



## **К юбилею Г.М. Драбкина**

23 декабря 2012 г., исполнилось  
**90 лет** со дня рождения  
**Гильяри Моисеевича Драбкина**,  
организатора нейтронных  
исследований конденсированного  
состояния и  
**основателя Школы  
поляризованных нейтронов  
в ПИЯФ**  
доктора физ.-мат. наук,  
профессора,  
Лауреата Государственной  
премии СССР. Награждён Орденом  
Великой Отечественной войны II  
степени и медалями.

# Вехи биографии

1923 г. – родился в Могилеве БССР

1941- окончил среднюю школу и поступил в ЛПИ им. М.И.Калинина

1941 – призван в армию, Ленинградский фронт

1942 – тяжелое ранение, госпиталь, демобилизация

1942 - Томский институт железнодорожного транспорта

1943 - Московский авиационный технологический институт

1945 – студент ЛПИ им. М.И.Калинина

1948 – распределен в п/я 1590, Челябинск 40

1957 – переведен в ФТИ им. А.Ф.Иоффе

1958 – кандидат Физ.-мат. наук. **Встреча и дискуссии с С.В.Малеевым**

1959 – Гатчина, филиал ФТИ

1960 – Зав. сектором ИКС

1970 – доктор Физ.-мат. наук

1986 – Лауреат Гос. Премии СССР

Настоящее время – Берлин, НМІ (отпуск б/с)



**Сергей Владимирович  
Малеев** (тех лет)

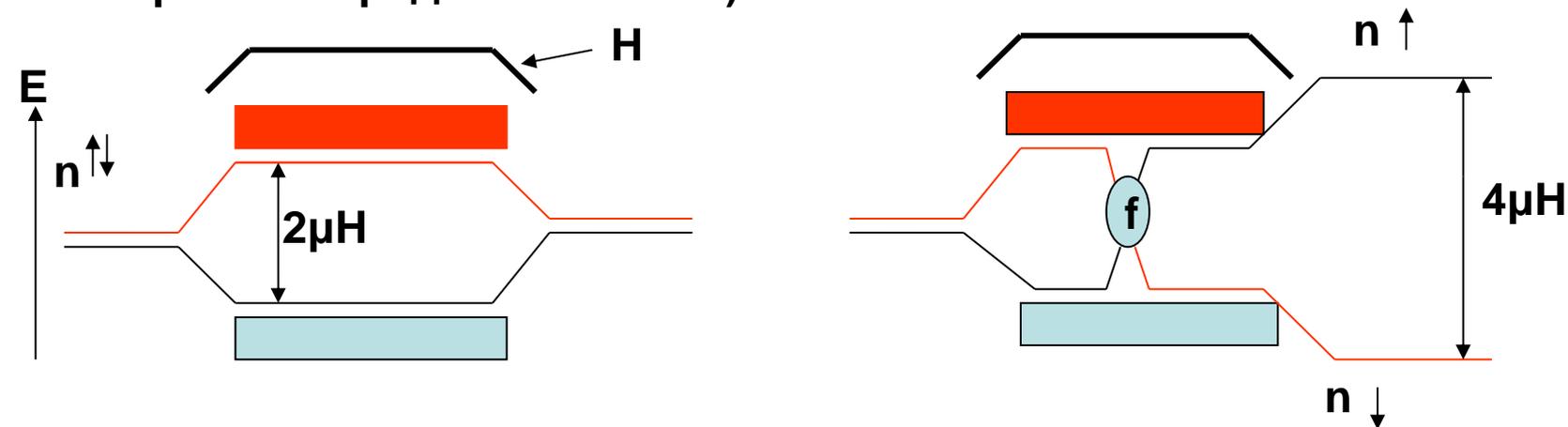
ГНС,  
доктор физ.-мат. наук,  
профессор,  
Лауреат Государственной  
премии СССР.  
Награждён Орденом  
«Дружбы»

**Вместе с Драбкиным  
организовал  
экспериментально-  
теоретический тандем,  
эффективно  
существующий до сих пор**

Драбкин Г.М., Житников Р.А.

Получение сверххолодных поляризованных нейтронов. //ЖЭТФ, 1960, т.38, 1013.

Нейтроны при входе в магнитное поле изменяют свою энергию, расщепляясь на 2  $\mu\text{H}$  для разных направлений спина, а на выходе (с обратным градиентом поля) это изменение исчезает.

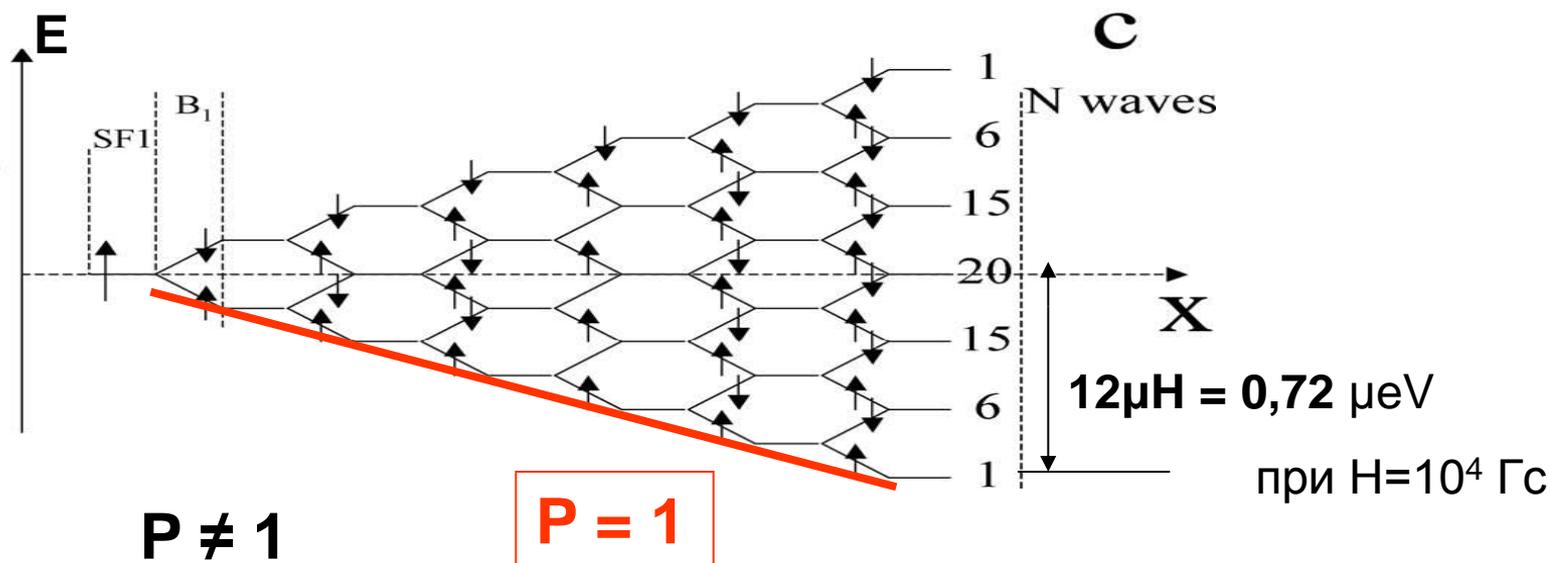


Но, если в поле перевернуть поляризацию, то на выходе это изменение удваивается и нейтрон изменяет энергию  $E$  на  $2\mu\text{H} = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ H } \mu\text{eV}$

При  $H=10^4 \text{ Гс}$   $2\mu\text{H} = 0,12 \mu\text{eV}$

От  $\lambda=4\text{\AA}$  до УХН ( $\lambda=600\text{\AA}$ ) надо 40 000 ячеек Драбкина

С.В.Григорьев  
Ю.О.Четвериков  
Л.А.Аксельрод  
В.Н.Забенкин  
А.В.Сыромятников  
и др.



$P \neq 1$   $P = 1$   
Эксперимент по мульти-волновой интерференции

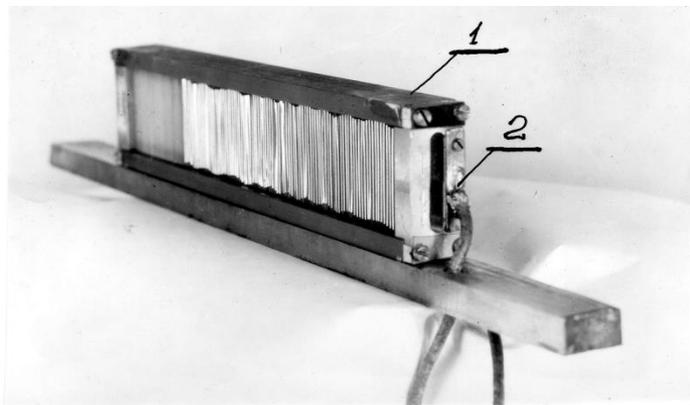
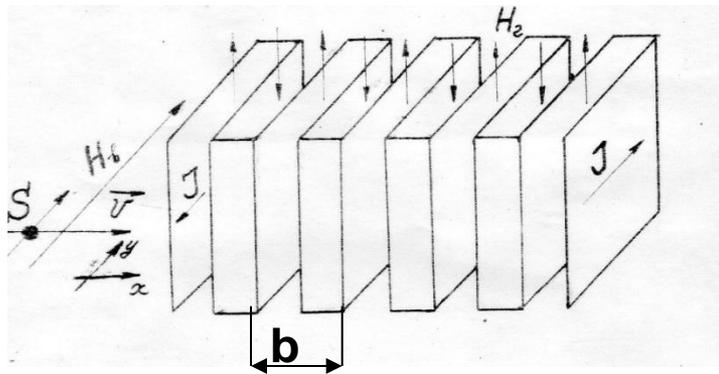
## Драбкин Г.М.

Анализ энергетического спектра поляризованных нейтронов с помощью магнитного поля. ЖЭТФ, 1962, т.43, N2, 1107-1108.

## Знаменитая «Гармошка Драбкина» - монохроматор

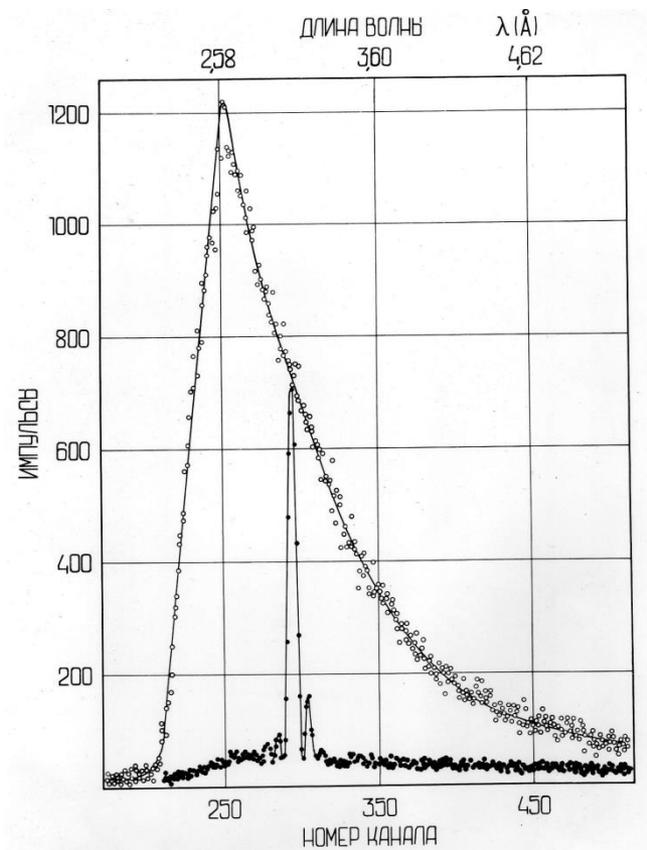
Ларморовская прецессия  $\omega = \gamma H$

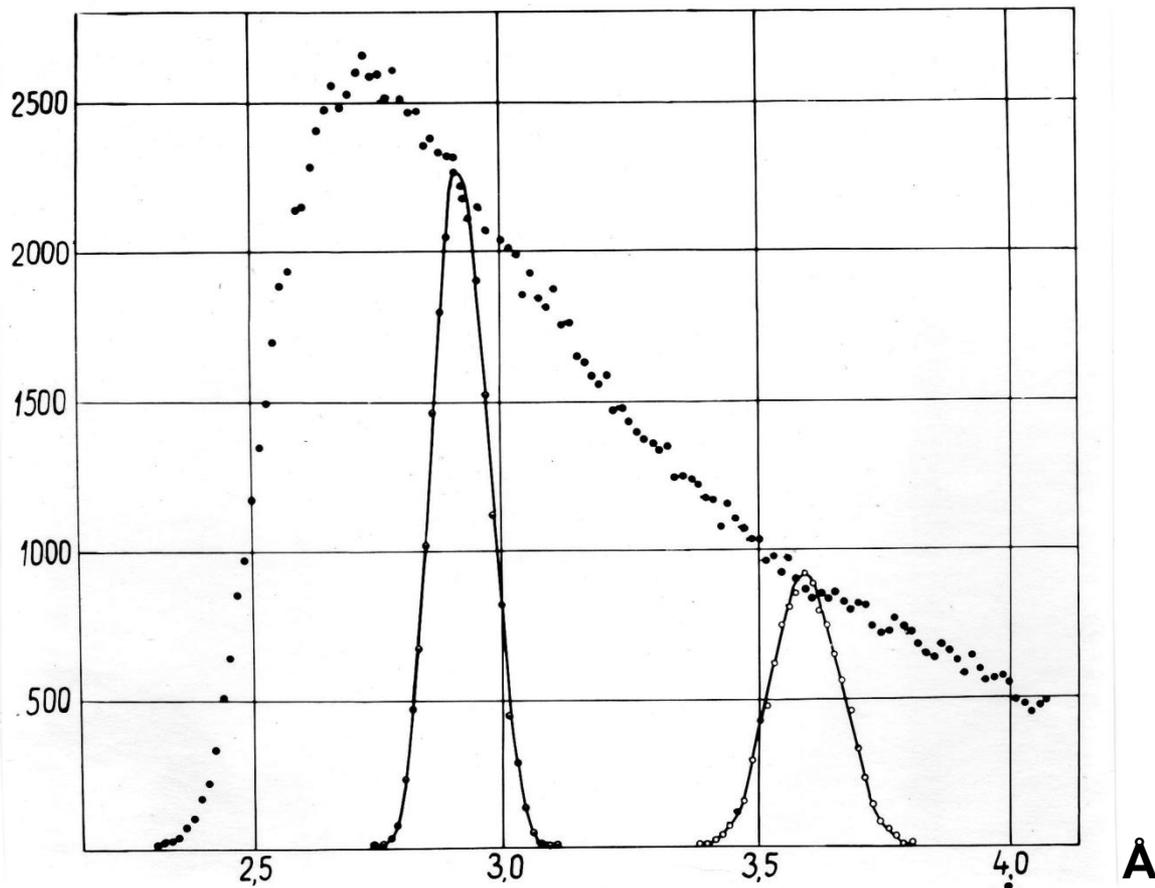
Частота в Гармошке  $\omega = v/b$



Выделен спектр для  $\lambda = 3.02 \text{ \AA}$   
С полушириной 2%

Подставка связана с неполной начальной  
Поляризацией  $P=0.97$ .





2-х каскадный вариант, полуширина (монокроматизация) 4,5%  
 Линии выделены простым изменением поля Н.  
 Ларморовской прецессия  $\omega = \gamma H$

Если с **Теорией** проблем не было,

(С.В.Малеев с его группой интенсивно учили нас теории рассеяния поляризованных нейтронов)

ТО

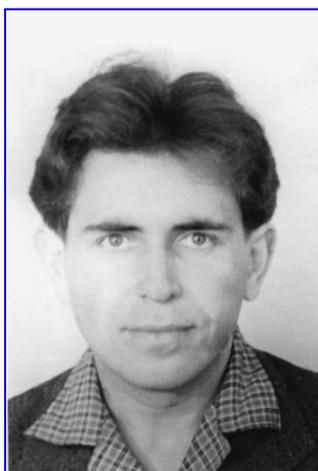
**Эксперименты** надо было начинать с **самого нуля**: -

Заливка фанерных ящиков парафином с борной кислотой

- Тонны свинцовых кирпичей
- Резка – сварка металлов
- Нейтронные детекторы
- Поляризующие зеркала
- Электроника на базе нумераторов
- Создание установки
- и т.д.



# Начало 60-х



**Е.И.Забидаров Г.П.Гордеев Я.А.Касман В.А.Трунов А.И.Окороков**

Драбкин Г.М., Забидаров Е.И., Касман Я.А., Окороков А.И.

Критическое рассеяние поляризованных нейтронов в никеле. // Письма в ЖЭТФ 2, 12 (1965) 541.

**Малеев С.В.** Письма в ЖЭТФ 2,12 (1965) 545.

(В рассеянии неожиданно наблюдалась отрицательная поляризация)

Из инварианта малеева:

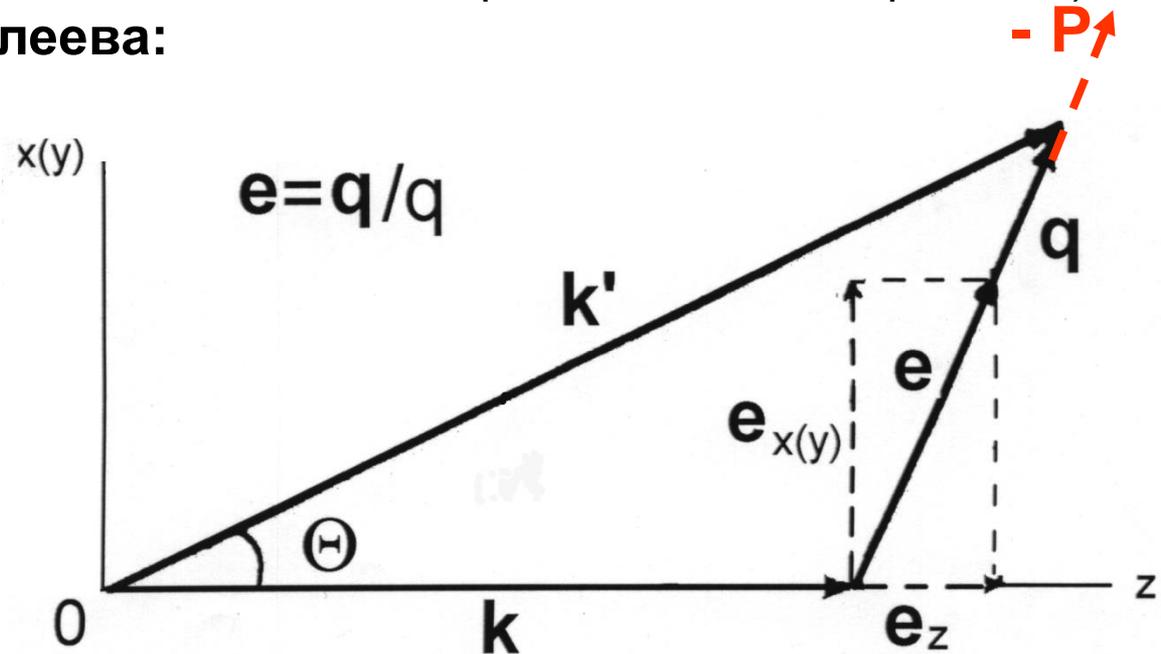
$$P = -e(eP_0),$$

$$\sum P_i = -1$$

$$i=x,y,z$$

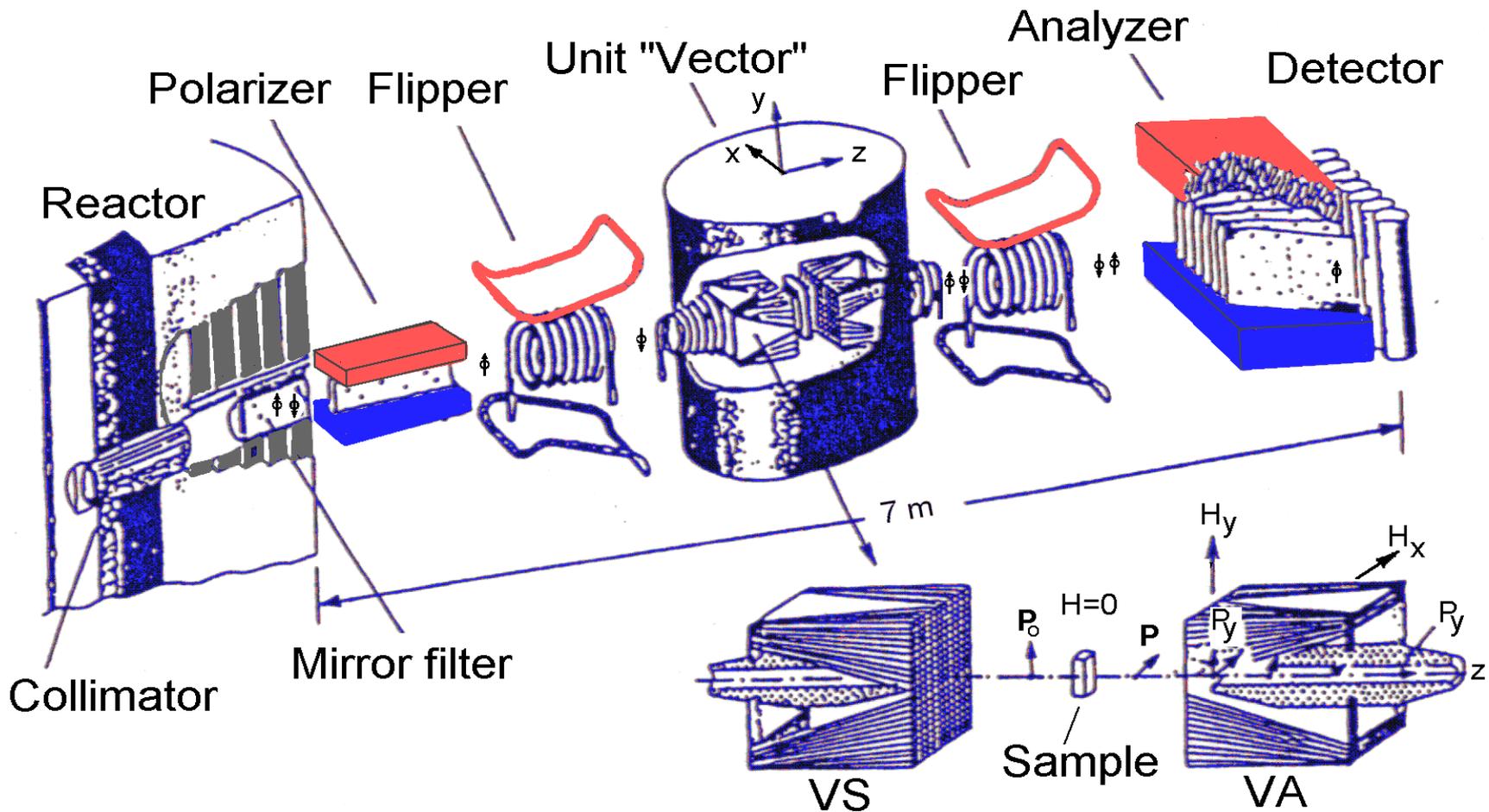
Малеев С.В.

ЖЭТФ,40 (1961) 1224

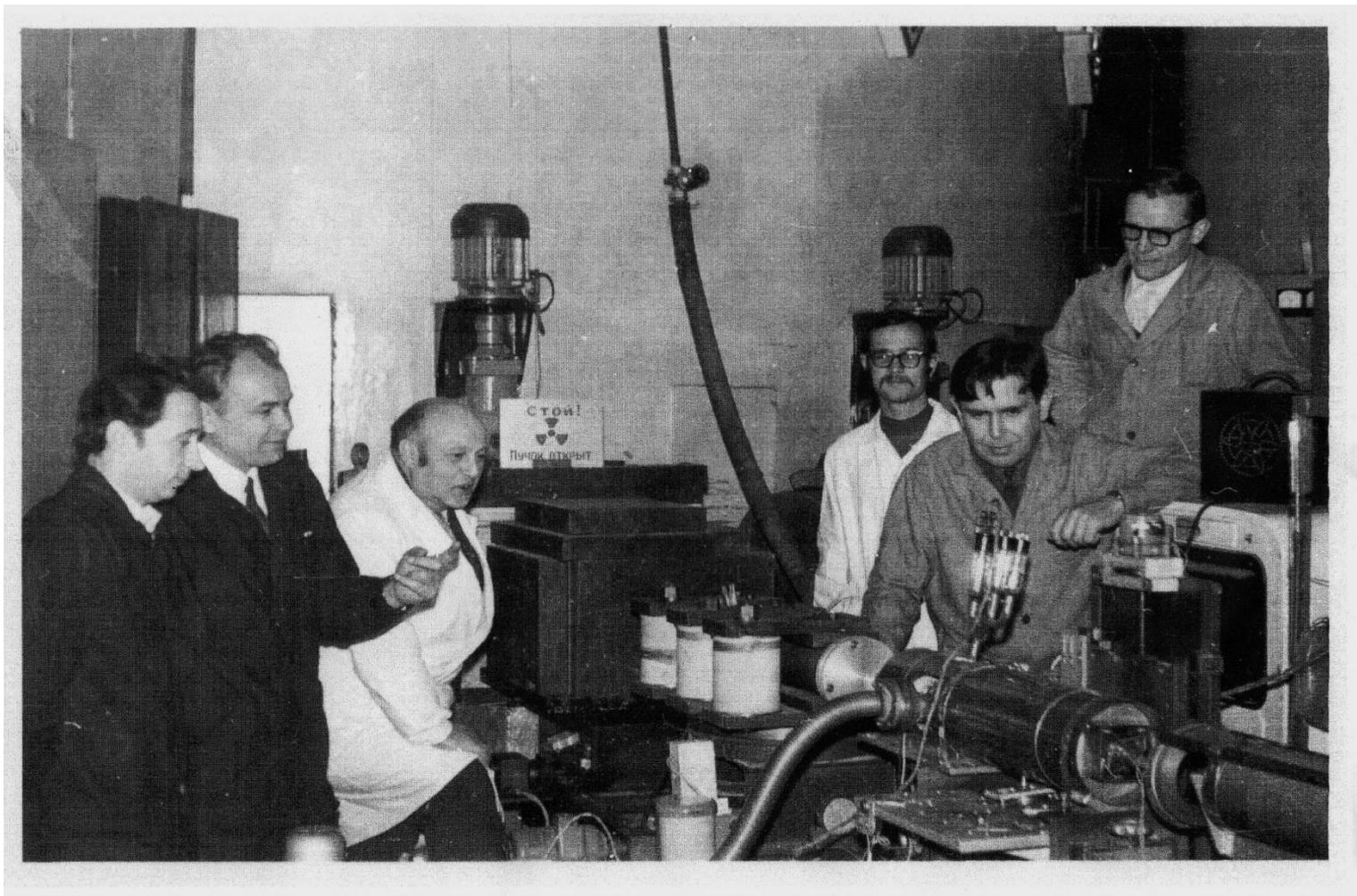


Возникла необходимость 3-мерного анализа поляризации

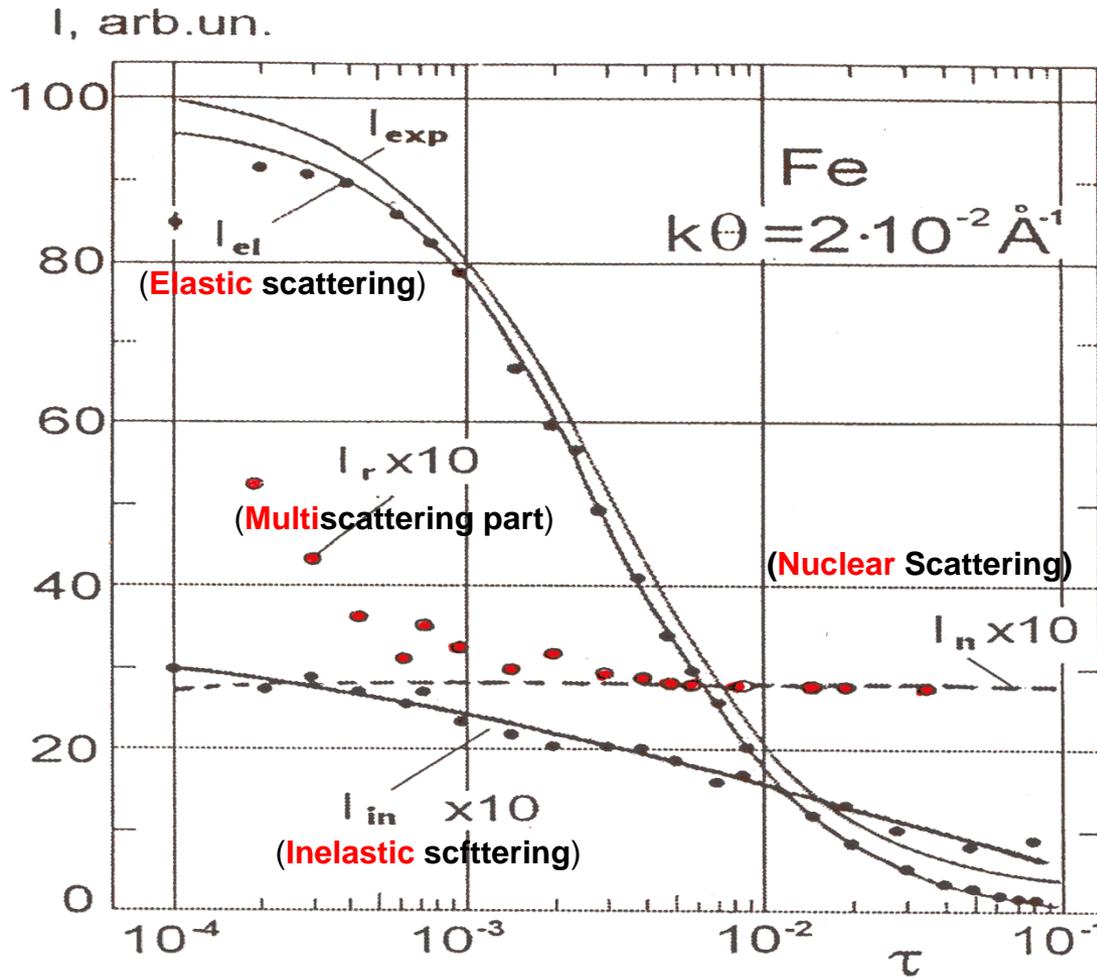
# PNPI 3-d ANALYSIS



*Г.Драбкин, В.Рунов, А.Окороков и др.*



**Установка ВЕКТОР на канале №4 реактора ВВР-М**

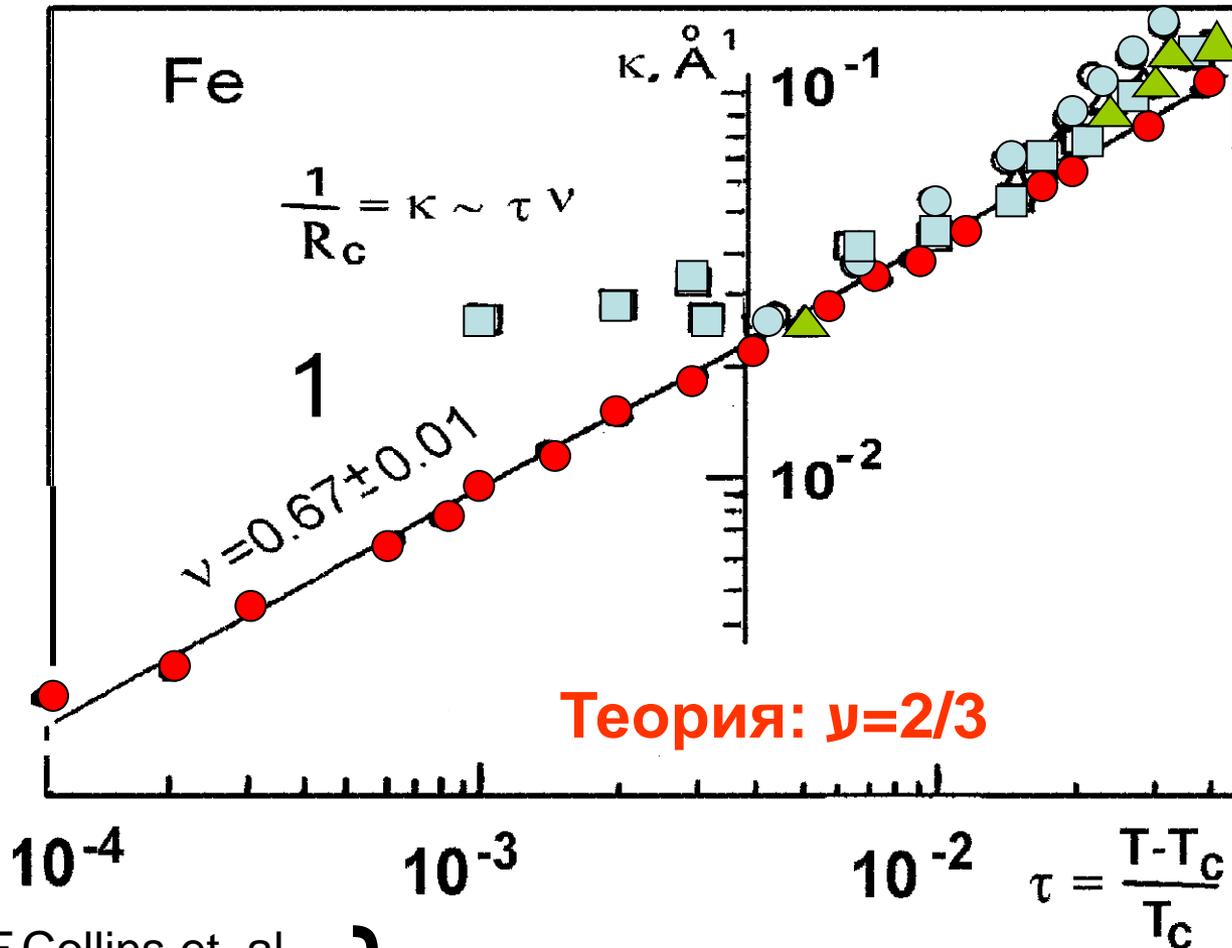


Nuclear and Multiscattering are separated due to sum-rule:

$$\sum P_i = -1$$

$$I = x, y, z$$

# Проверка скейлинга - Корреляционный радиус по упругому рассеянию



Статистические ошибки в размере точек.  
Систематические зависят от модели обработки данных для поправки на неупругое рассеяние

- - M.F.Collins et. al.
- - D.Bally et al.
- ▲ - P.Parette, R.Kahn

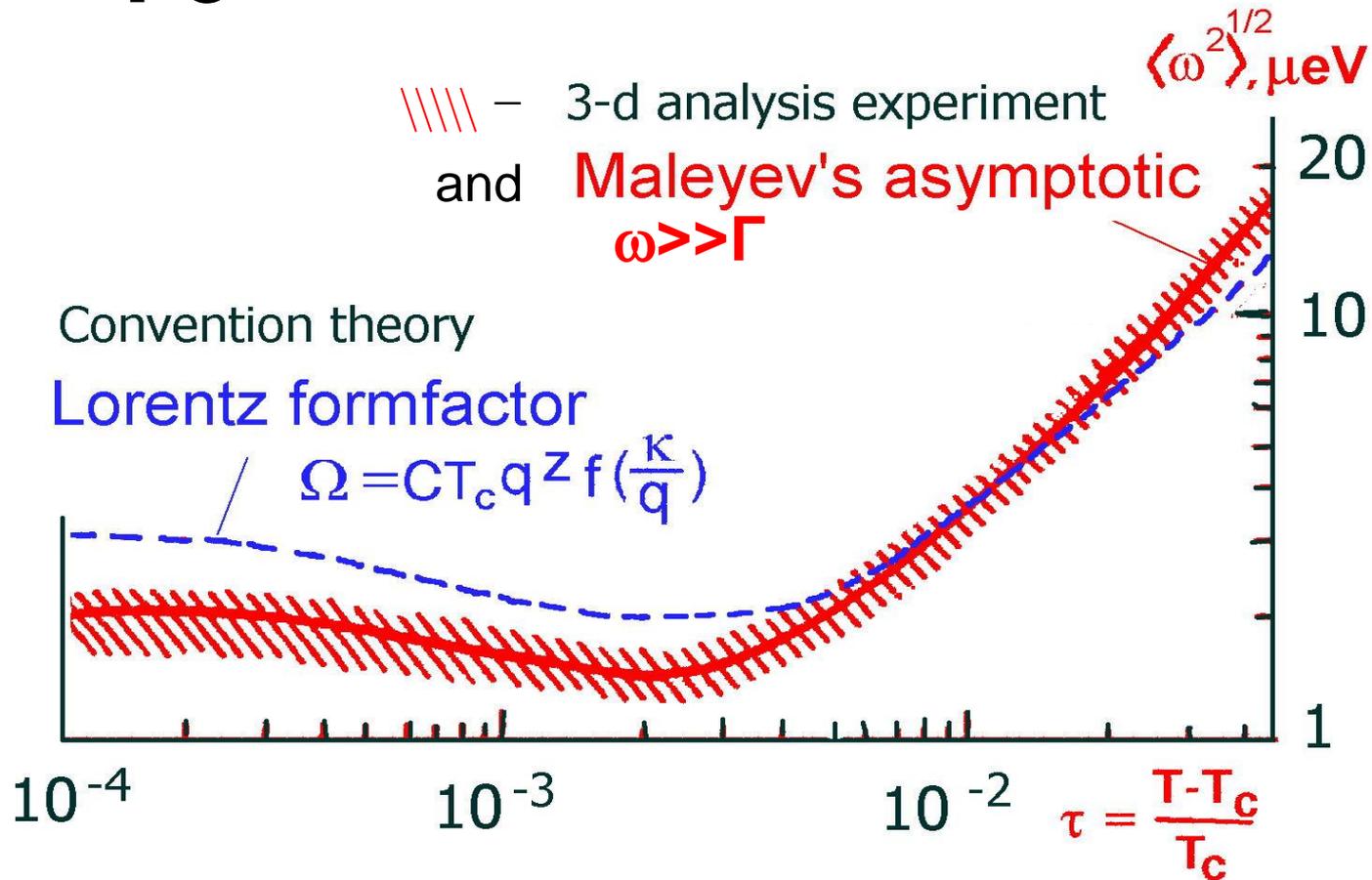
} С различного типа поправок на неупругое рассеяние

● -3-D анализ  
-без поправок на другие виды рассеяния

# Неупругое рассеяние - динамика

*Resibois - Piette dynamical scaling relation*

## Fe

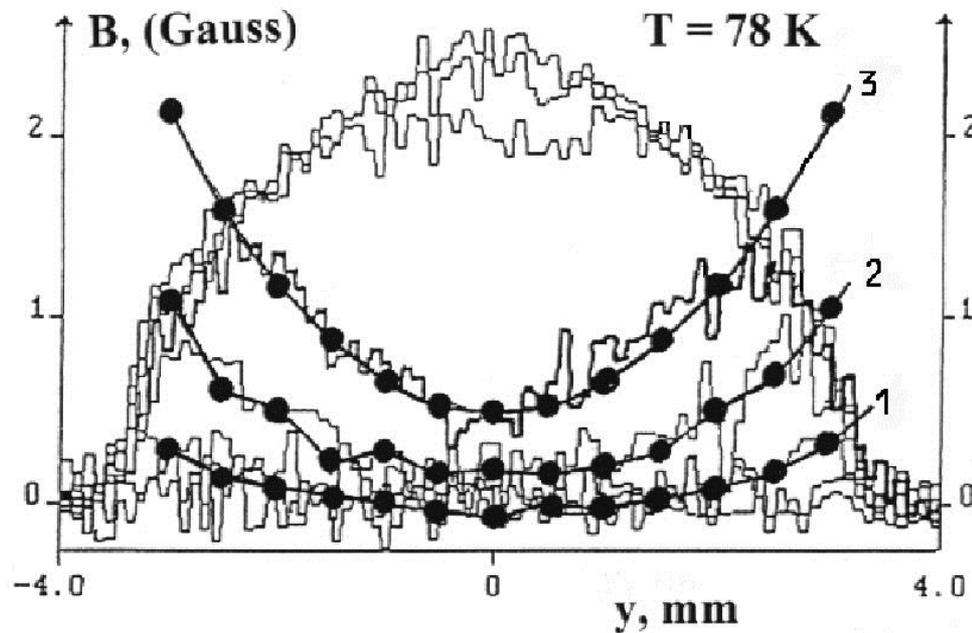


# Прецессия поляризации в магнитном поле

$$d\mathbf{S}/dt = \gamma_n[\mathbf{S}\mathbf{H}]$$

(3-х мерный анализ поляризации в прямом пучке)

Визуализация закона Бина проникновения магнитного поля в сверхпроводник



Визуализация магнитного потока  $\mathbf{B}$  в Y-Ba-Cu-O керамике при включенном внешнем магнитном поле (кривые 1,2,3 для  $H = 2.2, 3, 1$  и  $6$  Э, соответственно) и выключенном (захваченный поток) для ряда значений  $H$  от  $0,45$  до  $7.2$  Э.

*Г.Гордеев, А.Аксельрод  
В.Н.Забенкин и др.*

В 1977 г. мы впервые наблюдали **3-х спиновые** динамические корреляции при  **$H=0$  в парамагнитной области железа.**

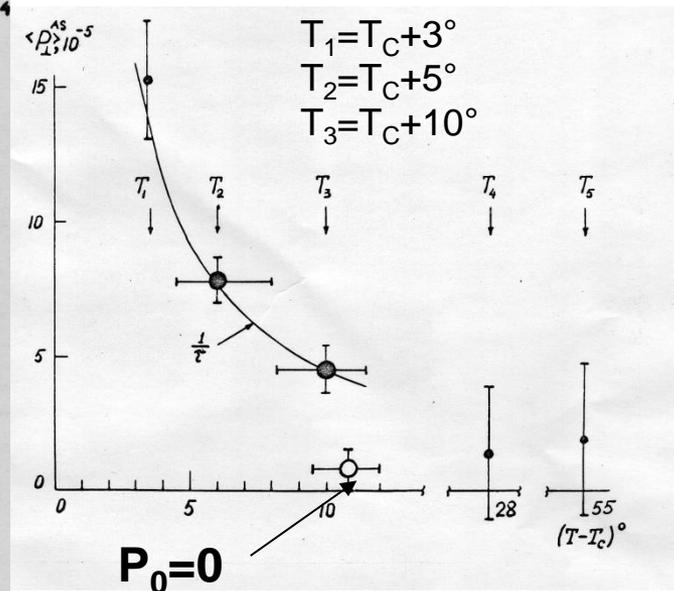
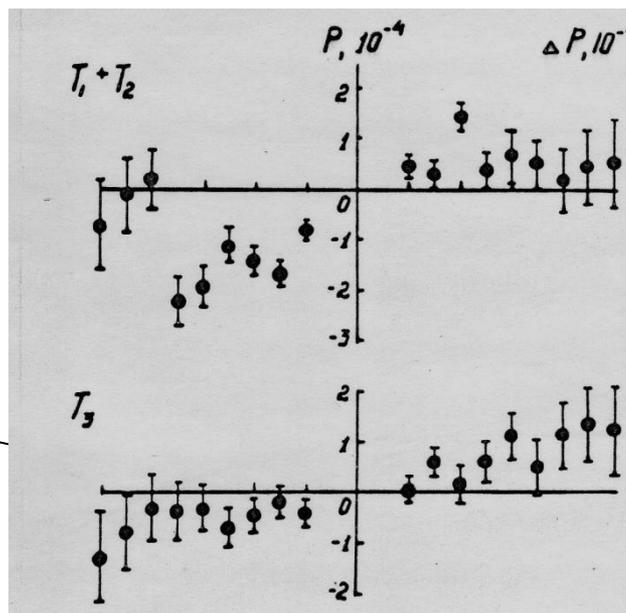
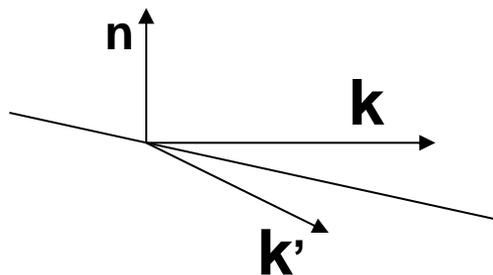
(А.В.Лазута, С.В.Малеев, Б.П.Топерверг, А.Гукасов, А.Окороков и др.)

В приближении выше борновского было найдено, что сечение магнитного рассеяния пропорционально интегралу от тройного динамического коррелятора

$$\langle S^\alpha(\mathbf{q}_1, \omega_1) S^\beta(\mathbf{q}_2, \omega_2) S^\gamma(\mathbf{q}_3, \omega_3) \rangle$$

и появляется псевдовектор - направление **поляризации**

$$\mathbf{n} = [\mathbf{k} \times \mathbf{k}'] / |[\mathbf{k} \times \mathbf{k}']|$$



# МЕТОД НАКЛОННОЙ ГЕОМЕТРИИ

[Драбкин Г.М.](#), [Забидаров Е.И.](#), [Касман Я.А.](#), [Окороков А.И.](#), [Трунов В.А.](#)

«Рассеяние нейтронов на спиновых волнах в железе (ЖЭТФ 27(1964)2316)»

Это был первый наш эксперимент на ВВР-М. В нем просто наблюдалась зависимость интенсивности магнитного рассеяния на спиновых волнах от знака поляризации. Серьезный подход к проблеме спиновых волн был сделан в 1977 г. после наблюдения 3-спин корреляций

## Сечение магнитное рассеяния нейтронов

$$I(\theta, H) = \int (d\omega/\omega)(k/k_0) \{ \text{Im} G_1(q, \omega) + g\mu H (\mathbf{e}P_0)(\mathbf{e}\mathbf{m}) \text{Im} G_3(q, \omega) \}$$

$\mathbf{e} = \mathbf{q}/q$ ,  $\mathbf{m} = \mathbf{H}/H$ , а  $P_0$  – поляризация падающих нейтронов

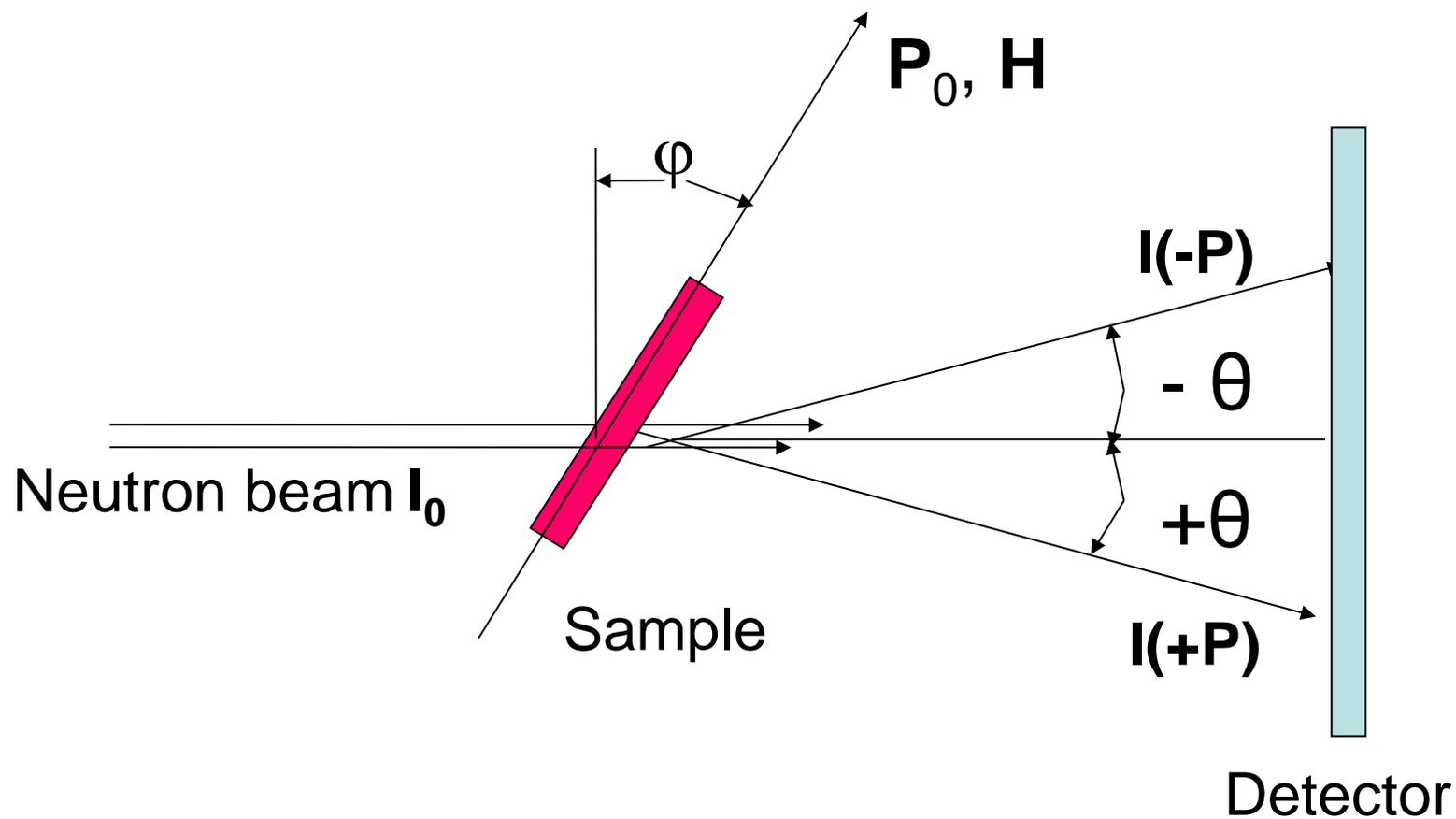
При обычной геометрии опыта это сечение принципиально **равно нулю**, т.к. подинтегральное выражение **нечетно по  $\omega$** . При разложении кинематического фактора  $(\mathbf{e}P_0)(\mathbf{e}\mathbf{m})$  одна его компонента:

$$(2E\theta P_0 \sin 2\varphi) / [\omega^2 + (2E\theta)^2] \quad \text{меняет четность}$$

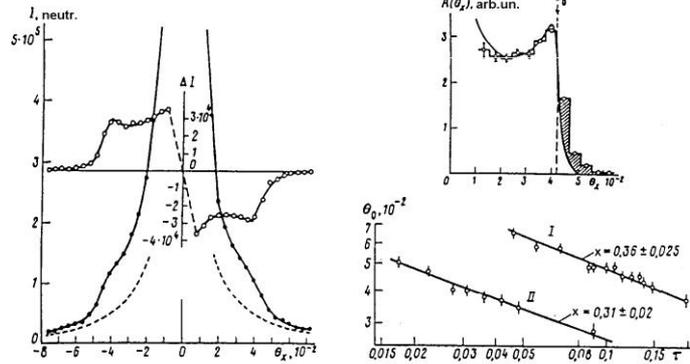
и при наклоне поля  $\mathbf{H}$  на угол  $\varphi \neq 0, \pi/2$  относительно перпендикуляра к оси пучка сечение **отлично от нуля и асимметрично по  $\theta, \omega$  и  $P_0$** .

**Это дает возможность выделять и изучать динамическое рассеяние на спиновых волнах в чистом виде по асимметрии рассеяния.**

# Схема эксперимента

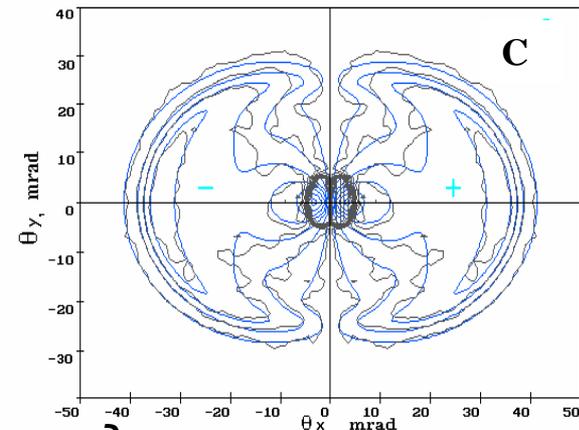
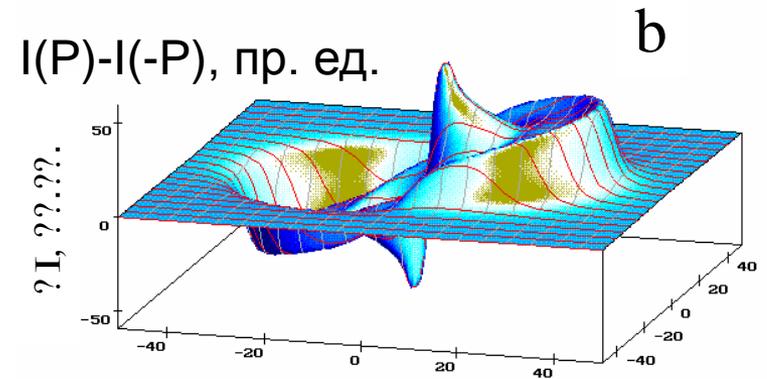
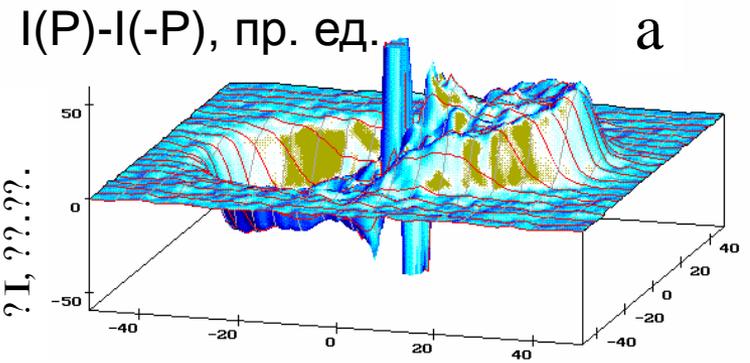


# Антисимметричное рассеяние поляризованных нейтронов на спиновых волнах



Сложный рельеф большого массива данных рассеяния в координатах двумерного XY-детектора (128x128 ячеек) обеспечивает высокую точность извлеченных параметров, например, для аморфного сплава  $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{22}\text{Cr}_{10}\text{P}_{18}$  :

- жесткость  $D=52.74 \pm 0.05 \text{ мэВ} \cdot \text{Å}^2$
- дип. константа  $\omega_0 \langle S_z \rangle = (50 \pm 3) 10^{-6} \text{ эВ}$ ,
- Затухание  $\Gamma_0(\kappa R c) = 25.2 \pm 0.5$ .

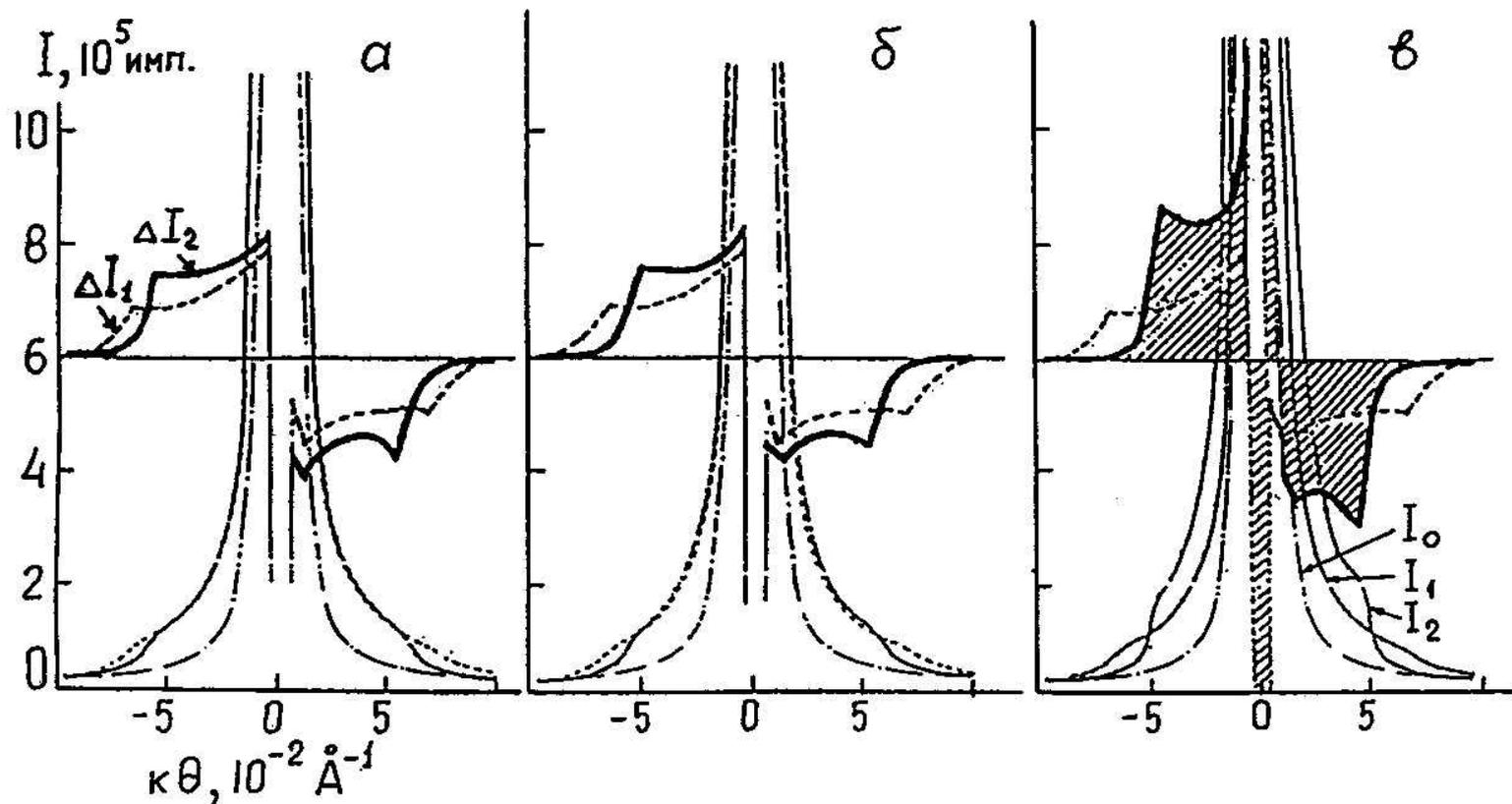


А.Окороков, А.Гукасов, Б.Топерверг, В.Дериглазов и др.

Этим методом проведены тщательные исследования фазового перехода и критических явлений в ферромагнетиках, где обнаружен целый ряд явлений фундаментального характера.

Например – критическая динамика в парамагнитной области железа в магнитном поле, где:

- получены нечетные по энергии спектры тройных спиновых корреляций;
- установлено, что критическая дипольная динамика в Fe является «жесткой»;
- - подтверждена гипотеза факторизации импульсной зависимости тройных динамических вершин при больших переданных импульсах
- и т.д.



Пример практического приложения для НИИ ЧЕРМЕТ  
 Зависимость СВ (намагниченности) аморфных пленок от  
 температуры отжига (а,б) и времен озлаждения (в)

## ПРОБЛЕМА ИНВАРА

Намагниченность насыщения ферромагнетика по Блоху

$$M_s(T) = M_s(0)(1 - BT^{3/2}),$$

где  $B = [2.612 g \mu_B M_s(0)] [k_B / 4\pi D(T)]^{3/2}$ ,

а  $D(T)$  – спин-волновая жесткость. ( $\varepsilon = Dq^2$ )

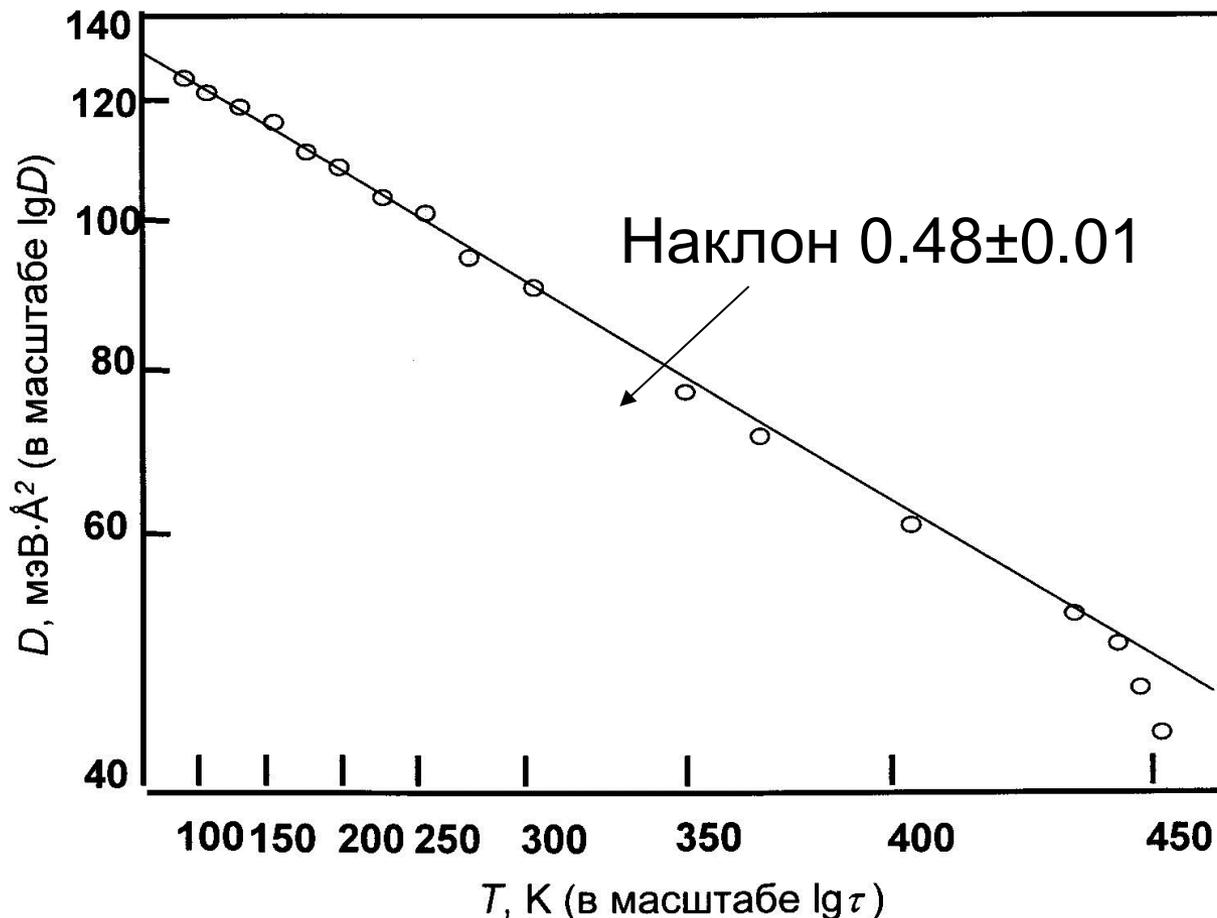
Для гейзенберговского ферромагнетика теоретическая зависимость от температуры  $D(T) = D_0(1 - AT^{5/2})$  подтверждена, **кроме инвара**.

В обычных экспериментах на спектрометрах  $D$  определяется по зависимости переданной энергии  $\omega$  от импульса  $q$  по соотношению  $\omega = Dq^2$ .

В наклонной геометрии мы получили

$$D(\tau) = D_0 \tau^x \text{ с } x=0.48 \pm 0.01, D_0=137 \pm 3 \text{ мэВ} \cdot \text{Å}^2$$

А это скейлинг для критической области



С.Григорьев, А.Окороков и др.

# Выводы

- 1) Закон  $T^{5/2}$ , следующий из уравнения Блоха, для инваров вообще не выполняется.
- 2) Вся ферромагнитная область критическая.

Возможная причина этого явления в упругих напряжениях внутри решетки, эквивалентных приложению внешнего давления, которое

уменьшает  $T_c$ .

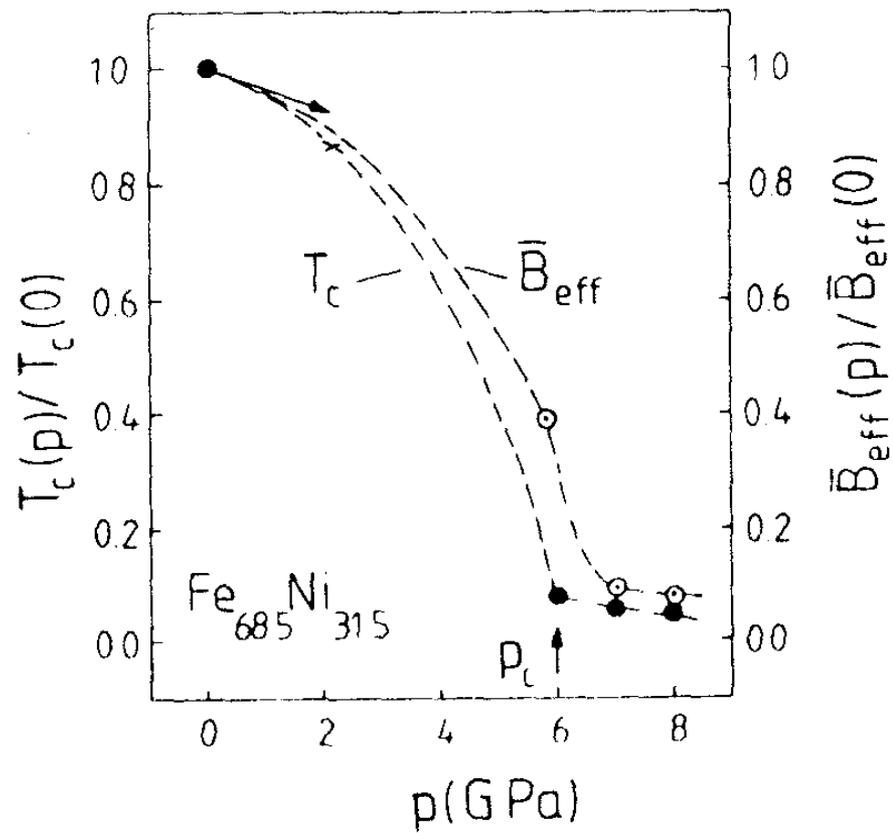
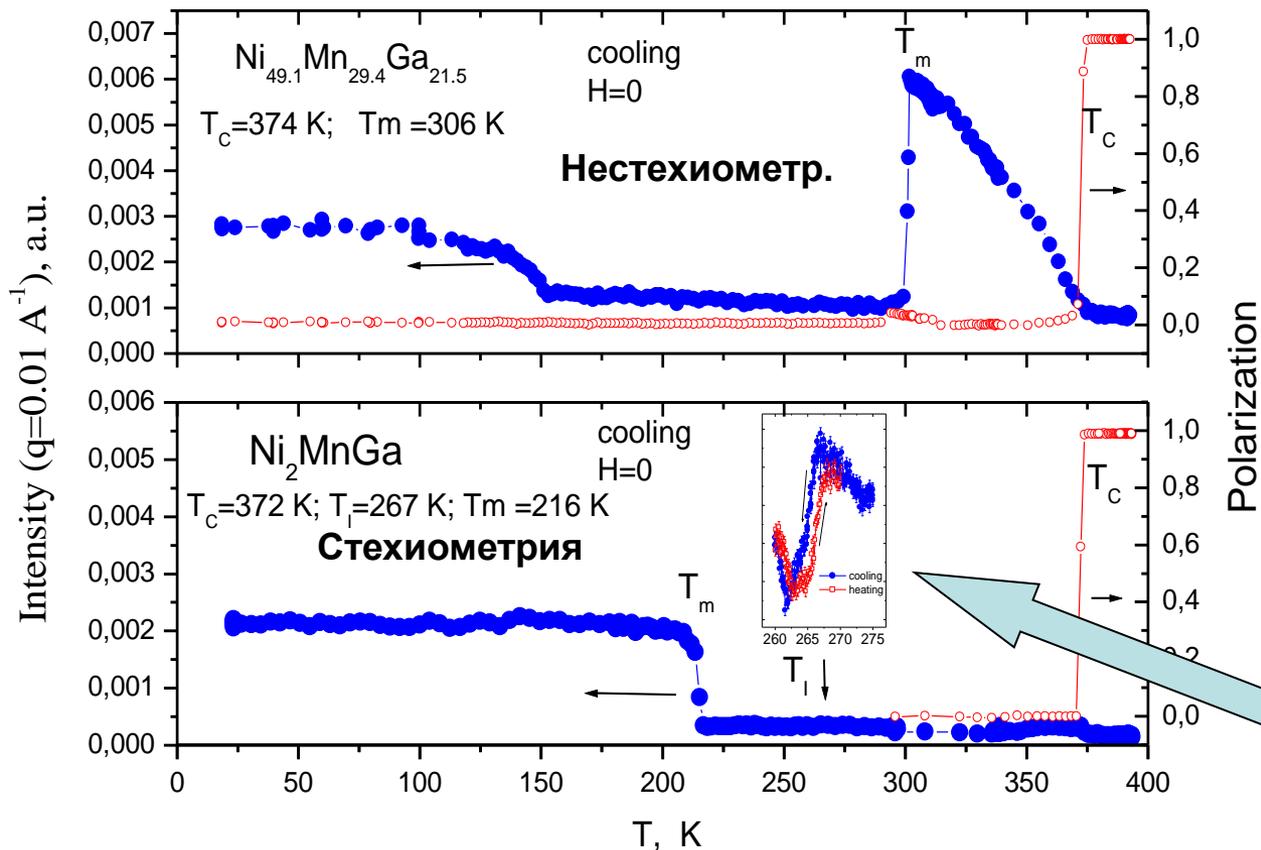


Рисунок из *Matsushita M. et al. //JMMM. 2003. V. 265. P. 352.*

# Мезоструктура материала с магнитноконтролируемым эффектом памяти формы (МПФ)

В.В.Рунов и др.



$T_c$  - переход парамагнетик-ферромагнетик;

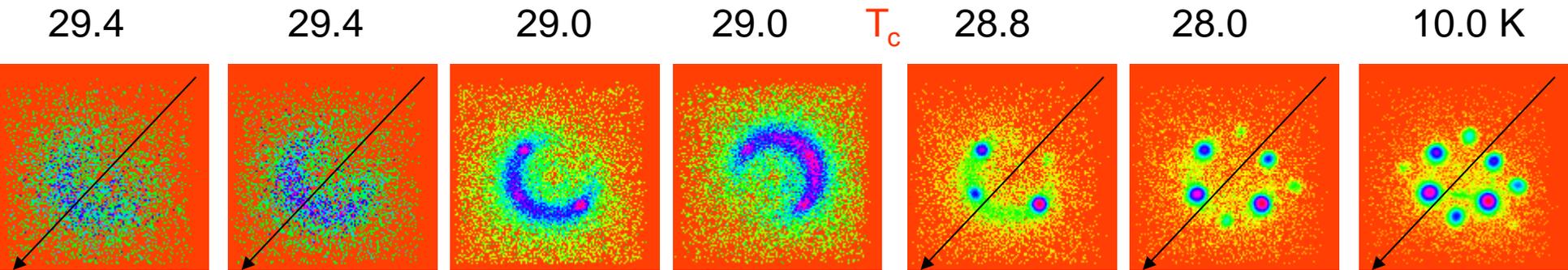
$T_m$  - мартенситный переход;

$T_i$  - предмартенситный переход

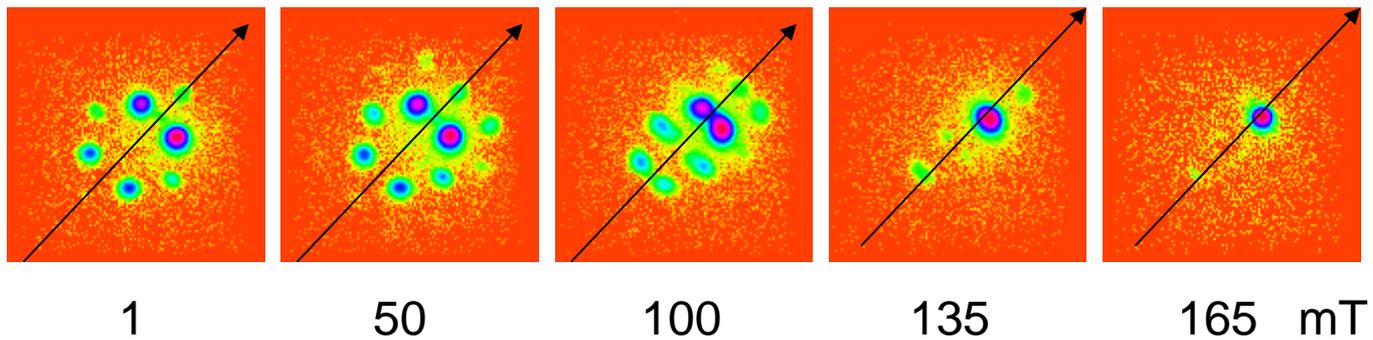
# Спиновая киральность

*С. Григорьев, А. Окорочков, С. Малеев и др.,*

Температурное поведение спиралей **MnSi**, градусы К



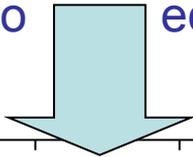
Движение вектора спиралей к направлению магнитного поля  $H$ , mT

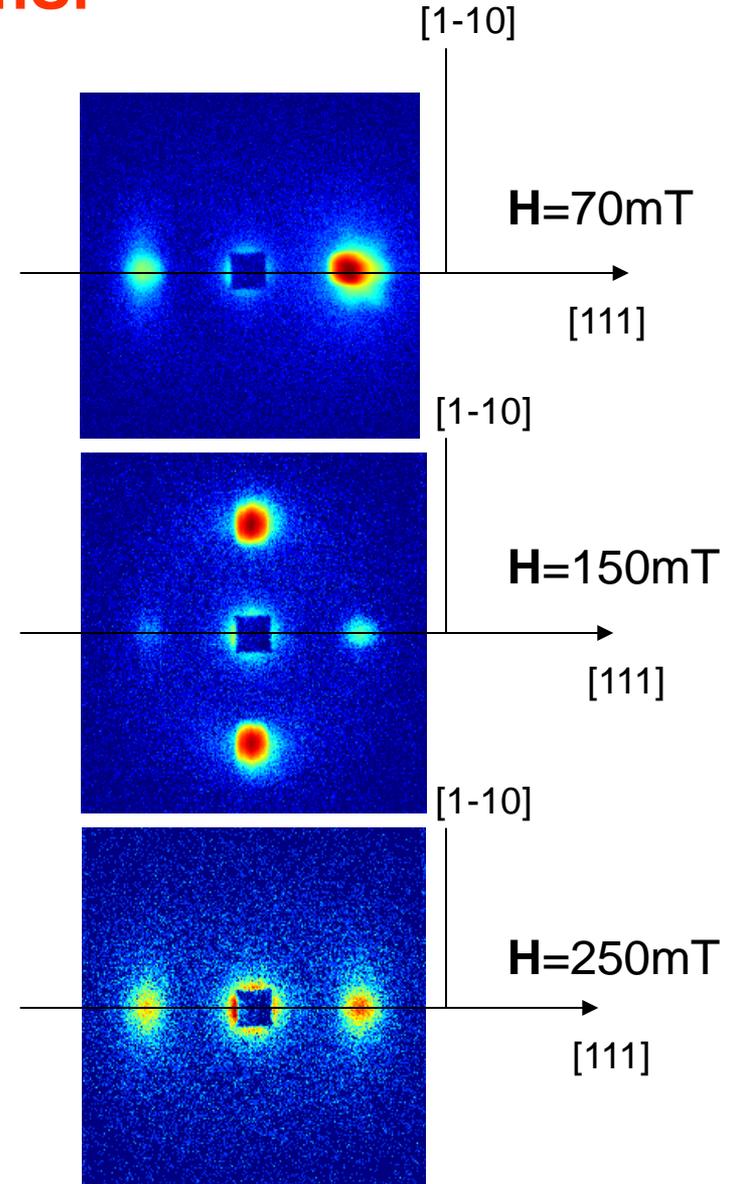
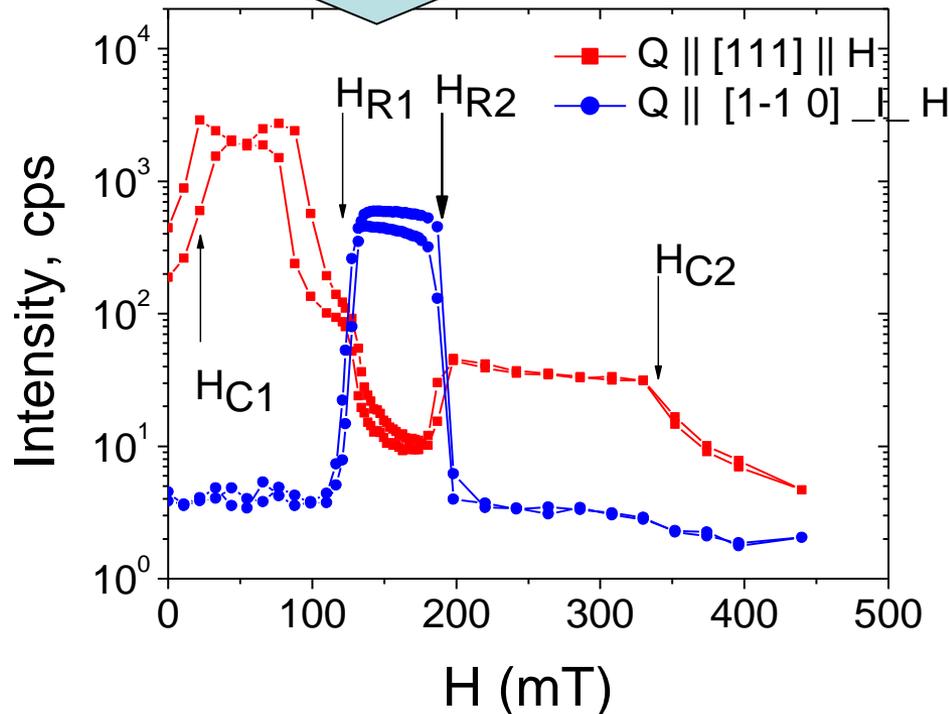


# 90° поворот спиновой спирали и щель в спектре спиновых волн в MnSi

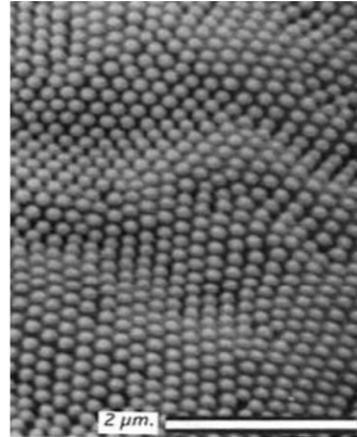
Наблюдаемый эффект связан с наличием **щели** в спектре спиновых волн

$$\Delta^2 \sim H_R^2/2 \cong (0.01)^2 \text{ meV}^2$$

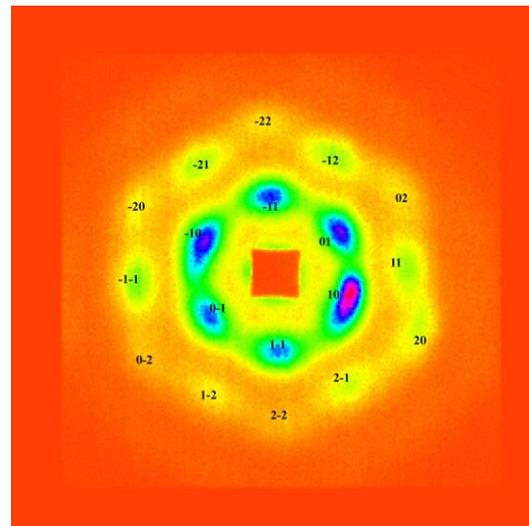
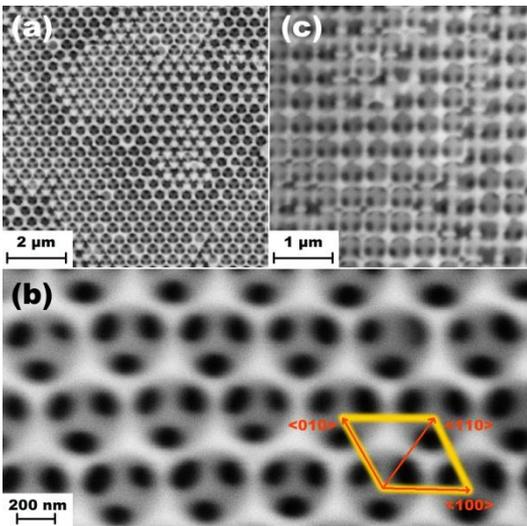
и это  есть доказательство её существования.



# Фотонные кристаллы и их аналоги для нано-электроники

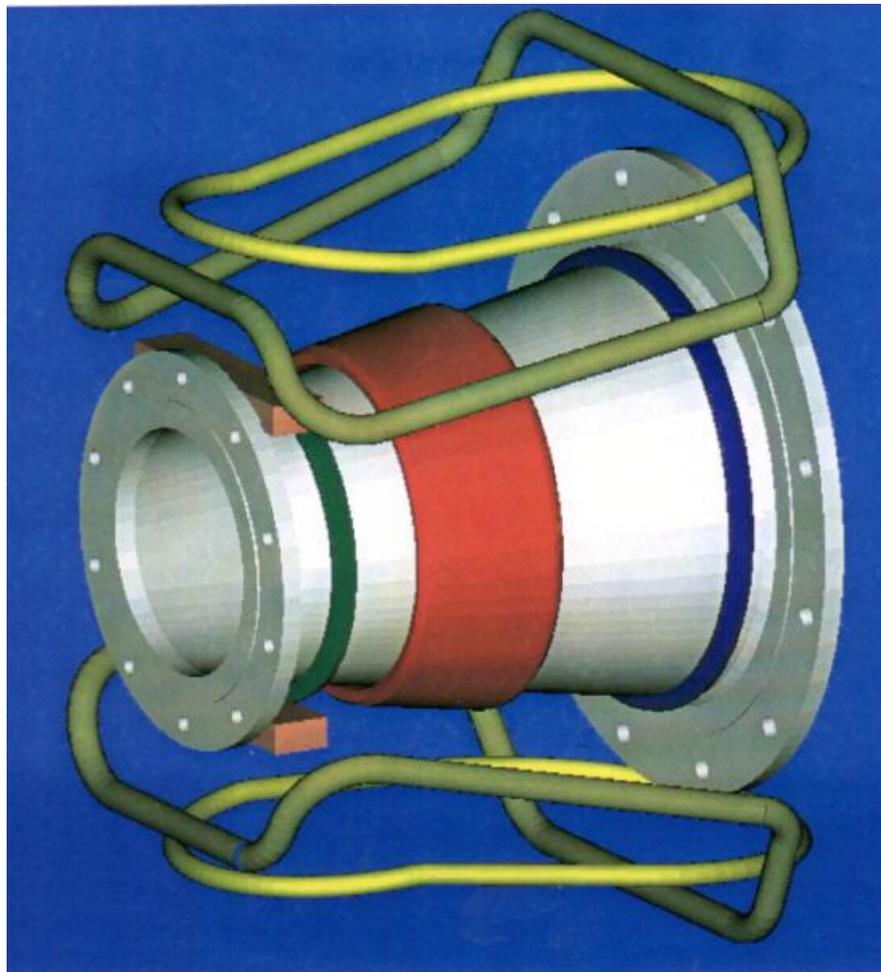


Иризация крыльев бабочки *Vanessa kershawi* и микрофотография поверхности крыла. (дифракция света)



Брегговская **нейтронная дифракция.**

Малоугловое рассеяние поляризованных нейтронов на мембране оксида алюминия со строго упорядоченной структурой пор (каналов) – **инвертированного 2-мерного фотонного кристалла**



### Adiabatic r/f flipper

Efficiency 99.99%

Permanent magnetic field  $H=20-30$  Oe

Frequency of r/f field  $f=70-80$  kHz

Amplitude of r/f field  $h=10-15$  Oe

No any matter on the beam way

# Молодые - новые (и кто-то из них выполнит первый эксперимент на ПИКе)



**Спасибо  
за внимание**