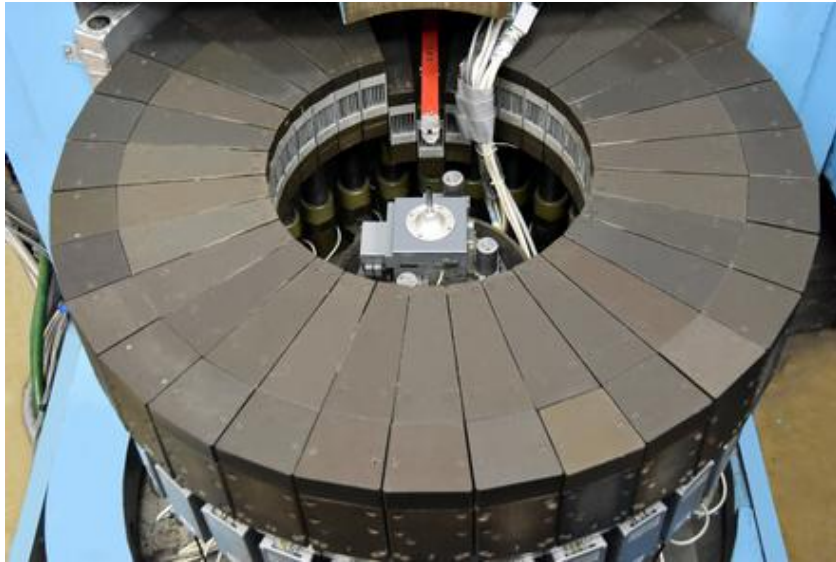
ИФМ: Ю.А.Изюмов

МХТИ: Р.П.Озеров

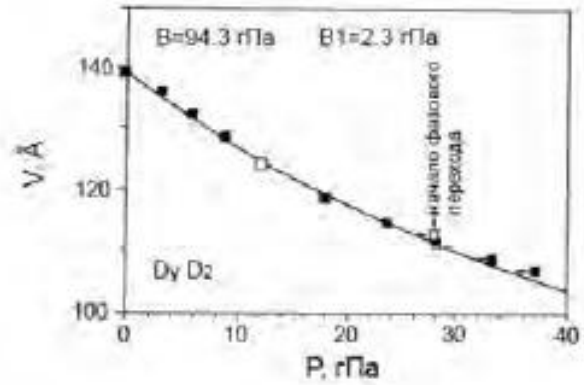


Дифрактометр ДИСК, первая версия

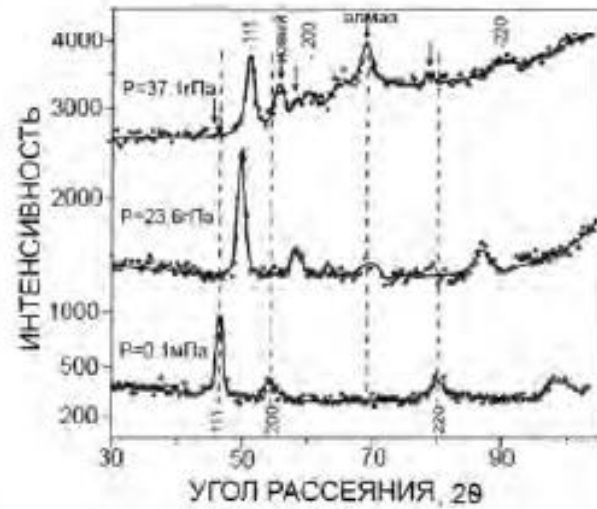
# Высокие давления



Дифрактометр ДИСК для микрообразцов  
после модернизации



(a)

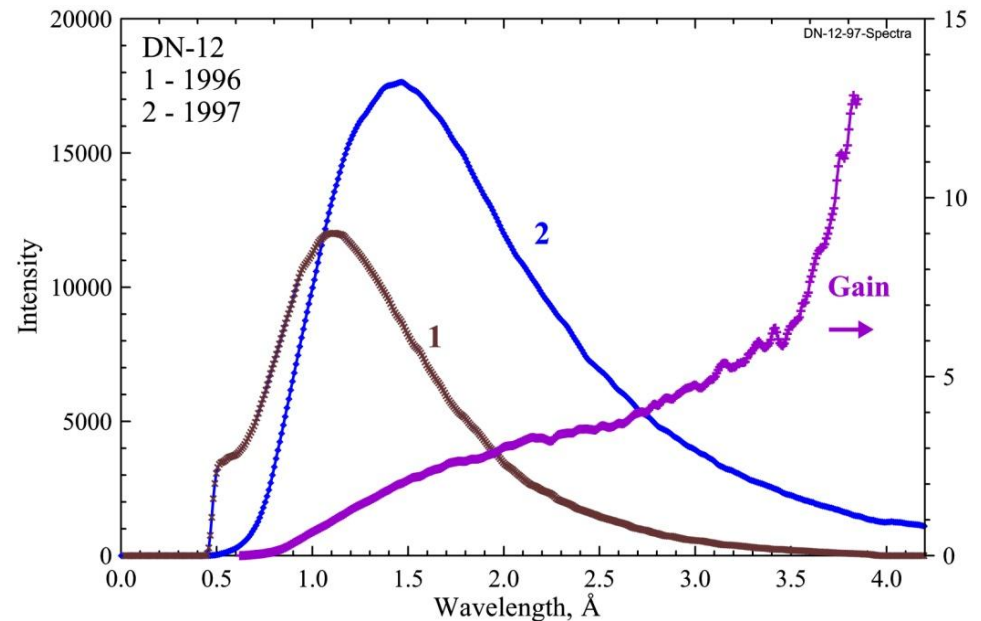
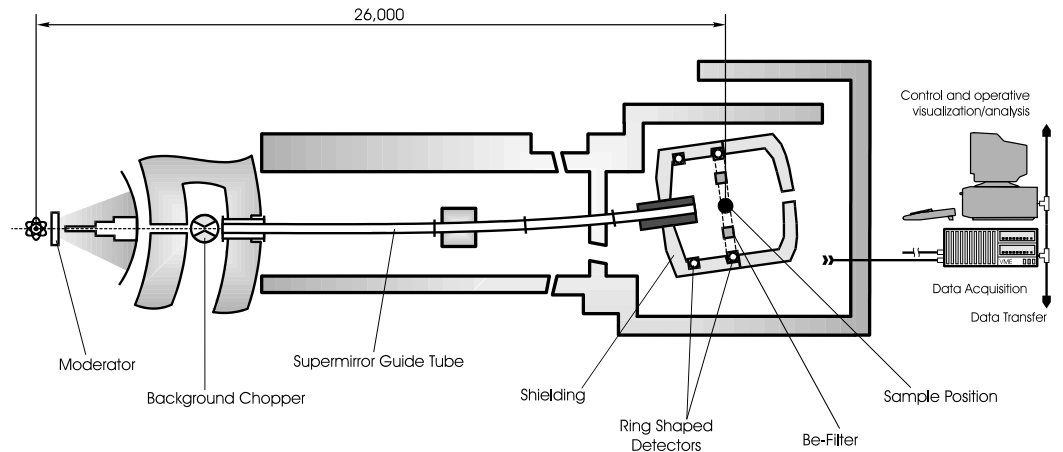
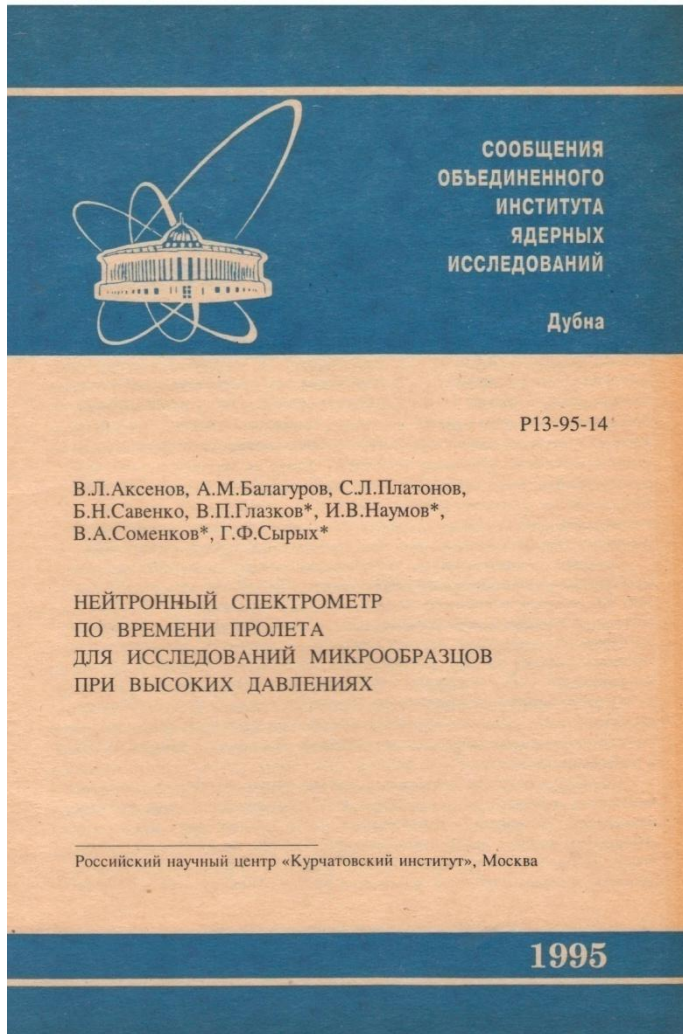


(b)

Уравнение состояния и нейтронограммы при  
высоком давлении для  $DyD_2$  (до **37 ГПа**).



# Спектрометр DN-12 на ИБР-2

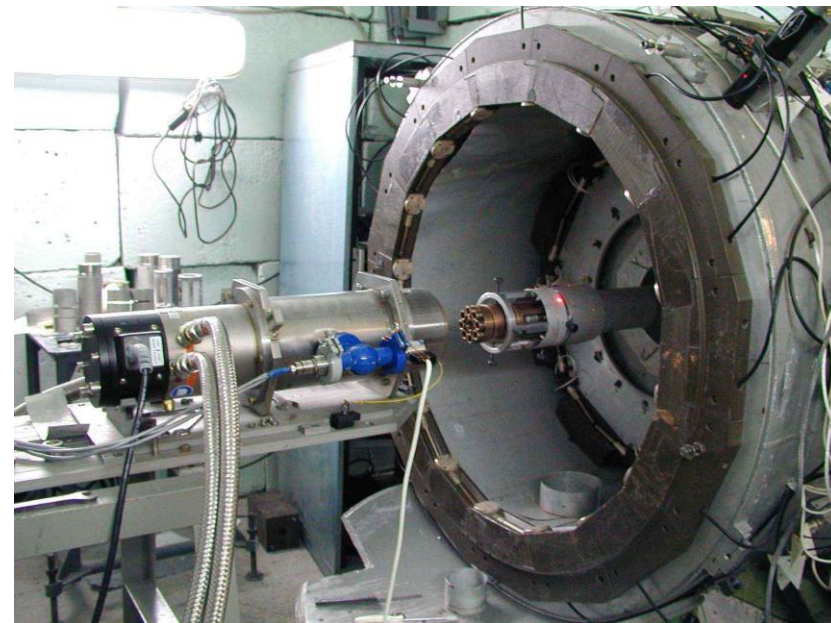


Повышение светосилы после установки нейтронвода

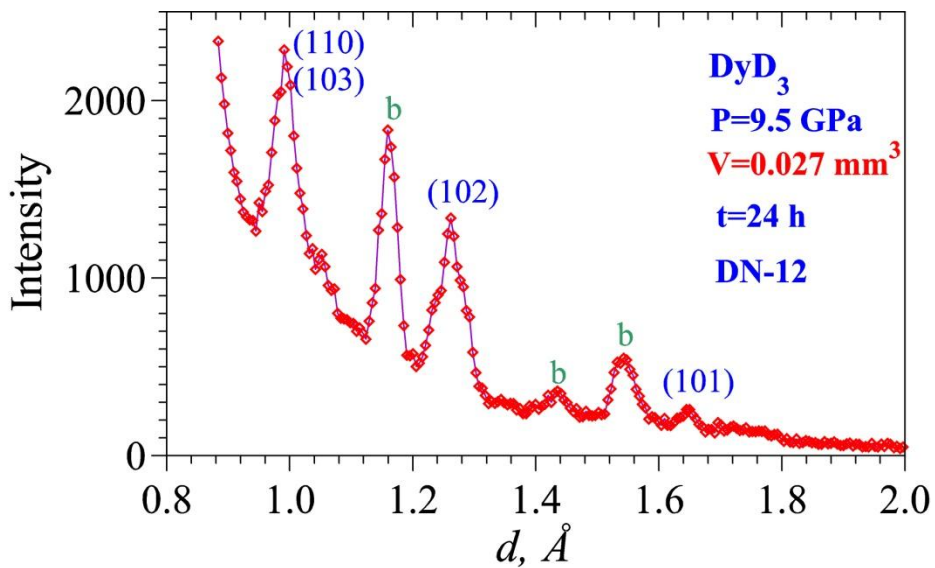




Ячейка высокого давления ( $\varnothing 48$  mm x 164 mm)  
с сапфировыми наковальнями,  $P$  до 7 ГПа

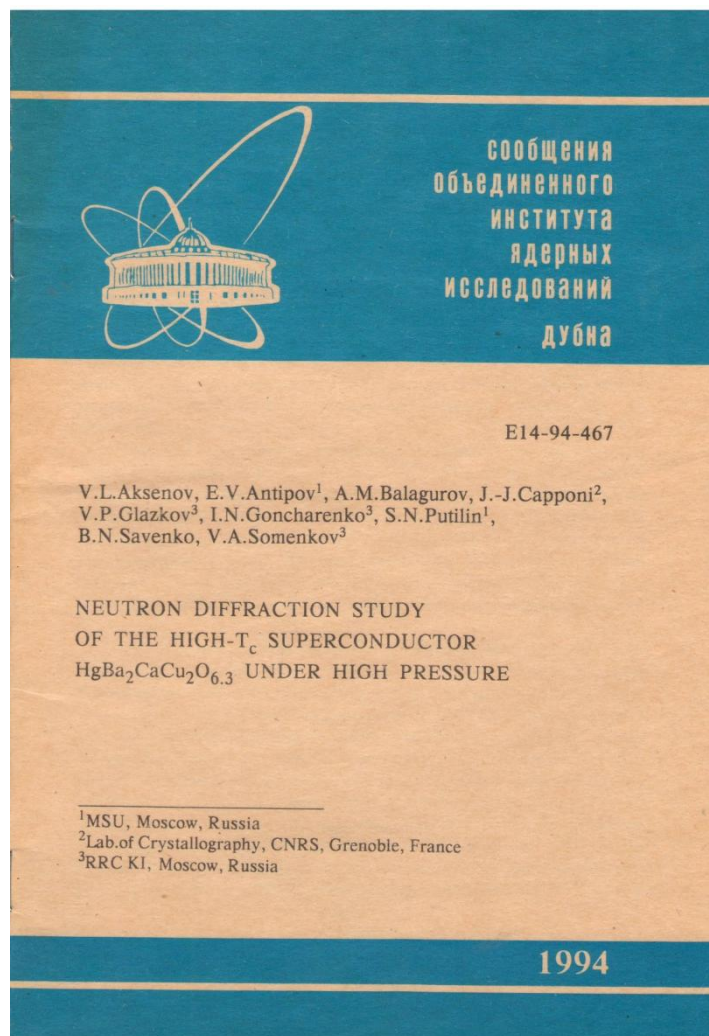


Спектрометр DN-12 с криостатом на ИБР-2

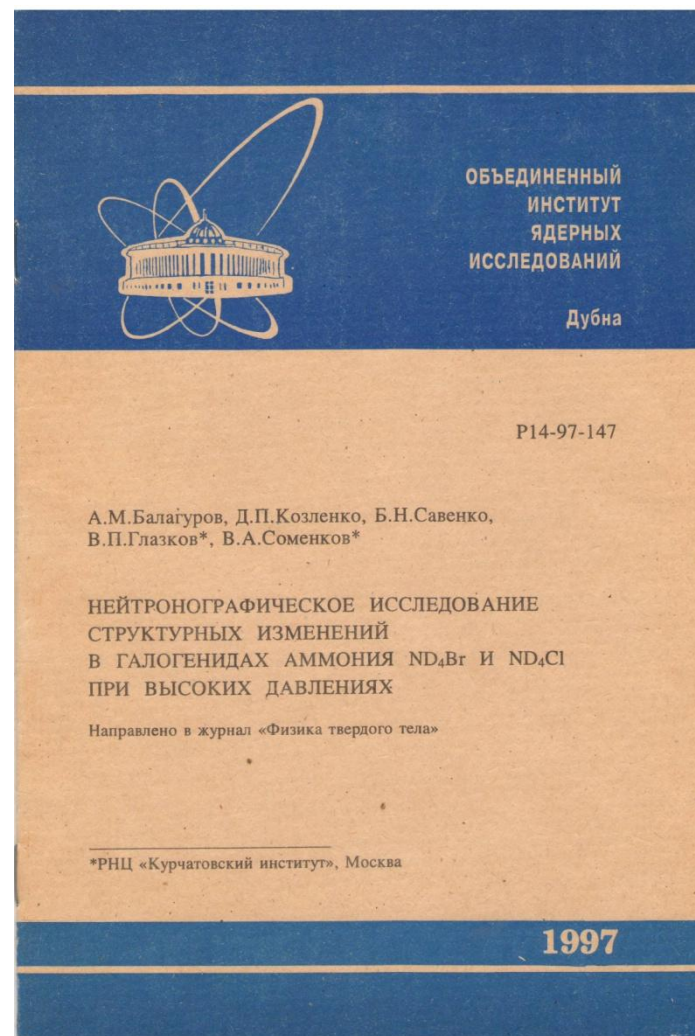


Дифракционный спектр от  
образца объемом  $0.027$  мм<sup>3</sup>

# Первые структурные работы, выполненные на ДН-12



**High Press. Res., 1995**  
 $m \approx 0.2 \text{ g}$ ,  $P_{\text{max}} = 3.6 \text{ GPa}$



**ФТТ, 1998**  
 $V \approx 2.5 \text{ mm}^3$ ,  $P_{\text{max}} = 4.5 \text{ GPa}$

# International seminars on neutron scattering at high pressure: NSHP-I (1994) and NSHP-II (1999), JINR, Dubna



**В.А.Соменков объясняет устройство камер  
высокого давления с наковальнями**



**И.П. Садиков, А.М. Балагуров, , J.M. Besson,  
В.А. Соменков, R. Von Dreele, С.М.СТИШОВ, В.Г. Симкин**

**Robert Von Dreele, Joël Mesot,  
И.Н. Гончаренко, В.А. Соменков**



# Интроскопия и ее возможности

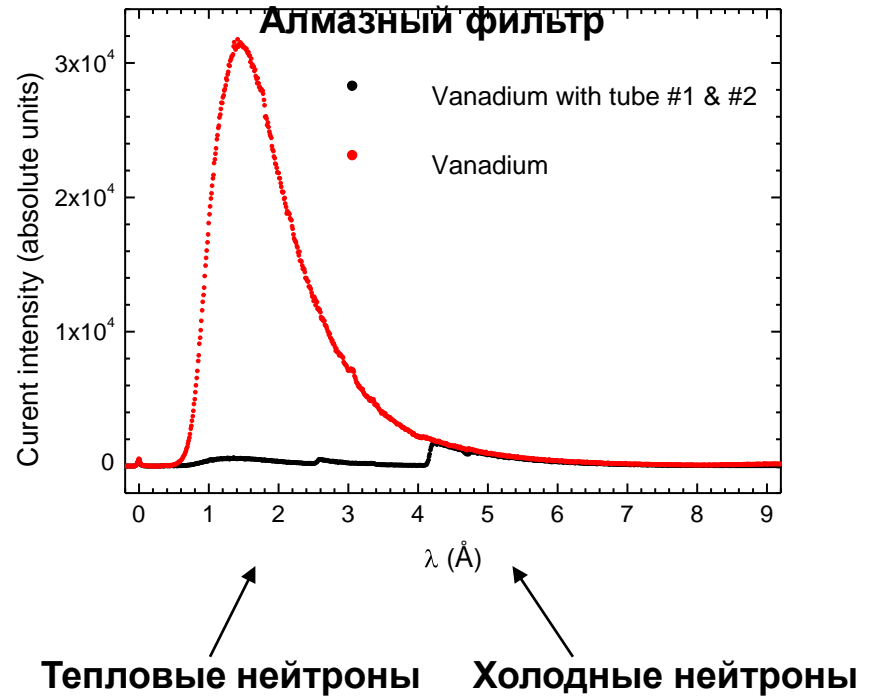
## Виды контраста:

- Абсорбционный
- Дифракционный
- Фазовый
- Рефракционный
- Малоугловой
- Деполяризационный
- Изотопный
- Резонансный

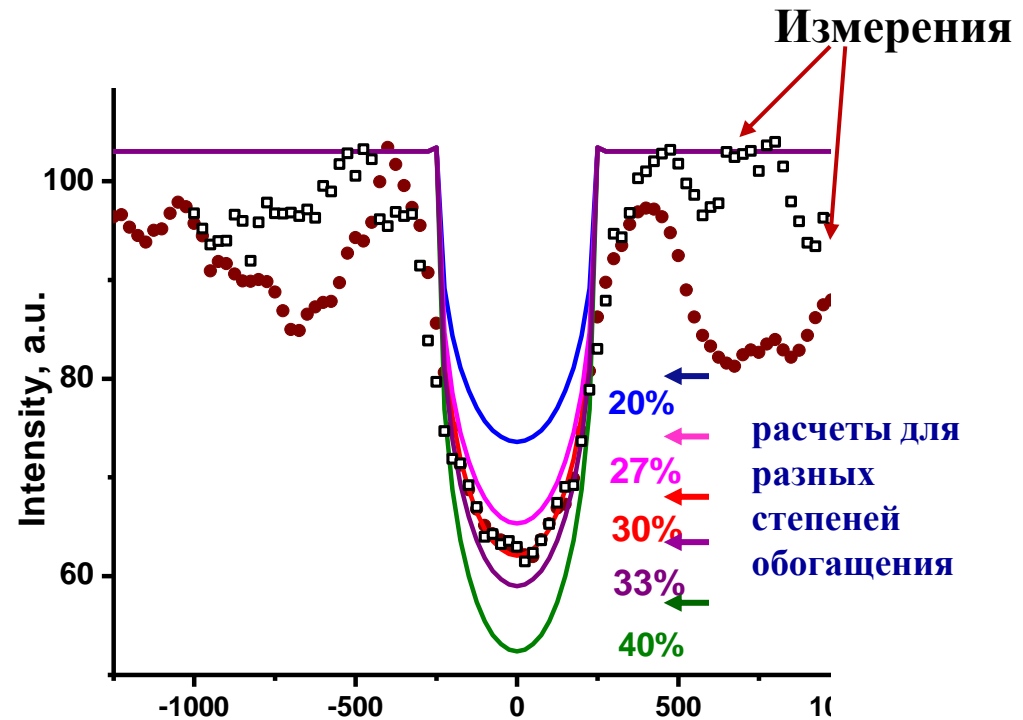
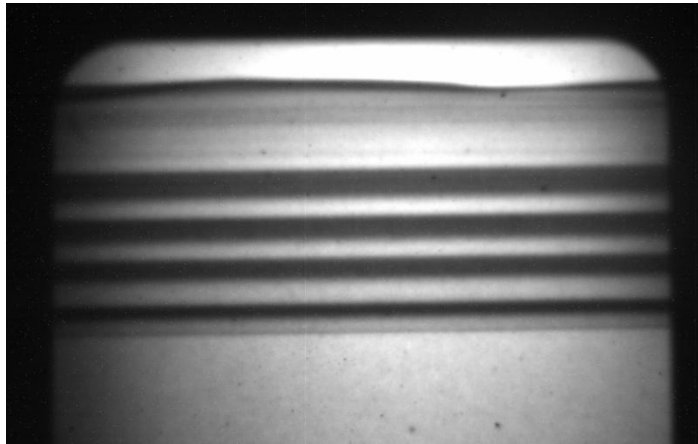
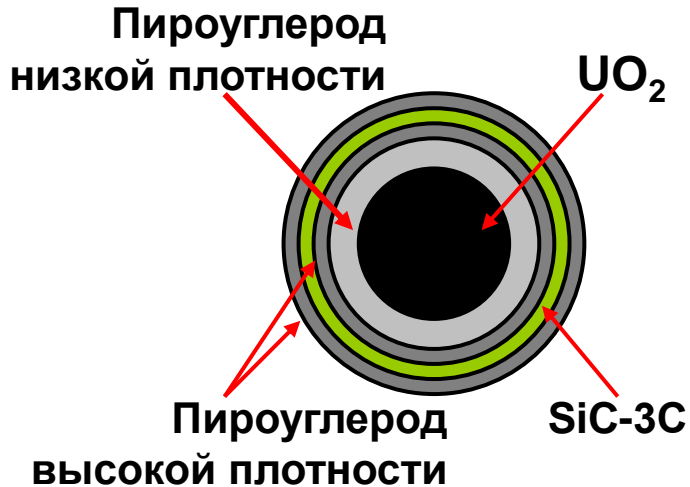
## Варианты интроскопии:

- Микрорадиография
- $\gamma$ - и  $n$ - $\gamma$  интроскопия
- Синхротронная интроскопия
- Real-time интроскопия

## Интроскопия на белом и фильтрованном излучении



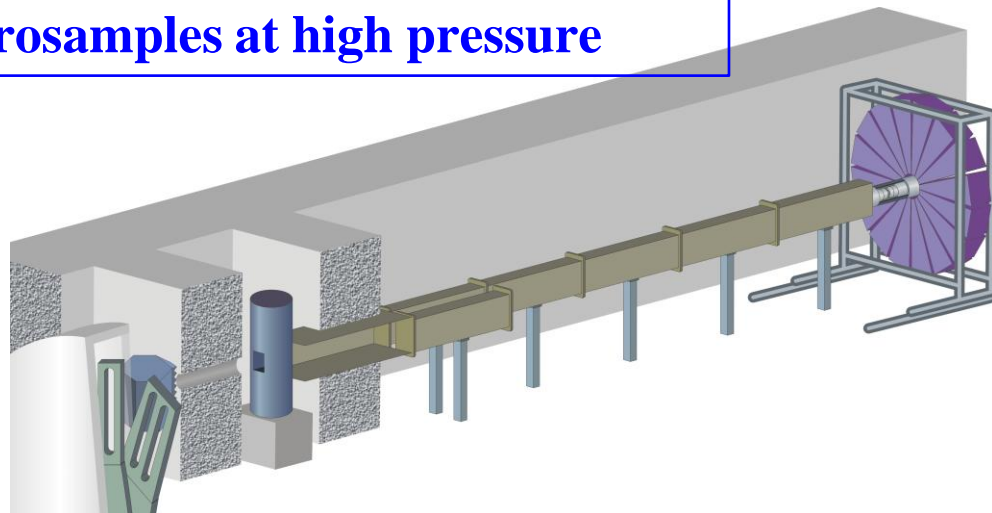
# Входной контроль ТВС реактора ИР-8



Распределение интенсивности прошедшего пучка по центральному сечению микротвэла. Степень обогащения может быть определена с точностью **2%**.

# Развитие идей В.А.Соменкова на ИБР-2: ДН-6, НРТ

**Diffractometer DN-6 for studies of microsamples at high pressure**

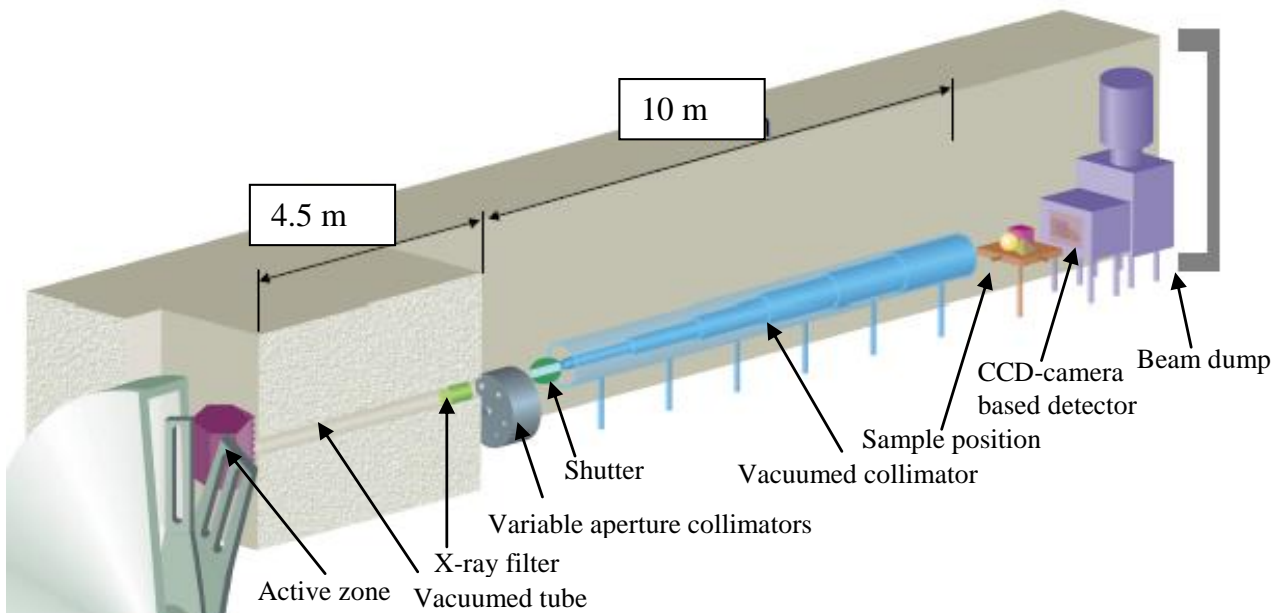


**DAC**



**Sample volume:  
0.01-0.05 mm<sup>3</sup>**

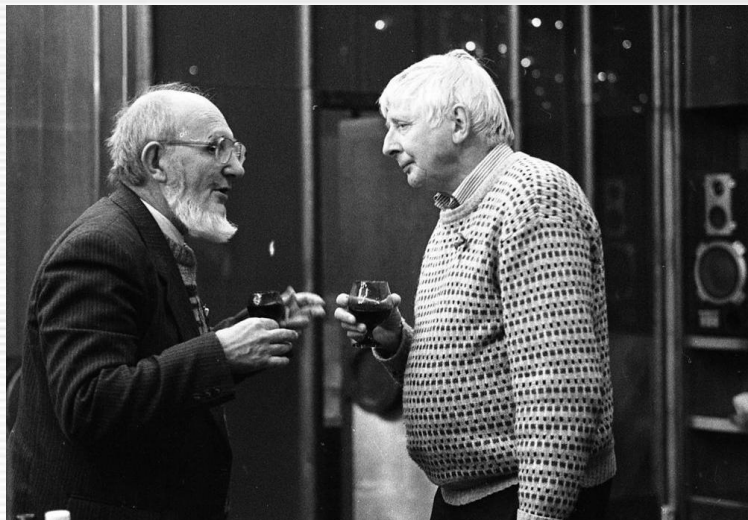
- **Intensity gain: 12 times (compared to DN-12)**
- **Pressure range: 30-50 GPa**
- **Temperature range: 4– 300 K**



**Spectrometer for  
neutron radiography  
and tomography**



## На совещаниях



Дубна, 1993. Форсайт, Натканец, Соменков



Дубна, 1999. Кобзев, Мешков, Соменков



Дубна, 1999. Форсайт, Натканец, Соменков



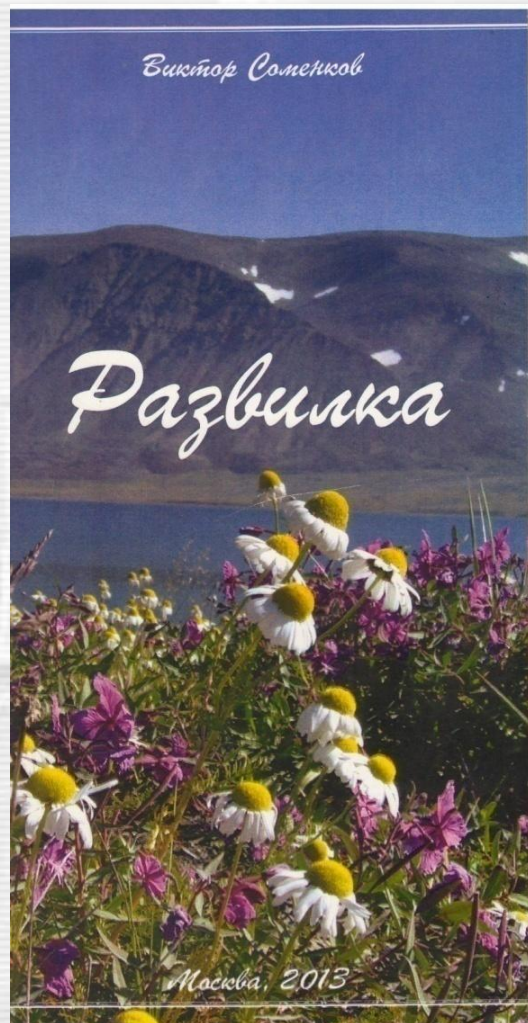
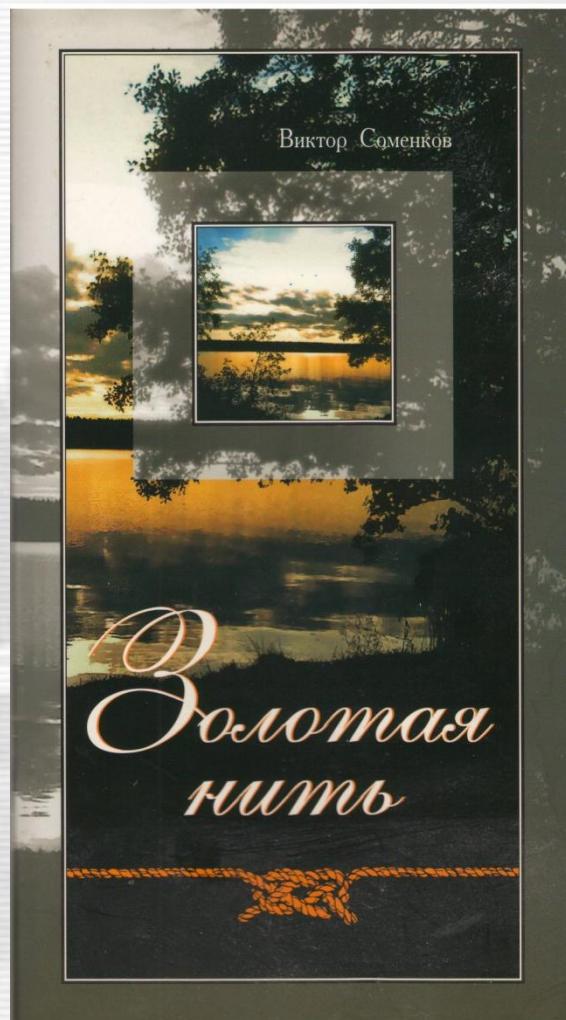
Дубна, 2005. Левин, Никитин, ?, Соменков

## **Лозунги момента**

- 1. Пятилетку в 4 года!**
- 2. Кадры решают все, что могут решить!!**
- 3. Построим коммунизм на отдельно взятом реакторе к 80-му году!!!**
- 4. Нейтроны могут все, но вместе с СИ и  $\gamma$ -интроскопией много больше, чем все!!!!**
- 5. Наша принципиальная позиция – уважать начальство!!!!!!**



Книги стихов Виктора Соменкова — это попытка осмыслить и выразить в поэтической форме чувства, мысли и настроения обыкновенного человека, вызванные событиями быстротекущего времени. Обращены к людям сходной судьбы, к людям уходящего поколения.





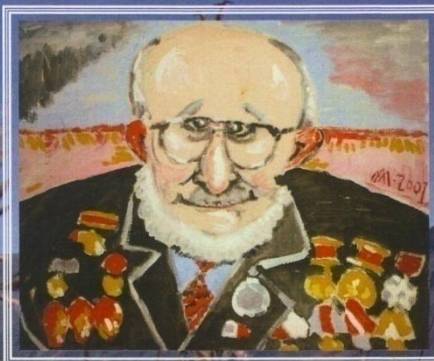


Виктор Александрович Соменков (р. 1937) —  
физик, доктор физико-математических наук, профессор,  
Заслуженный деятель науки РФ,  
Лауреат Государственной премии СССР,  
Лауреат Государственной премии РФ,  
Ветеран атомной энергетики и промышленности.

ISBN 978-5-4397-0002-8



9 785439 700028



Виктор Александрович Соменков (р. 1937) —  
физик, доктор физико-математических наук,  
профессор, Заслуженный деятель науки РФ,  
Лауреат Государственной премии СССР,  
Лауреат Государственной премии РФ,  
Ветеран атомной энергетики и промышленности.

\*\*\*

**И только когда погребальные дроги  
Начнут проминать индевеющий наст,  
Поймешь, что не мы выбираем дороги  
Дороги ложатся под нас.**

## Водораздел

Я никогда не верил в идолов,  
Ни в «Бога нет», ни в «С нами Бог»,  
Ах, Бога нет, так надо выдумать,  
Ах, «Gott mit uns», так «Hände hoch».

Я никогда не верил в крайности,  
Ни в «Только я», ни в «Только мы»,  
Ах, только ты — себе и кланяйся,  
Вы — головы без головы.

Ни гения, ни идиота  
Ни в ком пока не разглядел.  
Вода, земля или ... болото.  
Неужто в нем водораздел?

## Незабываемый тридцатый седьмой

Вдруг разлилась река Молочная,  
И город весь водой покрылся...  
Не спали люди днем и ночью,  
А я родился.

Синело небо над каштанами,  
Кто плакал, кто-то веселился,  
Происходили вещи странные,  
А я родился.

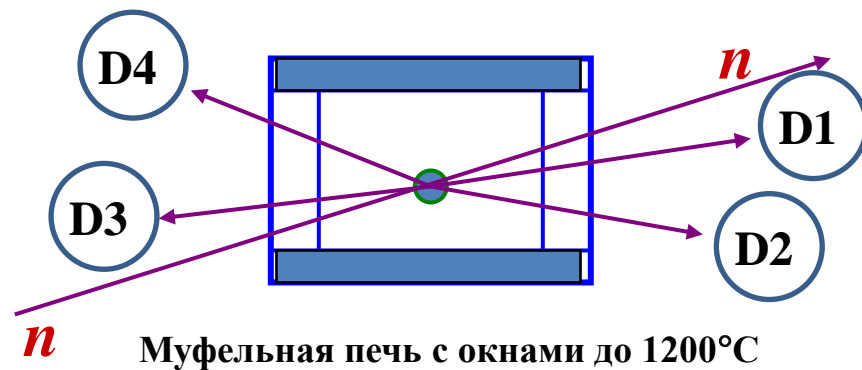
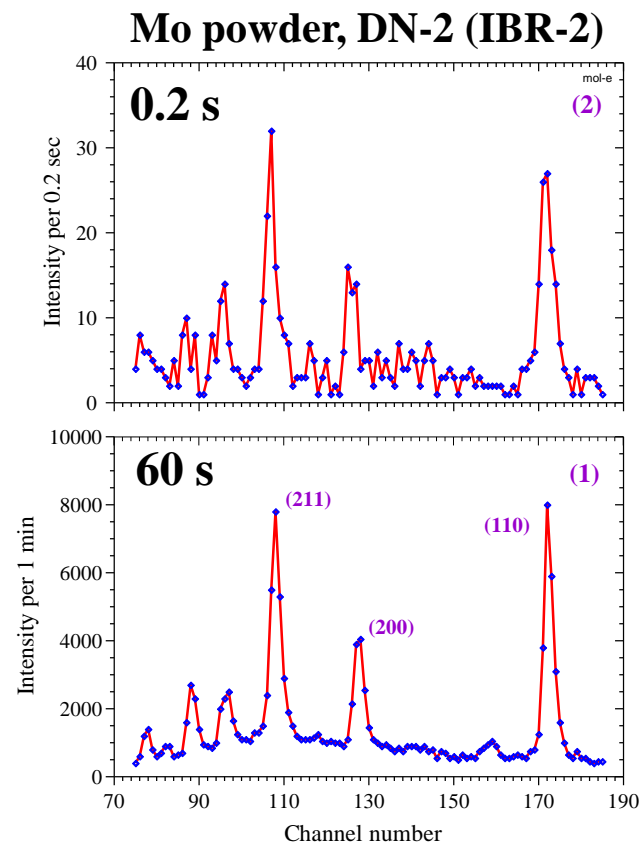
Свечи огарочек во тьме  
Сгореть, не торопился,  
Отец тогда сидел в тюрьме,  
А я родился.

# Галина Матвеевна Миронова, 14.06.1944 – 26.12.2022



Галина Матвеевна Миронова  
научный сотрудник

- |                                      |             |
|--------------------------------------|-------------|
| ❖ МГУ имени М.В.Ломоносова           | 1962 - 1969 |
| ❖ группа ФЭИ, инженер                | 1969 – 1972 |
| ❖ ЛНФ ОИЯИ, мнс, нс, инженер         | 1972 - 2022 |
| ❖ Кинетика гидратации цемента        | 1986        |
| ❖ Реакции при синтезе Y-123          | 1990        |
| ❖ Изотопный обмен в липидах          | 1991        |
| ❖ Формирование фаз в Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu | 1993        |
| ❖ Дегидратация гелей                 | 2001        |
| ❖ Дифрактометр RTD                   | 2016        |



# Основные темы

## *In situ, Real-time*

“Гидратация трехкальциевого алюмината” КС ОИЯИ, 1986.

“Синтез Y-123” СФХТ, 1990.

“Метастабильный лед высокого давления VIII” Письма в ЖЭТФ, 1991.

“Кинетика  $\epsilon \rightarrow \delta$  фазового перехода в  $\text{TiD}_{0.74}$ ” ФТТ, 1991.

“Изотопный обмен в липидных мембранах” Кристаллография, 1991.

“Phase transition in copper ferrite” phys. stat. sol. (a), 1993.

“TOF neutron thermo-diffractometry” Review, MSF, 1993.

## Дифракция + МУРН

Дифракция + МУРН,  
ОИЯИ Р10-89-601, Дубна, 1989

Проективная геометрия на ДН-2,  
1991

Фазовые превращения в  
 $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$ , J. of Supercond.,  
1993

Phase transition shifting in HTSC  
by thermal shock, 3<sup>rd</sup> French-  
Russian Seminar, Grenoble, 1995.

Дегидратация сетчатых  
полимеров, 2005

## One-pulse mode

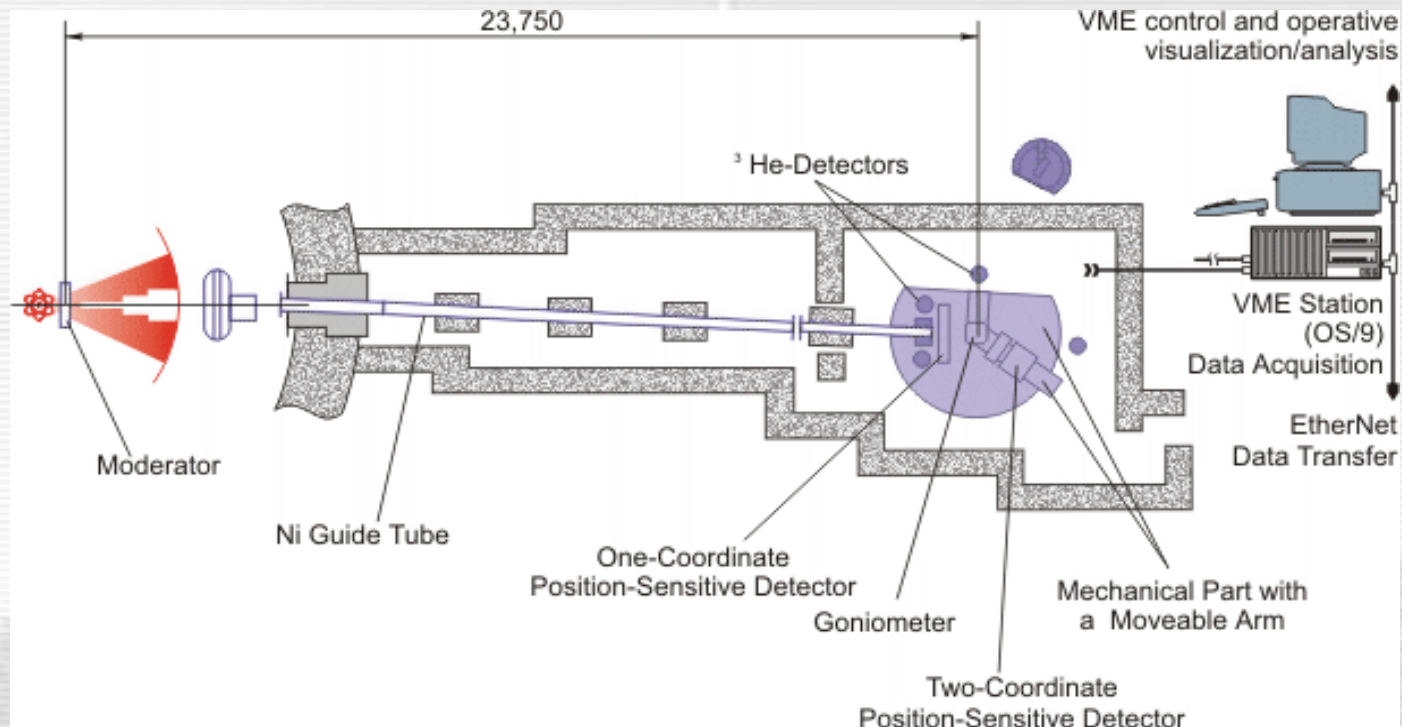
“Нейтронोगрафия в реальном времени на импульсном реакторе ИБР-2”, Сообщения ОИЯИ, Р13-88-326, Дубна, 1988

“Реализация продолжительных непрерывных измерений в режиме одного импульса ИБР-2 с использованием USB интерфейса” РНИКС, 2008.

“Система непрерывной записи потока данных на пучке импульсного реактора ИБР-2 при регистрации спектров от каждого импульса мощности” ОИЯИ, Р13-2009-140, Дубна, 2009.



## DN-2 diffractometer at the 6A beam-line



**Исходная задача: структурный анализ биологических объектов**

**Новые задачи: сегнетоэлектрики (Савенко), суперионики (Бескровный),  
липидные мембраны (Горделий), смешанные кристаллы (Сангаа),  
*in situ* – real-time анализ необратимых процессов (Миронова)**

## Группа ДН-2 (конец 1970-х годов)



**В.И.Горделий**

**Б.Н.Савенко, А.И.Бескровный, М.Длоуга, А.М.Балагуров, Г.М.Миронова**

**Польша: Я.Домославский**

**Румыния: Е.Борка, З.Георгиу, Н.Попа**

**Корея: Хван Чан Ген**

**Вьетнам: Нгуен Ван Выонг, Ле Тхи Кат Тыонг**

**Чехия: З.Йрак, С.Вратислав**

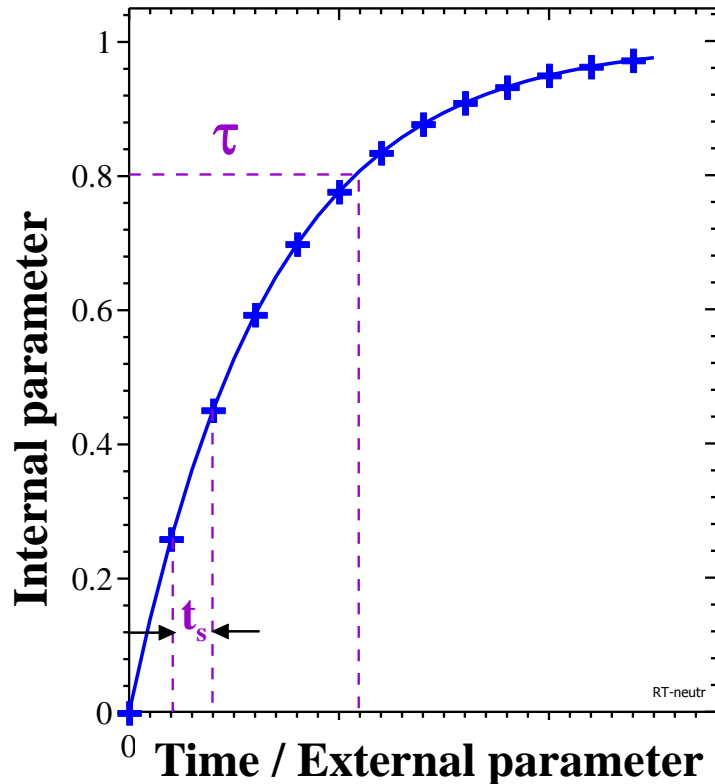
**Монголия: Д.Сангаа**

**Россия: Е.П.Козлова, С.Л.Платонов, В.Г.Симкин, В.Б.Злоказов, В.Ю.Помякушин**

**Сотрудничество: ИФГТ (Черноголовка), ИК РАН (Москва), МХТИ (Москва)**

**Необратимый процесс:  $A \sim A_{\infty}[1 - \exp(-t/\tau)]$ .**

**( $\tau$  - характерное время процесса)**



**Основное условие:  $t_s \ll \tau$**

**разрешение по времени  
должно быть много меньше  
характерного времени процесса**

**Процессы:**

- 1. Solid state chemical reaction**
- 2. Isotope exchange**
- 3. Structural phase transitions**
- 4. Etc.**

**$\Delta t = t_s$  – разрешение по времени**

**$t_s \approx 1 \text{ s} - 10 \text{ min}$ , i.e.**

**$\tau \sim 10 \text{ s} - 1 \text{ hour}$**



# High-intensity diffraction at advanced neutron sources

## Steady state reactors:

ILL (Grenoble)                      D20,       $t_s \sim 0.5 \text{ sec} - 5 \text{ min}$

PSI (Switzerland)                      HRPT,       $t_s \sim 1 - 5 \text{ min}$

## Spallation neutron sources:

ISIS (UK),                      Polaris,       $t_s \sim 5 \text{ min}$ ,                      GEM,       $t_s \sim 1 - 5 \text{ min}$

SNS (USA),                      VULCAN,  $t_s \sim 0.5 - 5 \text{ min}$

LANSCE (USA),      HIPD,       $t_s \sim 1 - 5 \text{ min}$

J-PARC (Japan),      HITD,       $t_s \sim 1 - 5 \text{ min}$

ESS (Sweden),      SPD,       $t_s \sim 0.3 \text{ msec} - 0.5 \text{ sec} - 5 \text{ min}$

## Миронова и др.: Необратимые процессы на ДН-2 в (1980-90)-е

1. Reaction between  $D_2O$  and  $Ca_3Al_2O_6$  ( $t_s = 10$  sec), 1986
2. Kinetics of sorption (desorption) of  $H_2O$  &  $D_2O$  by lipid multilayer ( $t_s = 10$  sec), 1989
3. Kinetics of water exchange  $H_2O \leftrightarrow D_2O$  in lipid multilayer ( $t_s = 2$  sec), 1989
4. Synthesis of  $YBa_2Cu_3O_x$  from  $Y_2O_3$ ,  $BaCO_3$  and  $CuO$  ( $t_s = 5$  min), 1989
5. Effect of hydrogen on  $YBa_2Cu_3O_x$  ( $t_s = 5$  min), 1990
6. Phase transitions in Ti – D system ( $t_s = 2$  min), 1991
7. Phase transitions of high-pressure metastable ice VIII ( $t_s = 5$  min), 1991
8. Structural phase transition in copper ferrites,  $CuLi_{0.1}V_{0.1}Fe_{1.8}O_4$  ( $t_s = 80$  sec), 1993
9. Phase transformations in  $BiSrCaCu_2O_x$  ( $t_s = 5$  min), 1993

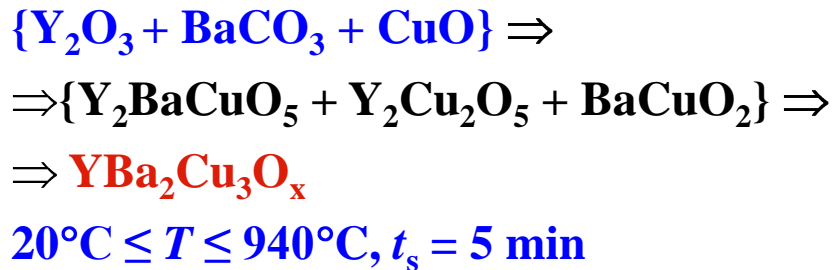
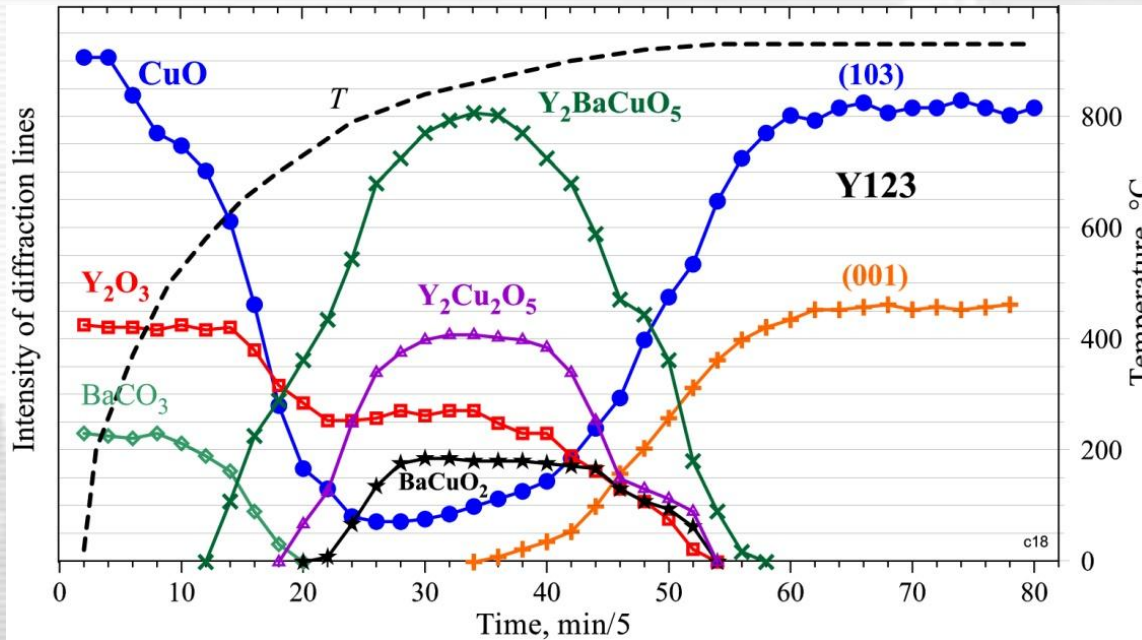
### Reviews:

“Neutron diffraction in real-time mode” Crystallography Reports, 1991

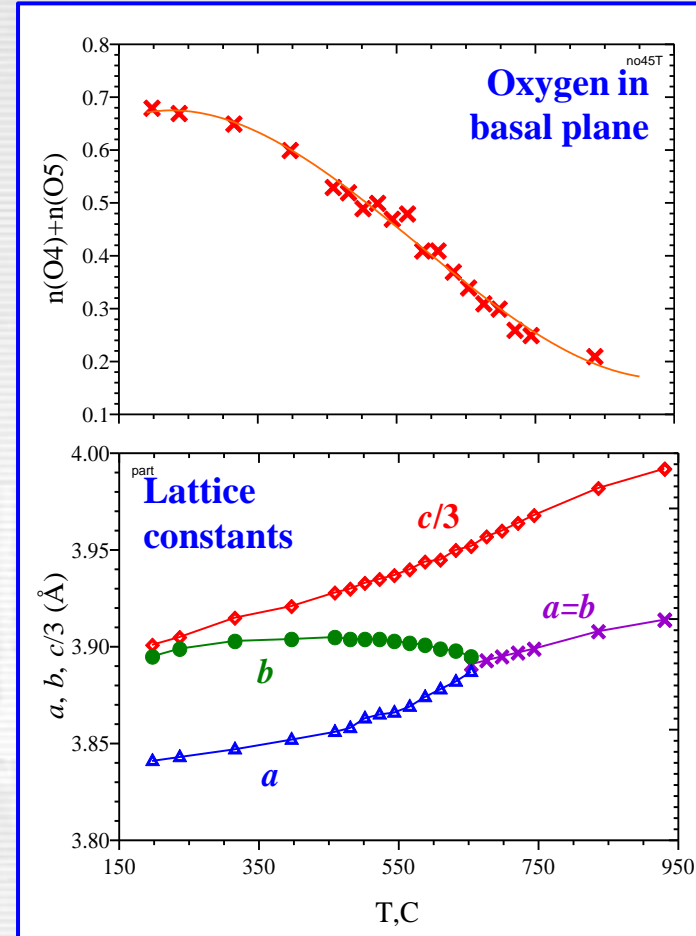
“The application of the neutron TOF technique for real-time diffraction studies” J. Appl. Cryst., 1991

“Phase transformations in materials studied by TOF neutron thermo-diffractometry” MS Forum, 1993

# Formation of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ through a solid-state reaction of $\text{Y}_2\text{O}_3$ , $\text{BaCO}_3$ and $\text{CuO}$ in air



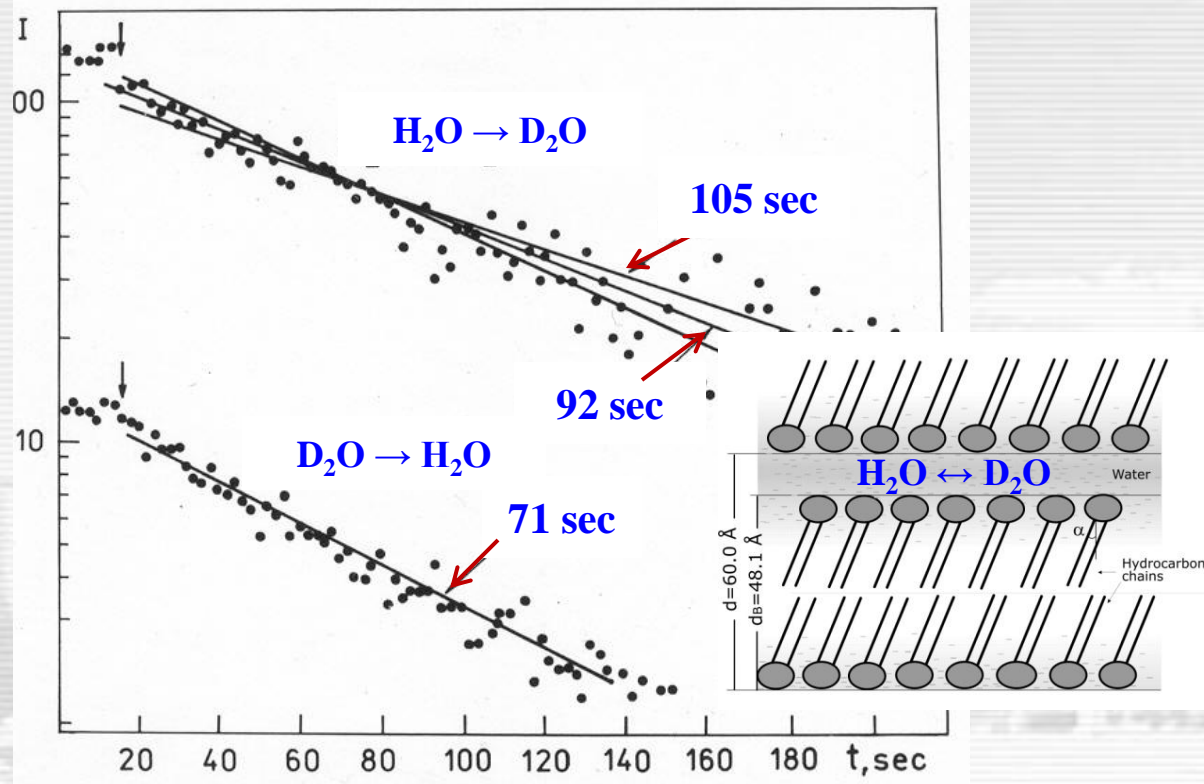
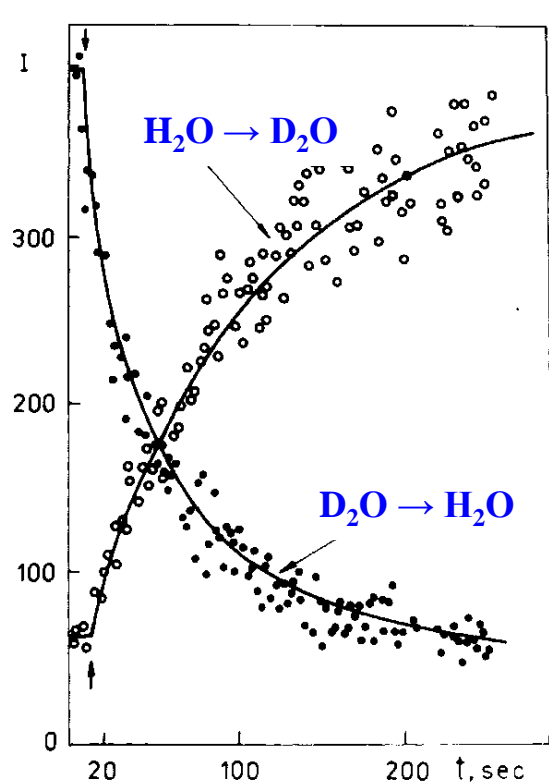
СФХТ (Сверхпроводимость), 1990



Охлаждение от  $950^\circ\text{C}$  до КТ.  
Переход  $P4/mmm \Rightarrow Pmmm$ .



# H<sub>2</sub>O ↔ D<sub>2</sub>O exchange in dipalmitoylphosphatidylcholine (DPPC) multilayer lipid membrane ( $t_s = 2$ sec) (exponential law)



Intensity as a function of time

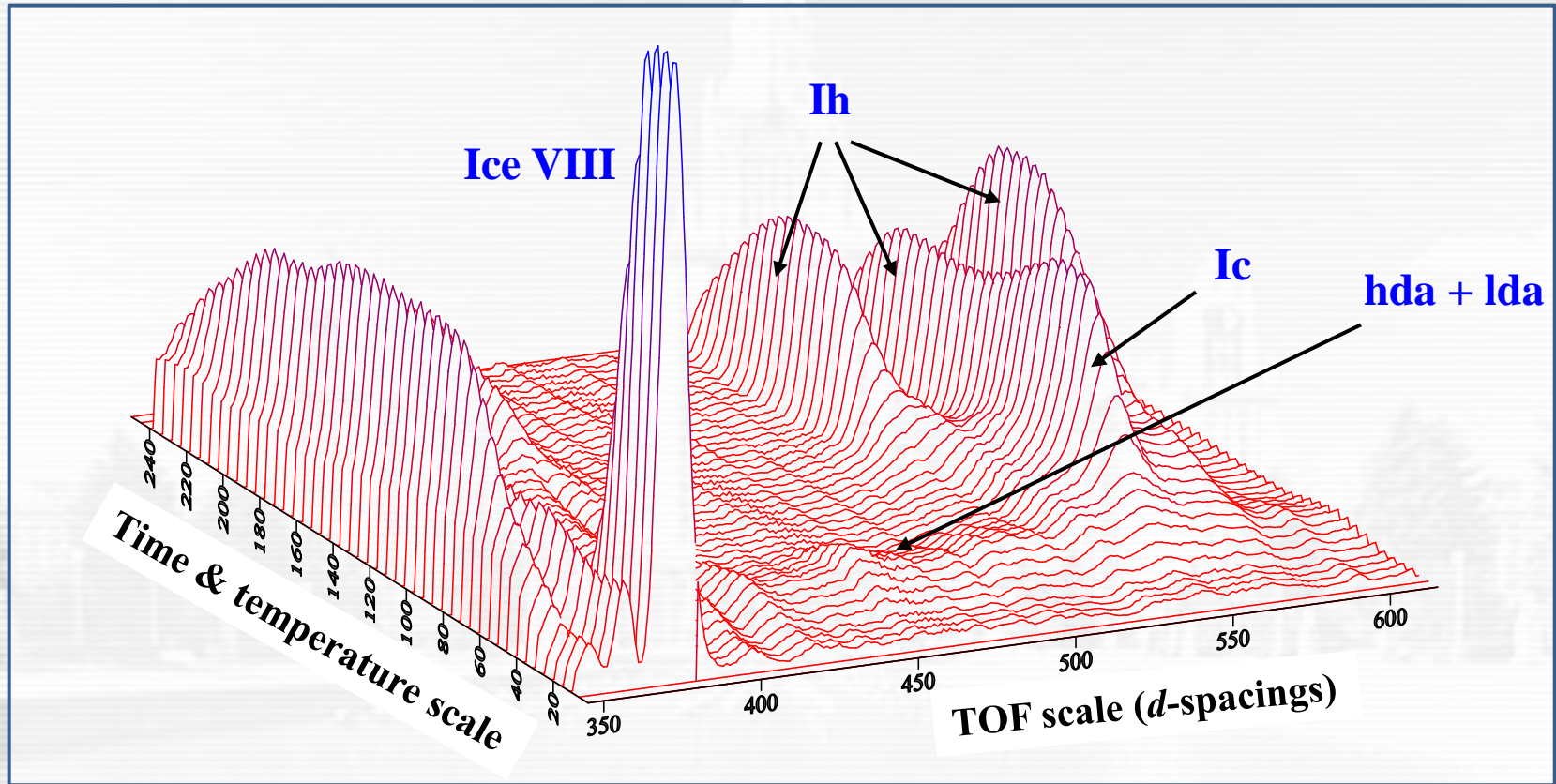
$$F(t) = F_{\infty} + C \cdot e^{-t/\tau} \text{ or } F(t) = F_{\infty} \cdot (1 - C \cdot e^{-t/\tau})$$

$$\ln(F(t) - F_{\infty}) = \ln C - t/\tau \rightarrow \text{linear function}$$

$y = \ln|F(t) - F_{\infty}|$  for H<sub>2</sub>O → D<sub>2</sub>O and D<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub>O. Characteristic times are equal to 92 s and 71 s, correspondingly.

# Phase transformations of high pressure heavy ice VIII

Вместе с: О.И. Баркалов, А.И. Колесников, В.К. Федотов, В.В. Сеницын,  
Е.Г. Понятовский, ИФТТ, Черноголовка



Temperature range: (94 – 275) K

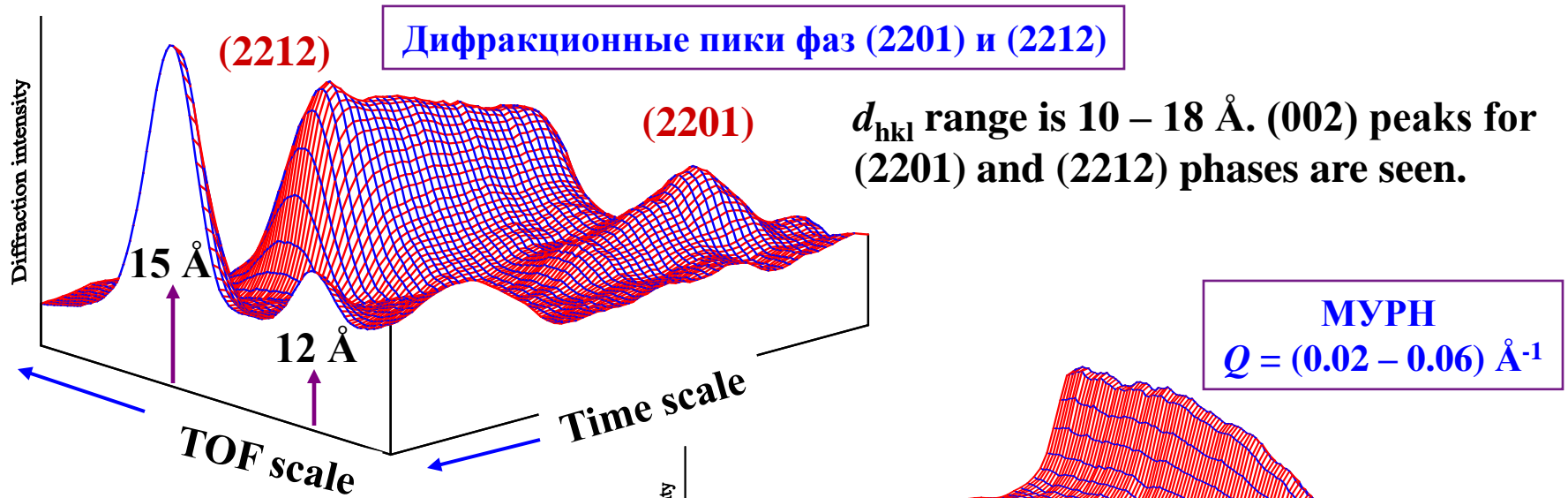
$\Delta T/\Delta t = 1$  K/min

$t_s = 5$  min

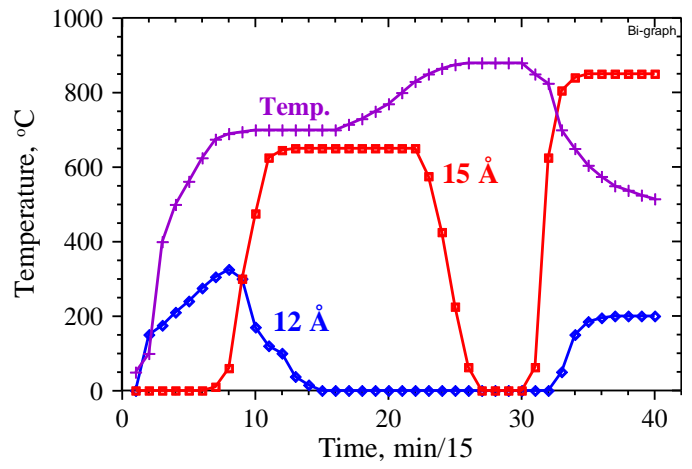
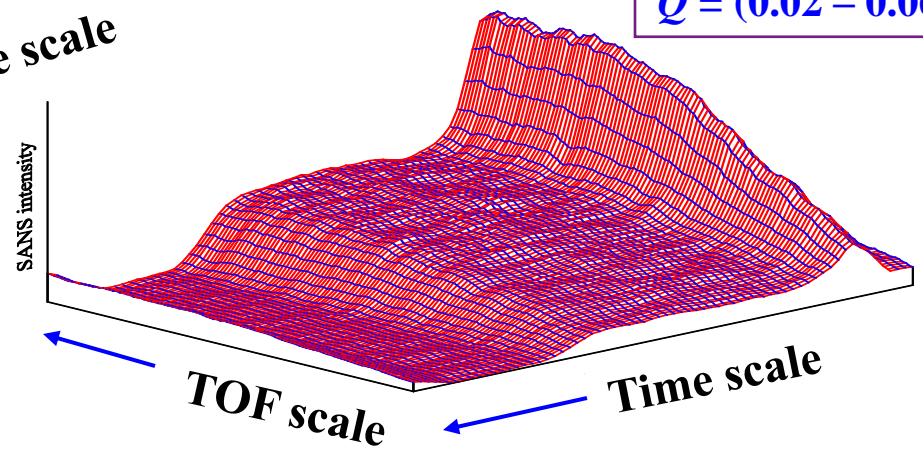
Phase **VIII** is transformed into high and low density amorphous phases **hda + lda**, then into cubic phase **Ic**, and then into hexagonal ice **Ih**.

Письма в ЖЭТФ, 1991

**Трансформации в  $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$ : закалка, нагрев ( $700^\circ\text{C}$ ), плавление ( $900^\circ\text{C}$ ), охлаждение.  
Первое дифракция + МУРН исследование (1988),  $t_s=5$  мин.**



**МУРН**  
 $Q = (0.02 - 0.06) \text{ \AA}^{-1}$



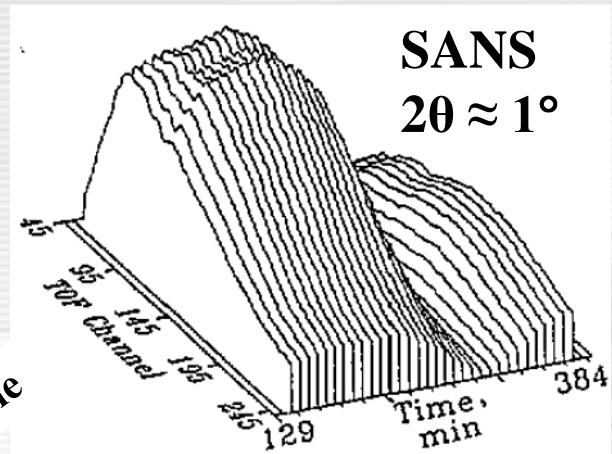
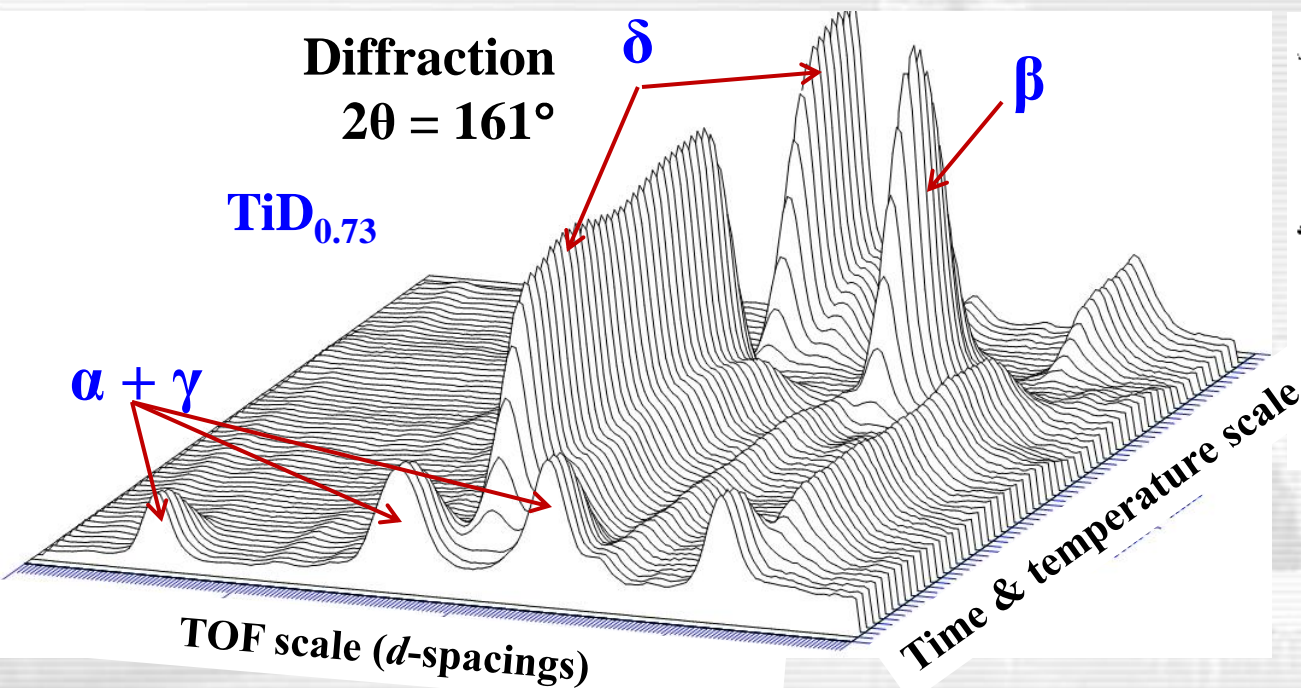
**Temperature & Intensities changes**

**Вместе с: G.Aldica, N.Popa, A.Stoica, M.Stoica**  
**“Time-resolved neutron diffraction study of the superconducting phase formation process in the Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O system” J. of Superconductivity, 1993.**



# A real-time neutron diffraction study of phase transitions in the Ti-D system after high-pressure treatment

Together with: [A.I. Kolesnikov](#), [I.O. Bashkin](#), [V.K. Fedotov](#), [V.Yu. Malyshev](#) and [E.G. Ponyatovsky](#), ISSPh, Chernogolovka.

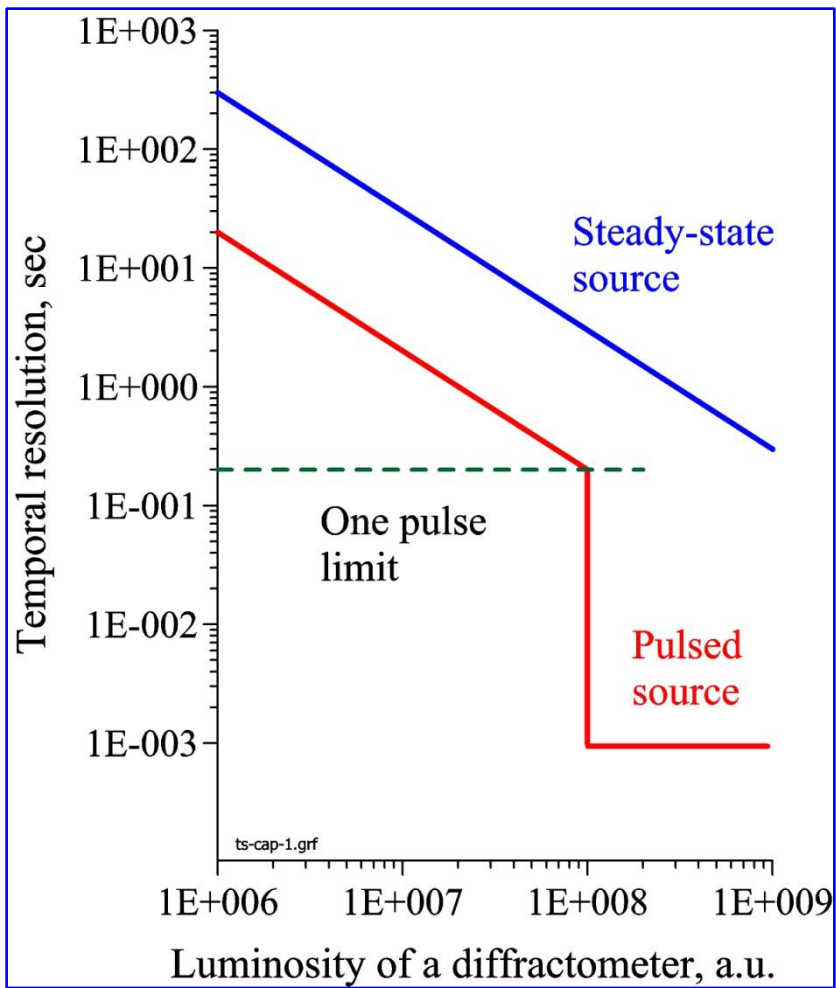


Heating from 480 to 760 K followed by cooling to 515 K

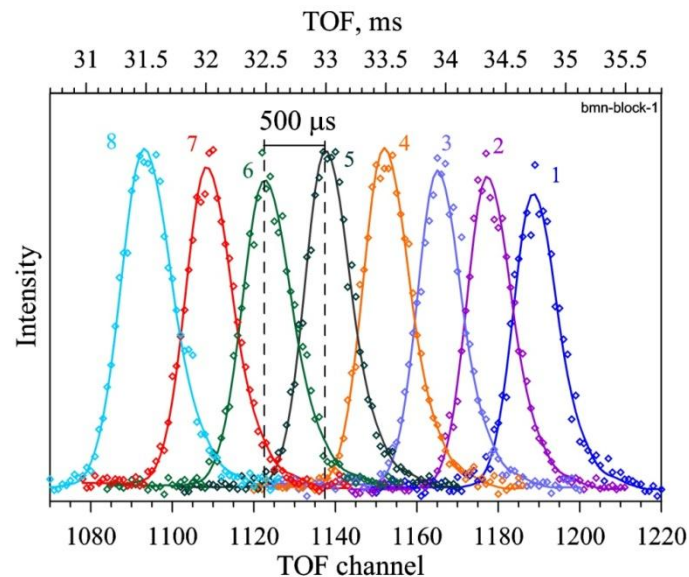
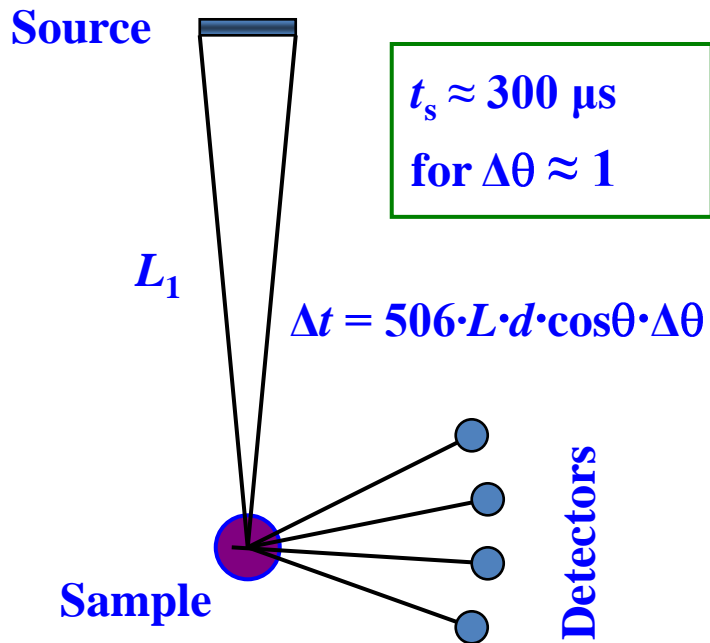
$\Delta T/\Delta t = 1 \text{ K/min}$

$t_s = 2 \text{ min}$

# Мода одного импульса на ТОФ-дифрактометре



Г.М.Миронова, ОИЯИ, P13-88-326, 1988.



Тест на  
RTD

# Мода одного импульса на ТОФ-дифрактометре

$$I_{\text{int}}(\vec{H}) \approx [\Phi(\lambda)V_s j \lambda^4 / (2V_c^2 \sin^2 \theta_0)] |F_{\vec{H}}|^2 (\Omega / 4\pi) [n / s]$$

$$\Phi(\lambda) = 2\Phi_0 \cdot (\lambda_0^4 / \lambda^5) \cdot \exp(-\lambda_0^2 / \lambda^2)$$

$\Phi_0 \approx 2 \cdot 10^7 \cdot (\Delta\lambda/\lambda)$  [n/c/cm<sup>2</sup>] – поток на образце

$V_s \approx 1$  см<sup>3</sup> – объем образца

$V_c \approx 27 \cdot 10^{-24}$  см<sup>3</sup> – объем ячейки

$F_H \approx 1.4 \cdot 10^{-12}$  см – структурный фактор

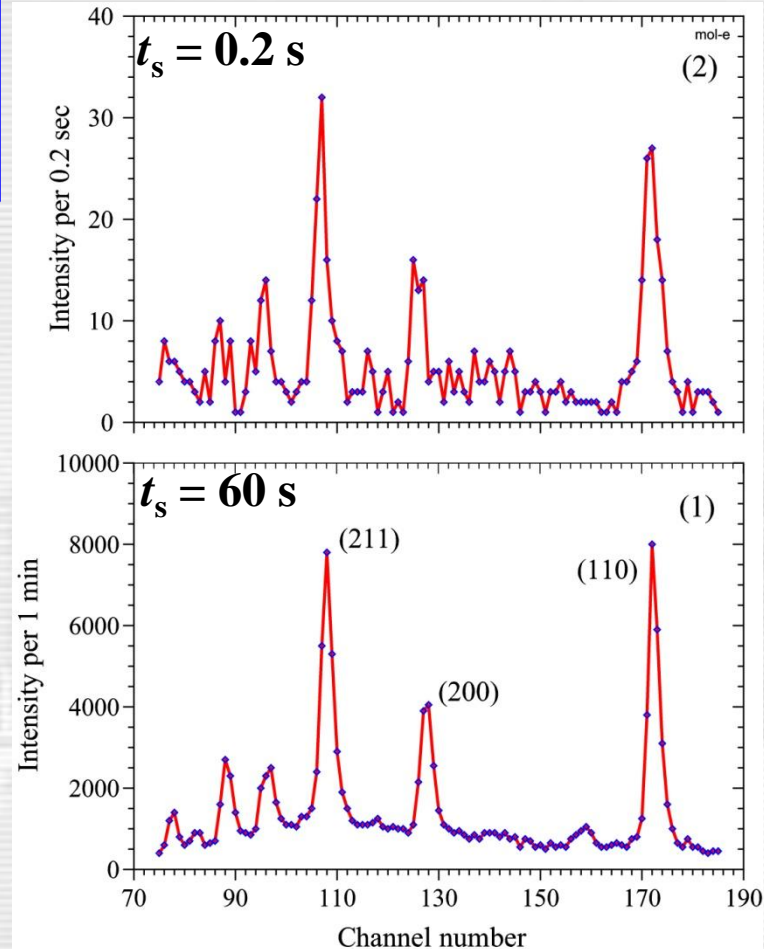
$j$  – фактор повторяемости,  $j = 16$  для (211)

$\Delta\lambda/\lambda \approx 0.01$

$\Omega/4\pi \approx 0.001$  – доля телесного угла детектора

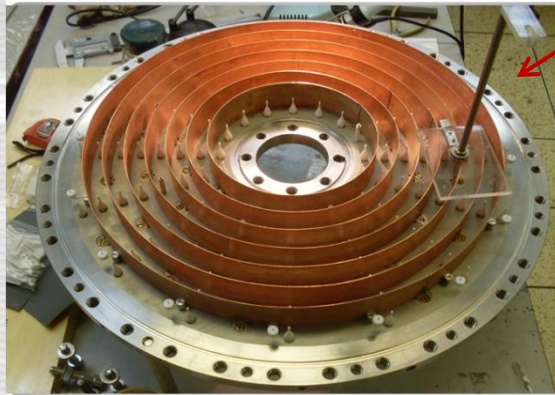
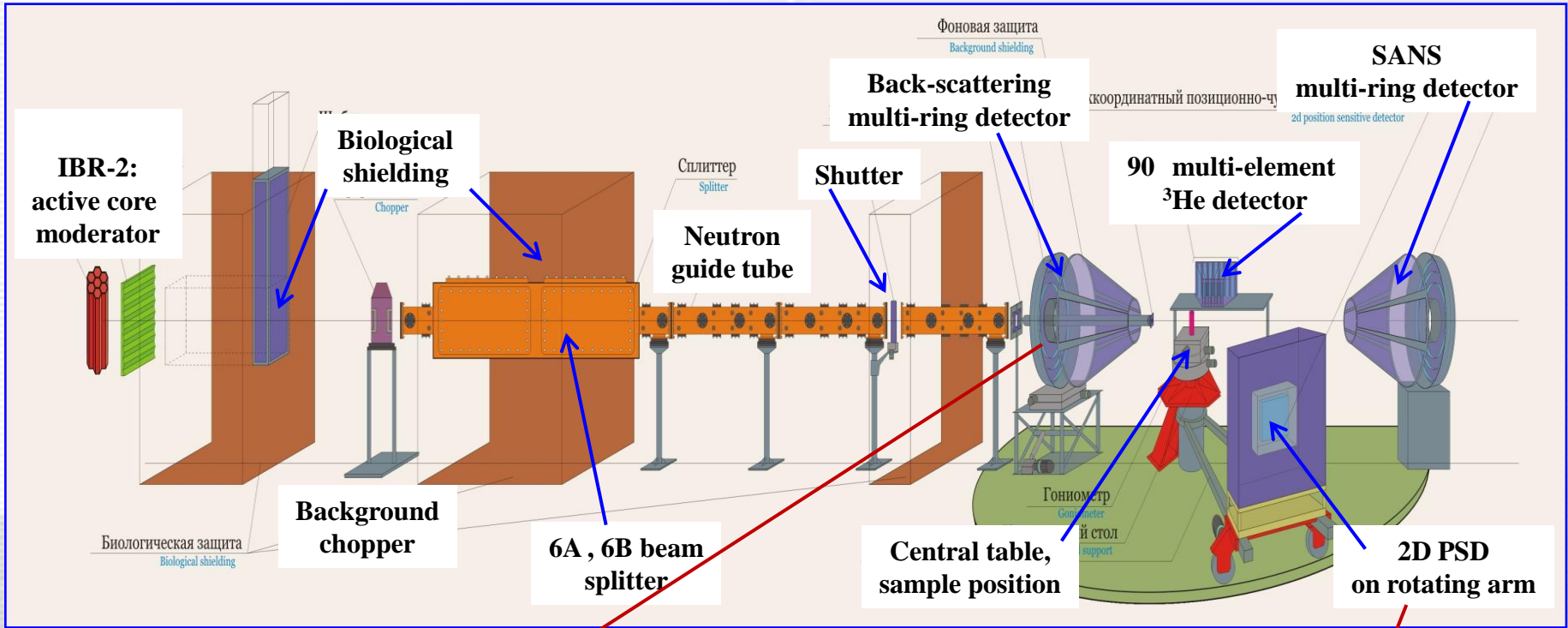
**$I_{\text{int}} \approx 100$  n/c**

Mo powder, DN-2 (IBR-2)



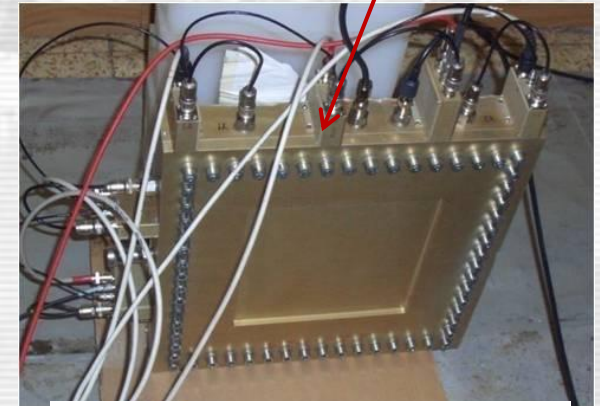


# Real-Time-Diffractometer (RTD)



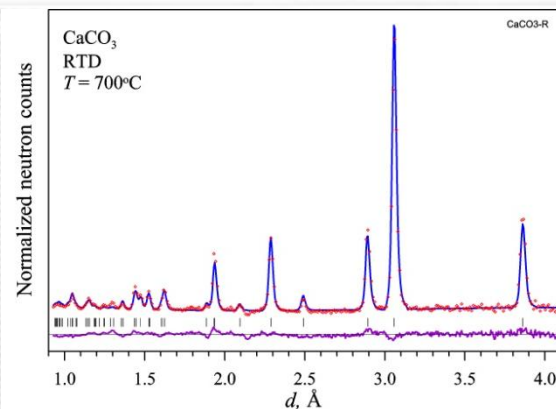
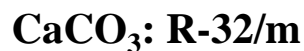
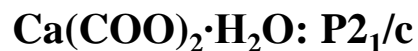
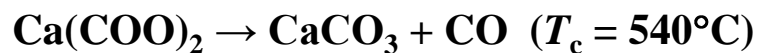
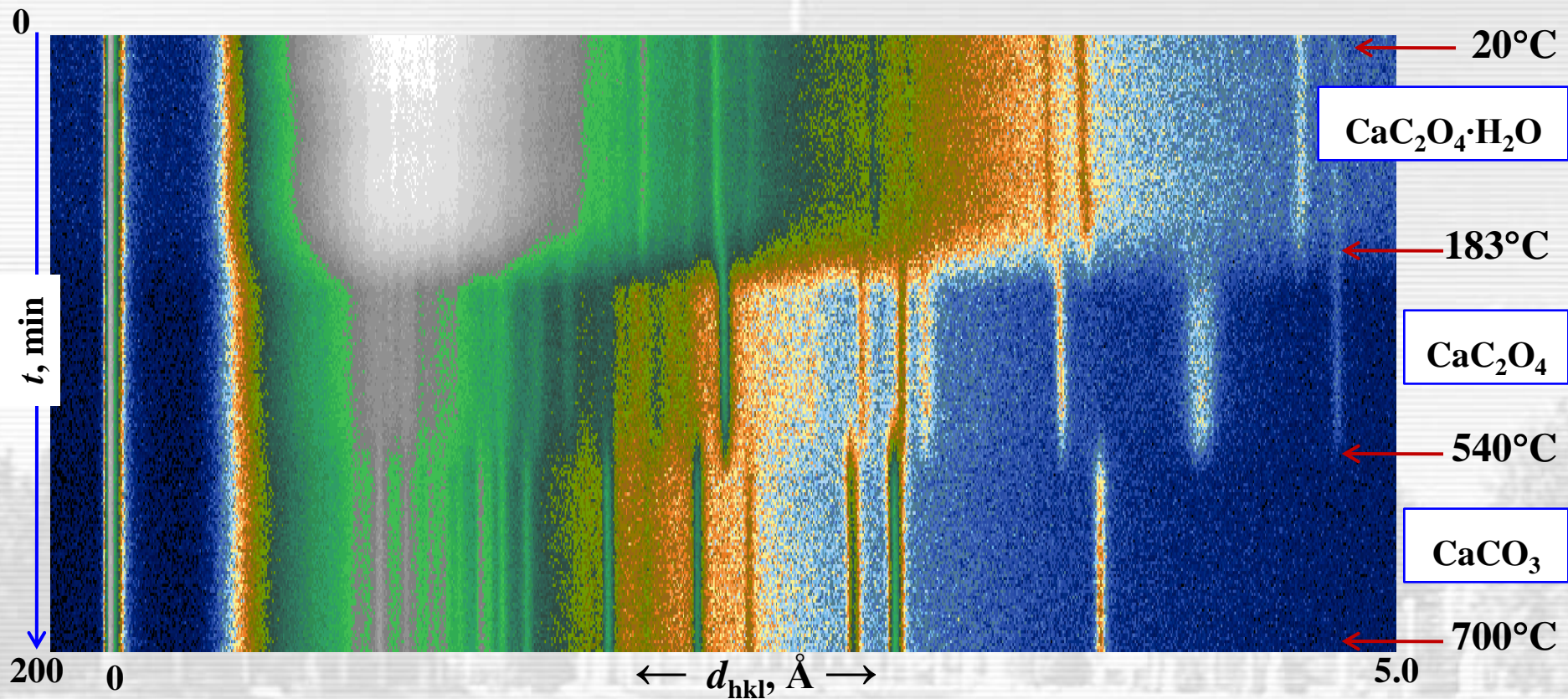
Ring-shape, back-scattering  
 $D_{\min} = 150 \text{ mm}$ ,  $D_{\max} = 450 \text{ mm}$

А.М. Балагуров, А.И. Бескровный,  
 В.В. Журавлев, Г.М. Миронова,  
 И.А. Бобриков, Д. Неов, С.Г. Шеверев,  
 Поверхность, 5 (2016) 3-16.



2D PSD, 32x32 wires, 2x2 mm

# Calcium oxalate monohydrate thermal decomposition, $t_s = 1$ min





## Некоторые работы Г.М.Мироновой

**Кристаллография**, 1977 “Определение структурных факторов в нейтронографии по методу времени пролета”

**Acta Cryst.**, 1979 “Use of the neutron TOF technique for structure investigation”

**Краткие сообщения ОИЯИ**, 1986 “Изучение кинетики реакции гидратации трехкальциевого алюмината методом дифракции нейтронов”

**Письма в ЖЭТФ**, 1989 “Использование изотопа  $^{57}\text{Fe}$  для нейтронографической локализации атомов железа в структуре сверхпроводника  $\text{YBa}_2(\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_x)_3\text{O}_y$ ”

**Physica C**, 1989 “Neutron diffraction study of the superconductor  $\text{YBa}_2(\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_x)_3\text{O}_{7-y}$  at  $x=0.06$  and  $0.10$ ,  $y=0$ ”

**СФХТ**, 1990 “Нейтронографическое исследование процесса синтеза керамики  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ”

**ФТТ**, 1991 “Нейтронографическое наблюдение кинетики  $\varepsilon \rightarrow \delta$  фазового перехода в  $\text{TiD}_{0.74}$ ”

**J. Appl. Cryst.**, 1991 “The application of the neutron TOF technique for real-time diffraction studies”

**Письма в ЖЭТФ**, 1991 “Нейтронографическое исследование фазовых превращений метастабильного льда высокого давления VIII”

**MSF**, 1993 “Time-resolved diffraction and small angle neutron scattering study of thermal behavior of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  compound over a temperature range 900 – 1470 K”

**J. of Superconductivity**, 1993 “Time-resolved neutron diffraction study of the superconducting phase formation process in the Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O system”

**Поверхность**, 2016 “Дифрактометр для исследований переходных процессов в реальном времени на импульсном источнике нейтронов ИБР-2”





**Дубна, 1982. С Х.Фусом**



**Алушта, 1990. С Б.Дорнером**



**PANS-I, 1991. С Г.Бауэром**



**Дубна, 2005. С Е.Антиповым (МГУ)**



**РНИКС, 1995. Ю.Александров, Г.Миронова, А.Балагуров, Г.Бокучава, Д.Шептяков, Б.Савенко**



**Дубна, 1992. В.Кудряшев (ПИЯФ), А.Балагуров, О.Антсон (Эспоо), Г.Миронова, В.Горделий**





**Рабочее место в библиотеке ОИЯИ**



**На садовом участке. Любимый инструмент – лопата.**



**На рабочем месте наведен порядок**



**Савва, Кирилл, Рама, Ульяна, Лев, Таисия, Лия**

**Что общего:**

Любознательность (повышенная)

Субъективность (в разной степени)

Художественное воображение + трезвый (“физический”) ум


Достойны звания “Почетный сотрудник ЛНФ имени И.М.Франка”

**Главная тенденция в деятельности:**

**Правило 2 (White-Egelstaff): Нейтронный эксперимент **не следует** проводить, если есть альтернативный метод!**

**Новая версия: Нейтронный эксперимент **следует** проводить, даже если есть альтернативный метод!**





**Спасибо за внимание,  
всем желаю успехов в нелегкой, но  
очень интересной жизни научного  
работника!**