

Магнитооптические материалы.

- Магнитооптическая добротность
 - Удельный эффект Фарадея
 - Коэффициент поглощения
- Пленки ферритов-гранатов.
 - ✓ Выращивание
 - ✓ Магнитооптические свойства
 - ✓ Эффект Фарадея в двухподрешеточном ферримагнетике

Магнитооптические материалы.

- Ортоферриты
 - Получение, магнитооптические свойства
- Борат железа
 - Получение, магнитооптические свойства

Ортоферриты $RFeO_3$.

- Слабые ферромагнетики – антиферромагнетики с небольшим спонтанным ферромагнитным моментом, возникающим из-за наклона магнитных подрешеток.
- Теорию слабых ферромагнетиков построил в 1957 г. Дзялошинский, основываясь на термодинамической теории фазовых переходов второго рода Ландау-Лифшица.
- Микроскопическая теория слабого ферромагнетизма была построена Мория. Он показал, что из-за анизотропного косвенного обмена возникает вклад в энергию $\sim [M_1 M_2]$.
- Слабый ферромагнетизм невозможен в структурах, где магнитная элементарная ячейка не совпадает с кристаллографической.
- Поведение слабых ферромагнетиков во внешнем магнитном поле аналогично поведению обычных антиферромагнетиков. Нужно лишь учесть влияние эффективного внутреннего поля Дзялошинского, приводящего к неколлинеарности подрешеток.



**Дзялошинский Игорь
Ехиельевич 1931 г.р.**

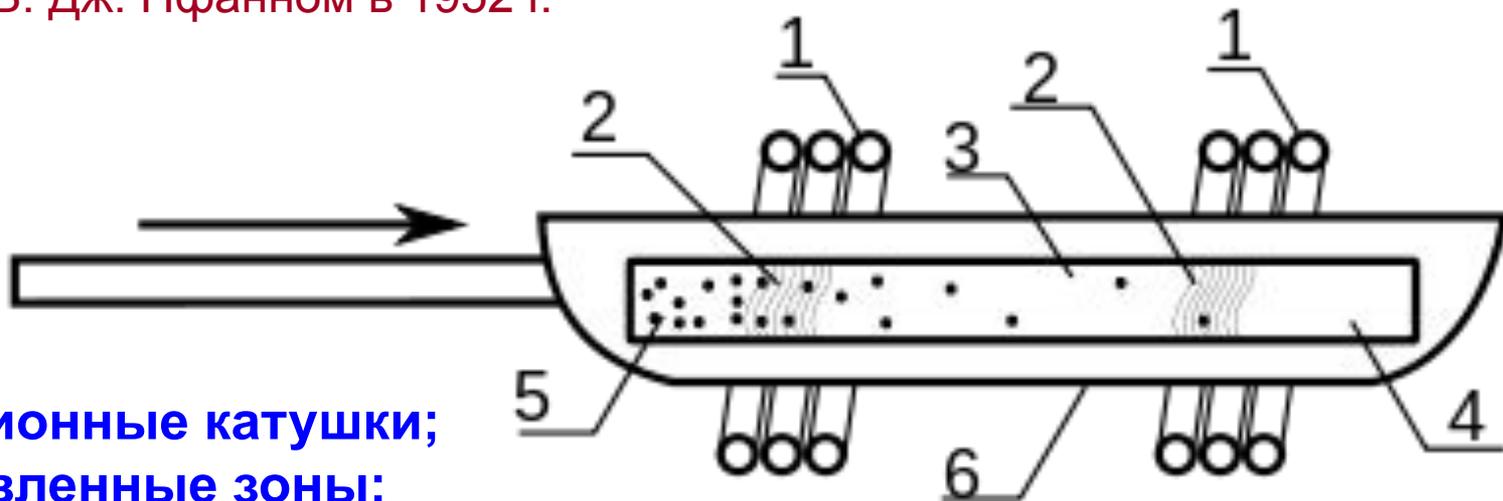
Окончил МГУ (1953).
Член-корреспондент АН
СССР с 1974 года.

- ✓ Ученик Л.Д.Ландау и его сотрудник на протяжении более 20 лет, один из основателей и многолетний сотрудник Института теоретической физики АН СССР.
- ✓ С начала 90-х проживает в США и работает в Калифорнийском Университете (профессор, почетный профессор)
- ✓ Соавтор научного открытия «Магнитоэлектрический эффект», которое занесено в Государственный реестр открытий СССР под № 123 с приоритетом от 1957 г. в следующей формулировке:
«Установлено неизвестное ранее явление намагничивания ряда веществ в антиферромагнитном состоянии электрическим полем и их электрической поляризации магнитным полем, обусловленное специфической симметрией расположения магнитных моментов в кристаллической решетке вещества».

Получение ортоферритов

Монокристаллы ортоферритов можно получать разными методами, например из раствора-расплава. Такие кристаллы имеют много дефектов. Наиболее высококачественные монокристаллы ортоферритов выращивают методом зонной плавки с радиационным нагревом.

Зонная плавка — метод очистки твердых веществ, основанный на различной растворимости примесей в твердой и жидкой фазах. Метод был предложен В. Дж. Пфанном в 1952 г.



1 — индукционные катушки;

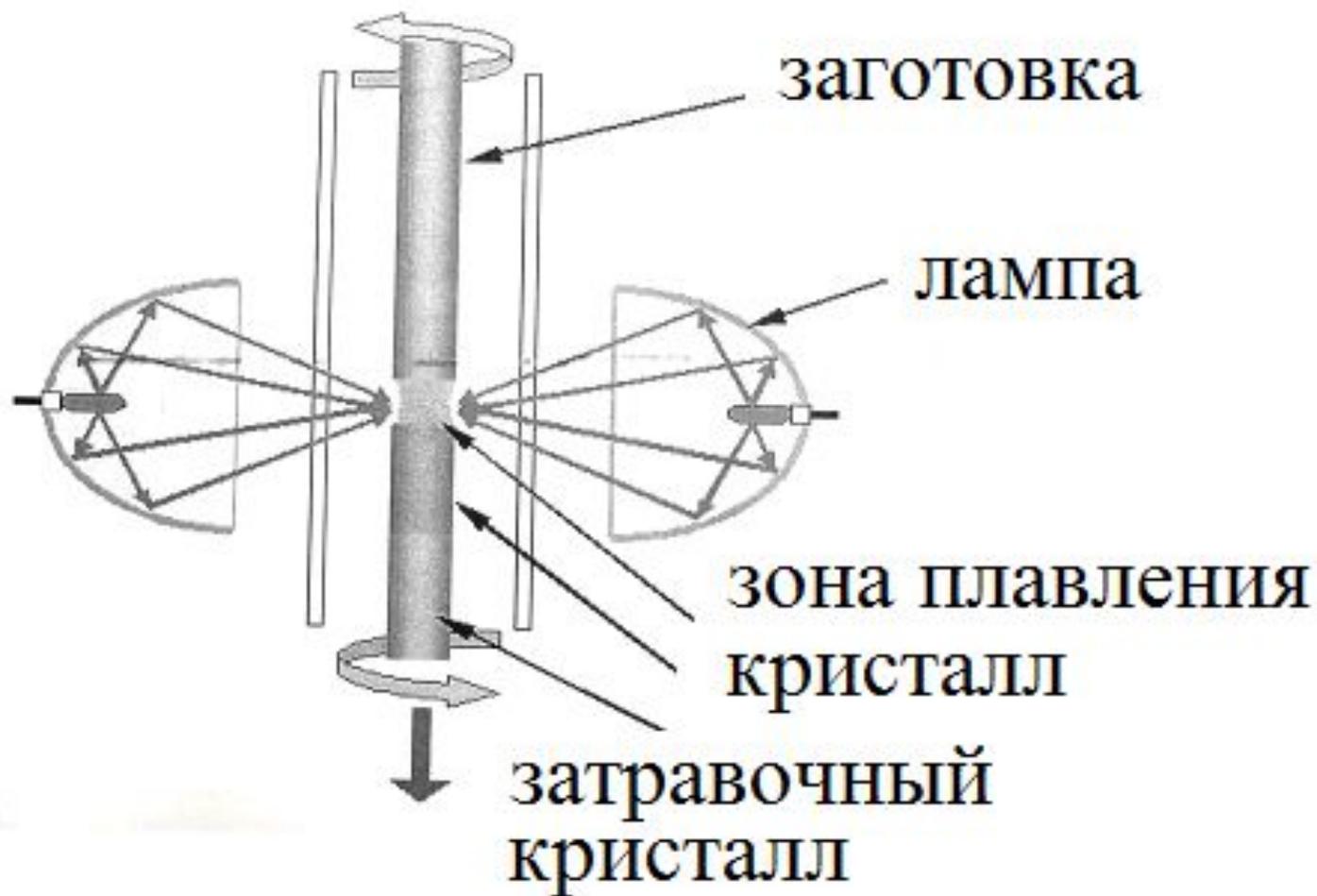
2 — расплавленные зоны;

3 — очищенный кристалл; 4 — сверхчистый кристалл;

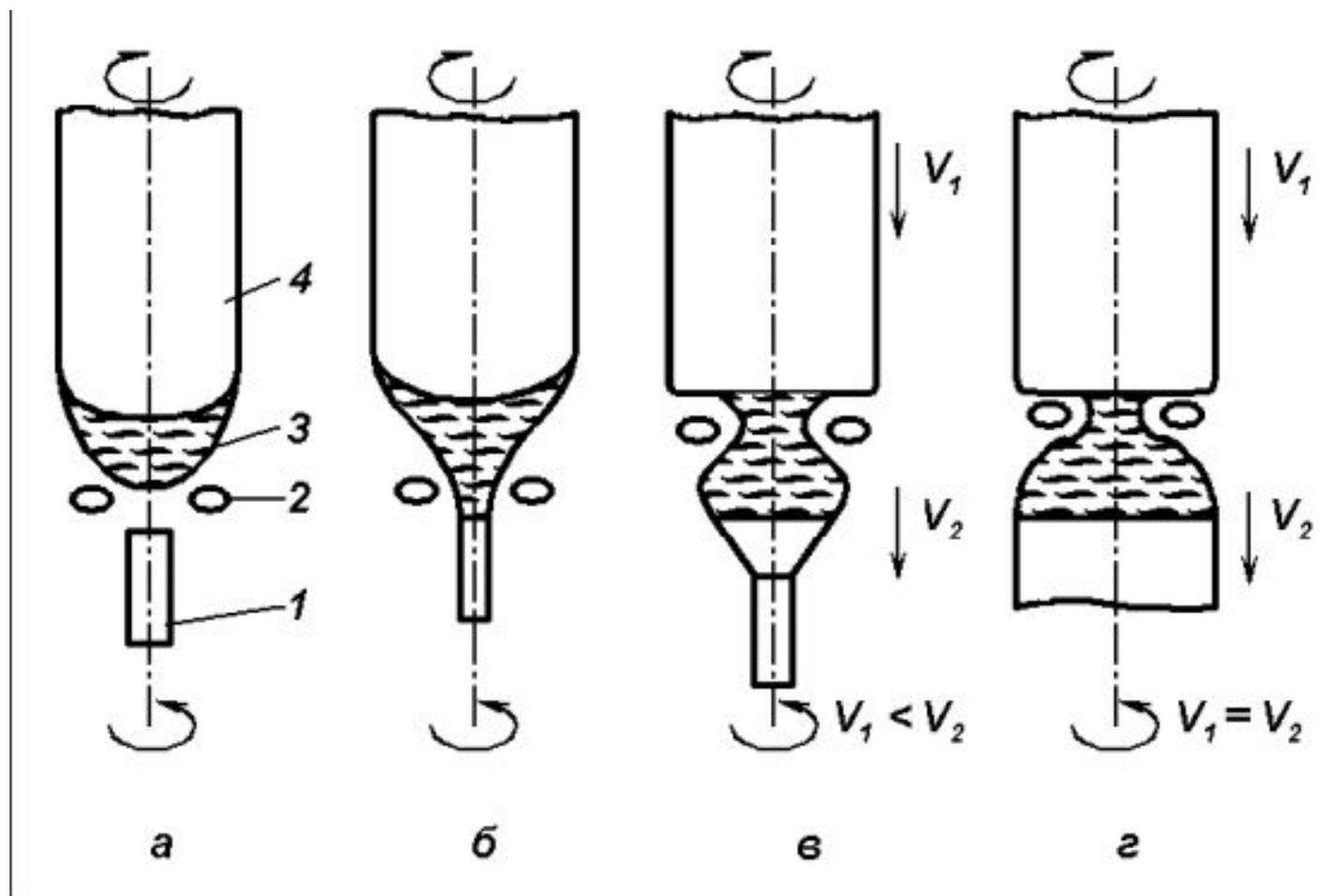
5 — кристалл с повышенным содержанием примесей;

6 — графитовая лодочка;

Схема установки бестигельной вертикальной зонной плавки



Этапы процесса выращивания кристалла методом бестигельной зонной плавки



Основные свойства ортоферритов

- Оси x , y и z совпадают с осями a , b и c кристалла.
- При высоких температурах во всех ортоферритах векторы l и m ориентированы вдоль осей a и c соответственно.
- При комнатной температуре во всех ортоферритах, кроме самариевого, упорядочение $G_x F_z$.
- Только в ортоферрите диспрозия при температуре ниже 40 К наблюдается упорядочение G_y .
- Угол отклонения магнитных подрешеток от «антиферромагнитной» ориентации составляет для всех ортоферритов примерно $0,5^\circ$.
- Температуры Нееля заключены в интервале $670 \pm 50^\circ \text{ К}$.

Элементарная ячейка ортоферрита YFeO_3 .

Элементарная ячейка содержит четыре иона Fe^{3+}

$$\vec{I}_1; \vec{I}_2; \vec{I}_3; \vec{I}_4$$

Намагниченности
железных подрешеток

Антиферромагнитный
вектор

$$\vec{G} = \frac{\vec{I}_1 - \vec{I}_2 + \vec{I}_3 - \vec{I}_4}{4}$$

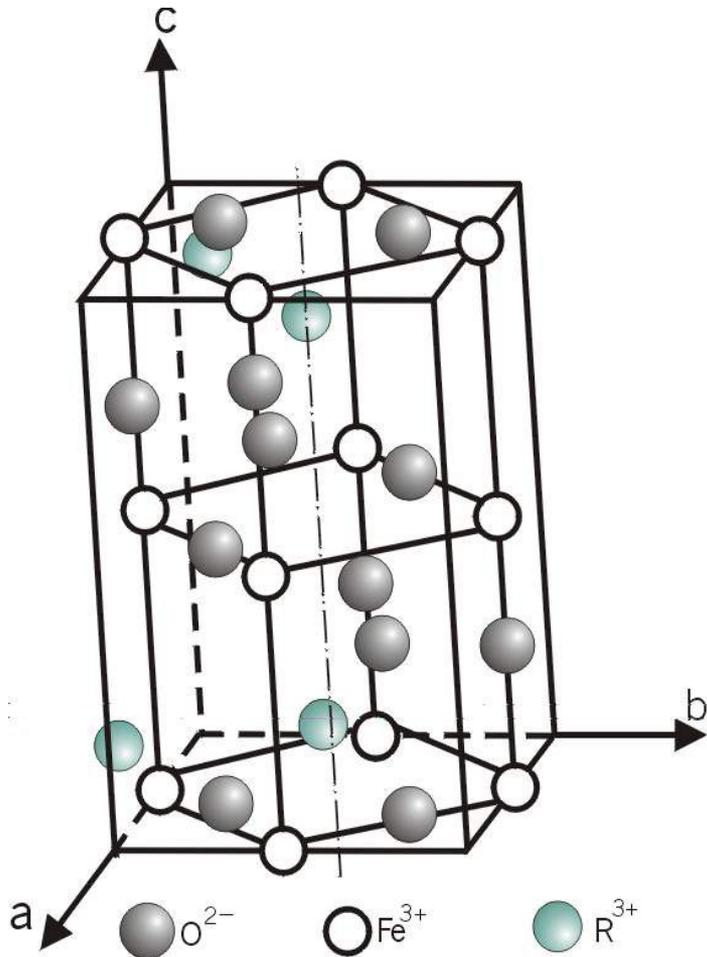
Вектор слабого
ферромагнетизма

$$\vec{F} = \frac{\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_4}{4}$$

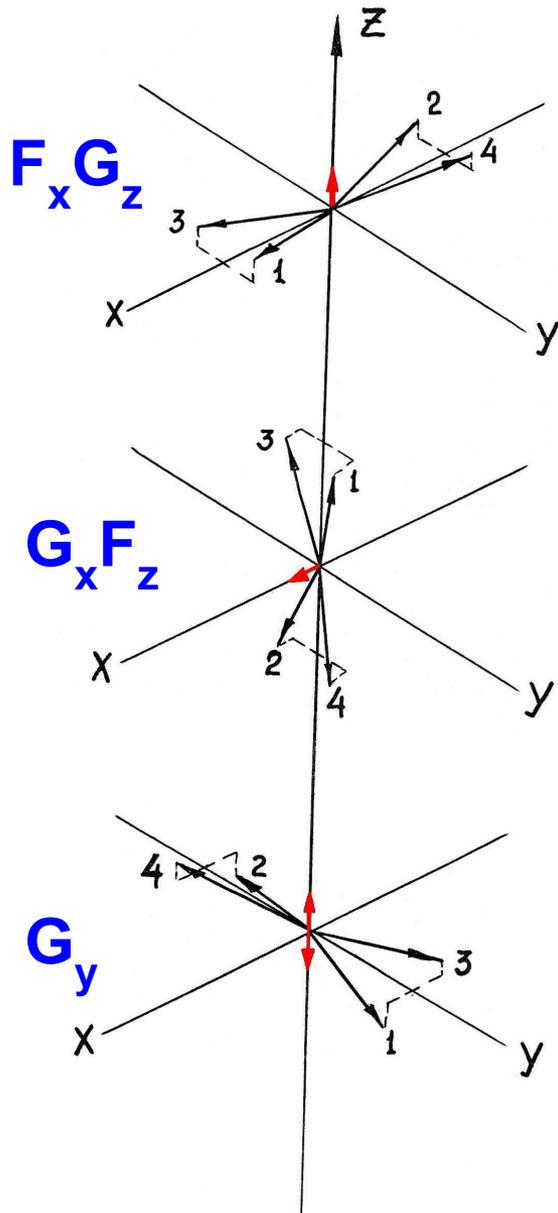
Намагниченности
подрешеток

$$\vec{M}_1 = \vec{I}_1 + \vec{I}_3 \quad \vec{M}_2 = \vec{I}_2 + \vec{I}_4$$

$$|\vec{M}_1| = |\vec{M}_2| = M_o$$



Спиновые конфигурации ортоферрита YFeO_3 .



Нормированные вектора намагниченности и слабого ферромагнетизма

$$\vec{m} = \frac{\vec{M}_1 + \vec{M}_2}{2 \cdot M_o} \quad \vec{l} = \frac{\vec{M}_1 - \vec{M}_2}{2 \cdot M_o}$$

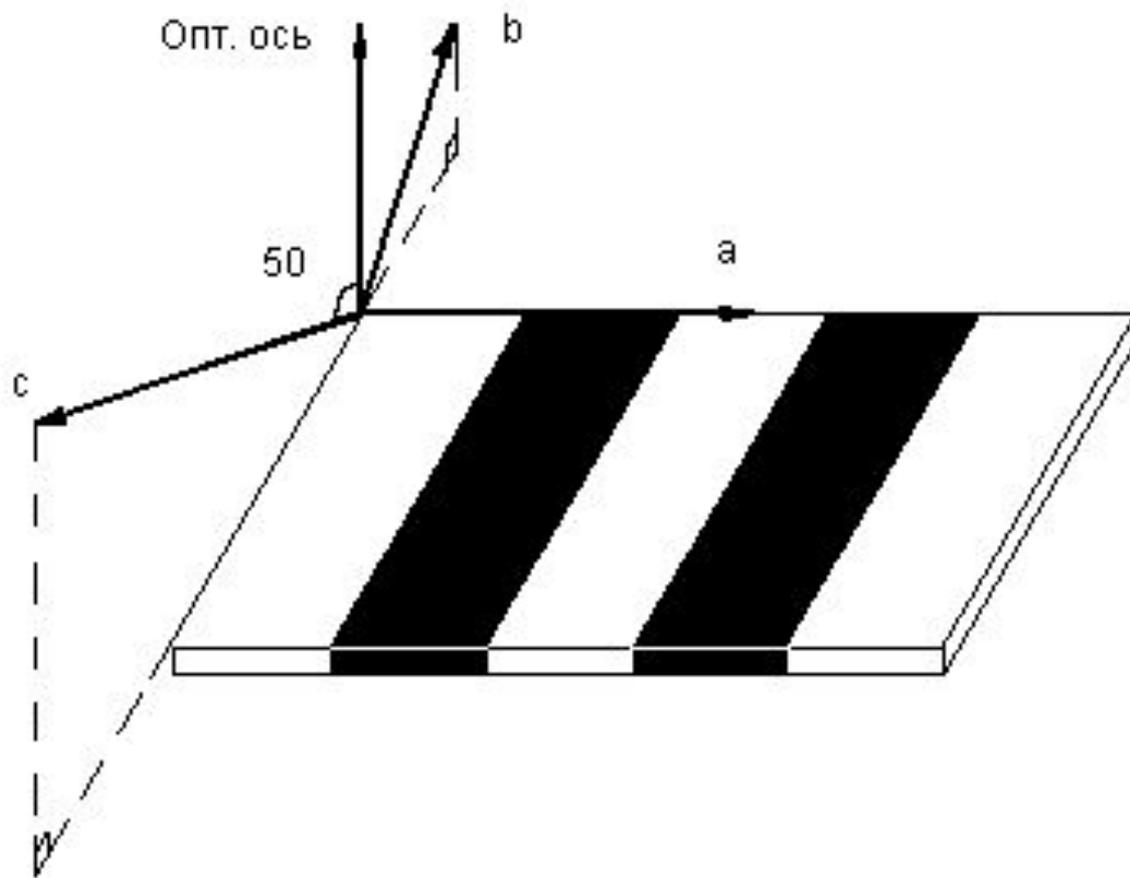
$$(\vec{m} \cdot \vec{l}) = 0 \quad \vec{m}^2 + \vec{l}^2 = 1$$

У ортоферритов существуют упорядочения: $\mathbf{G}_x \mathbf{F}_z$ (ось легкого намагничивания - а), $\mathbf{F}_x \mathbf{G}_z$ (ось легкого намагничивания - с), \mathbf{G}_y (чисто антиферромагнитная фаза).

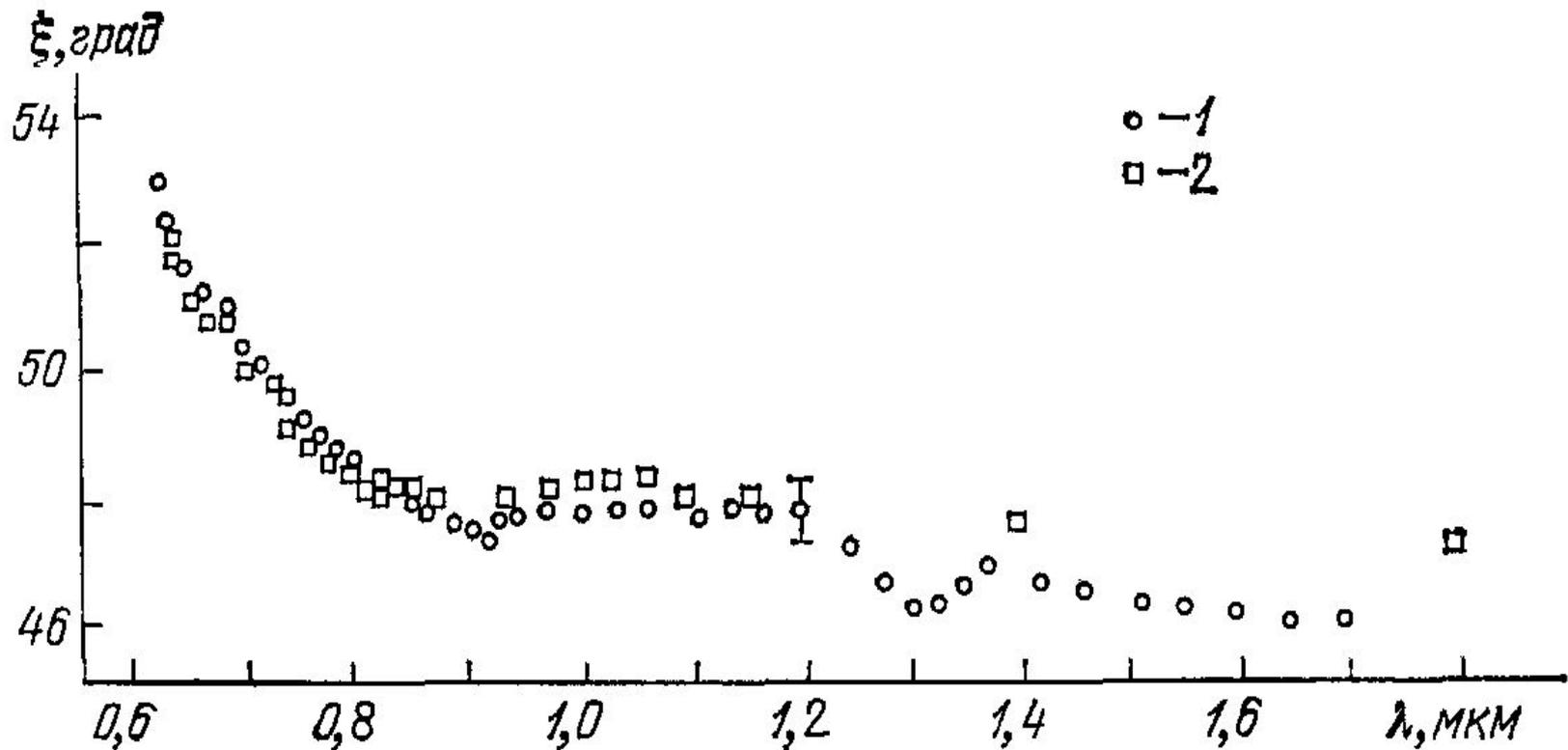
Основные свойства ортоферритов

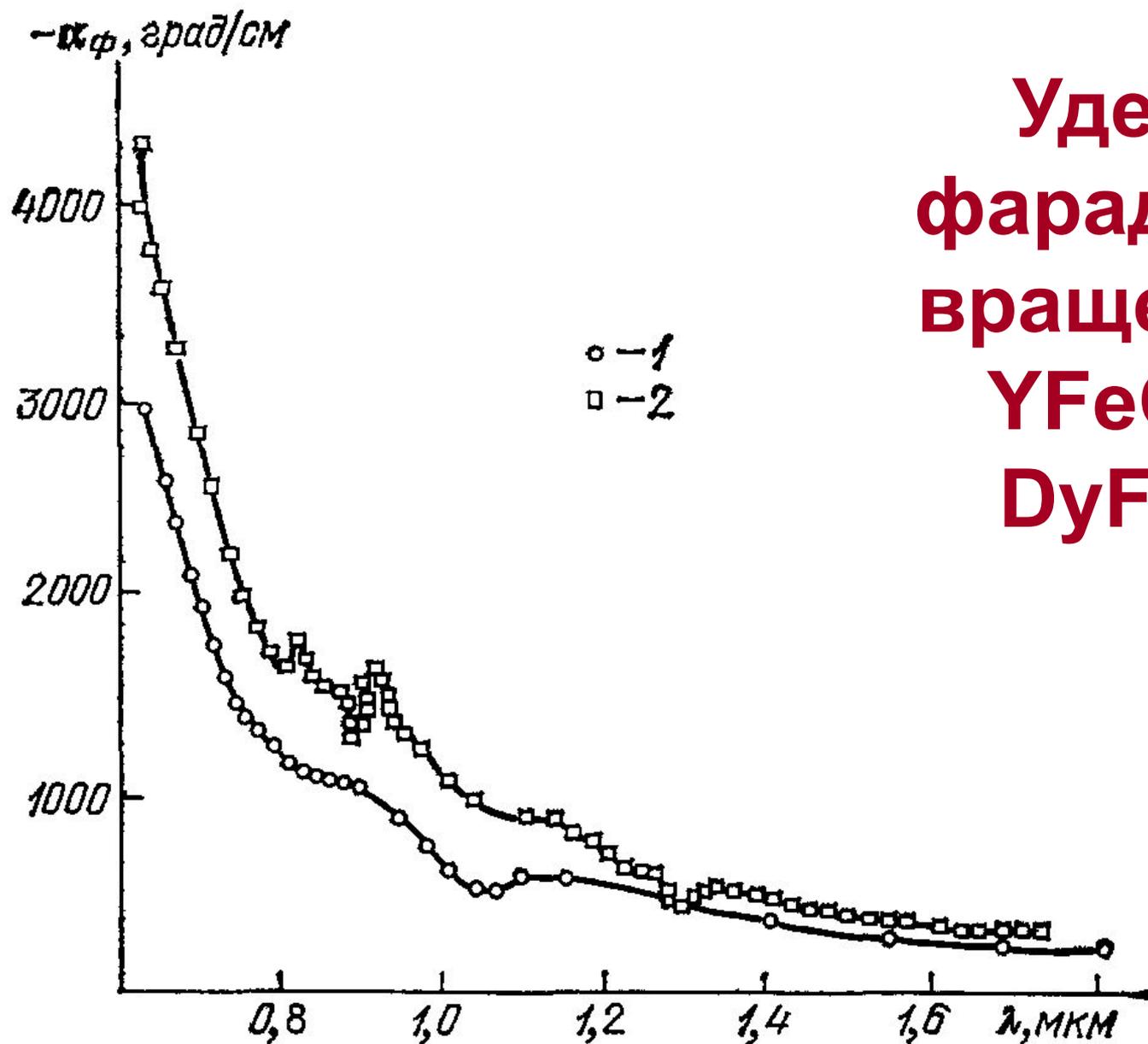
- Оси x , y и z совпадают с осями a , b и c кристалла.
- При высоких температурах во всех ортоферритах векторы l и m ориентированы вдоль осей a и c соответственно.
- При комнатной температуре во всех ортоферритах, кроме самариевого, упорядочение $G_x F_z$.
- Только в ортоферрите диспрозия при температуре ниже 40 К наблюдается упорядочение G_y .
- Угол отклонения магнитных подрешеток от «антиферромагнитной» ориентации составляет для всех ортоферритов примерно $0,5^\circ$.
- Температуры Нееля заключены в интервале $670 \pm 50^\circ \text{ К}$.

Страйп-структура в пластинке ортоферрита, вырезанной перпендикулярно оптической оси

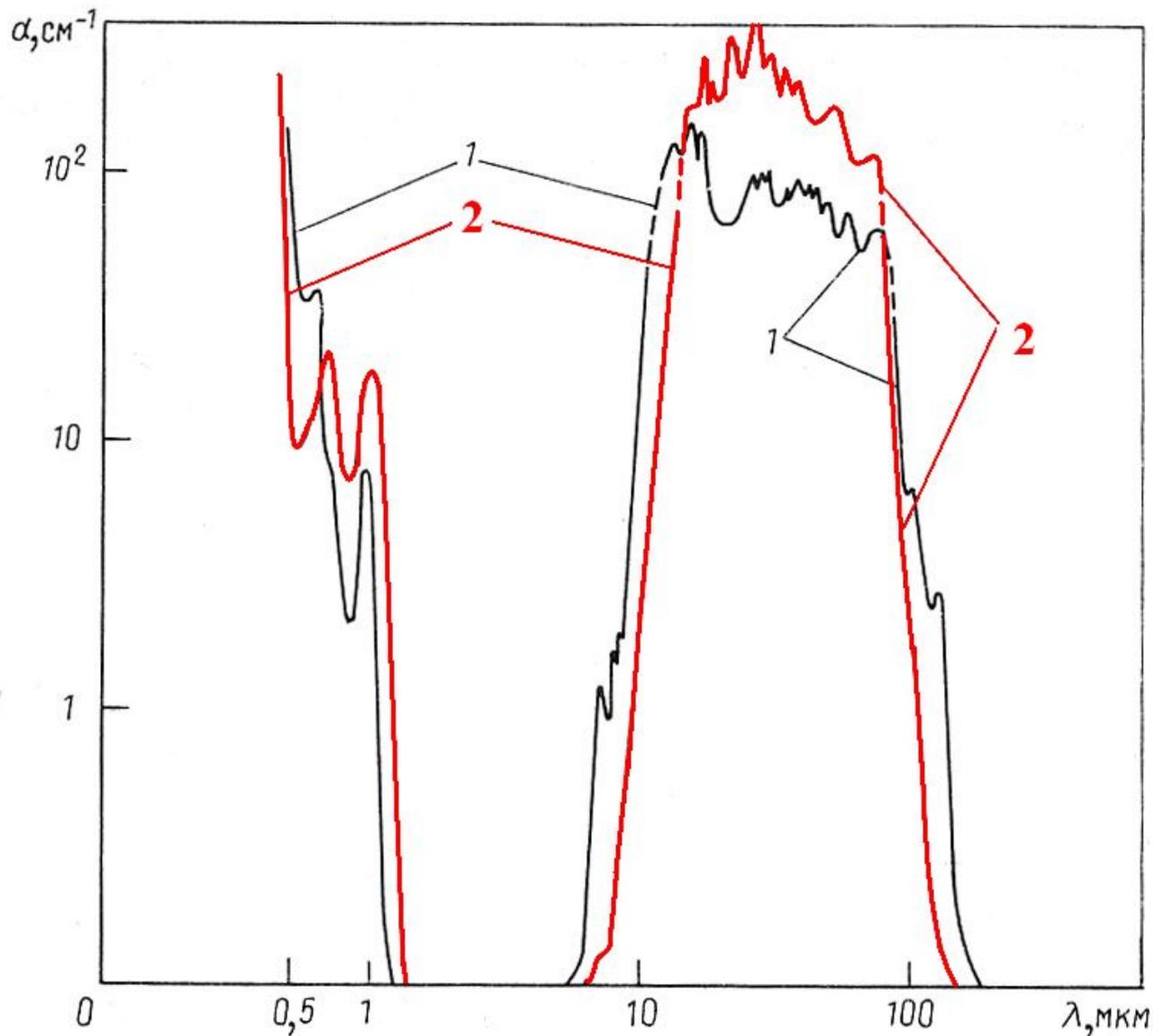


Угол между оптической осью и осью c в плоскости (ab) для $YFeO_3$ (1) и $DyFeO_3$ (2).





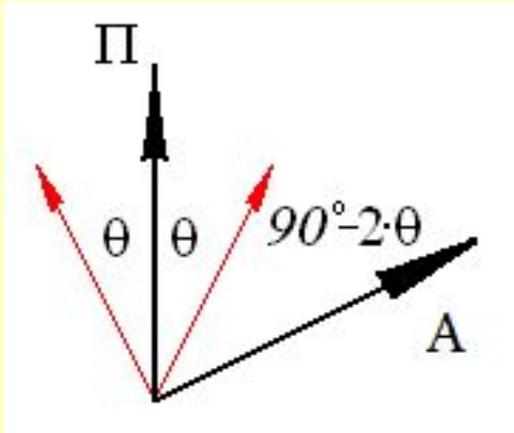
**Удельное
фарадеевское
вращение для
 YFeO_3 (1) и
 DyFeO_3 (2).**



**Спектры
поглощения
феррита-
граната (1) и
ортоферрита
(2)**

Рандошкин В.В.
Червоненкис А.Я.
Прикладная
магнитооптика.
Москва.
Энергоатом издат.
1990

Магнитооптическая добротность



I – интенсивность света, прошедшего через пластинку толщиной z ,
 I_0 – интенсивность падающего света,
 α – коэффициент поглощения,
 φ – угол падения.

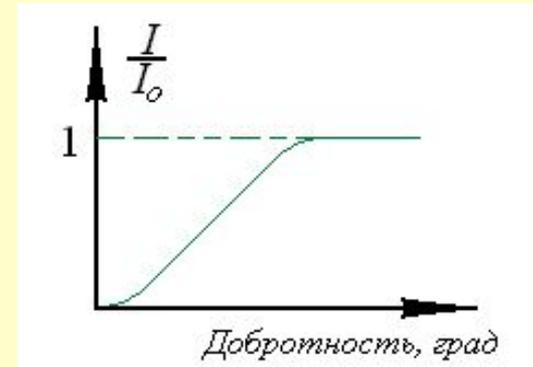
$$I = I_0 e^{-\alpha z} \cos^2 \varphi$$

$$I = I_0 e^{-\alpha \cdot z} \cos^2 \varphi = I_0 e^{-\alpha \cdot z} \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - 2\theta \right) = I_0 e^{-\alpha \cdot z} \sin^2 (2\theta_F z)$$

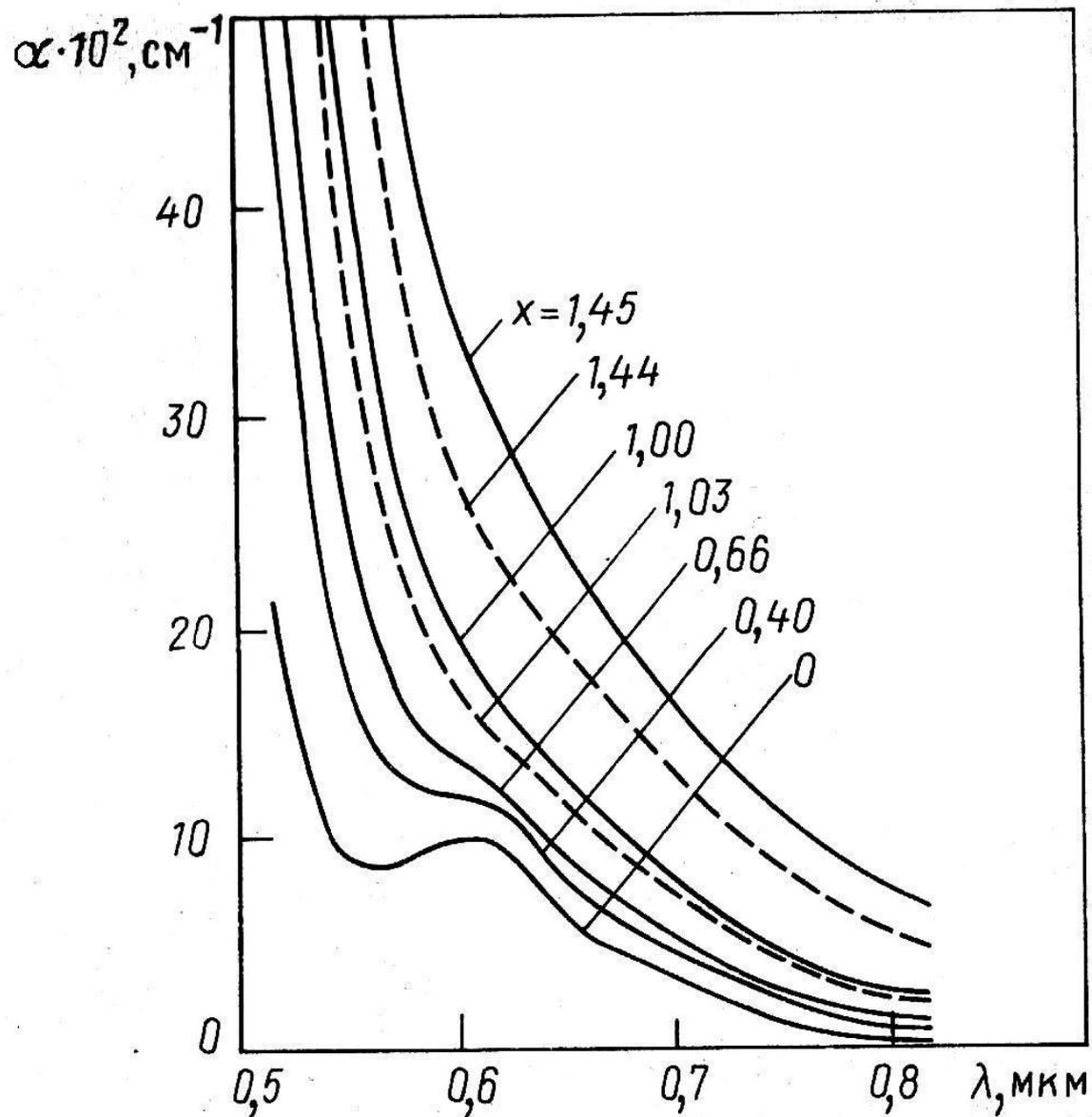
θ_F – удельное фарадеевское вращения.

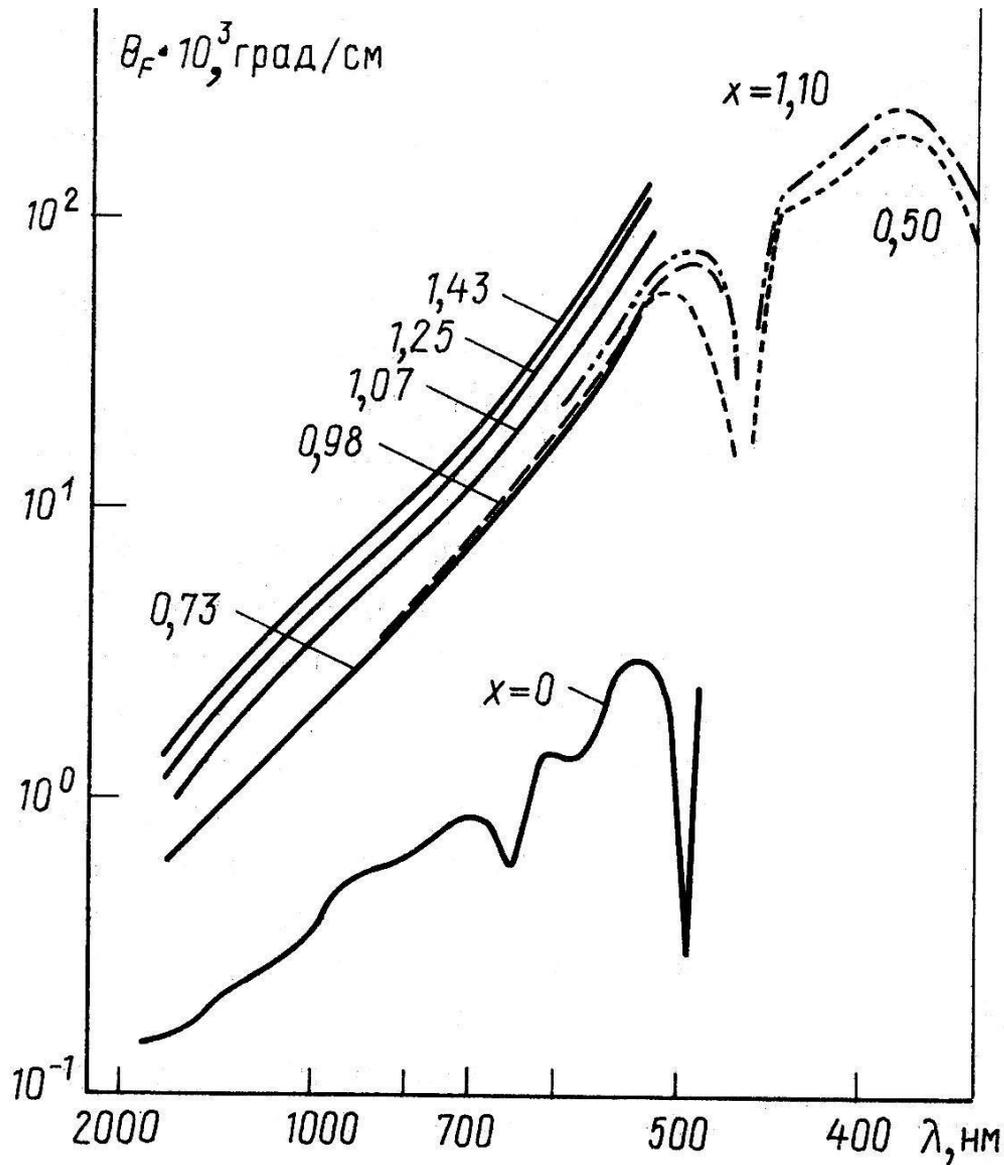
$$\frac{2 \cdot \theta_F}{\alpha}$$

- магнитооптическая добротность



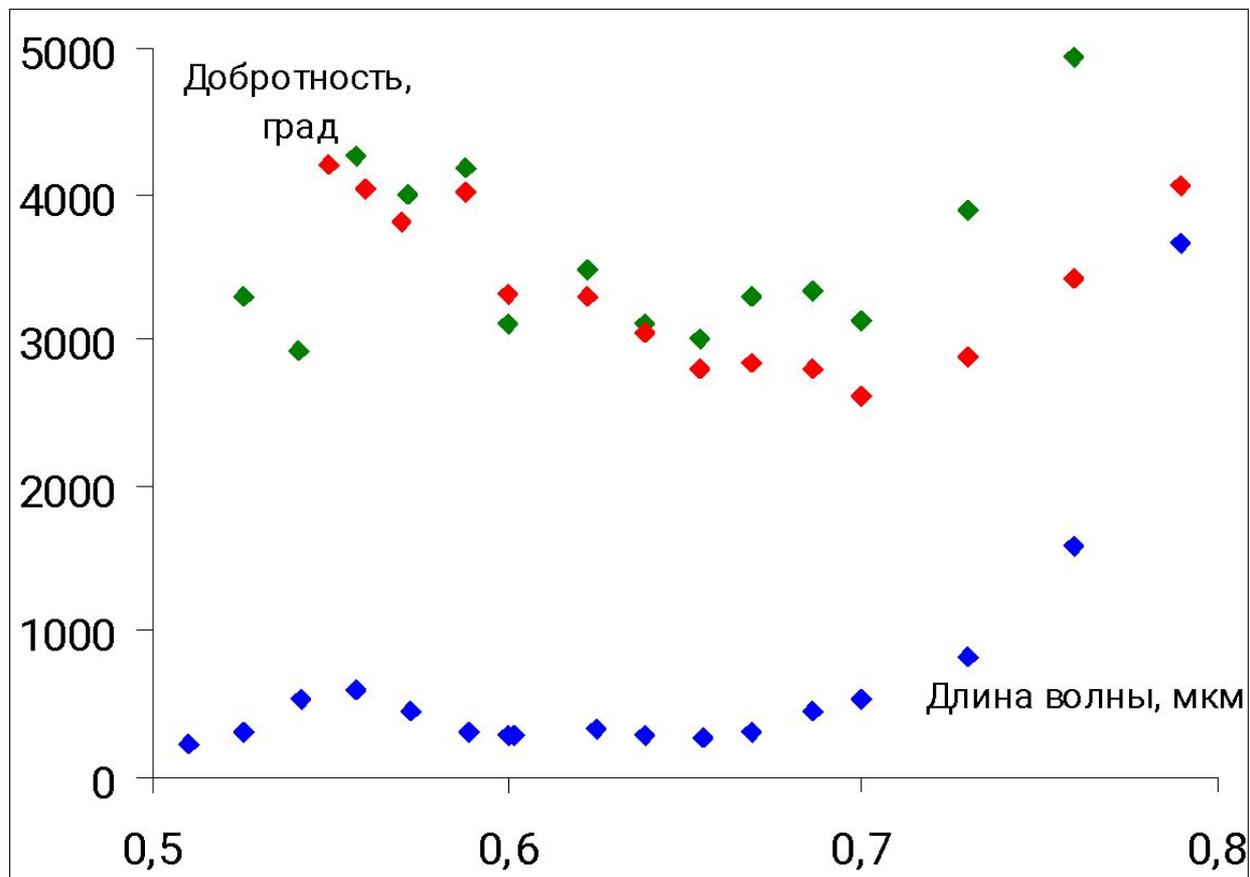
**Спектры
поглощения
системы
 $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ с
различным
содержанием
висмута.**





**Спектры
 удельного
 фарадеевского
 вращения
 системы
 $R_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ с
 различным
 содержанием
 висмута.**

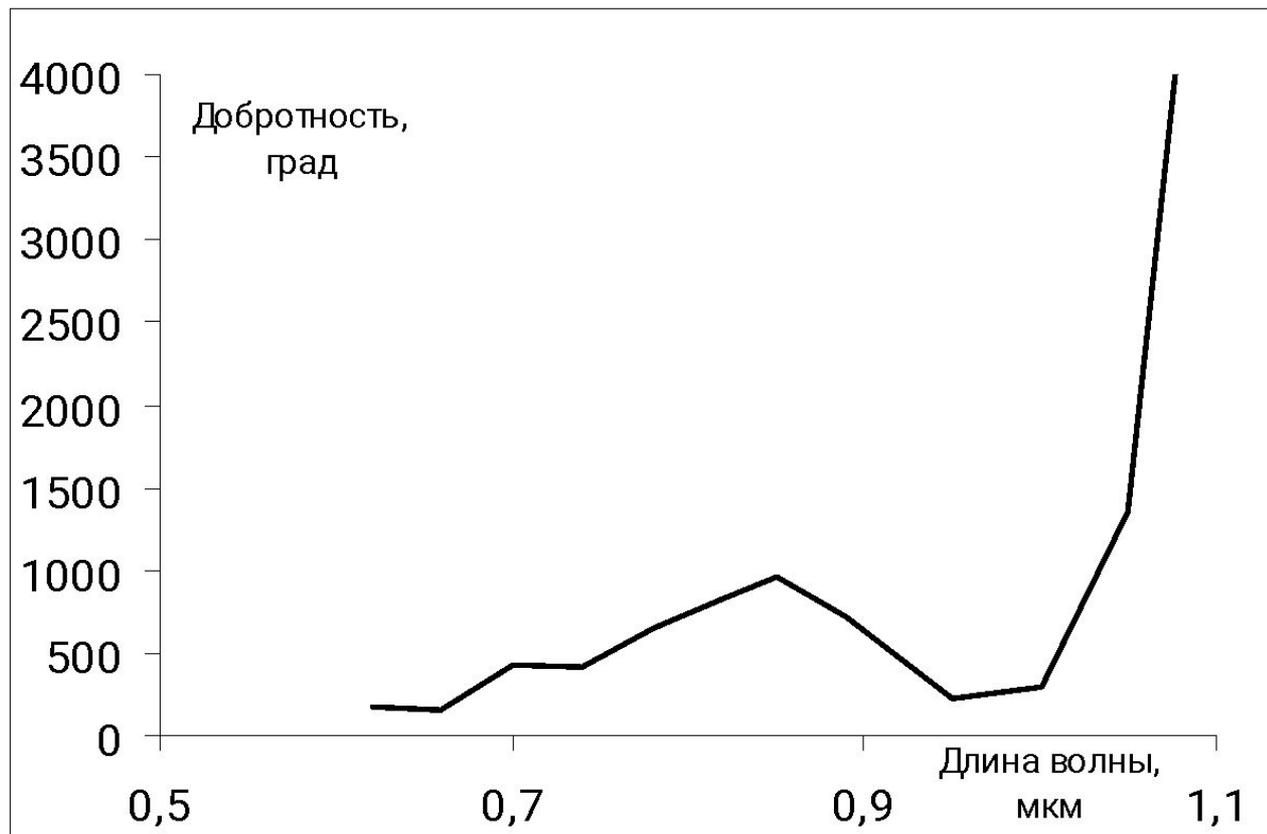
Зависимость магнитооптической добротности от длины волны для пленок $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ ($x=0; 1,03; 1,43$).



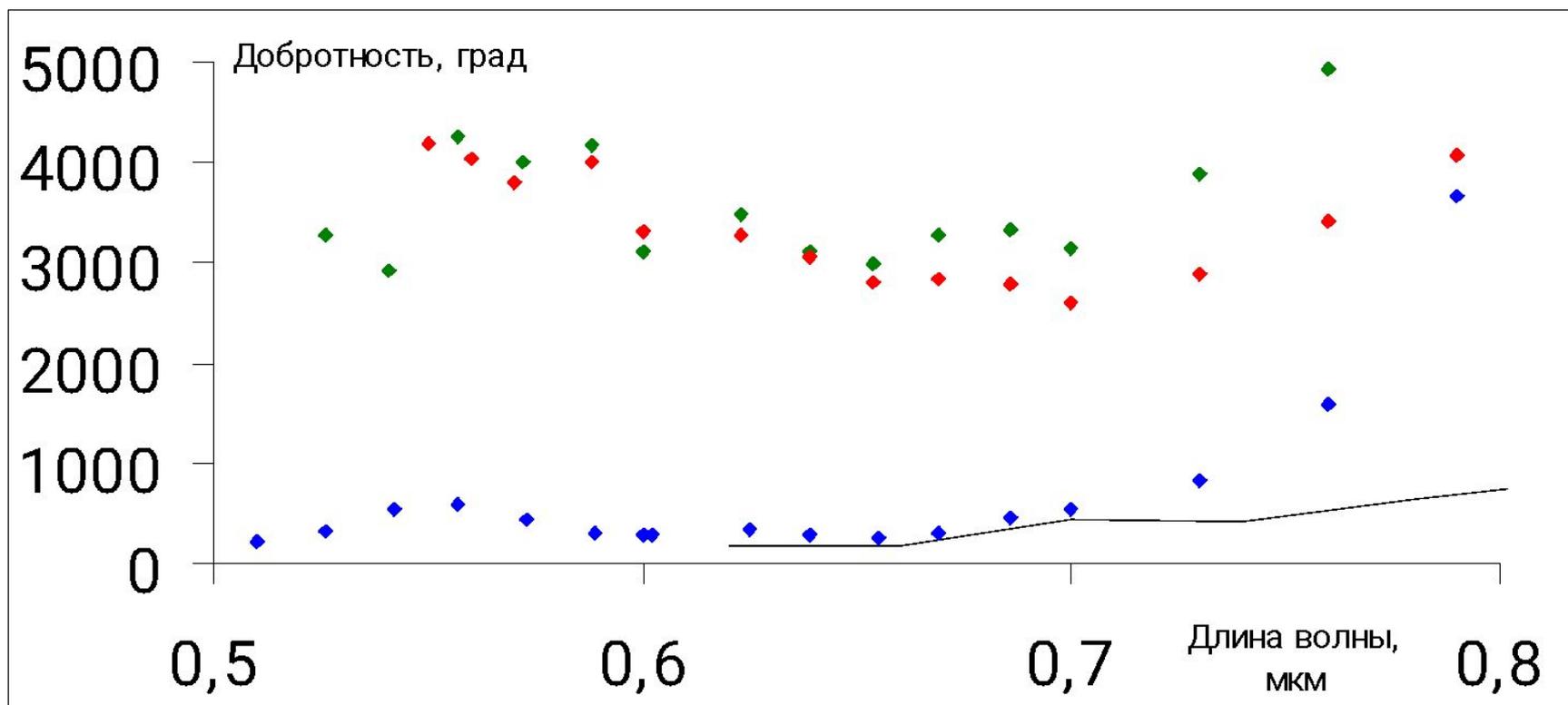
Лабиринтная доменная структура в пленке феррита-граната (период около 100 мкм).



Зависимость магнитооптической добротности от длины волны для ортоферрита YFeO_3 .



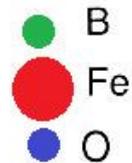
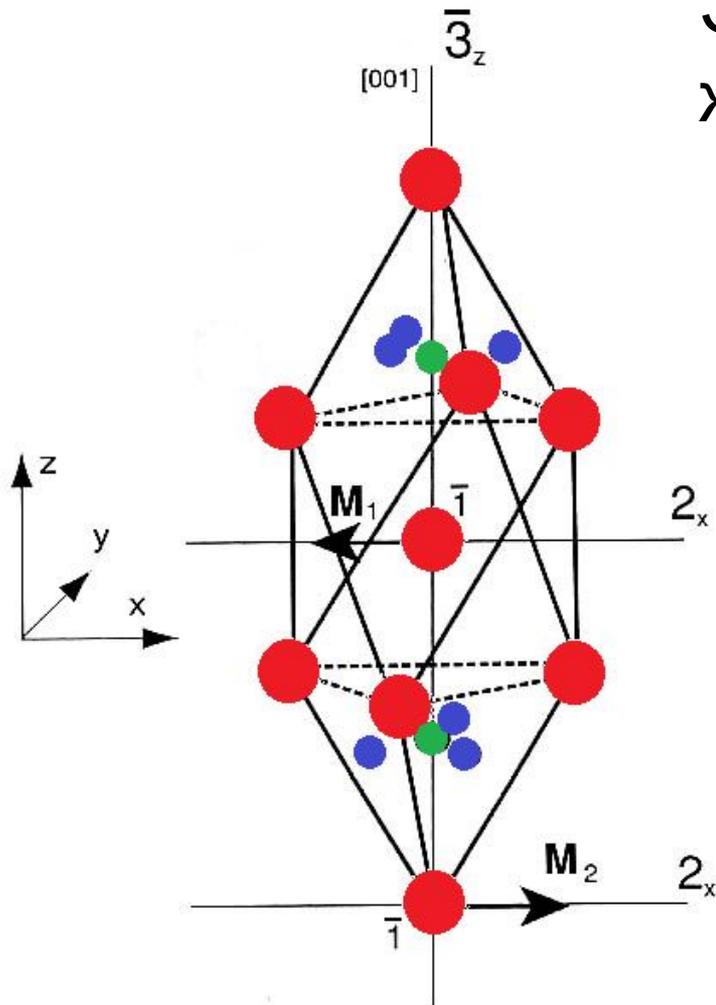
Сравнение зависимостей магнитооптической добротности от длины волны для пленок $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ ($x=0; 1,03; 1,43$) и ортоферритов.



Борат железа FeVO_3

Элементарная ячейка бората железа.

Известен с 1963 г. Структурные параметры более точно определены Дилом в 1975 г.



Слабый ферромагнетик.
В элементарной ячейке
содержится две
формульные единицы:

(a) Магнитная структура FeVO_3 .

Существуют два вида спиновой прецессии:

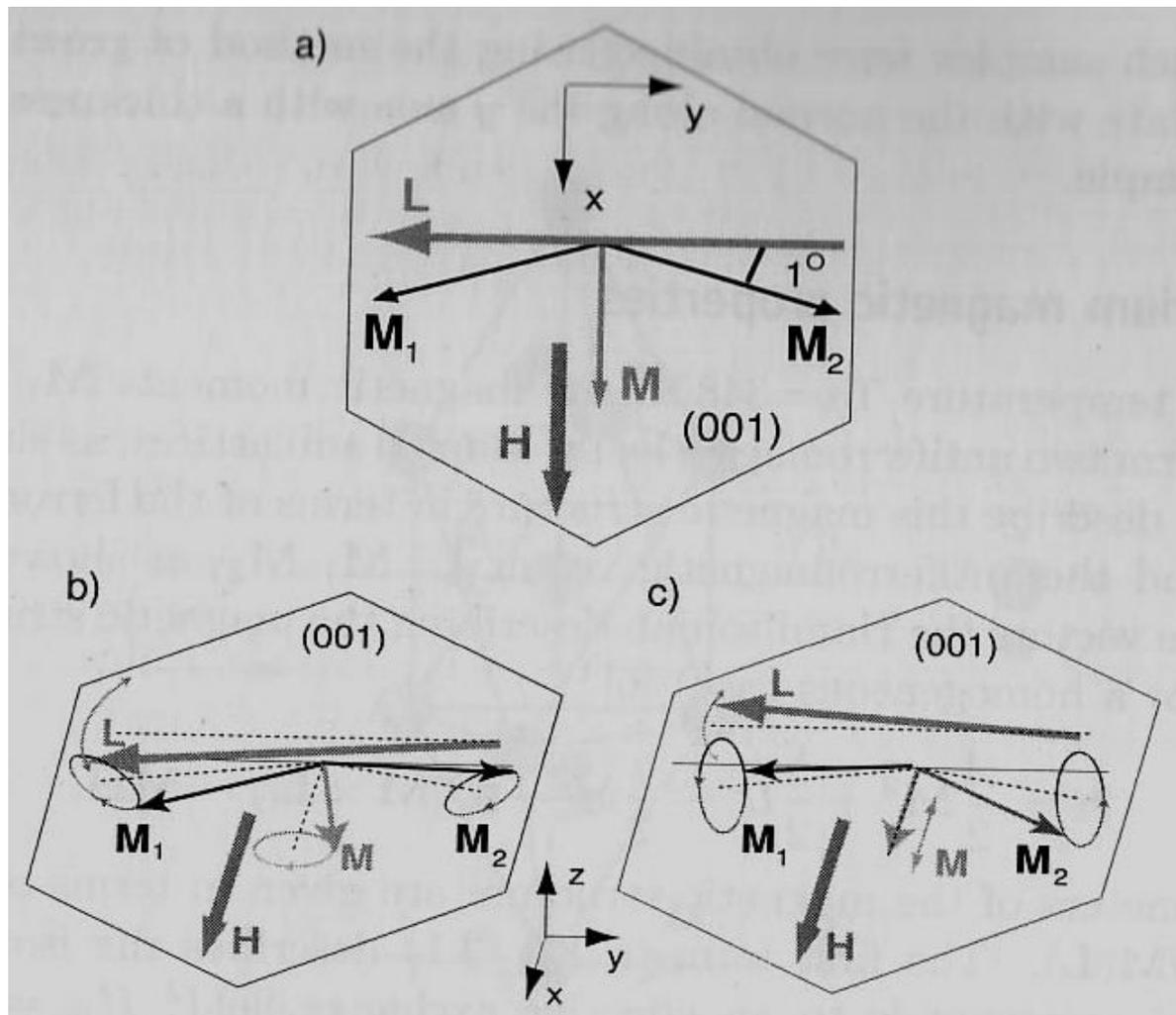
(b) квазиферромагнитная

(c) квазиантиферромагнитная

Намагниченности
подрешеток

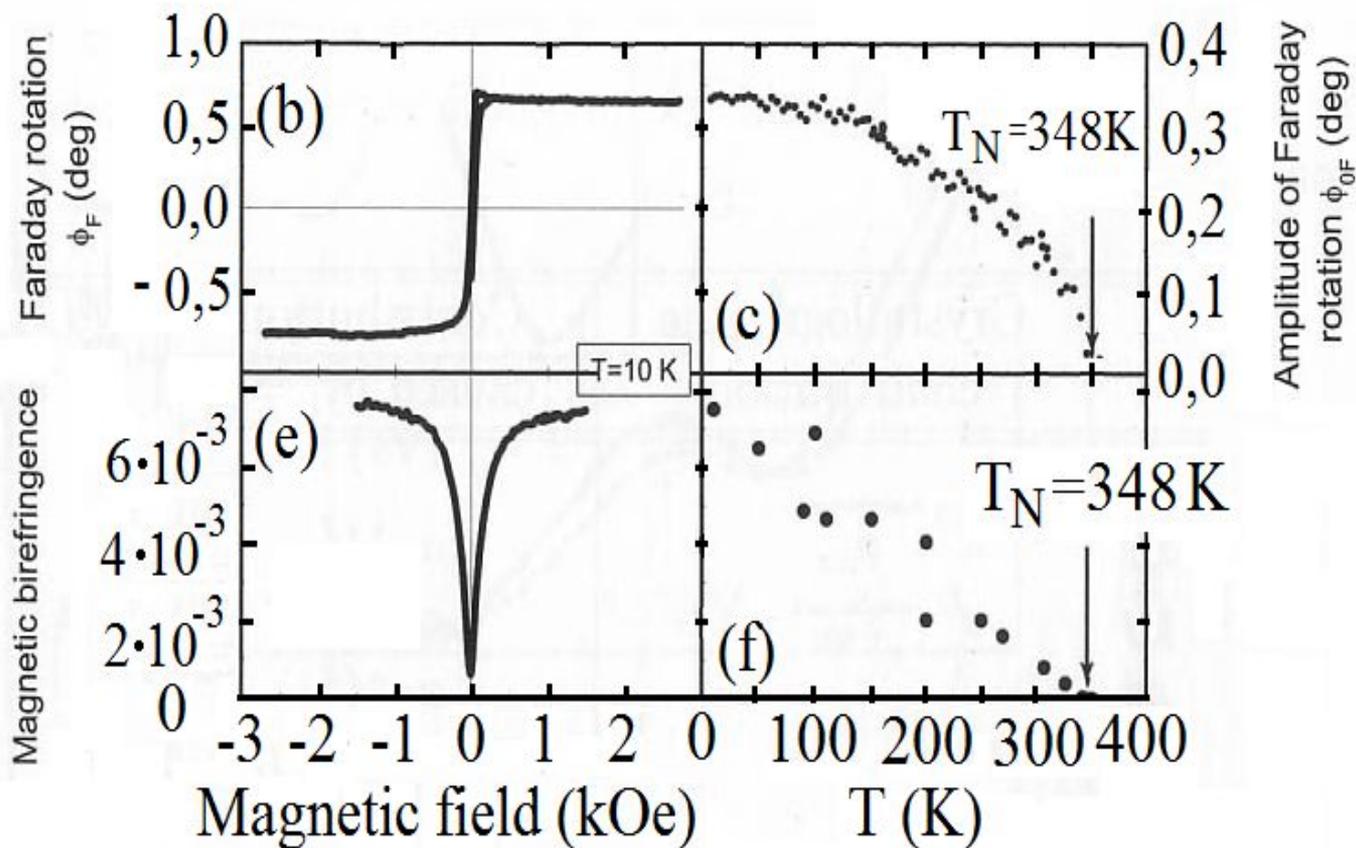
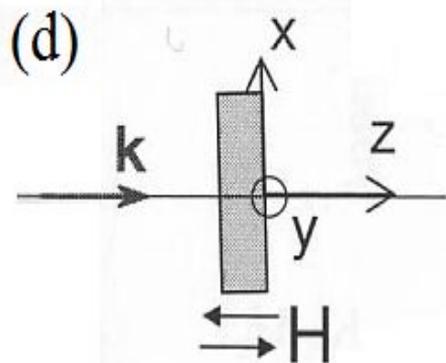
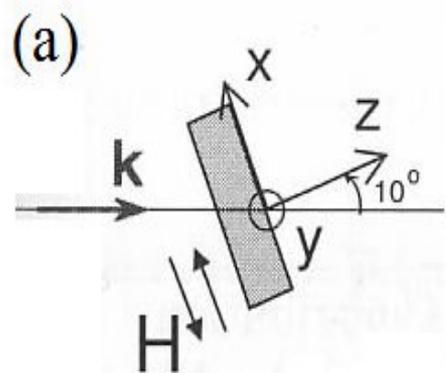
$M_1 = M_2 = 280$ Гс при
 $T = 300$ К.

Угол скоса
определяется
величинами
симметричного и
антисимметрично
го обмена

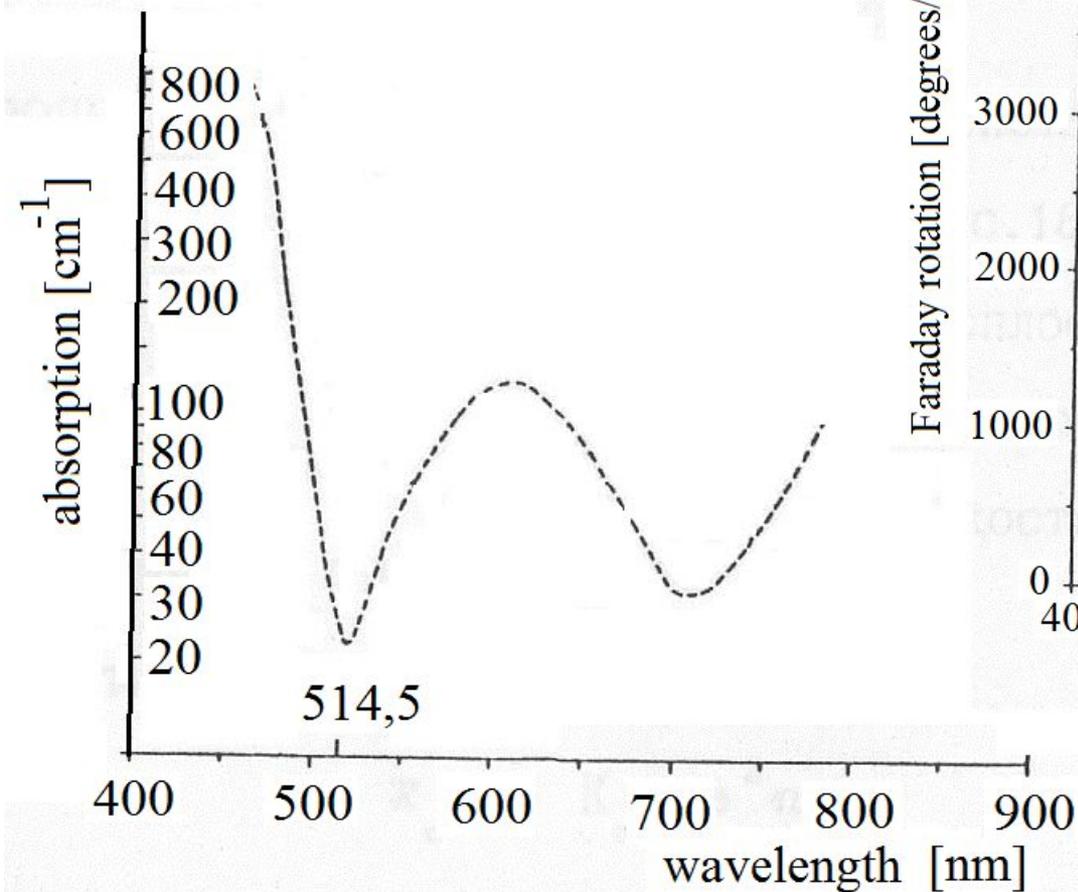


$\varphi = H_D / 2H_E \approx 1^\circ$, где
 $H_D = 82$ кЭ (поле
Дзялошинского) и
 $H_E = 1,6 \cdot 10^3$ кЭ
(обменное поле)

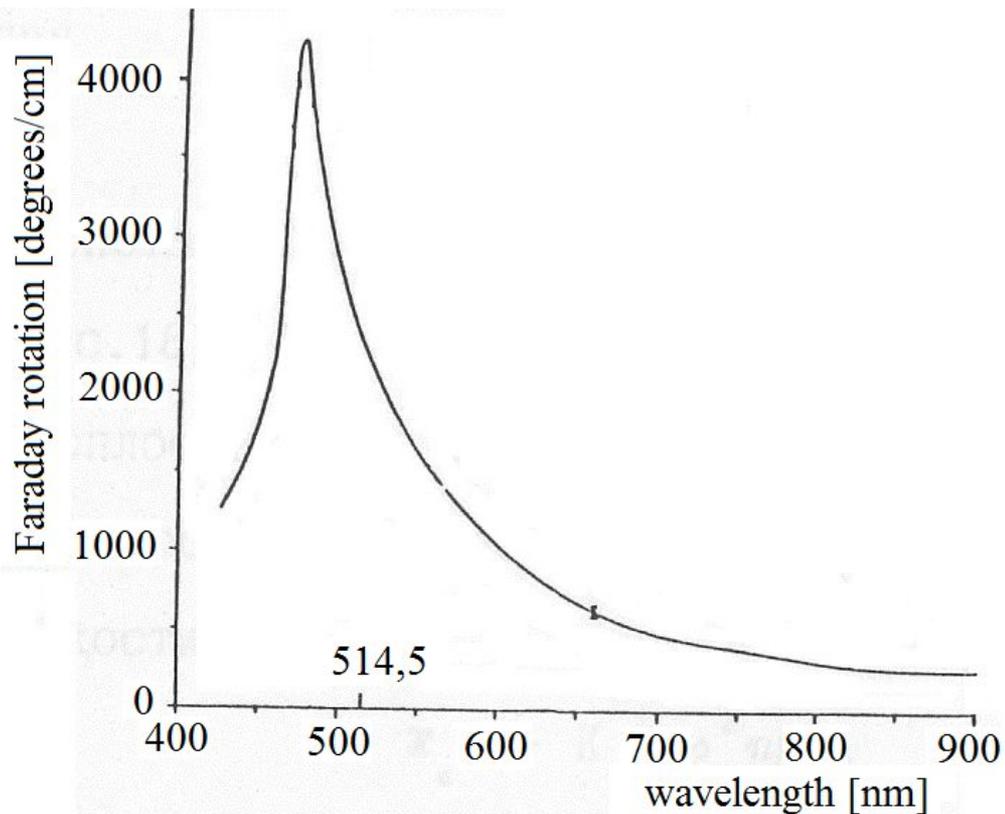
Полевая (b) и температурная (c) зависимости вращения Фарадея, измеренного в геометрии (a).
 Полевая (e) и температурная (f) зависимости магнитного линейного двулучепреломления, измеренного в геометрии (d).



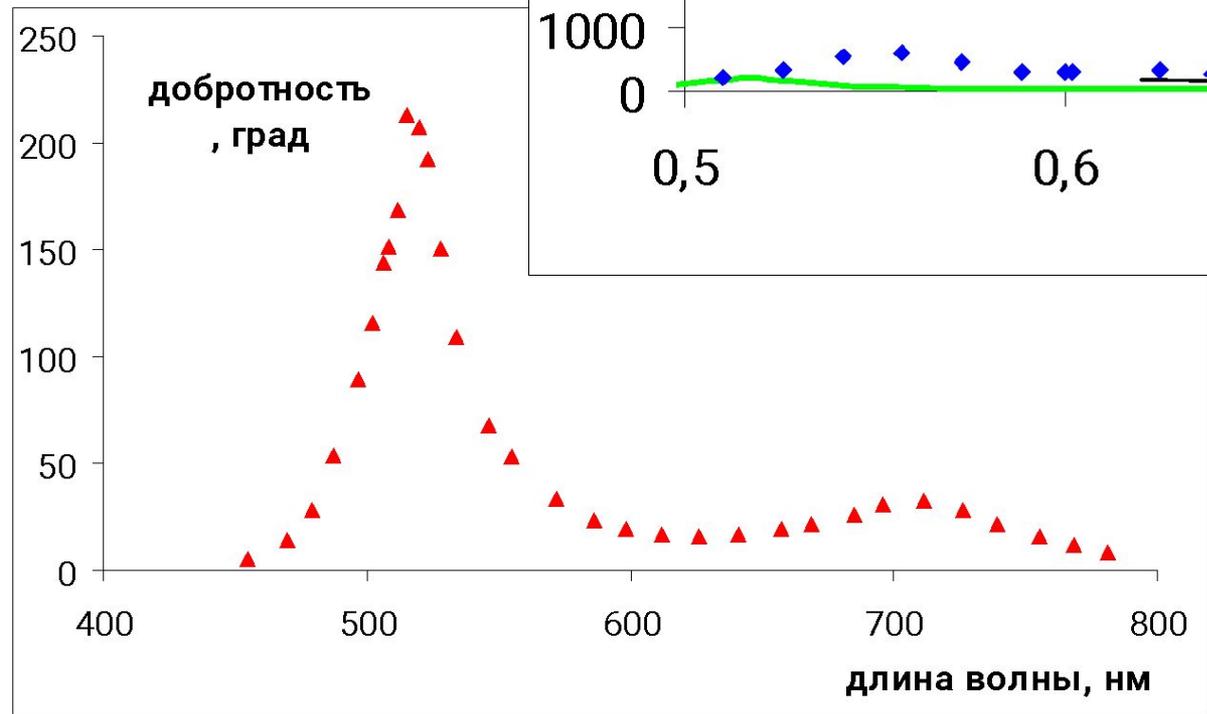
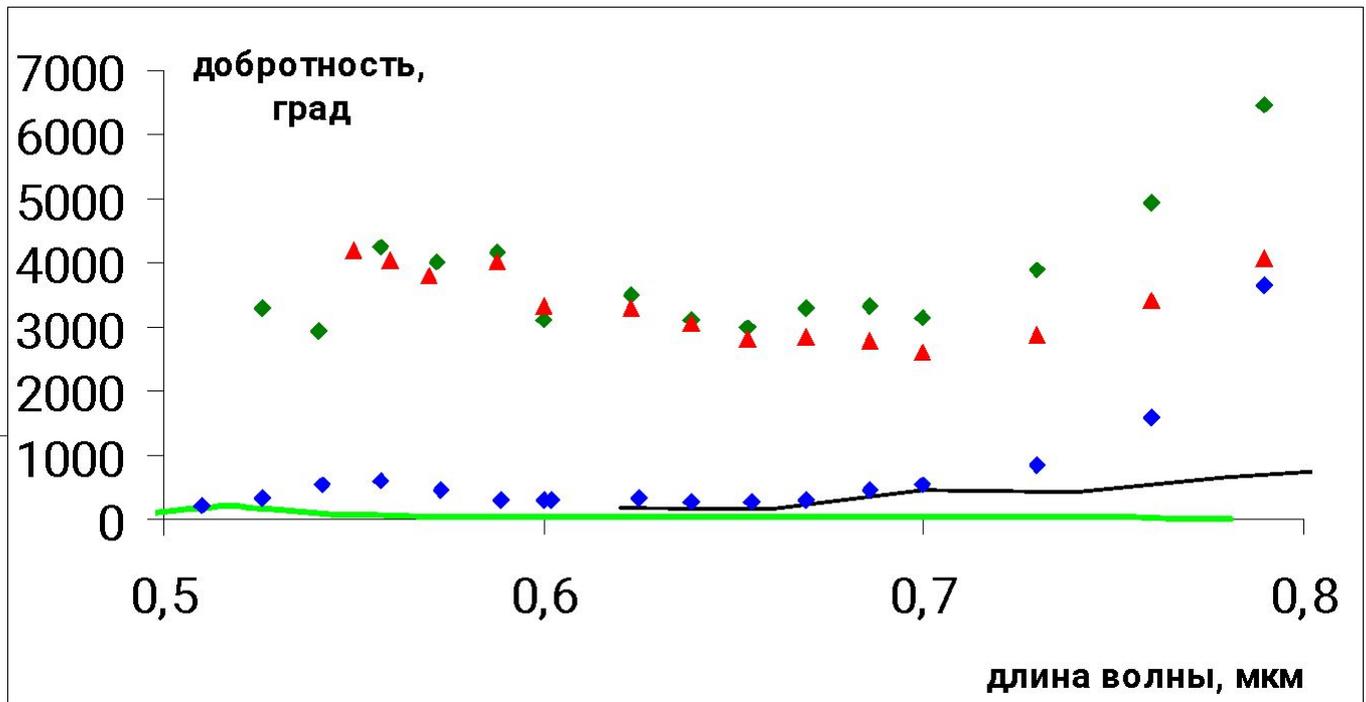
Оптические свойства



Оптическое поглощение в борате железа.

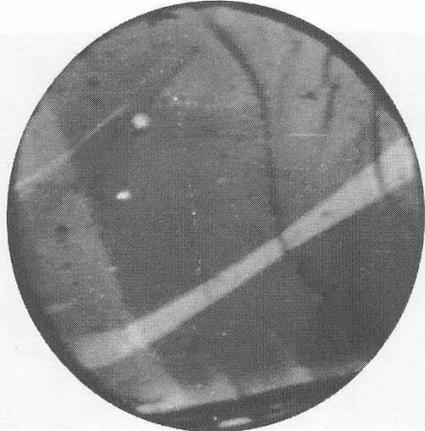
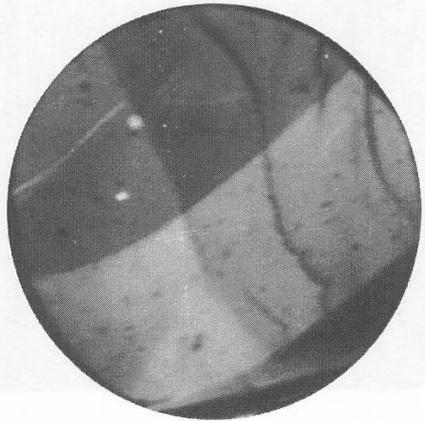


Эффект Фарадея в борате железа



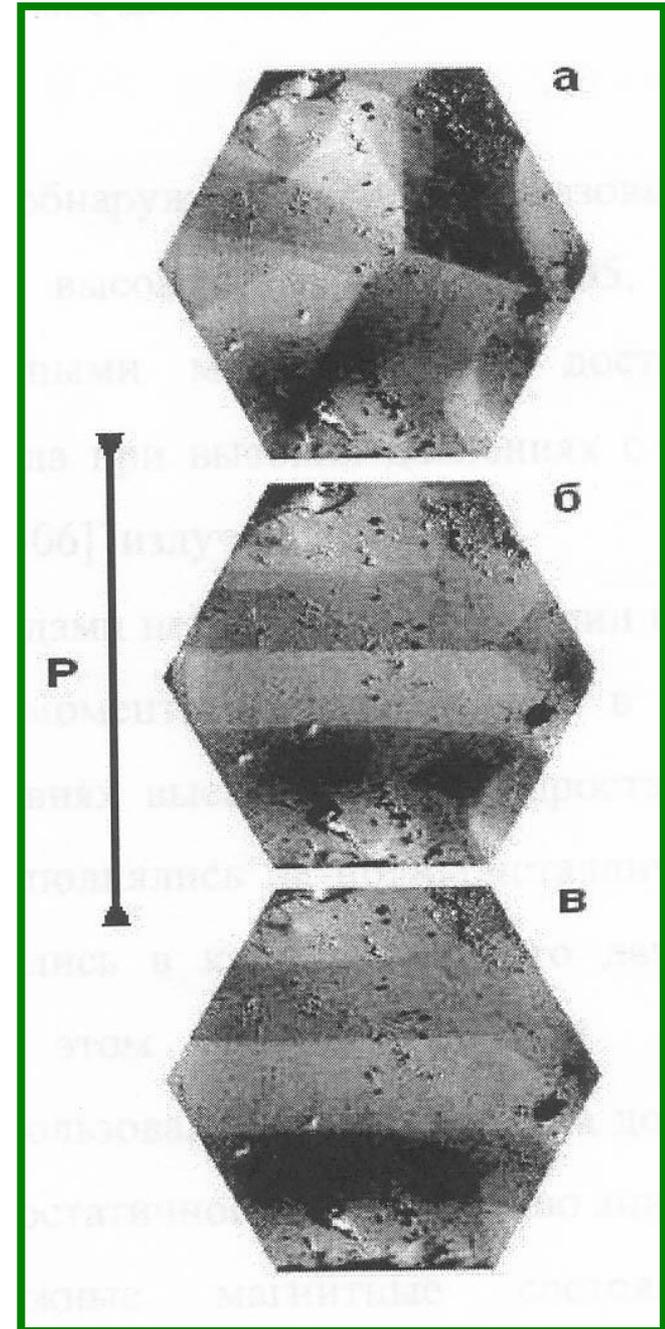
Добротность магнитооптических материалов:
ортоферрит иттрия,
 $\text{Y}_{3-x}\text{Bi}_x\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ($x=0$;
1,03; 1,43) **и бората железа**

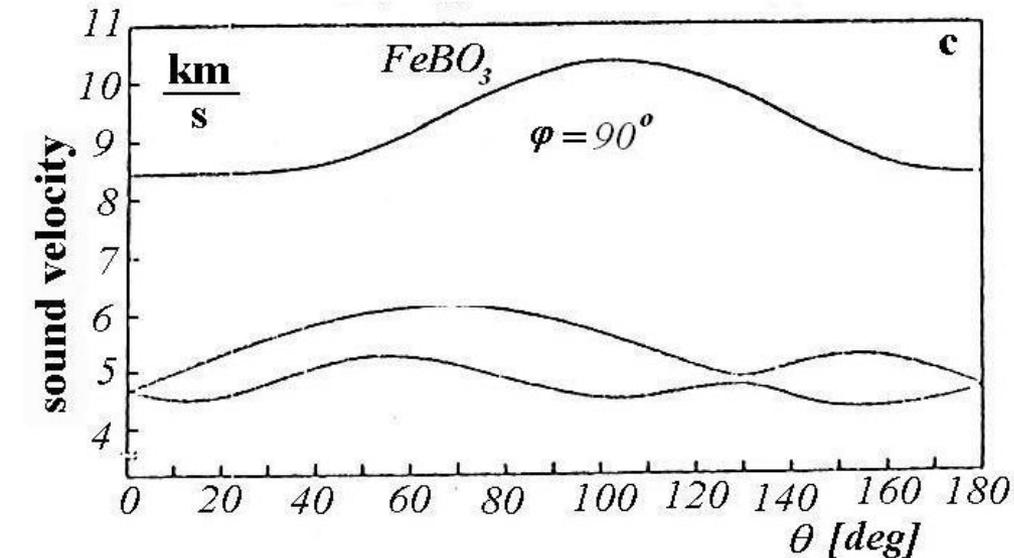
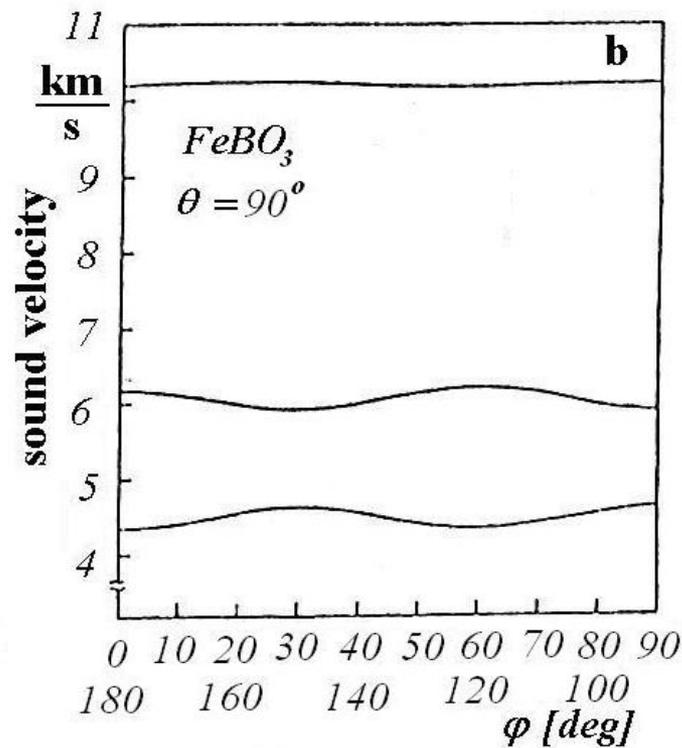
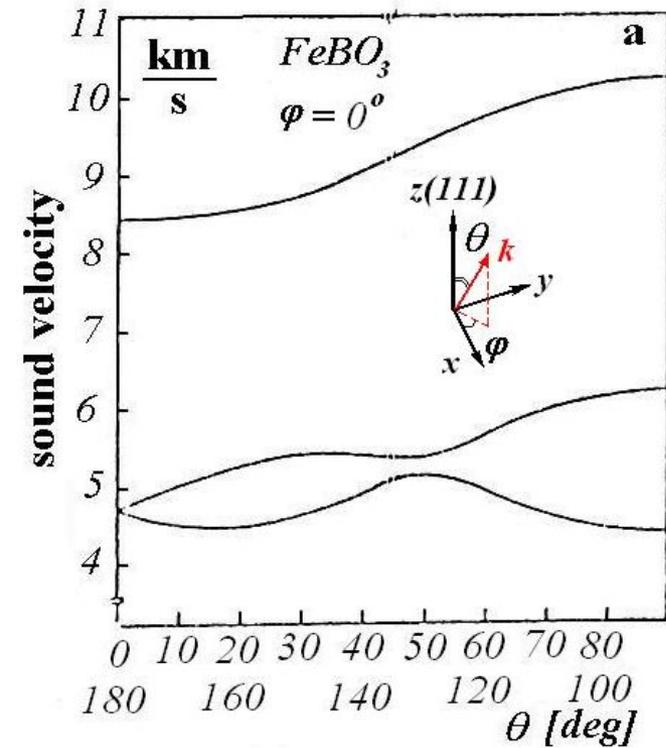
Зависимость добротности бората железа от длины волны



**Намагничивание
кристалла бората
железа: а) $H=0,5$
Э, б) $H=1,7$ Э,
в) $H=2,3$ Э.**

**Влияние
аксиального
давления на
доменную
структуру ($H=0$): а)
 $p=0$,
б) $p=3,5 \cdot 10^7$ дин/см²
(3,5 МПа)
в) $p=7 \cdot 10^7$ дин/см².**

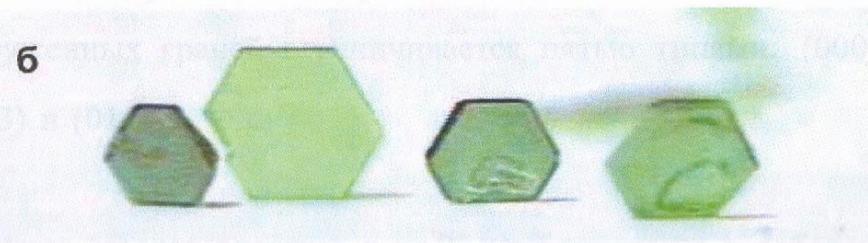
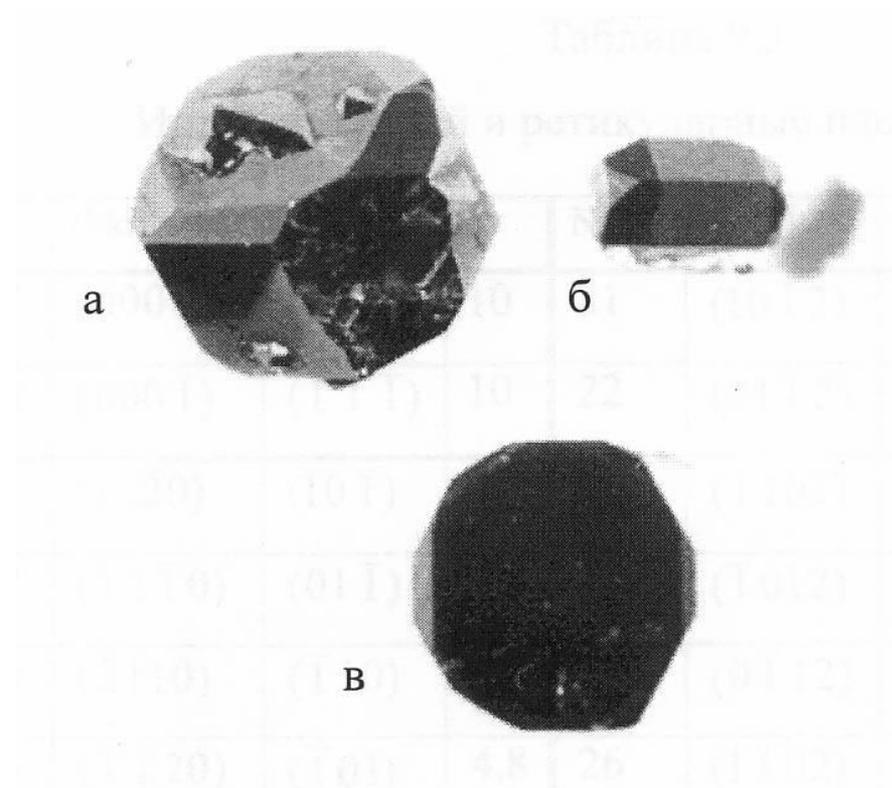
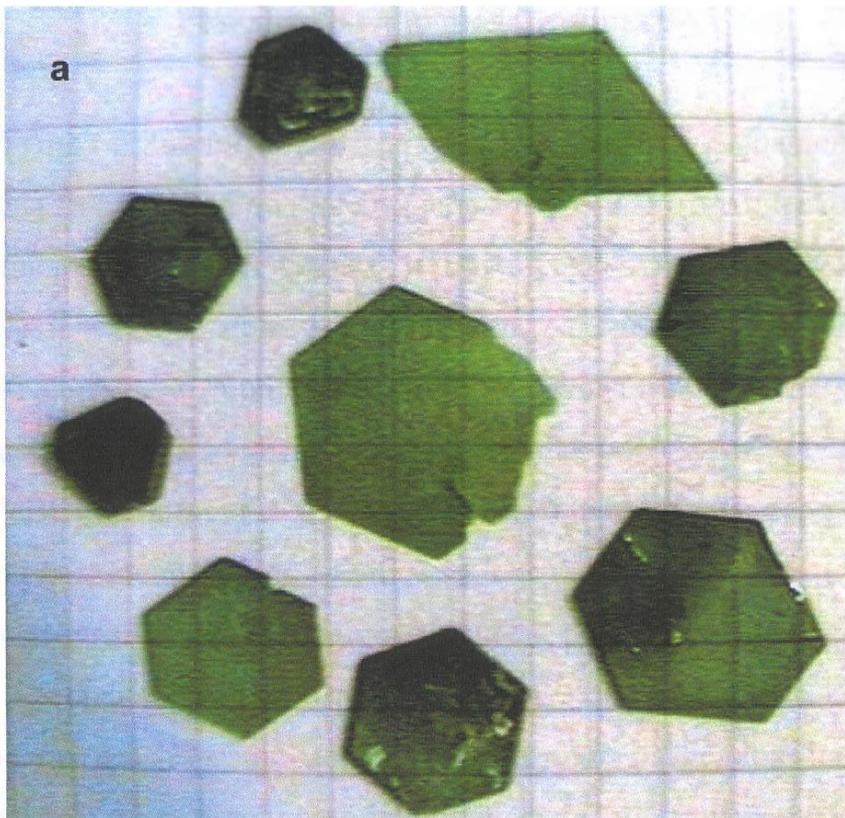




Diehl D., Jantz W.,
 Nalang J.,
 Wettling W.
 Growth and
 properties of iron
 borate. Current
 Topic in mater.
 Sci., 1984, v.1, N
 11, p. 1-370

**Угловые
 зависимости
 скорости звука в
 борате железа,
 вычисленные из
 упругих констант**

Монокристаллы бората железа в форме базисных пластин, выращенные из раствора в расплаве толщиной до 150 мкм. (Стругацкий М.Б.)



Кристаллы бората железа, синтезированные из газовой фазы

Магнитооптические материалы.

- Ортоферриты
 - Получение, магнитооптические свойства
- Борат железа
 - Получение, магнитооптические свойства

**Тензор магнитной
восприимчивости**

**Оптика. Формулы
Френеля**

**Продольные и
поперечные
эффекты**

Магнитооптика

Двулучепреломление

**Оптика.
Магнитооптические
эффекты**

**МО
добротность.
МО материалы:
ф-г, орт, б.ж.**

**Спектроскопия магнитных
материалов**

**Место МО среди методов исследования магнитных
свойств материалов**

**Методы исследования динамических процессов в
магнетиках**

Практикум: **сделанные** и **сданные** задачи.

Данные на 2 октября 2018

