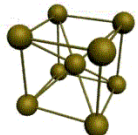


***Неожиданное исследование
взаимодействия
магнитной киральности с
механической деформацией***

**И.А. Зобкало
ПИЯФ НИЦ КИ, СПбГУ**



**IV Школа поляризованных нейтронов
Гатчина, 17-18 декабря 2015 г.**



Поиск P -нечетных эффектов в кристаллах со спиральной магнитной структурой

Ю.Б. Хрипович, О.П. Жижимов,

ИДЕЯ В кристаллах со спиральной магнитной структурой несохраняющее четность слабое взаимодействие между ионами должно приводить к различию энергий для правых и левых спиралей.

P -odd long-range action of ions magnetically ordered crystals

O. L. Zhizhimov and I. B. Khriplovich

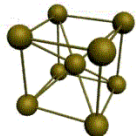
Nuclear Physics Institute, Siberian Division, USSR Academy of Sciences

(Submitted 22 July 1982)

Zh. Eksp. Teor. Fiz. **84**, 342–354 (January 1983)

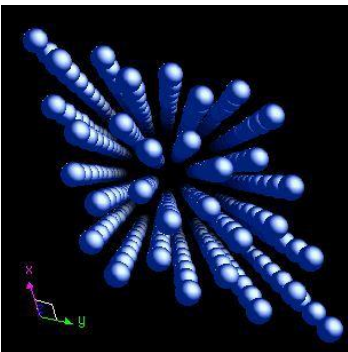
Account is taken of parity nonconservation; exchange interaction of ions with electrons leads, in crystals with magnetic structure, to spin-dependent long-range forces between the ions. The energy of the P -odd interaction reaches ~ 100 Hz for rare-earth crystals having a helicoidal spin structure. The possibility of observing parity nonconservation in these crystals, as well as in Bloch domain walls in ferromagnetic films, is discussed.

Основной вклад в энергию слабого взаимодействия дает обмен между электронами проводимости и ионами. Поэтому P -нечетные эффекты в металлах должны проявляться сильнее, чем в диэлектриках.



Поиск P -нечетных эффектов в кристаллическом гольмии

Но - ГПУ, SS $T_N = 133\text{K}$, FM $T_C = 20\text{K}$



Вектор плоскости спирали

$$\mathbf{m} = [\mathbf{m}_1 \times \mathbf{m}_2]$$

\mathbf{m}_1 и \mathbf{m}_2 - вектора в плоскости вращения магнитных моментов

\mathbf{q} - вектор рассеяния, $\mathbf{e} = \mathbf{q}/|\mathbf{q}|$,

\mathbf{P} - вектор поляризации нейтронов

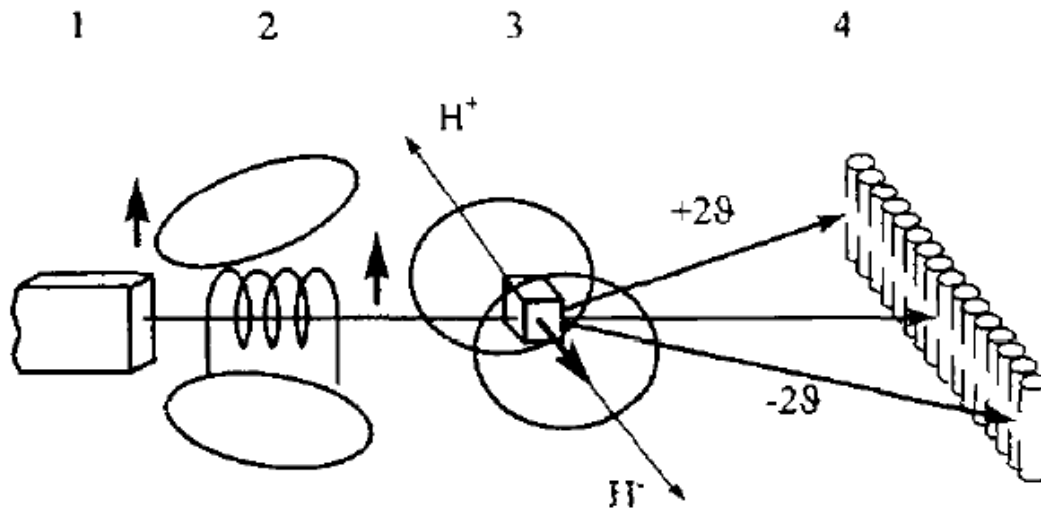
Интенсивность рассеяния в сателлит \mathbf{k}

$$I(\mathbf{k}) \sim F^2(\mathbf{q}) \frac{1}{4} [1 + (\mathbf{em})^2 \pm 2(\mathbf{em})(\mathbf{eP})(n_r - n_l)] \delta(\mathbf{q} - \boldsymbol{\tau} \pm \mathbf{k})$$

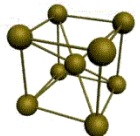
Ориентируя \mathbf{P} параллельно и антипараллельно \mathbf{q} :

$$p(\pm \mathbf{k}) = [I^+(\pm \mathbf{k}) - I^-(\pm \mathbf{k})] / [I^+(\pm \mathbf{k}) + I^-(\pm \mathbf{k})]$$

6-й пучок ВВР-М, ПИЯФ



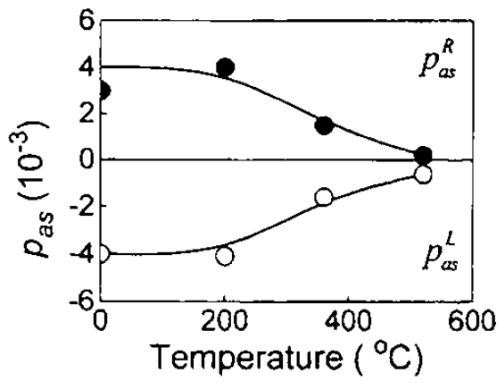
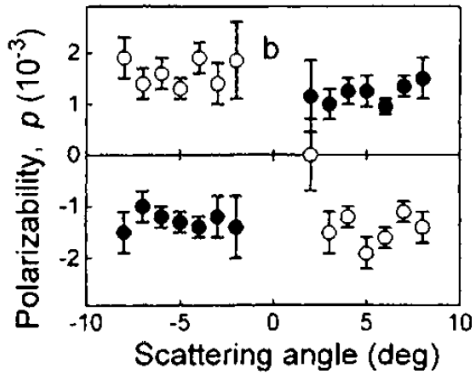
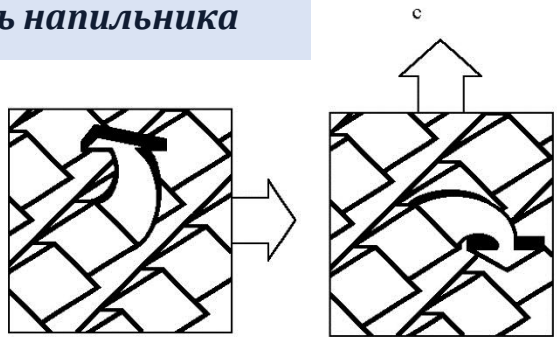
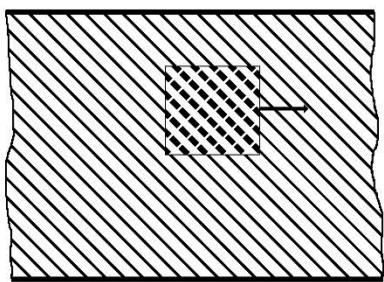
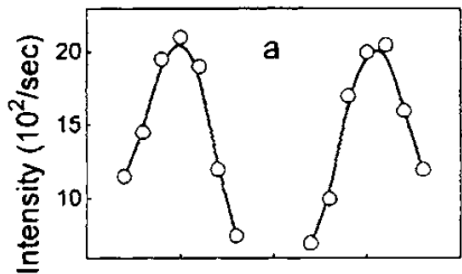
n_r - число «правых» спиралей,
 $n_l = 1 - n_r$ - число «левых» спиралей



Поиск P-нечетных эффектов в кристаллическом гольмии

Киральность напильника

Порошок (опилки, напильник)



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

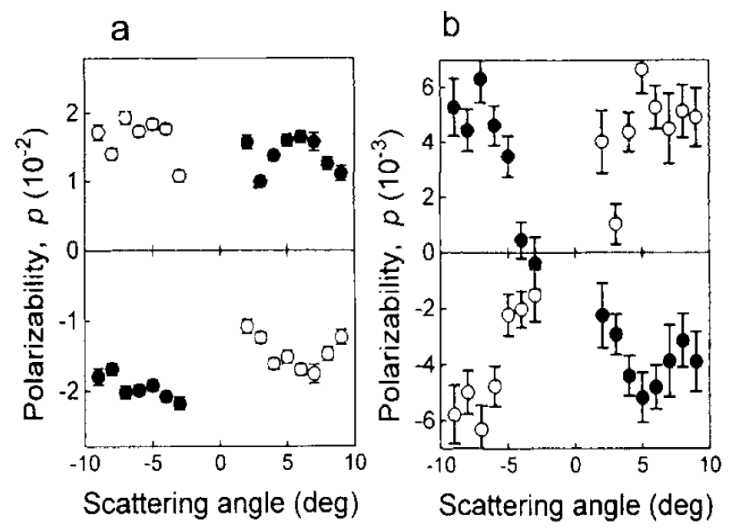
А. Г. Гукасов
 И. А. Зобкало
 В. И. Козлов
 В. П. Плахтий

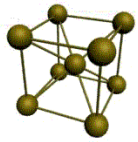
препринт № 896
 сентябрь 1983

ПОИСК P-НЕЧЕТНЫХ ЭФФЕКТОВ
 В КРИСТАЛЛАХ СО СПИРАЛЬНОЙ
 МАГНИТНОЙ СТРУКТУРОЙ

Ленинград

Текстурированный образец (сростки монокристаллов)





Магнитная киральность – новый класс универсальности

H. Kawamura

ИДЕЯ Магнетики со неколлинеарной магнитной структурой принадлежат к новому классу универсальности переходов второго рода.

H. Kawamura, J. Phys. Soc. Japan **61**, 1299, 1991.

$$\mathbf{C} = \mathbf{S}_{R1} \times \mathbf{S}_{R2} = \mathbf{m}_1 \times \mathbf{m}_2 \sin(\mathbf{k} \cdot \mathbf{R}_{21})$$

Киральность модифицирует критическое поведение системы

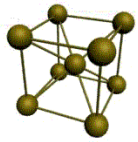
→ критические индексы $\alpha, \beta, \gamma, \nu$

Киральный класс универсальности → **новые индексы** - β_c, γ_c , характеризуют **среднюю** киральность $\langle \mathbf{C} \rangle$



Критические индексы можно определить путем измерения **средних** значений киральности

$$\langle \mathbf{C} \rangle \sim (n_r - n_l)$$



Взаимодействие магнитной киральности с механическим кручением

С.В. Малеев

ИДЕЯ Киральное поле взаимодействует с деформациями кристаллической решетки.

В общем виде
$$W = \sum g(\mathbf{R}_{12}) [\mathbf{S}_{R1} \times \mathbf{S}_{R2}] (\text{rot } \mathbf{u}_{R1} - \text{rot } \mathbf{u}_{R2})$$

\mathbf{u}_R - смещение атома у точки \mathbf{R} от его положения равновесия

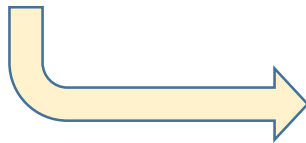
$g(\mathbf{R}_{12})$ – энергия взаимодействия

Для упругого кручения

$$u_x = -\tau yz \quad u_y = \tau xz \quad u_z = \tau \psi(x,y)$$

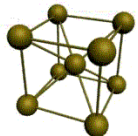
$\tau = d\varphi/dz$ - угол кручения

$\psi(x,y)$ - функция кручения



$$W = -2[\mathbf{m}_1 \times \mathbf{m}_2]_z \tau N_m \sum z g(\mathbf{R}) \sin(\mathbf{kR})$$

N_m – число магнитных атомов



Взаимодействие магнитной киральности с фононами

Выражение $W = \sum g(\mathbf{R}_{12}) [\mathbf{S}_{R_1} \times \mathbf{S}_{R_2}] (\text{rot } \mathbf{u}_{R_1} - \text{rot } \mathbf{u}_{R_2})$

можно использовать для описания взаимодействия кирального поля с фононами

В этом случае смещения \mathbf{u}_R могут быть представлены через суммы операторов рождения b_q^+ и уничтожения b_q

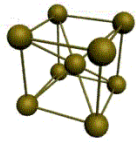
$$W = 2g(0) \sum_{\mathbf{q}} \frac{\mathbf{e}_{\mathbf{q}} \times \mathbf{q}}{(2MN\omega_{\mathbf{q}})^{1/2}} [b_{\mathbf{q}} \mathbf{C}_{\mathbf{q}}(\mathbf{q}) + b_{\mathbf{q}}^+ \mathbf{C}_{\mathbf{q}}(-\mathbf{q})]$$

оператор кирального поля

$$\mathbf{C}_{\mathbf{q}}(\mathbf{q}) = \sum_{\mathbf{R}_1 \mathbf{R}_2} \frac{g(\mathbf{R}_{21})}{g(0)} \exp \left[\frac{i\mathbf{q}(\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_2)}{2} \right] \cdot [\mathbf{S}_{R_1} \times \mathbf{S}_{R_2}] \sin \left(\frac{1}{2} \mathbf{q} \cdot \mathbf{R}_{21} \right)$$

Взаимодействие киральности с фононами может приводить

- к слабой несоразмерности
- к небольшим искажениям решетки с нарушением инверсии



Взаимодействие магнитной киральности с механическим кручением

Продemonстрировано взаимодействие магнитной киральности с механическим кручением. Такое взаимодействие дает возможность изменять заселенность доменов с «правыми» или «левыми» спиралями.

Эта свойство может быть использовано для прямого измерения киральных критических индексов β_c , для изучения поведения средней киральности $\langle C \rangle$.

Особенно важна такая возможность для металлов.



ELSEVIER

Physica B 267–268 (1999) 259–262

PHYSICA B

Polarized neutron scattering study of the spin chirality

V.P. Plakhty^{a,*}, S.V. Maleyev^a, J. Wosnitzer^b, B.K. Kremer^c, D. Visser^d, J. Kulda^e,
O.P. Smirnov^a, A.G. Goukassov^{a,1}, I.A. Zobkalo^a, E. Moskvina^a

^aPetersburg Nuclear Physics Institute, RAS, Gatchina, St. Petersburg, 188350 Russia

^bPhysikalisches Institut, Universität Karlsruhe, 76128 Karlsruhe, Germany

^cMax-Planck-Institut Stuttgart, 70506 Stuttgart, Germany

^dDepartment of Physics, University of Warwick, Coventry CV4 7AL, UK

^eInstitut Laue-Langevin, BP 156, 38042 Grenoble Cédex 9, France

Abstract

To study the average value of the chirality in helically polarized antiferromagnets below T_N , the interaction of the chirality with elastic torsion has been exploited for a preferable population of one kind of chiral domains in Ho. For the investigation of chiral fluctuations above T_N a dynamical chirality (DC) which is the projection of the chiral field on the induced sample magnetization has been studied with polarized neutrons. For the first time the completely inelastic spin-dependent cross-section has been observed in CsMnBr₃ and shown to be an odd function of the energy transfer as theoretically predicted. Spin-dependent chiral scattering has also been found for the spin waves in the magnetically ordered region of CsMnBr₃. © 1999 Published by Elsevier Science B.V. All rights reserved.

20 January 1997

PHYSICS LETTERS A

Physics Letters A 224 (1997) 372–378

Interaction between the spin chirality and the elastic torsion

V.I. Fedorov, A.G. Gukasov¹, V. Kozlov², S.V. Maleyev, V.P. Plakhty^{*},
I.A. Zobkalo

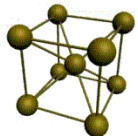
Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, St. Petersburg 188350, Russian Federation

Received 3 September 1996; accepted for publication 21 October 1996

Communicated by J. Flouquet

Abstract

Population asymmetry of the left–right helices in the strain-free holmium is shown by polarised neutrons to be less than 10^{-5} . The interaction between the spin chirality and the elastic torsion is demonstrated, which provides a possibility to control the chirality sense. A phenomenological form of this interaction is proposed and some consequences are discussed.



Взаимодействие магнитной киральности с механическим кручением

RAPID COMMUNICATIONS

PHYSICAL REVIEW B, VOLUME 64, 100402(R)

Chiral criticality in helimagnet Ho studied by polarized neutron scattering

V. P. Plakhty,^{1,2} W. Schweika,² Th. Brückel,² J. Kulda,³ S. V. Gavrilov,¹ L.-P. Regnault,⁴ and D. Visser⁵

IN22 ILL

Монокристалл Ho

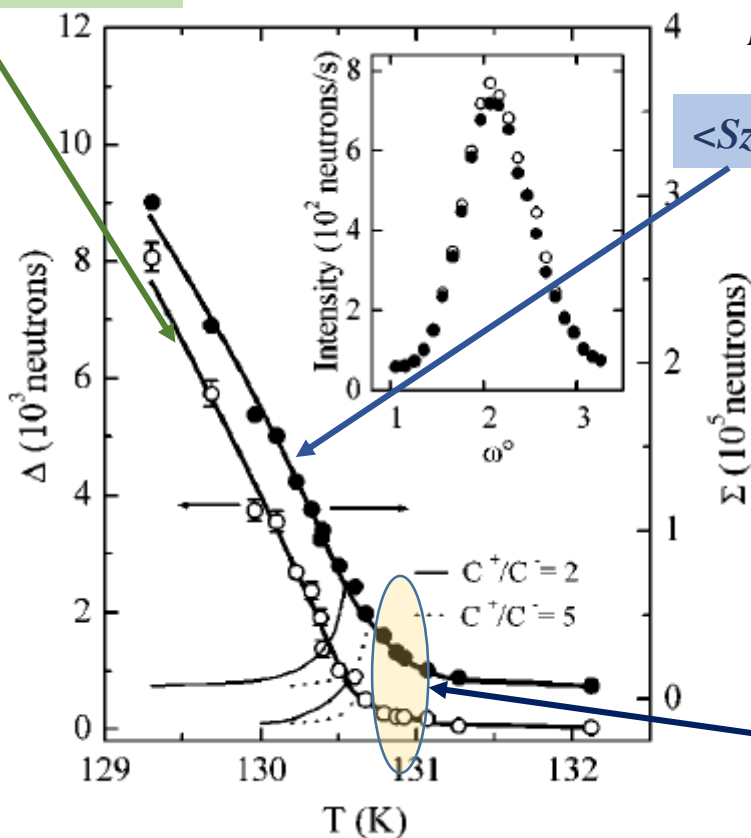
Ø 3 мм x 3.5 мм вдоль c

Скручивание на 2%



Разница в заселенности «правых» и «левых» ~3%

$$\langle C \rangle \sim |\tau|^{\beta_c}$$



$$I(\mathbf{k}) \sim F^2(\mathbf{q}) \frac{1}{4} [1 + (em)^2 \pm 2(em)(eP)(n_r - n_l)] \delta(\mathbf{q} - \boldsymbol{\tau} \pm \mathbf{k})$$

$$\langle S_z \rangle \sim |\tau|^\beta$$

Получены значения критических экспонент

$$\beta_c = 0.901$$

$$\beta = 0.382$$

$$\beta_c - 2\beta = 0.136$$

Киральность – независимая компонента параметра порядка!

Температуры кирального перехода и магнитного упорядочения совпадают

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!