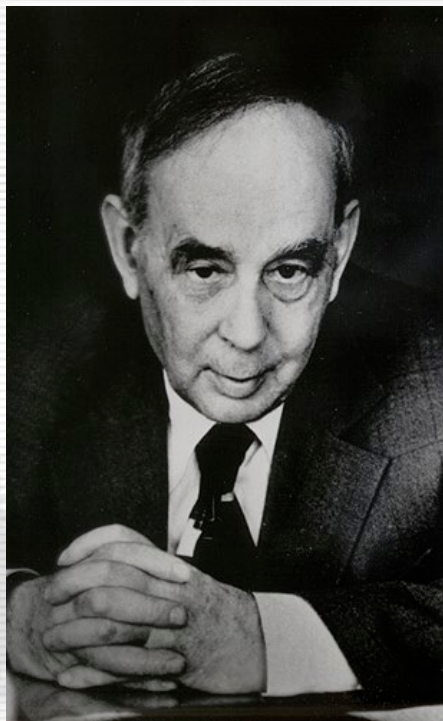


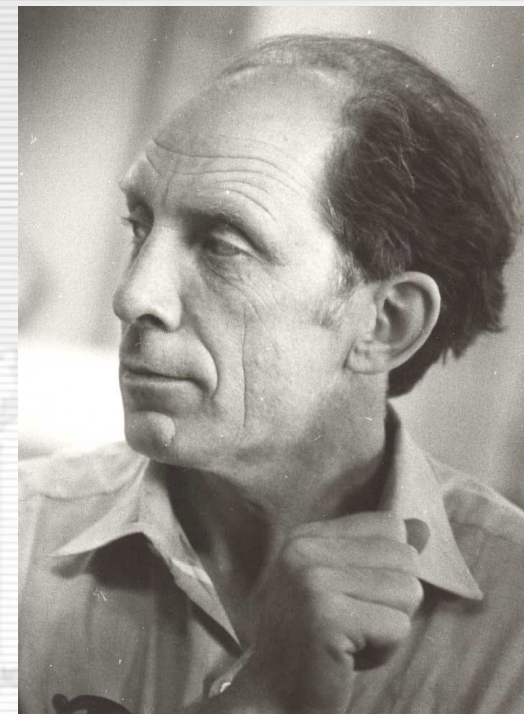
Рассеяние нейтронов в исследованиях конденсированных сред в ЛНФ (1957 – 2022)



**Илья Михайлович
Франк
1908 – 1990**

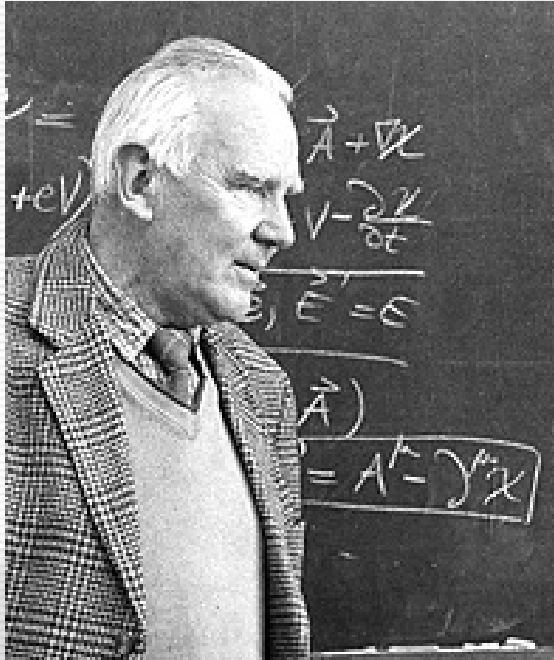


**Федор Львович
Шапиро
1915 - 1973**



**Юрий Мечиславович
Останевич
1936 - 1992**

Польские физики в ЛНФ ОИЯИ (с 1961 года)



Е. Яник (Jerzy Janik)
1927 - 2012

Z. Ogzhewalski

I. Sosnovska

J. Sosnowski

A. Holas

J. Holas

A. Bajorek

I. Natkaniec

W. Nawrocik

J. Domoslowski

E. Maliszewski

W. Zając

L. Bobrowicz

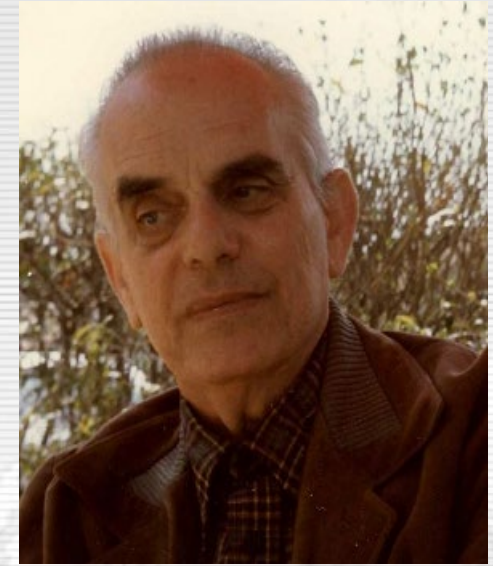
A. Pawlukoјć

T. Sarga

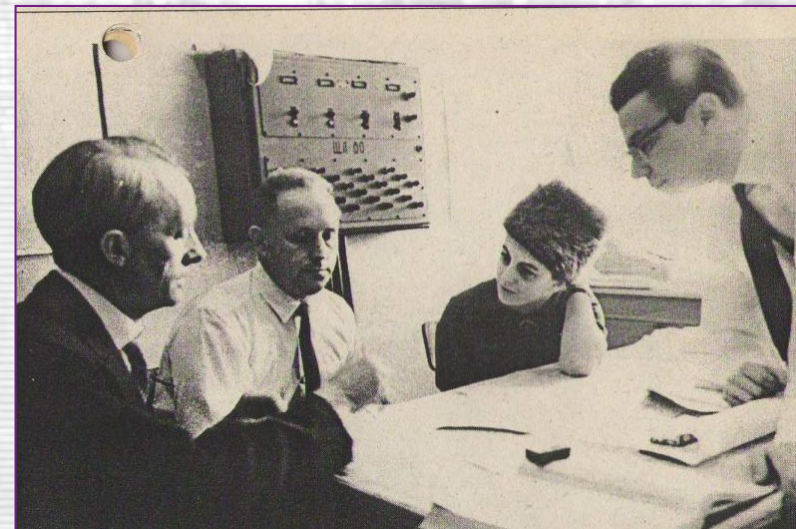
K. Holderna

...

**G.E. Bacon, P.P. Озеров,
I. Sosnovska, J. Sosnowski**
(Дубна, 1965)



Б. Бурас (Bronislaw Buras)
1915 - 1994



Рассеяние нейтронов в исследованиях конденсированных сред

Основная задача – исследования структуры и динамики конденсированной среды на атомном уровне. Для этого используются тепловые и холодные нейтроны с энергией $E \sim 0.02$ эВ и длиной волны де Бройля $\lambda \sim 2$ Å.

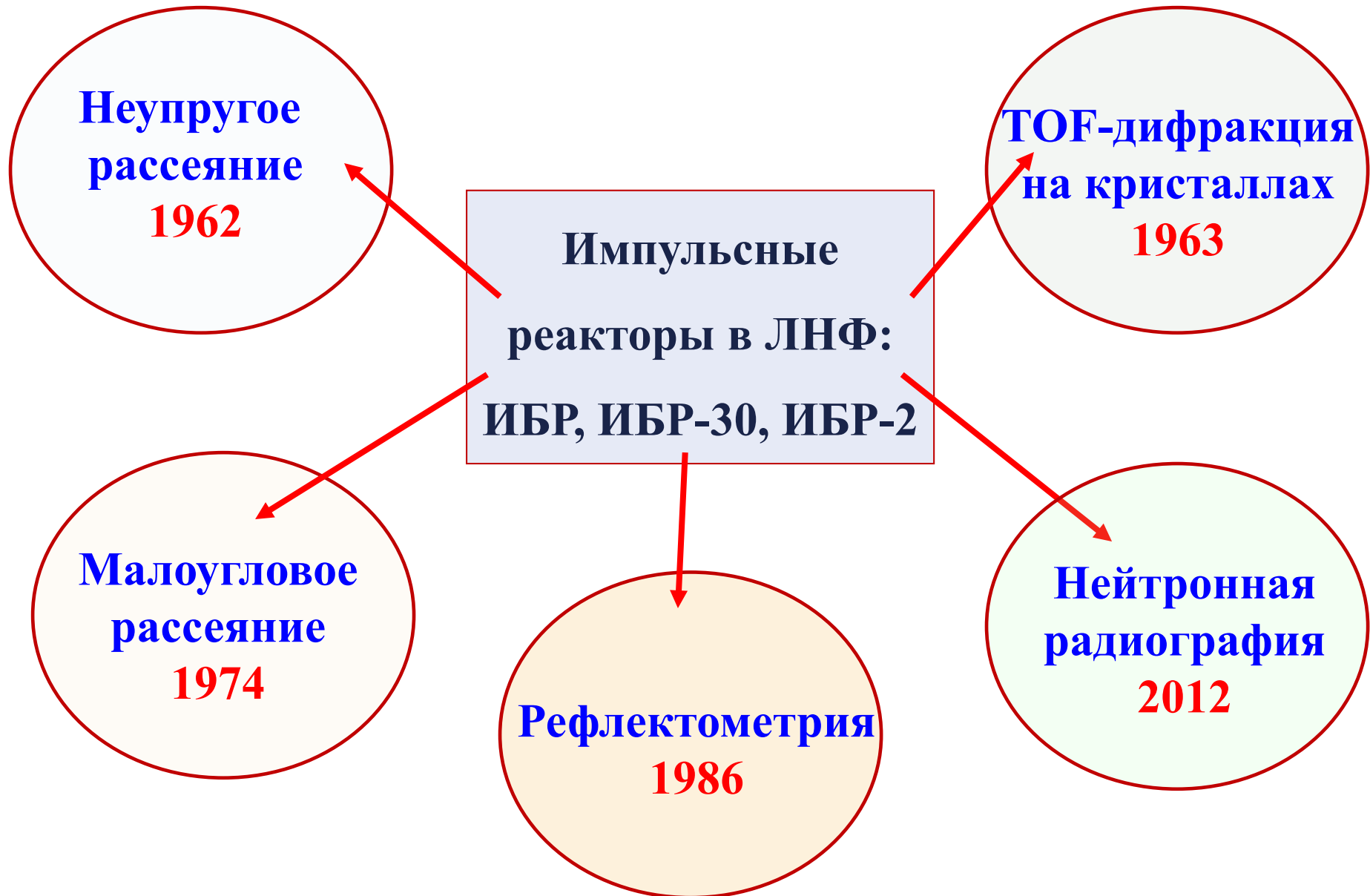
Основные темы:

- атомная структура кристаллов
- магнитная структура кристаллов
- “мягкая” материя и жидкости
- атомная и магнитная динамика
- прикладные задачи

Основные методики:

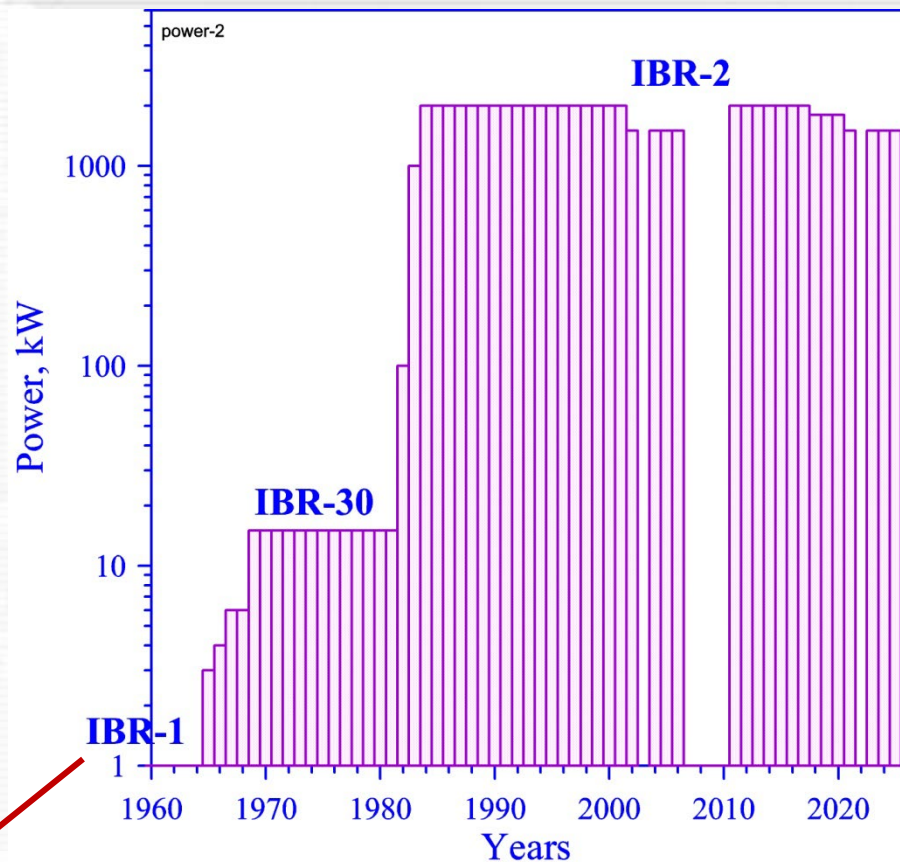
- дифракция
- малоугловое рассеяние
- рефлектометрия
- неупругое рассеяние
- радиография

Развитие экспериментальных методик на импульсных реакторах в ЛНФ



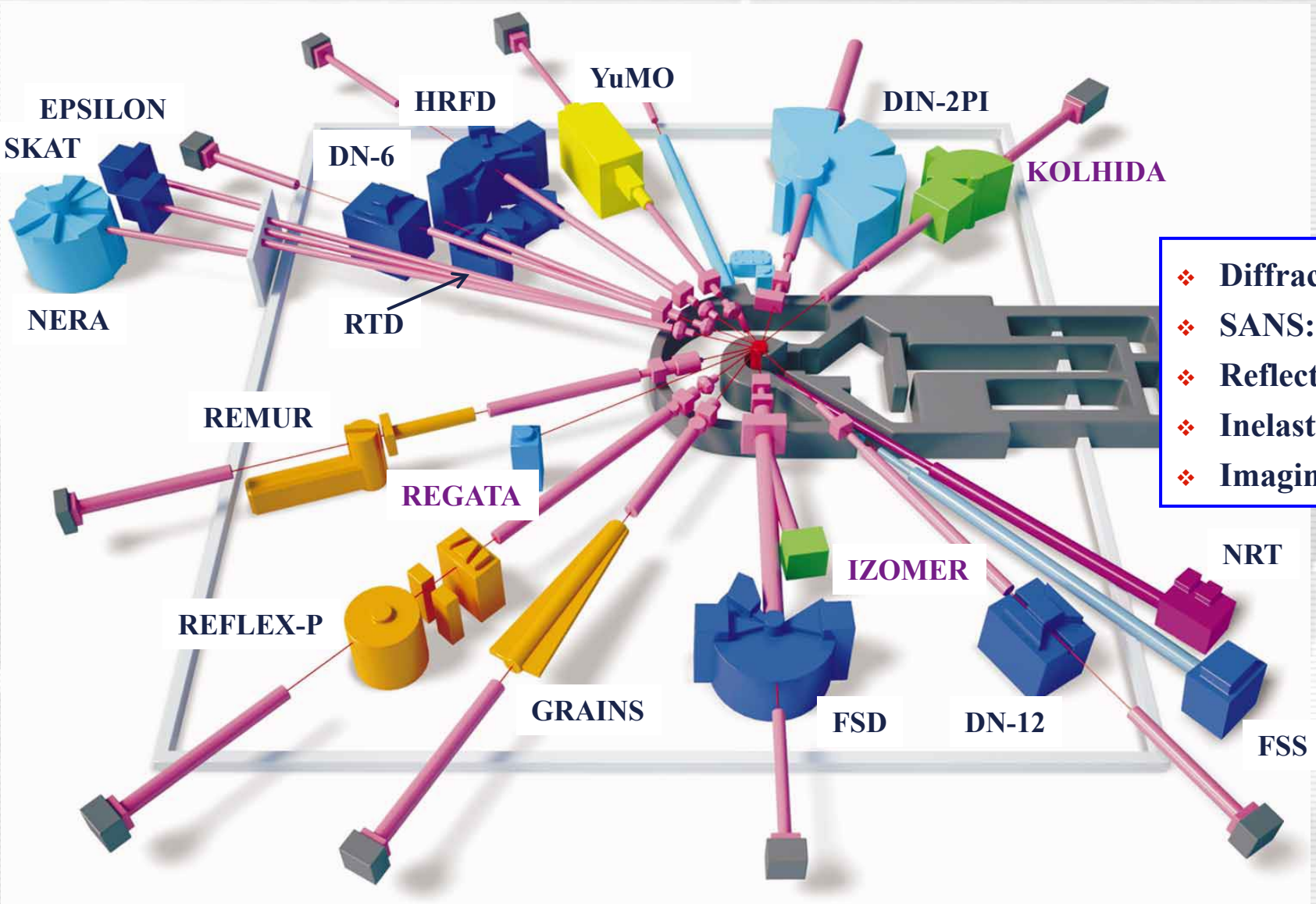
Первый в мире импульсный быстрый реактор периодического действия (ИБР) был введен в эксплуатацию в ОИЯИ в 1960 году. Исследования конденсированных сред начались в ЛНФ в 1961 году.

1961 – 1968	IBR-1 (1 – 6 kW)
1969 – 1980	IBR-30 (15 kW)
1981 – 1983	IBR-2 (100 – 1000 kW)
1984 – 2006	IBR-2 (1500 – 2000 kW)
2007 – 2010	IBR-2 реконструкция
2011 – 2030	IBR-2 (2000 - 1500 kW)



$W = 1 \text{ кВт}$

Spectrometers at the IBR-2 reactor



- ❖ Diffraction: 8
- ❖ SANS: 1
- ❖ Reflectometry: 3
- ❖ Inelastic: 2
- ❖ Imaging: 1

Три этапа развития нейтронных методов исследования конденсированных сред в ЛНФ ОИЯИ

I. 1957 - 1980 (ИБР, ИБР-30)

1957 – 1972 Ф.Л. Шапиро, Е. Яник, Б. Бурас: **НУ-рассеяние, ТОФ-дифракция**

1972 – 1980 И.М. Франк, Ю.М. Останевич: **МУРН, спектрометры на ИБР-2**

II. 1980 - 2008 (ИБР-2)

1980 – 1992 Ю.М. Останевич: **МУРН, спектрометры на ИБР-2 (HRFD)**

1992 – 2008 И. Натканец, А.М. Балагуров, В.Л. Аксенов, А.М. Балагуров
спектрометры на ИБР-2: **NERA, HRFD, SPN, Reflex, REMUR, FSD, DN-12,...**

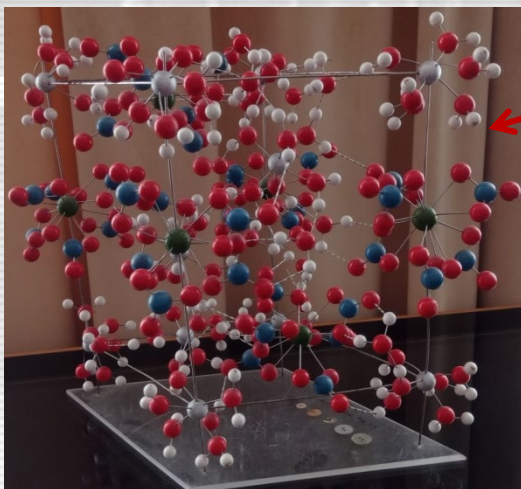
III. 2008 - ??? (ИБР-2, Д.П. Козленко)

Новое поколение: **М.В. Авдеев, И.А. Бобриков, В.И. Боднарчук, Г.Д. Бокучава, С.Е. Кичанов, Д.П. Козленко, Т.В. Тропин, В.А. Турченко, Д.М. Худоба, ...**

спектрометры на ИБР-2: **DN-6, RTD, FSS, GRAINS, NRT, ...**

I. 1957 - 1980 (ИБР, ИБР-30, Шапиро, Яник, Бурас, Останевич)

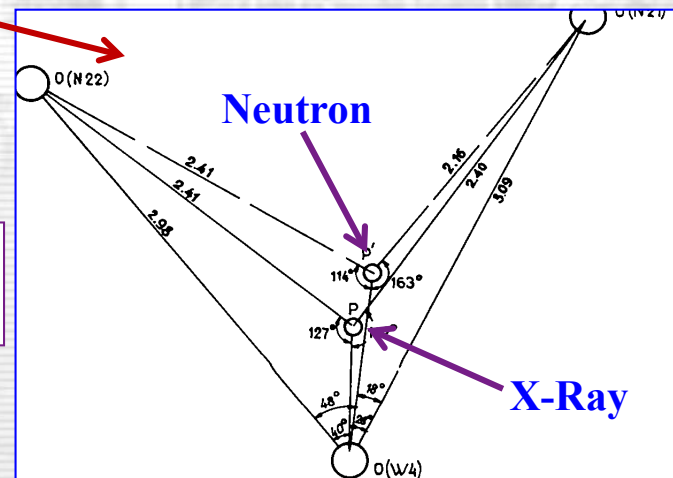
- 1962 Прямая геометрия в НУ-рассеянии (Шапиро, Голиков, Яник и др.)
- 1963 Первые ТОФ-дифракционные эксперименты (Шапиро, Нитц, Сосновска и др.)
- 1964 Обратная геометрия в НУ-рассеянии (Шапиро, Вајорек и др.)
- 1966 Спектрометр **КДСОГ** (Яник, Байорек, Натканец,...)
- 1966 Спектрометр **ДИН-1** (В.А.Парфенов, В.Г.Лифоров, В.А.Семенов,...)
- 1967 **Фокусировка** в ТОФ-дифракции: Carpenter (ANL) и Holas (ОИЯИ)
- 1968 Импульсная магнитная установка **SNIM-1 (12 Т)** на ИБР-30 (Шапиро, Нитц)
- 1974 Первый ТОФ-спектрометр **МУРН** (щелевой) (Останевич, Чер, Козлов)
- 1975 Первая структурная работа: **$\text{La}_2\text{Mg}_3(\text{NO}_3)_{12} \cdot 24\text{D}_2\text{O}$** (Балагуров, Борка и др.)



Model of the LMN structure

H-electron shell shift

Acta Cryst. A35 (1979) 131

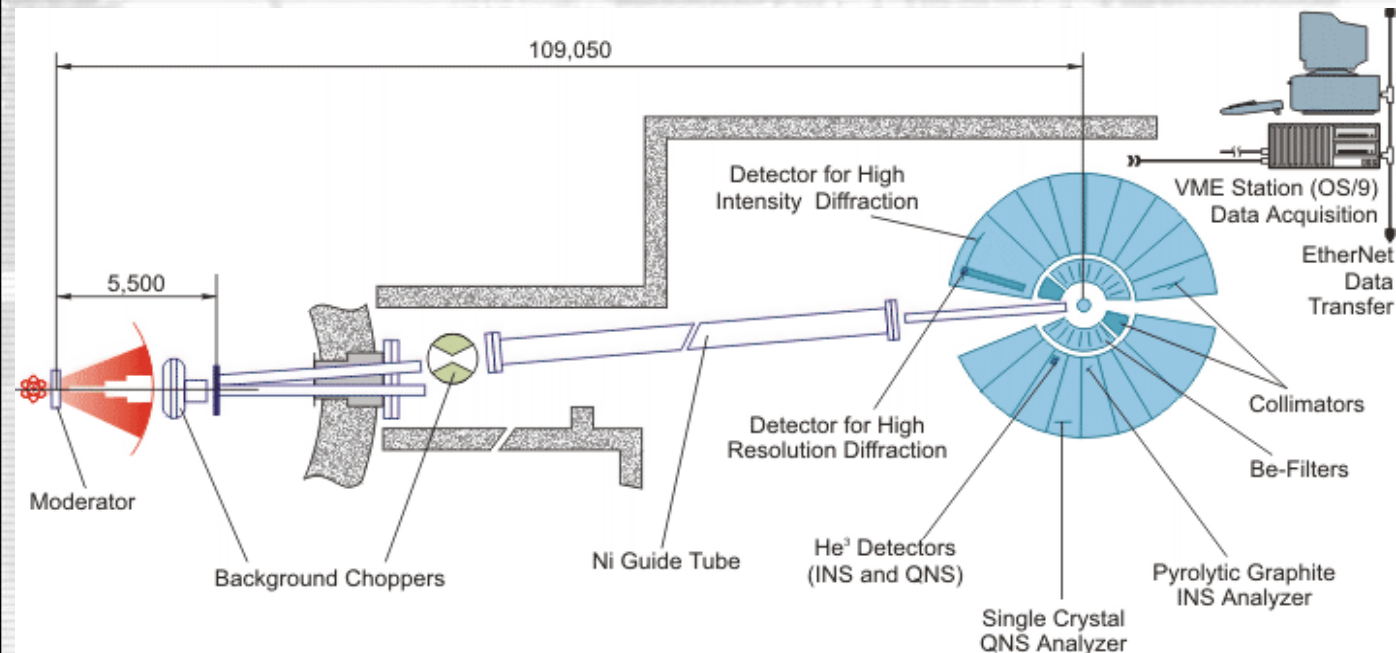


Неупругое рассеяние: “Прямая” и “Обратная” геометрии (1962)

В.В.Голиков, А.Шкатула, Ф.Л.Шапиро, Е.А.Яник “Установка для изучения рассеяния холодных нейтронов” 1963 г. “прямая” геометрия

А.Байорек, Т.А.Мачехина, К.Парлински, Ф.Л.Шапиро “Спектрометр по времени пролета с фильтром перед детектором” 1964 г. “обратная” геометрия

**КДСОГ (ИБР-30) → КДСОГ-М (ИБР -2) → NERA (ИБР-2):
спектрометры в “обратной” геометрии**



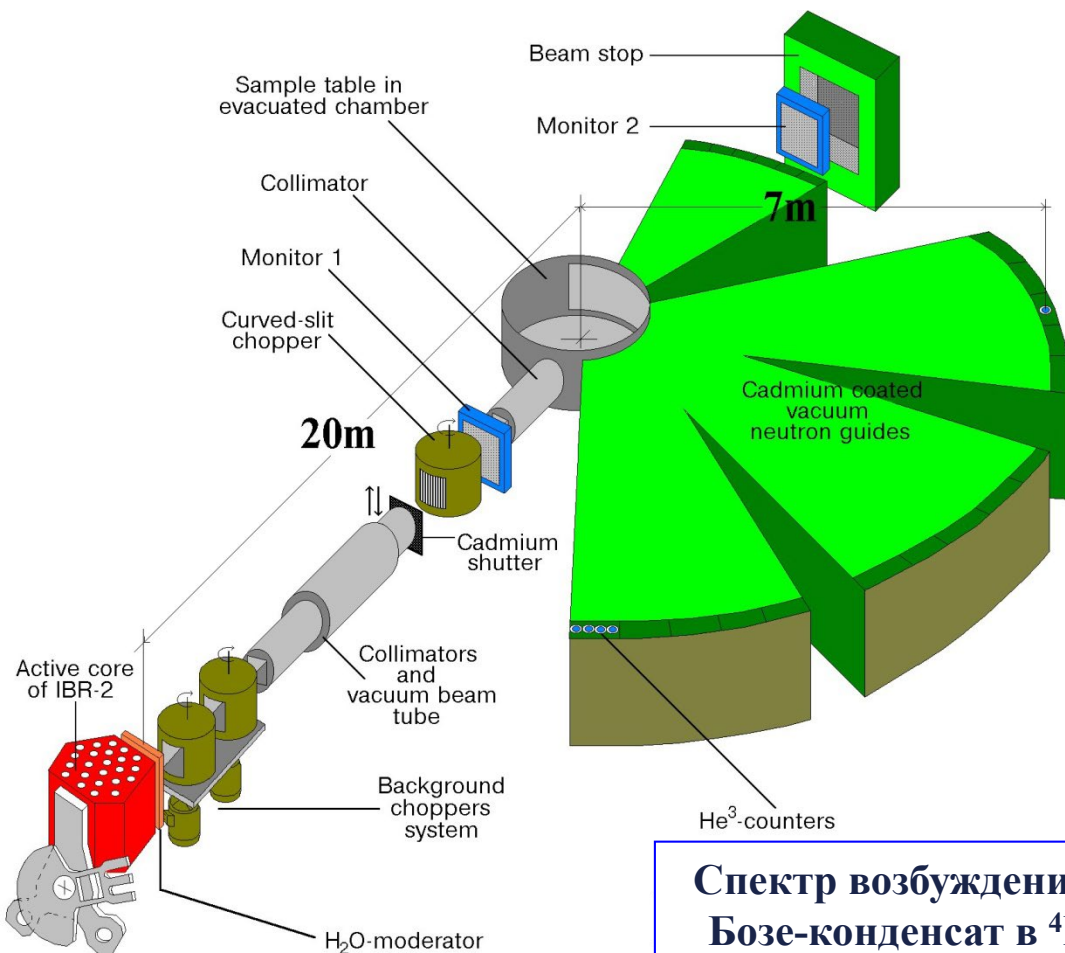
И. Натканец, Е. Яник

ДИН-1 (ИБР-1) → ДИН-1М (ИБР-30) → ДИН-2ПИ (ИБР-2)

В.А.Парфенов, В.Г.Лифоров, В.А.Семенов, А.Г.Новиков,
Е.Л.Ядровский, А.В.Пучков, С.И.Морозов, В.М.Морозов,...
Ж.А.Козлов, Е.Б.Докукин, В.А.Загребнов, В.Б.Приезжев



А.В.Пучков



Спектр возбуждений и
Бозе-конденсат в ⁴He



Ж.А.Козлов на спектрометре

Ю.М. Останевич:

- 1) Эффект Мёсбауэра;
- 2) Отдел ФКС;
- 3) МУРН;
- 4) Комплекс спектрометров на ИБР-2



1936 – 1992

14.10.1971 Диссертация “Эффект Мёсбауэра: применения в физике и химии” кандидат ф.-м. н. → доктор ф.-м. н.

Ф.Л.Шапиро: Ю.М.Останевич – один из лучших физиков ЛНФ!

Трудно найти область, в которой он не был бы экспертом.

1967 – Отдел конденсированных сред? А.В. Воронель / Ю.Я. Стависский?

1970 – Ю.М. Останевич!

1975 – МУРН на ИБР-30 в щелевой геометрии (**ЧОК**)

1978 – МУРН на ИБР-30 в аксиальной геометрии

1982 – МУРН на ИБР-2 в аксиальной геометрии (**ЮМО**)



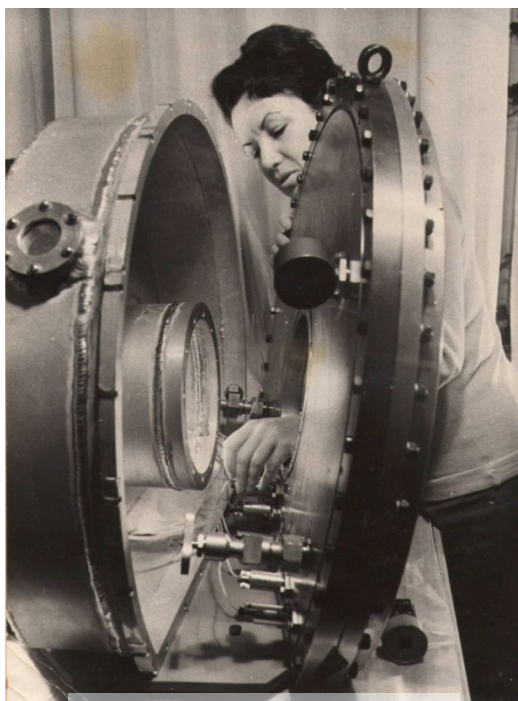
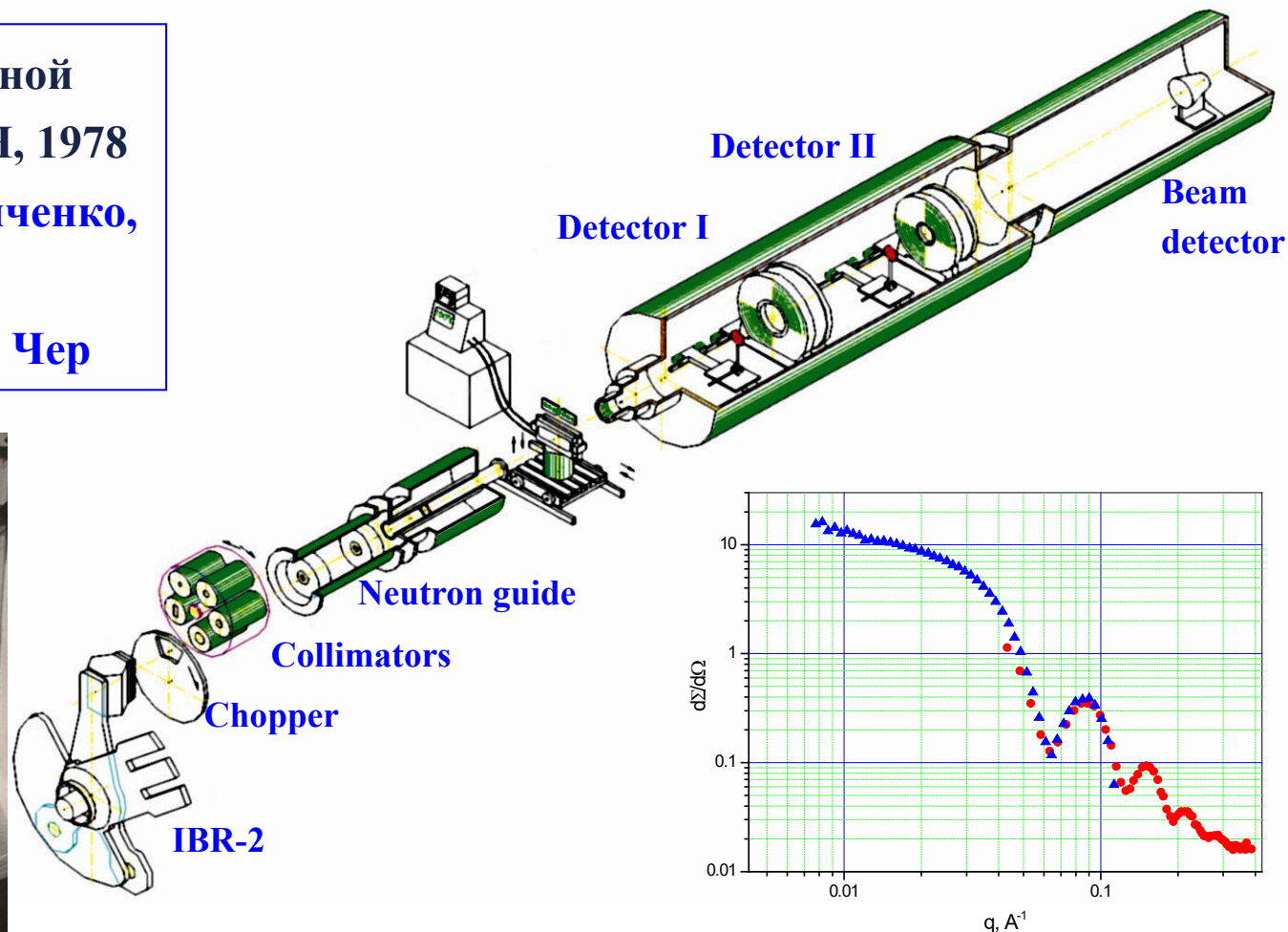
1982 – 3 спектрометра на ИБР-2: МУРН, ДН-2, КДСОГ

1992 – 9 спектрометров на ИБР-2: МУРН, ДН-2, КДСОГ, ДИН-2ПИ, ФДВР, СНИМ, СКАТ, СПН, ДИФРАН

Детектор МУРН на ИБР-30
Л. Чер, Ю. Останевич

YuMO (ЮМО) – спектрометр малоуглового рассеяния

Детектор с аксиальной геометрией для МУРН, 1978
И.А. Гладких, А.Б. Кунченко,
Е.Я. Пикельнер
Ю.М. Останевич, Л. Чер



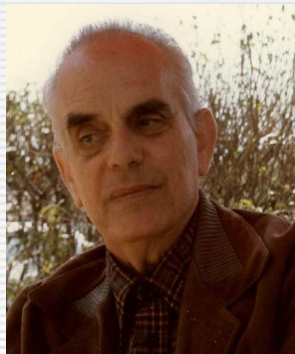
Е.Я. Пикельнер

SANS from diluted solution of apoferritin (spherical shell with $R_{\text{out}} = 62 \text{ \AA}$ and $R_{\text{in}} = 41 \text{ \AA}$). Two detectors at 11.95 m (red) and 5.27 m (blue) were used.

ТОФ-дифракция



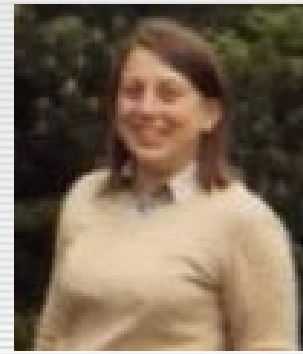
P. Egelstaff



V. Buras



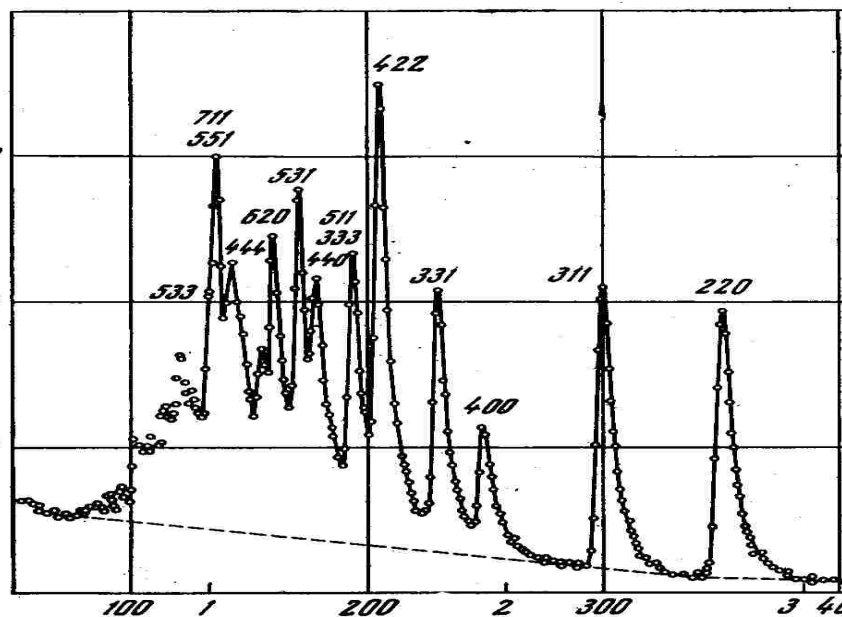
Ф.Л. Шапиро



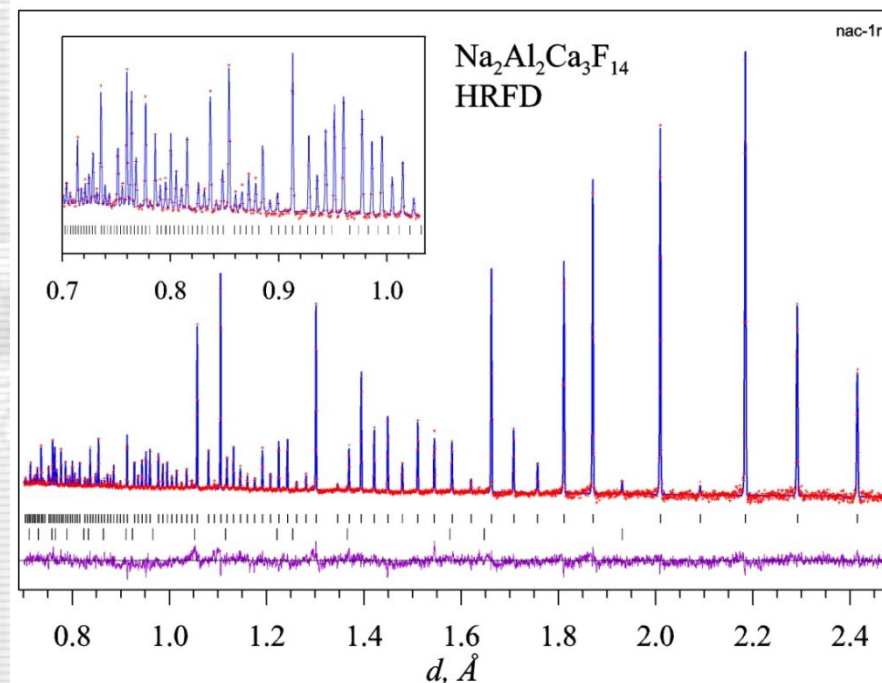
I. Sosnowska



В.В. Нитц



IBR-1 (1965) $\Delta d/d \approx 0.02$



IBR-2 (1994) $\Delta d/d \approx 0.001$

В.В.Нитц: ТОФ-дифракция с импульсным магнитным полем

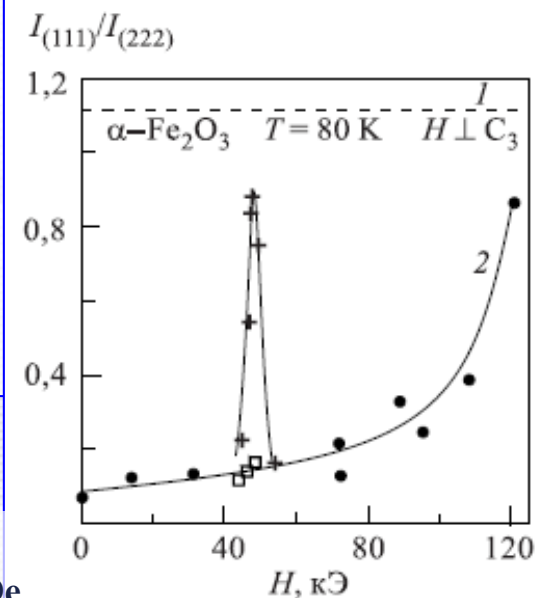
1. В.В.Нитц, З.Г.Папулова, И.Сосновска, Е.Сосновски
“Исследование структур методом дифракции нейтронов на импульсном быстром реакторе (ИБР)” ФТТ 6 (1964) 1370.
2. B. Buras, J. Leciejewicz, V.V. Nitz, I. Sosnowska, J. Sosnowski, F.L.Shapiro “The Time-of-Flight Method for Neutron Crystal Structure Investigation” Nukleonika 9 (1964) 523.
3. П.С.Анцупов, Р.А.Восканян, Р.З.Левитин, С.Низиол, В.В.Нитц, Р.П.Озеров, Пак Гван О, С.Шафран “Нейтроннографическое исследование гематита в магнитном до 120 кЭ на ИБРе” Сообщение ОИЯИ, Р14-4548, Дубна, 1969.
4. В.В.Нитц “Нейтронные исследования магнитных свойств кристаллических веществ с использованием импульсного магнитного поля” ЭЧАЯ 32 (2001) 846-908.
5. В.В.Нитц “Метод времени пролета и нейтронные исследования конденсированных сред с использованием импульсного магнитного поля” Диссертация, Гатчина (2006).



В.В. НИТЦ
1937 –2020

ИБР-30: 120 кЭ → ИБР-2: 250 кЭ

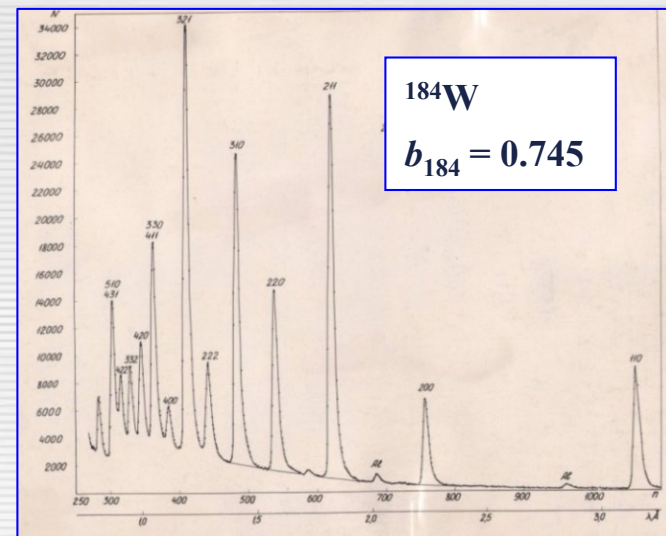
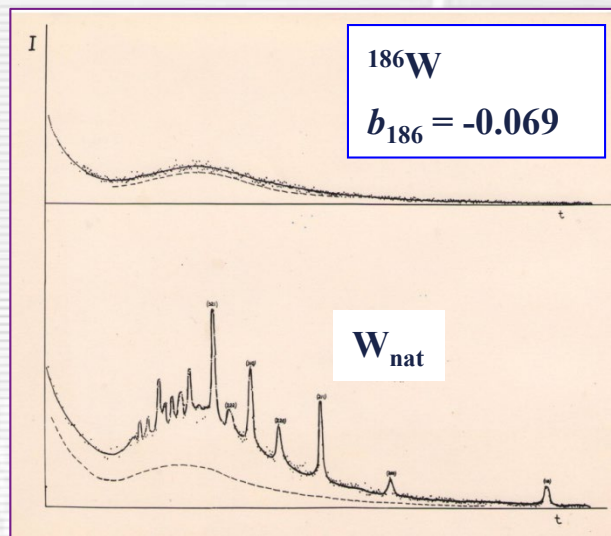
Аномалия
при 49.5 кОе



Структурная нейтронография на реакторе ИБР-30



Ю.А.Александров
1929 – 2021



В.И.Горделий

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

II. 1980 - 2008 (ИБР-2, Останевич, Натканец, Балагуров, Аксенов)

- 1982 DN-2 – универсальный дифрактометр (Балагуров, Бескровный, Савенко)
- 1984 Начало биологии на ИБР-2 – мембраны, рибосомы (Горделий, Сердюк)
- 1986 Первые *in situ*, real-time эксперименты на ТОФ-дифрактометре (Миронова)
- 1987 Рефлектометр SPN-1 с поляризованным пучком (Корнеев)
- 1992 **Фурье-дифрактометр HRFD** на импульсном реакторе (ОИЯИ, ПИЯФ, VTT)
- 1997 Спектрометр NERA (Натканец)
- 1998 DN-12 - ТОФ-спектрометр для микрообразцов (ОИЯИ, НИЦ КИ)
- 2000 **Государственная премия Российской Федерации “За разработку и реализацию новых методов структурной нейтронографии по времени пролета”**: ОИЯИ (Аксенов, Балагуров, Нитц, Останевич), ПИЯФ (Кудряшев, Трунов), НИЦ КИ (Глазков, Соменков)
- 2001 **Фурье-дифрактометр FSD** (Бокучава, Шрайбер, Тамонов)

Сегнетоэлектрики, ферроэластики, суперионики, липидные мембраны



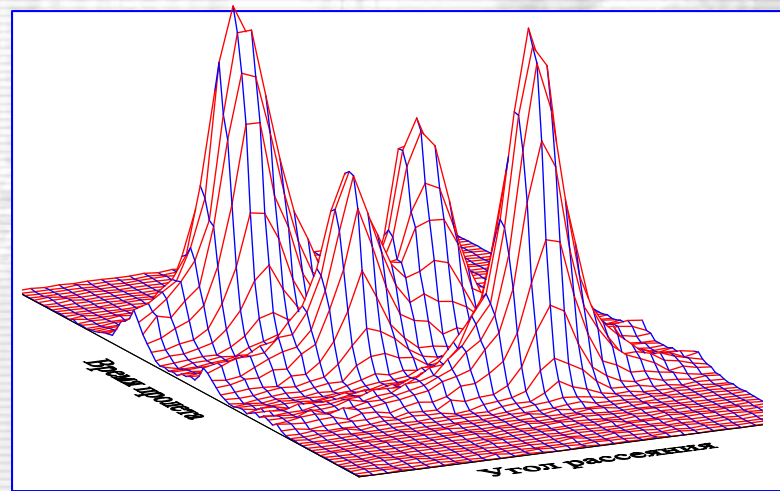
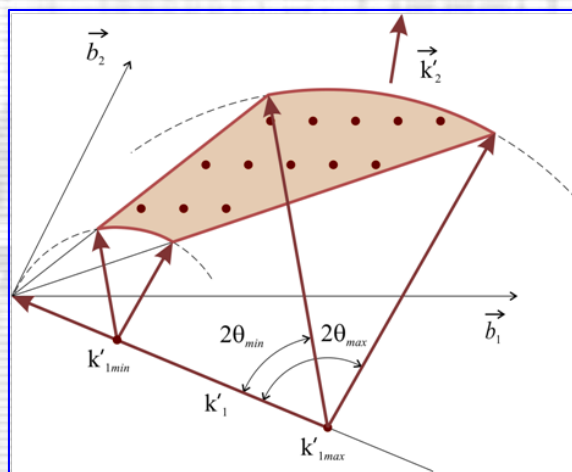
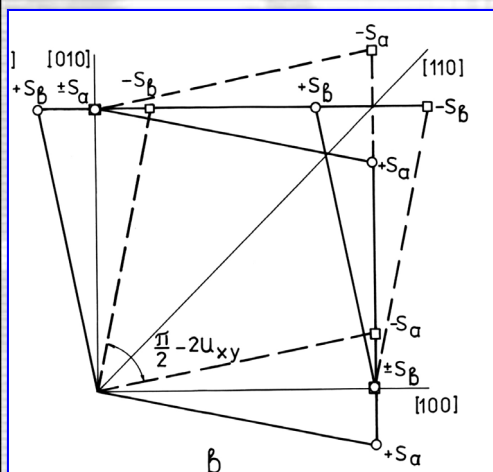
Л.А.Шувалов
1923 - 2004

Б.Н.Савенко “Исследование сегнетоэлектриков и сегнетоэластиков на нейтронном дифрактометре по времени пролета”, Дубна, 1989 г.

А.И.Бескровный “Нейтроннографическое исследование водородных и дейтерированных суперионных кристаллов”, Дубна, 1989 г.

В.И.Горделий “Исследования структуры липидных мембран с помощью дифракции нейтронов”, Дубна, 1989 г.

Д. Санга “Нейтроннографические исследования фазовых переходов в кристаллах с частично разупорядоченной структурой”, Москва, 1990 г.



Параллельное сканирование вдоль TOF и 2θ осей.
Несколько тысяч точек измеряются одновременно.

Узел (400) монокристалла
 KD_2PO_4 при $T=80$ К

N. Pora: теория дифракции нейтронов на кристаллах (экстинкция, диффузное рассеяние, внутренние напряжения)

Acta Cryst. (1987). **A43**, 304–316

Extinction in the Framework of Transfer Equations for General-Type Crystals

BY N. C. POPA*

Laboratory of Neutron Physics, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Head Post Office,
PO Box 79, Moscow, USSR

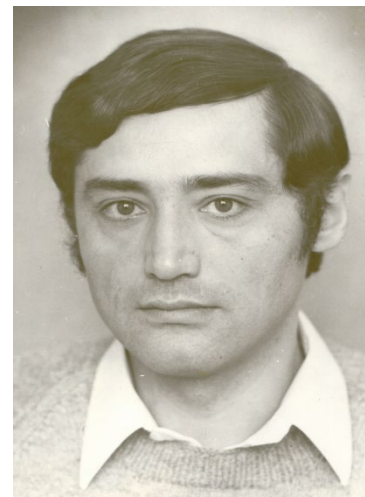
(Received 31 October 1985; accepted 20 October 1986)

Abstract

An improvement of the classical theory of extinction in mosaic crystals is made by starting from the energy transfer equations valid for a general-type crystal according to Zachariassen's [*Acta Cryst.* (1967), **23**, 558–564] classification. Within the assumption that only the integrated intensity of the diffraction peak is needed, the equations are first simplified and then solved. The result obtained for the extinction factor is similar to that of Becker & Coppens [*Acta Cryst.* (1974), **A30**, 129–147], but two new parameters appear if the crystal is not of type I. One of them, determining the peculiarity of the transfer equations, gives differences in the extinction factor not greater than 8%. The other, representing the ratio of the kinematical cross-section strengths along the diffracted and incident beams, gives differences up to 50%. For crystals of ellipsoidal shape, empirical formulae appropriate for structure refinement programs are proposed.

Zachariassen stated that any real crystal is situated between two limiting types, distinguished by the nature of the peak width: type I if the width is given exclusively by the mosaic and type II if the width is given by the crystallite size only. Correspondingly, the secondary extinction follows the same classification. So far as primary extinction in small mosaic blocks is concerned, a description by the same transfer equations has been considered good enough under the assumption that this extinction is weak. The unified theory of Zachariassen has been very much criticized both for some mathematical errors and for its physical basis. On the same basis, Becker & Coppens (1974a) (BC) have re-analysed the HZ equations. The solution which they provided has become very popular both for its convenient parametrization for least-squares-refinement programs and for its resistance to numerous experimental tests (see e.g. Hutton, Nelmes & Scheel, 1981).

The limitations on the classical theory of extinction in real crystals were clarified by the new dynamical



Nicolae Popa
at FLNP : 1981 – 1987 and 2003 – 2006

Acta Cryst. (1997). **A53**, 537–545

Correction for Thermal Diffuse Scattering in Time-of-Flight Neutron Diffraction

N. C. POPA^a AND B. T. M. WILLIS^{b*}

^aInstitute of Physics and Technology of Materials, PO Box MG-7, Bucharest, Romania, and ^bChemical Crystallography Laboratory, University of Oxford, 9 Parks Road, Oxford OX1 3PD, England. E-mail: bertram.willis@chemcryst.ox.ac.uk

(Received 18 July 1996; accepted 1 March 1997)

Abstract

A fast numerical algorithm is presented for calculating the TDS correction to Bragg peaks recorded in time-of-flight neutron diffraction studies on single crystals. The algorithm allows two average sound velocities, together with the structural parameters, to be treated as free parameters in a refinement program. The correction does not require, therefore, a prior knowledge of the elastic constants of the sample. The model is tested on a simulated set of reflection data.

forbidden regions exist, in turn depends on the ratio ξ between the sample-to-detector flight path and the total flight path (Willis, 1986; Popa, 1987a). In a recent paper by Popa & Willis (1994) [referred to below as PW1], many aspects of TDS in time-of-flight (TOF) diffraction have been clarified and an analytical formula for the corresponding differential scattering cross section has been derived. This calculation was based on a model using two sound velocities, representing the velocities (averaged over all directions) of the longitudinal and transverse modes of vibration. Starting with this cross

Journal of
Applied
Crystallography

ISSN 0021-8898

Received 16 October 2000
Accepted 30 January 2001

Elastic strain and stress determination by Rietveld refinement: generalized treatment for textured polycrystals for all Laue classes

N. C. Popa^{a,b} and D. Balzar^{a,c*}

^aMaterials Science and Engineering Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Boulder, CO 80305, USA, ^bNational Institute for Materials Physics, PO Box MG-7, Bucharest, Romania, and ^cDepartment of Physics, University of Colorado, Boulder, CO 80309, USA. Correspondence e-mail: balzar@boulder.nist.gov

A novel approach to model diffraction line shifts caused by elastic residual or applied stresses in textured polycrystals is proposed. The model yields the complete strain and stress tensors as a function of crystallite orientation, as well as the average values of the macroscopic strain and stress tensors. It is particularly suitable for implementation in Rietveld refinement programs. The requirements on refinable parameters for all crystal Laue classes are given. The effects of sample symmetry are also included and the conditions for strain invariance to both the sample symmetries (texture and stress/strain) are discussed.

U.S. – USSR (Russia) Workshop on Neutron Scattering

BNL, Upton, New York, June 18 – 20, 1991



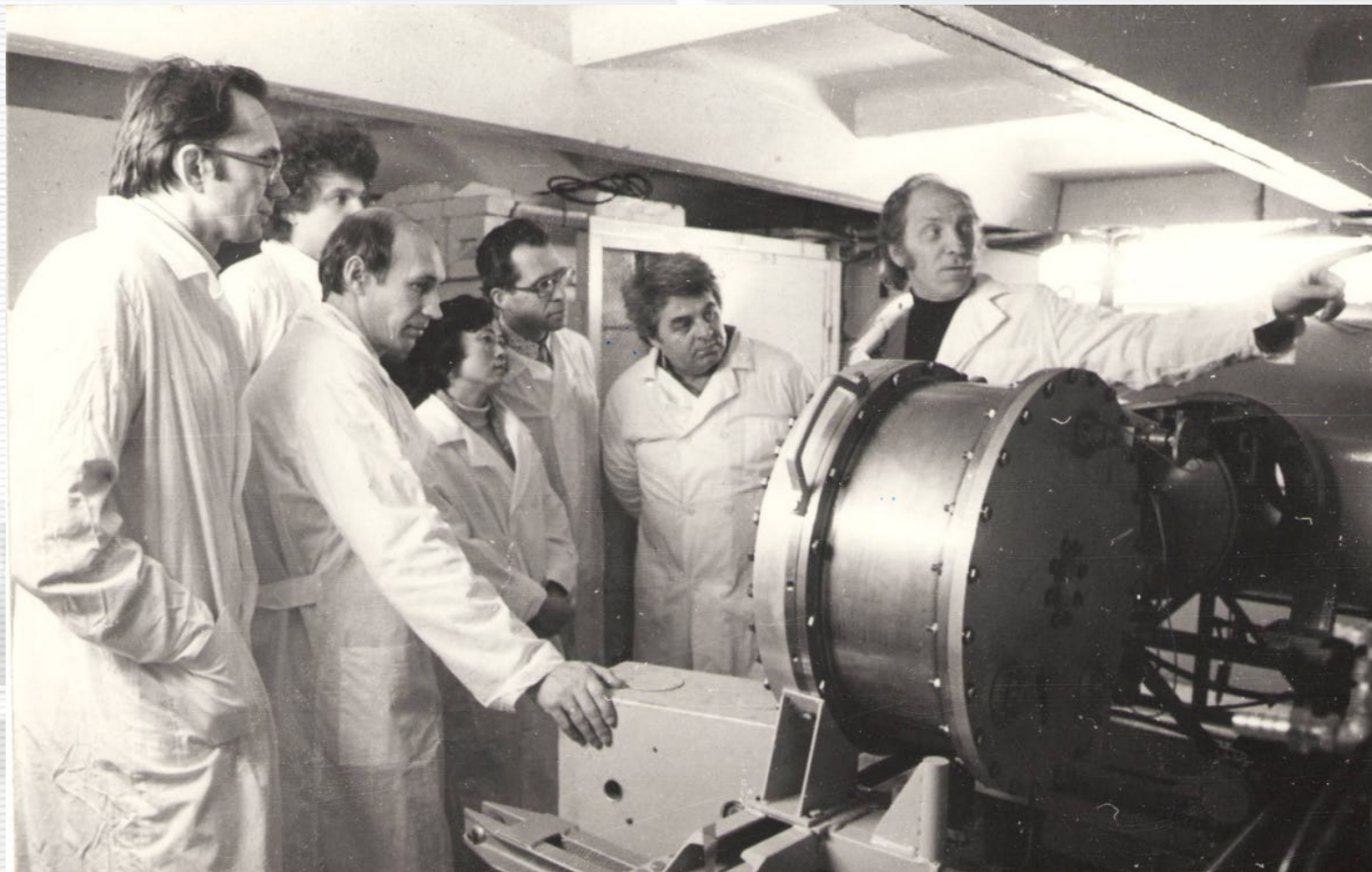
Structural Investigations at Pulsed Neutron Sources

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

Рассеяние нейтронов в конденсированных средах: теоретики и экспериментаторы вместе!



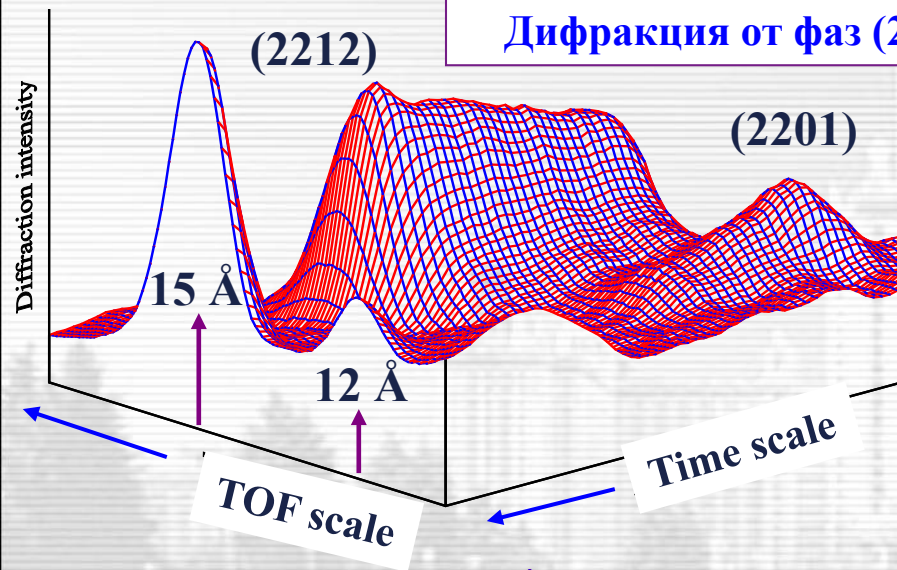
**Теоретики ЛТФ (сектор В.К.Федянина) на ИБР-2 (начало 1980-х годов).
Пояснения дает Ю.М.Останевич.**

Трансформации $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$ (закалка, нагрев (700°C), плавление (900°C), охлаждение).
 Первое дифракция + МУРН исследование (1988), $\Delta t=5$ мин.

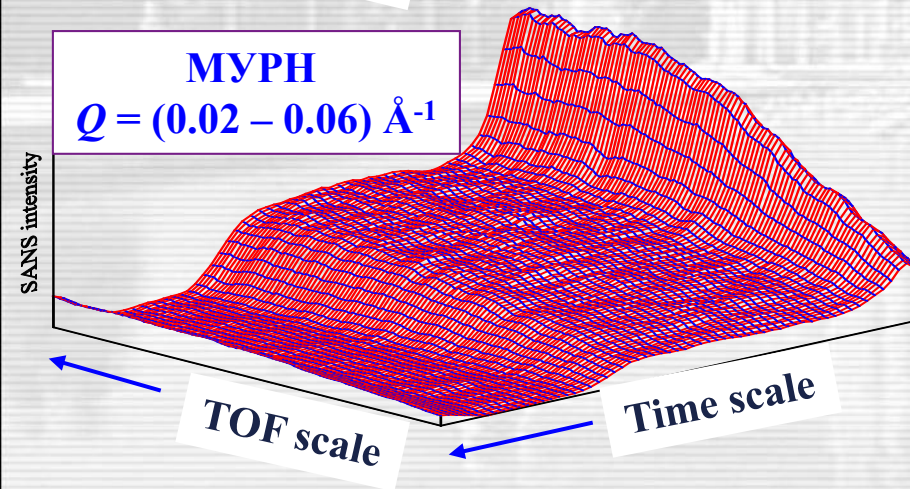


Г.М.Миронова

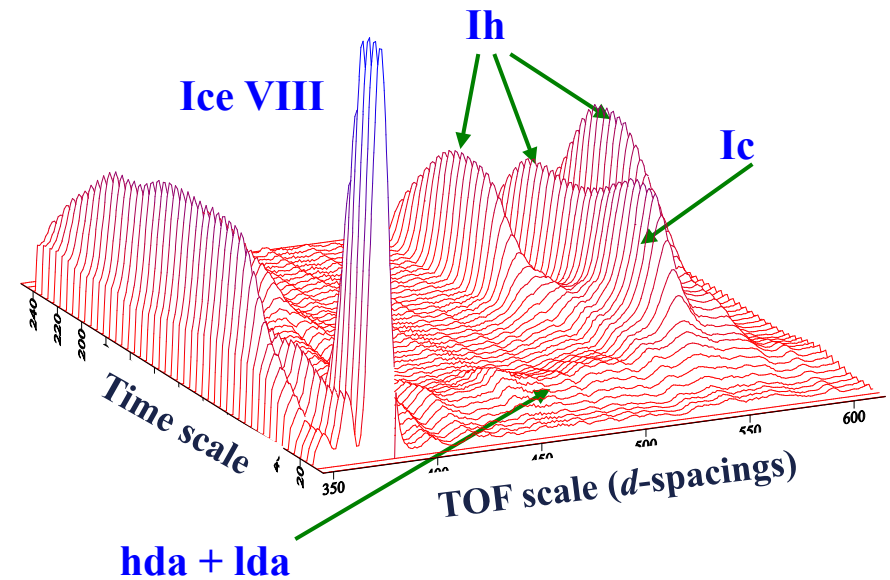
Дифракция от фаз (2201) и (2212)



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

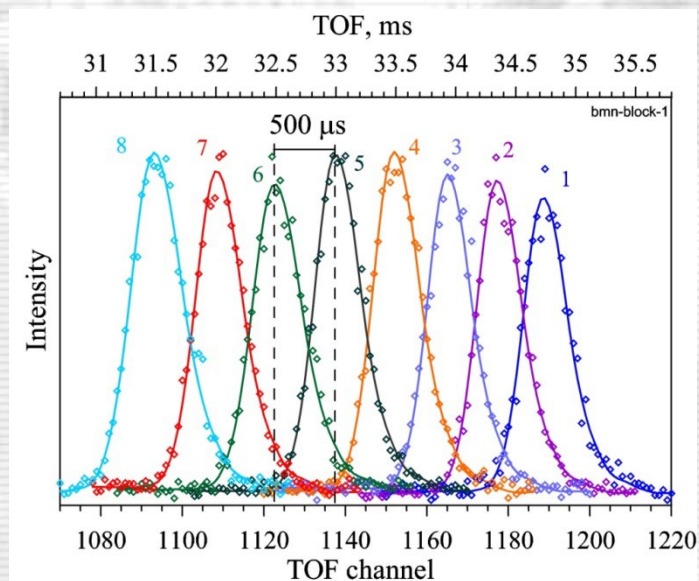
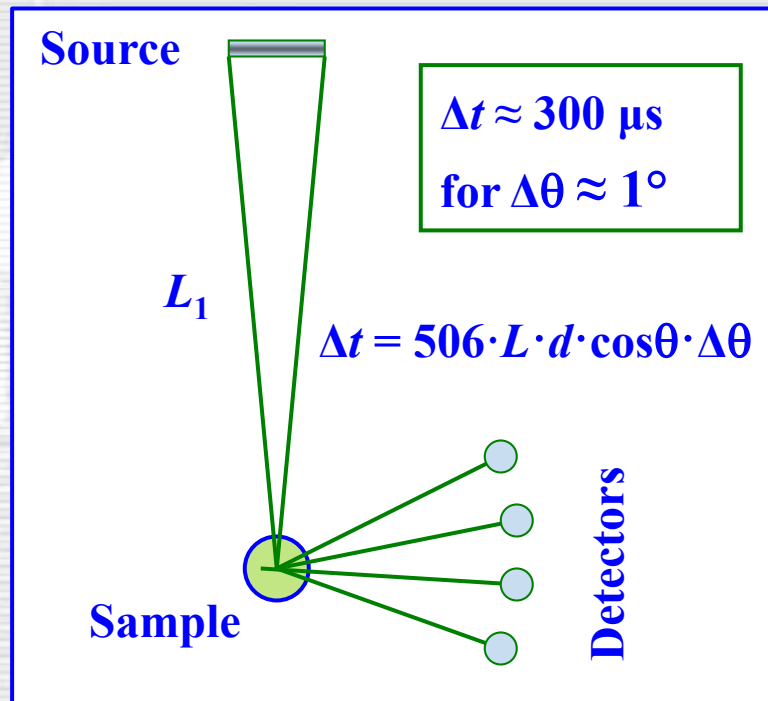
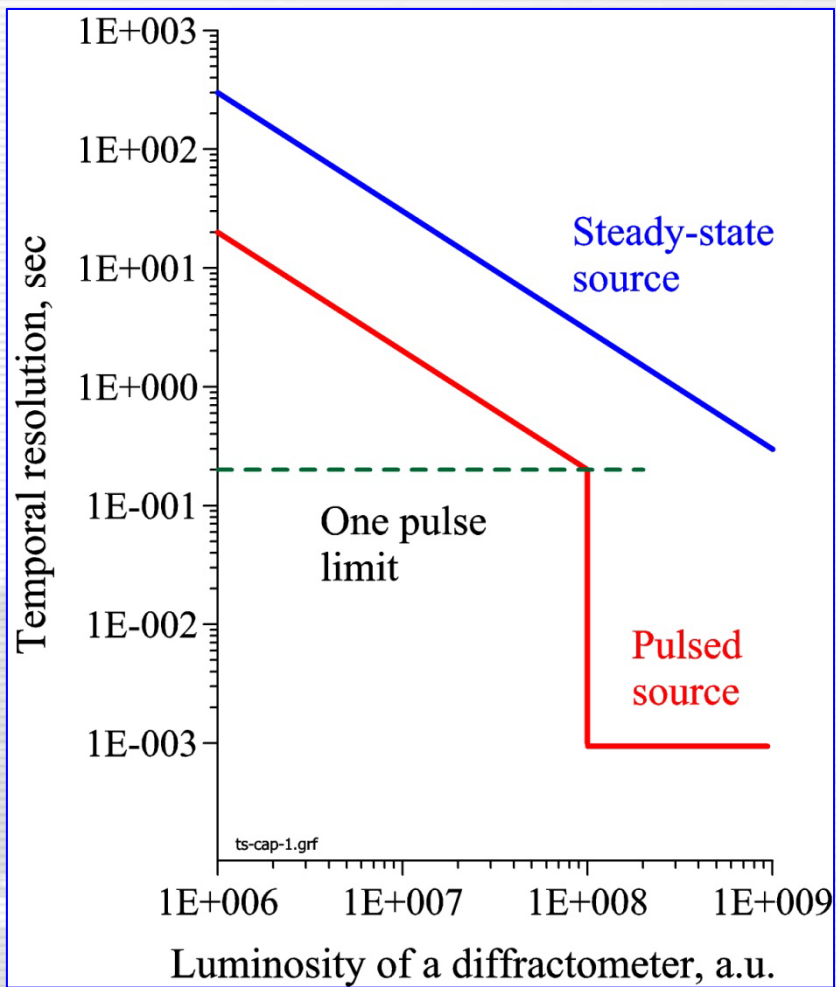


Фазовые переходы во льде VIII.
 Наблюдение аморфных фаз.
 RT-эксперимент с $\Delta t = 5$ min.



Миронова и др. Письма в ЖЭТФ, 1991

Мода одного импульса на ТОФ-дифрактометре

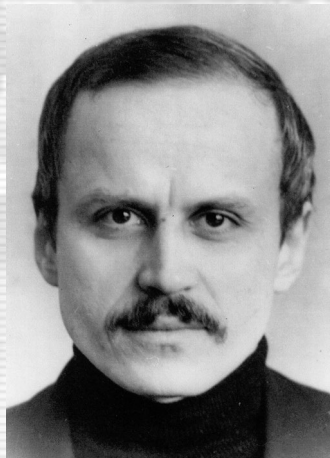


Тест на
RTD

Г.М.Миронова, ОИЯИ, Р13-88-326, 1988.

Нейтронороды и поляризованные нейтроны на ИБР-2

- 1969 **Ф.Л.Шапиро: нам нужны нейтронороды – обычные и поляризующие**
- 1972 – 76 **G.M. Drabkin, D.A.Korneev et al. “Multilayer Fe-Co mirror polarizing neutron guide” for Dubna**
- 1979 **Спин-флиппер Корнеева (Корнеев, Кудряшев)**
- 1989 - 95 **Рефлектометры SPN и REFLEX с поляризованным пучком (Корнеев)**
- к 1985 **250 м нейтронородов на ИБР-2 (Назаров)**



Д.А. Корнеев, 1946 –2002



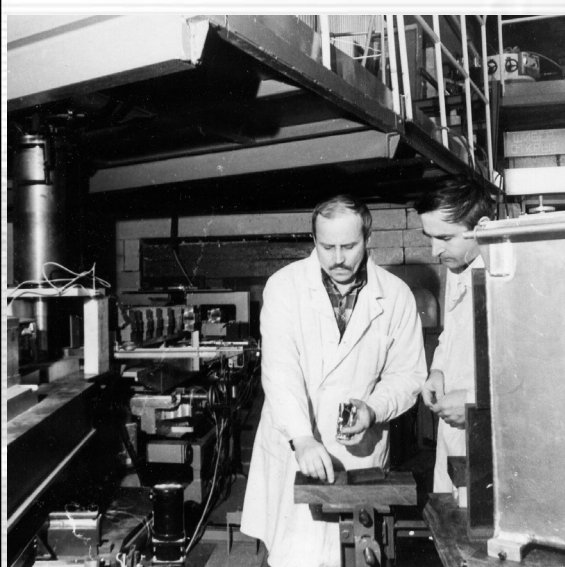
В.А. Кудряшев



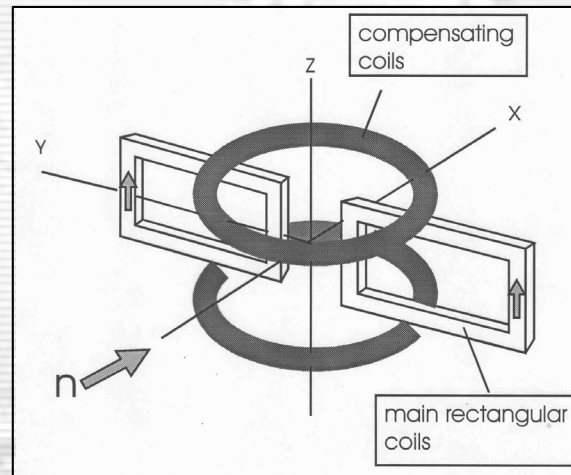
В.М.Назаров, 1931 –1994

Рефлектометры с поляризованным пучком нейтронов: SPN, REFLEX, REMUR

Д.А.Корнеев, Ю.В.Никитенко, В.И.Боднарчук, Е.Б. Докукин, С. Кожевников,
В.В. Пасюк, А.В. Петренко, Х. Ржаны, Л.П.Черненко, С.П. Ярадайкин,...
В.Л. Аксенов, Б.П. Топерверг (ПИЯФ), А.Ф.Щебетов (ПИЯФ),...



Корнеев, Черненко на SPN-1



Спин-флиппер Корнеева с
протяженной (по z) рабочей
областью.

Д.А.Корнеев, В.А.Кудряшев
ОИЯИ РЗ-80-350, Дубна, 1980
NIM 179 (1981) 509.

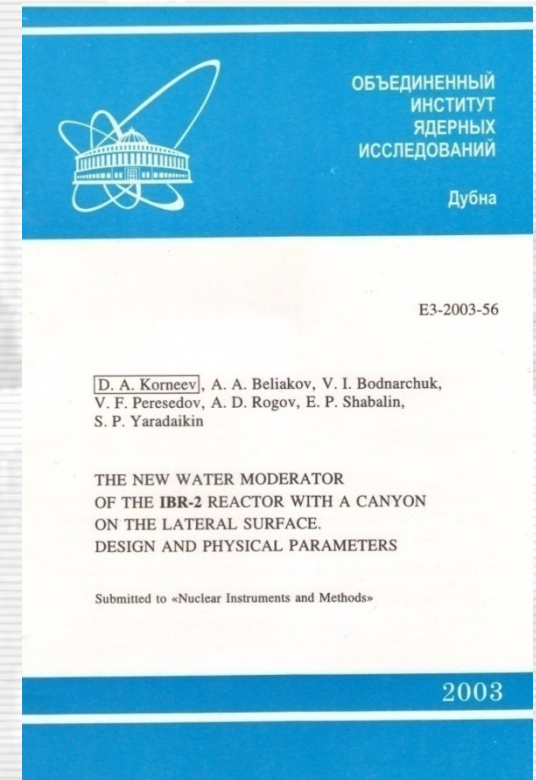
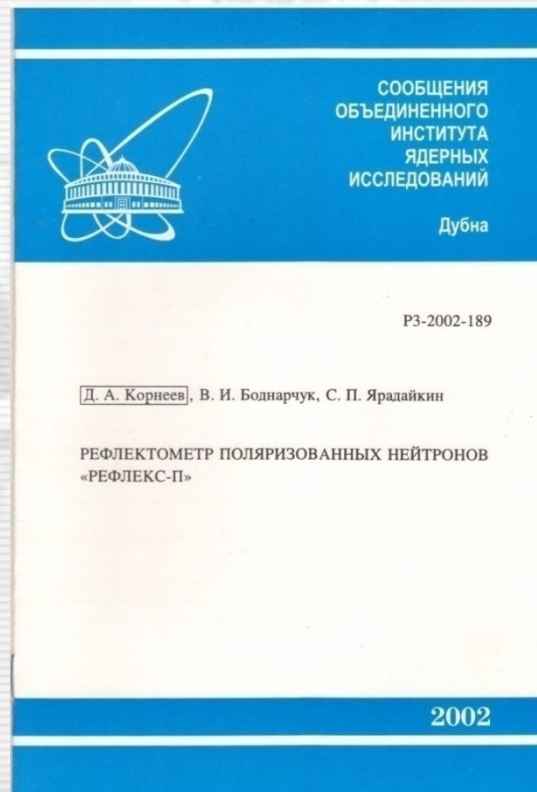
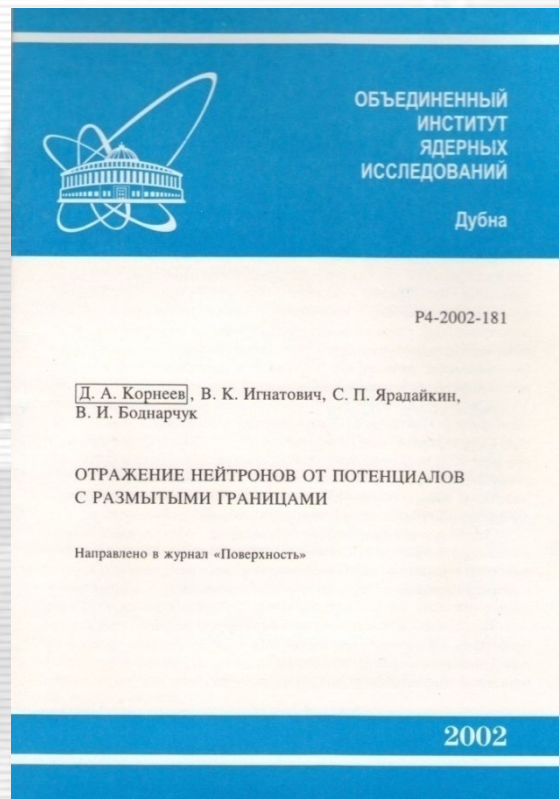


Корнеев, Аксенов, Finney (ISIS)

Последние публикации Д.А.Корнеева

D.A. Korneev, V.I. Bodnarchuk, V.F. Peresedov, V.V. Zhuravlev, A.F. Schebetov
“Inelastic mode of polarised reflectometer REFLEX-P for observation of surface phonons and magnons” *Physica B*, 276-278 (2000) 314-315.

D.A. Korneev, V.I. Bodnarchuk, S.P. Yaradaikin, V.F. Peresedov, V.K. Ignatovich, A.Menelle, R.Gaehler “Reflectometry studies of the coherent properties of neutrons” *Physica B*, 276-278 (2000) 973-974.

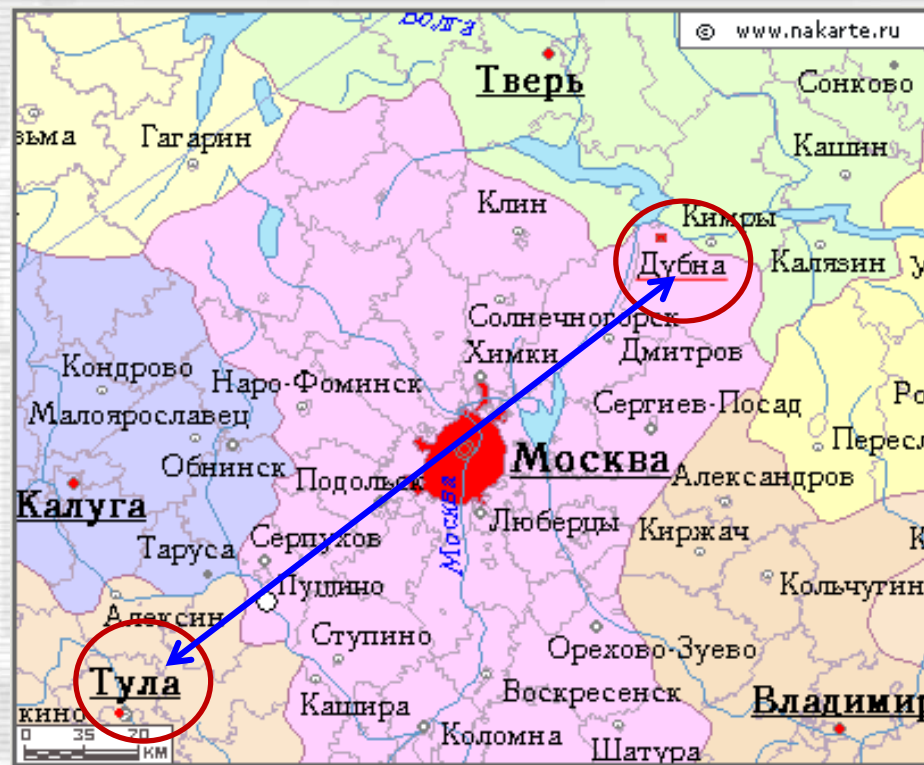


Текстурный анализ в ЛНФ



Д.И.Николаев, А.Н.Никитин, К.Уллемайер, К.Вальтер, К.Хайниц, Н.Н.Исаков: 1-я премия ОИЯИ за цикл работ “Нейтроннографический текстурный анализ и задачи геофизики” (1994)

Сотрудничество ТулГУ и ТГПУ

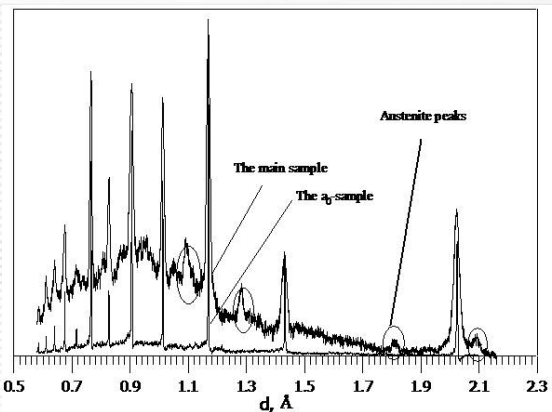


За 17 лет (1996 – 2013) в ЛНФ обучались 58 студентов из ТГУ и ТГПУ:
Бобриков, Буриличев, Бушмелева, Васин, Горшкова, Ермакова, Зель,
Ковалев, Куликов, Кичанов, Муругова, Руткаускас, Тамонов, Чураков,...

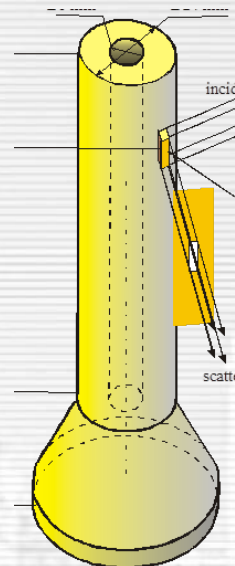
А.Н. Никитин
1950 - 2012

Тула: 1961 - 1991, ТГПУ, ЦНИГРИ, ТулГУ
Дубна: 1992 – 2012, ЛНФ ОИЯИ

Сотрудничество с предприятиями Тулы: внутренние напряжения в ударнике перфоратора (JNR, 2001)



Дифракционные спектры от исходного изделия и изделия после длительной работы



УТВЕРЖДАЮ

И.О. Технического директора
ОАО «Туламашзавод»

В.И. Соловьев
10.12.2002г

А К Т
по внедрению в производство ударника ПП80НВ.00.006
из стали 20Х2Н4А

Объединенным институтом ядерных исследований (г.Дубна) совместно с кафедрой физики Тульского государственного университета проведены исследования распределения остаточных внутренних напряжений в ударниках пневмоперфоратора методом дифракции нейтронов.

Исследования проводились сравнительно на серийных ударниках из стали 65С2ВА с объемной закалкой и из стали 20Х2Н4А с цементацией.

Исследованиями установлено, что характер распределения остаточных напряжений в ударнике из стали 20Х2Н4А благоприятен для повышения сопротивления материала усталостному разрушению.

На основании этого заключения в пневмоперфораторе ПП80НВ был внедрен в производство ударник ПП80ПВ.00.006 из стали 20Х2Н4А с химико-термической обработкой – цементацией.

Внедрение этой стали обеспечило повышение характеристики средней наработки на отказ в 2,5 раза. При использовании стали 65С2ВА средняя наработка на отказ составляла 40 часов, а из стали 20Х2Н4А эта характеристика была увеличена до 100 часов.

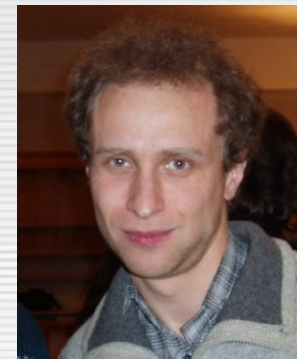
Зи Главный конструктор
Директор ВЗП-1

[Signature]

Г.Н. Зинин
В.И. Арефьев.

[Signature]

Акт по внедрению



А.В.Тамонов
“Нейтронные исследования остаточно-напряженного состояния конструкционных материалов и изделий” 2007



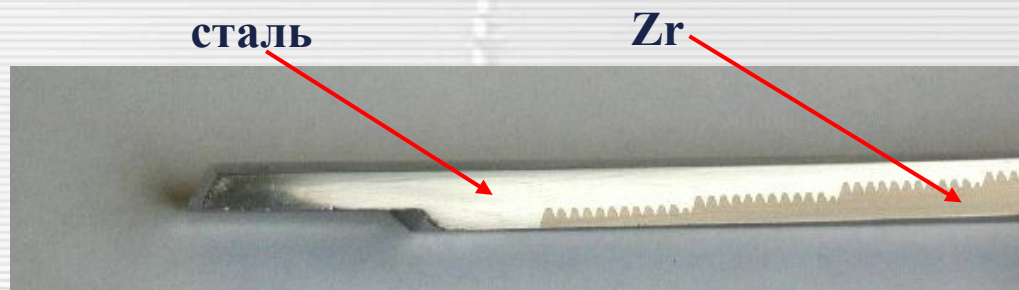
А.М.Балагуров
Д.М.Левин
А.Н.Никитин

**В 2.5 раза продлен
срок службы изделия.**

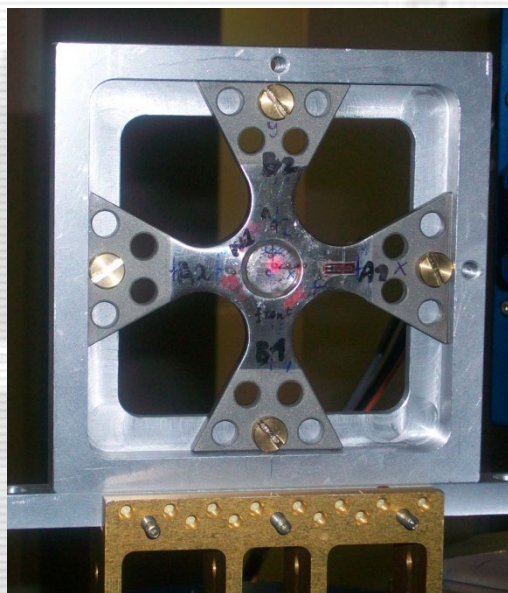
Прикладные работы на ИБР-2: РосАтом, Туламашзавод



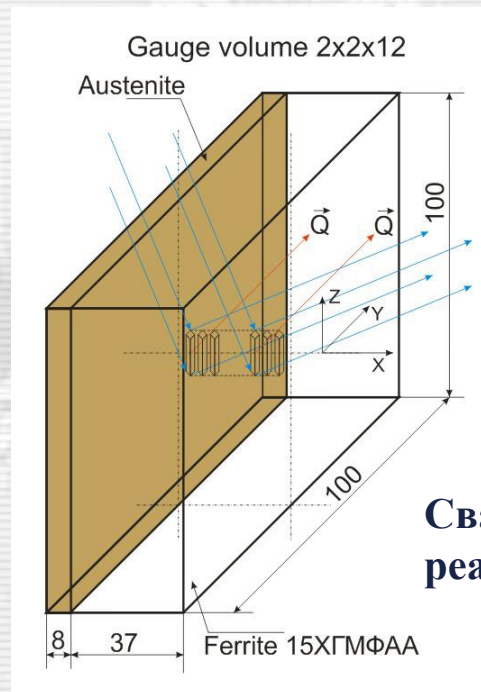
Ю.В.Таран



Биметаллический адаптер



**Двухосно нагруженный
стальной крест**

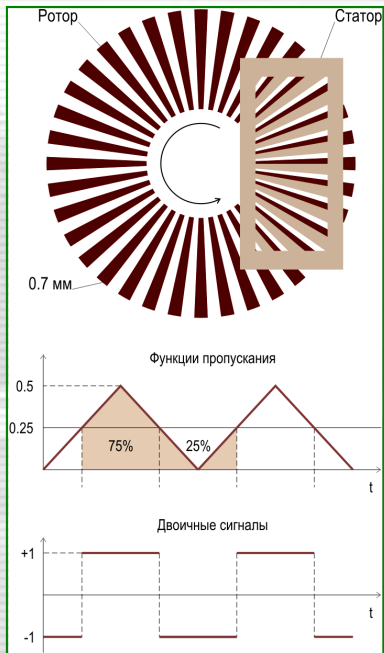
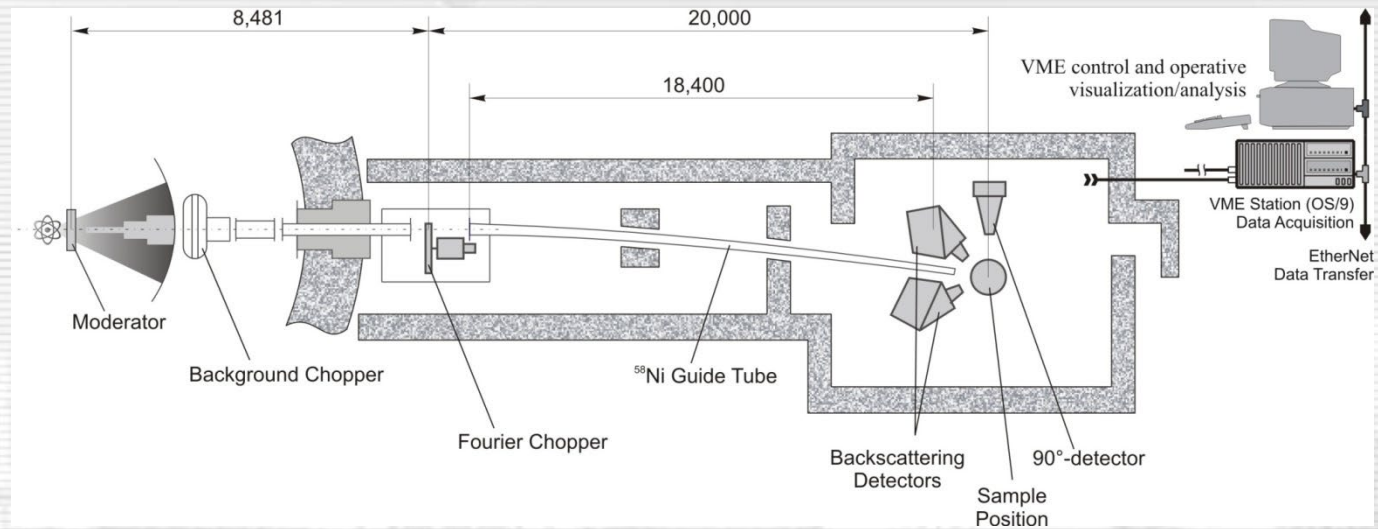
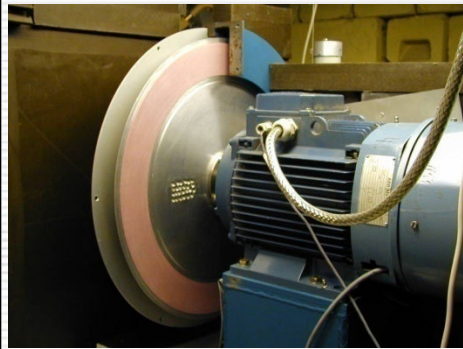


**Сварная часть корпуса
реактора ВВЭР-1000**



В.В.Сумин, Е.С.Кузьмин

HRFD – High Resolution Fourier Diffractometer at IBR-2



Put into operation in 1994 in collaboration between: FLNP (Dubna), PNPI (Gatchina), VTT (Espoo), IzfP (Dresden)

$$\Delta t_0 \approx \text{Const} \approx 10 \mu\text{s}, L \approx 21 \text{ m}, \Delta t_0/t \approx 1 \cdot 10^{-3}/d = 5 \cdot 10^{-4} \text{ for } d = 2 \text{ \AA}$$

Advantages: very short flight path,
no pulse overlapping

High Resolution Fourier Diffractometer at IBR-2



Балагуров, Хиисмяки, Аксенов, Кадышевский



Аксенов, Балагуров, Трунов



**Тиита, Хиисмяки,
Балагуров,**



**Балагуров, Помякушин,
Таран, Злоказов**



Аксенов, Островной, Балагуров

Сотрудничество с Химфаком МГУ



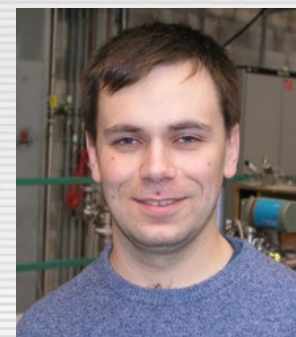
Евгений Антипов
МГУ



Андрей Кауль
МГУ



Владимир Помякушин
ЛНФ ОИЯИ,
Paul Scherrer Institute



Денис Шептяков
ЛНФ ОИЯИ,
Paul Scherrer Institute

Структура ртутных высокотемпературных сверхпроводников

Е.В.Антипов, В.Л.Аксенов, А.М.Балагуров, Д.В.Шептяков и др.,

PRB(1997), PRL(1998), PRB(2001), ЭЧАЯ (2004)...

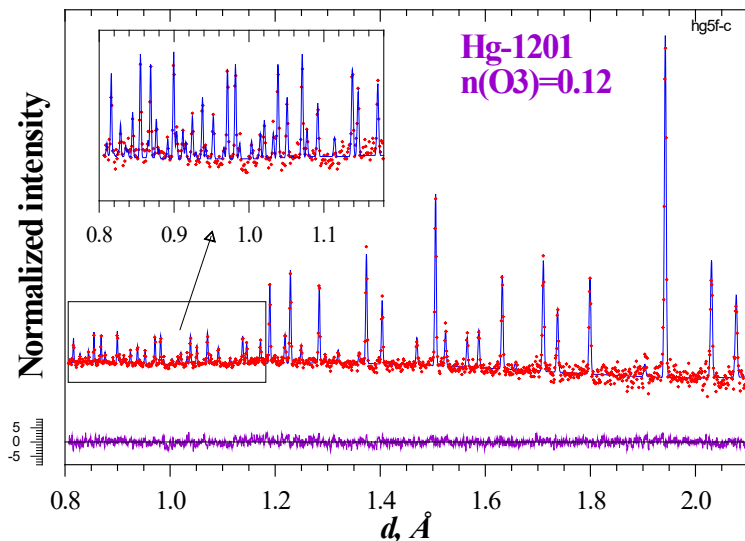
**Гигантский изотопический эффект и структурное фазовое расслоение в
манганитах с колоссальным магнетосопротивлением**

Н.А.Бабушкина, А.Р.Кауль, Д.И.Хомский, А.М.Балагуров, В.Ю. Помякушин и др.

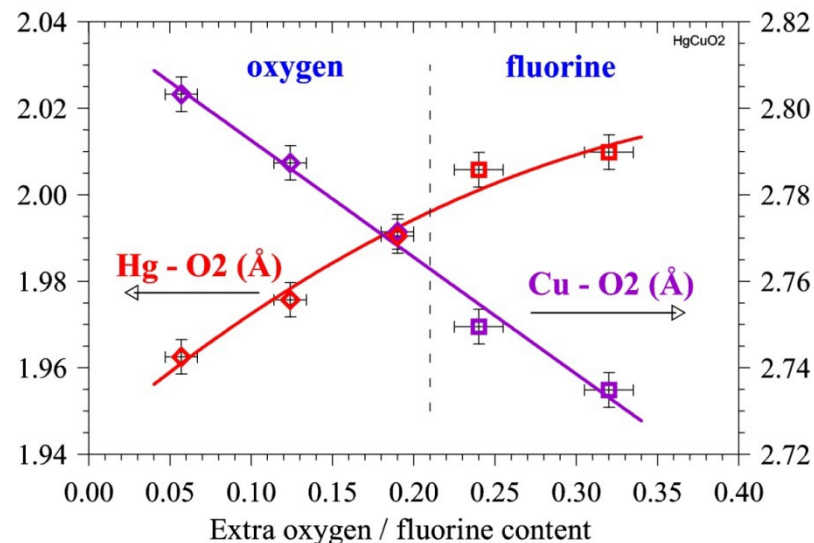
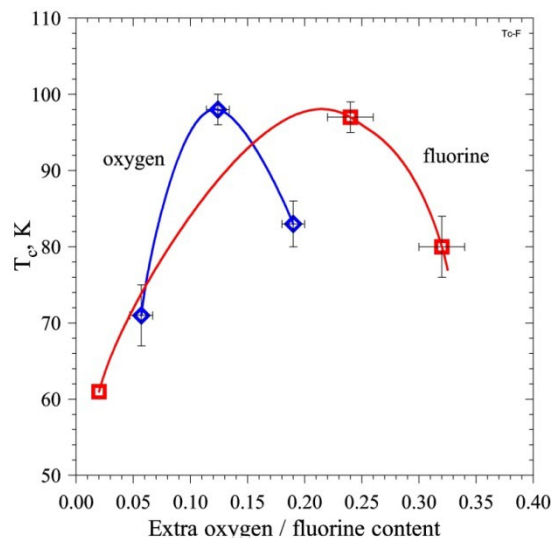
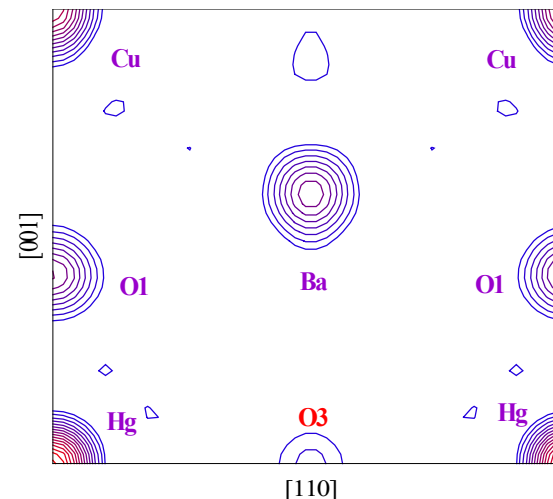
PRB(1999), PRB(2001), PRB(2004), J. of Phys. (2005), ЖЭТФ (2008),...

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, $n(\text{O3}) \approx 0.12$

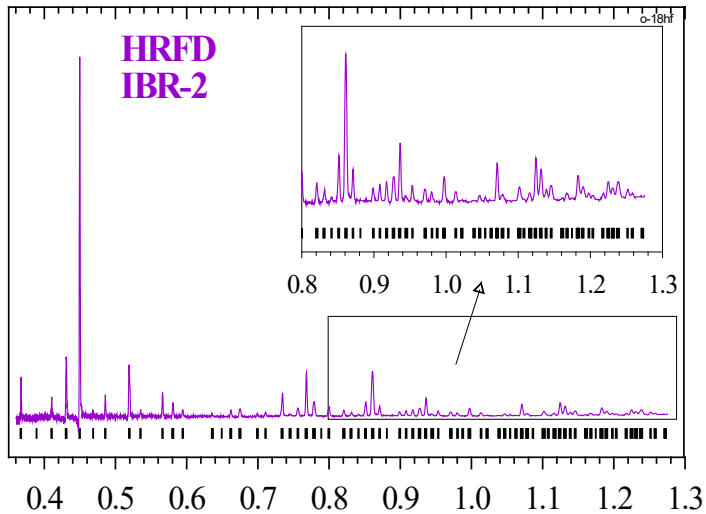
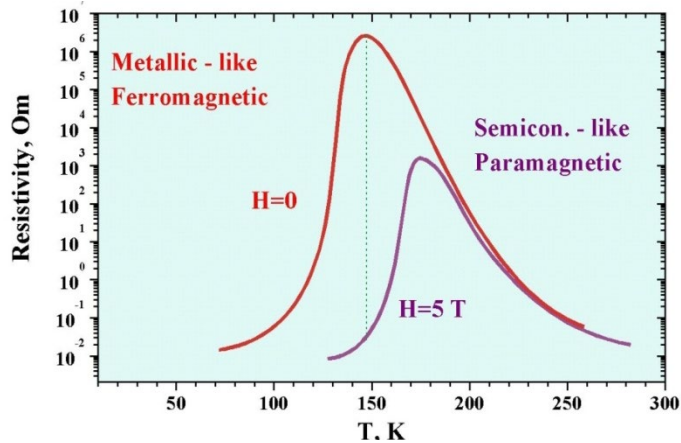


The temperature of phase transition depends on **charge!**

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

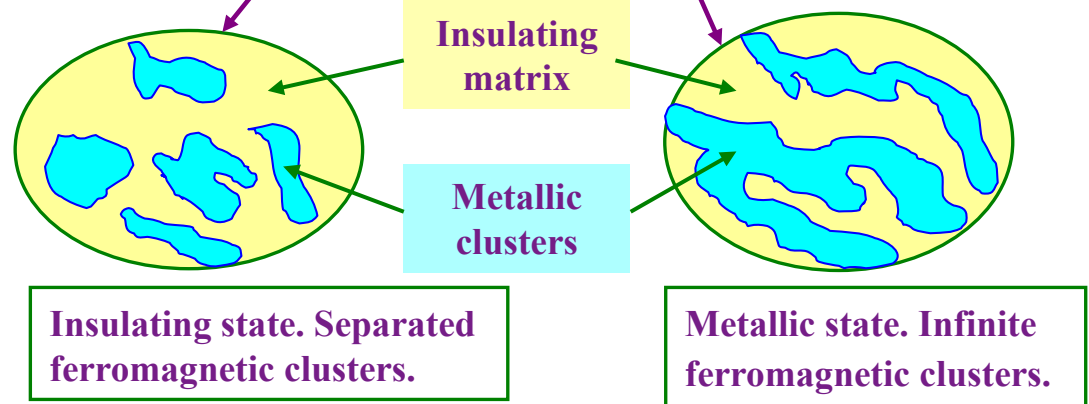
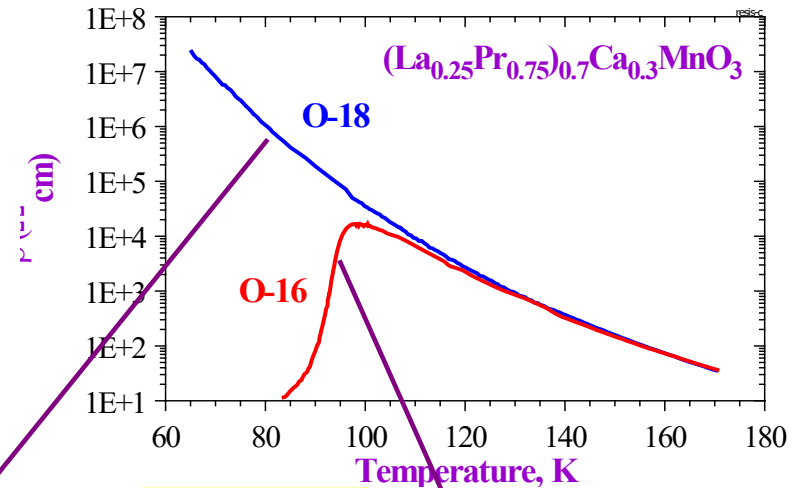
Колоссальное магнетосопротивление и гигантский изотопический эффект в манганитах

Huge decrease of electrical resistivity under the influence of magnetic field !



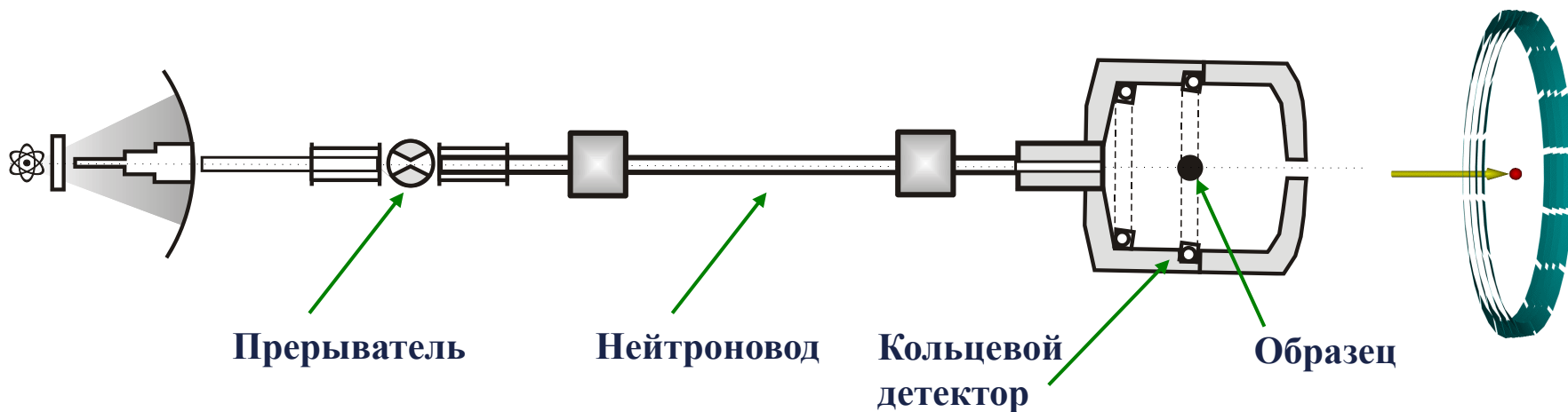
Diffraction pattern of $(La_{0.25}Pr_{0.75})_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$

Metal to insulator phase transition after oxygen isotope $^{16}O \rightarrow ^{18}O$ exchange.



Percolation effect in manganites

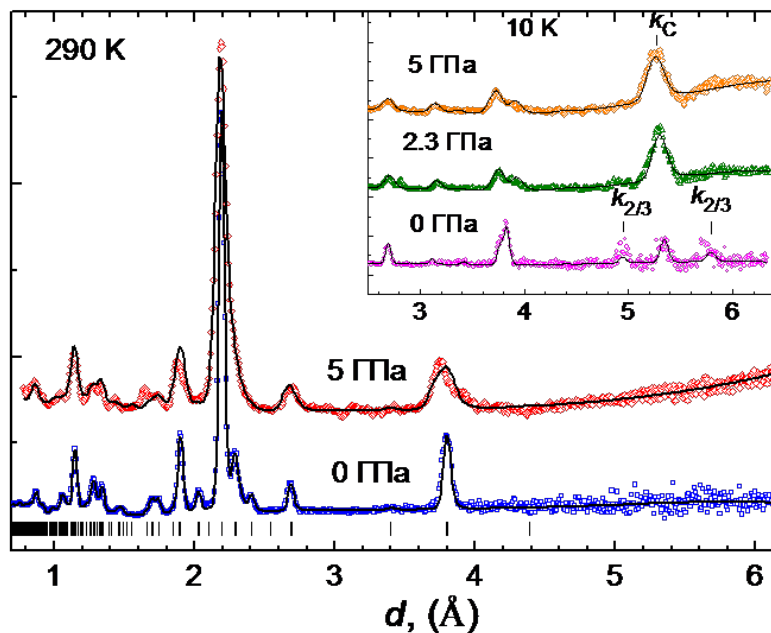
Дифракция и НУ-рассеяние при высоких давлениях DN-12 (1993), DN-6 (2012): РНЦ КИ + ЛНФ



Single-crystal anvil cell



$P_{\max} = 7 \text{ GPa}$ (sapphire)
 $P_{\max} = 30 \text{ GPa}$ (diamond)
 $T = 0.1 - 300 \text{ K}$



Государственная премия Российской Федерации, 2000 г.

Развитие и реализация новых методов нейтронных дифракционных исследований на импульсных и стационарных ядерных реакторах



ЛНФ, ОИЯИ

В.Л.Аксенов

А.М.Балагуров

В.В.Нитц

Ю.М.Останевич

ПИЯФ РАН, Гатчина

В.А.Кудряшев

В.А.Трунов

РНЦ КИ, Москва

В.П.Глазков

В.А.Соменков



- фурье-дифрактометрия
- сверхвысокие давления
- импульсные магнитные поля
- малоугловое рассеяние нейтронов



III. 2008 - ??? (ИБР-2, Козленко, ...)

- 2012 **DN-6** – micro-samples under high pressure
 - 2015 **NRT** – Neutron Radiography and Tomography Station
 - 2015 **REMUR** - Isotope-Identifying Neutron Reflectometry
 - 2016 **RTD** – Real Time Diffractometer – diffraction and SANS in real-time
 - 2019 **FSS** – stresses in bulk materials
 - 2019 **GRAINS** - Neutron Reflectometer with Horizontal Sample Plane
- Широкоапертурные сцинтилляционные детекторы: FSD, HRFD
Новые методики: X-Ray, Raman, ...

Проекты:

- IGINSS** - Inverse-Geometry Inelastic Neutron Scattering Spectrometer , beam 2
Д. Худоба, Е.А. Горемычкин, А.В. Белушкин и др.
- SANSARA** - Small-Angle Neutron Scattering Instrument, beam 10a
М.В. Авдеев, Т.В. Тропин и др.
- NRTCН** - Neutron Radiography and Tomography Station with Cold Neutrons
Д.П. Козленко, С.Е. Кичанов, Б.Н. Савенко и др.

Summary

Исследования конденсированных сред методами рассеяния нейтронов на импульсных реакторах ЛНФ прошли впечатляющий путь развития, начало которому было положено в 1960-х годах И.М.Франком, Ф.Л.Шапиро, Е.Яником, Б.Бурасом, Ю.М.Останевичем и их учениками.

Созданный на ИБР-2 комплекс спектрометров обладает характеристиками мирового уровня. Его последующее развитие позволит решать практически любые задачи современной нейтронографии.

Надо было бы еще сказать о том как развиваются:

- идеи И.М. Франка по реализации биологической тематики на ИБР-2
- исследования при высоких (рекордных) давлениях (DN-6, Козленко и др.)
- исследования Li- и Na-материалов для аккумуляторов (Бобриков и др.)
- фурье-дифрактометрия (Бокучава и др.)
- рефлектометрия (Аксенов, Боднарчук, Никитенко, Авдеев и др.)
- НУ-рассеяние (Худоба, Горемычкин и др.)
- радиография (томография) (Кичанов и др.)
- новые проекты (IGINSS, SANSARA, NRTCEN)
- дополнительные методы исследований (рентген, рамановское рассеяние,...)
- взаимодействие НЭО НИКС и НЭО КС (детекторы, системы накопления,...)
- проведение конференций, совещаний, школ