

05,11

# Изучение магнитных фазовых переходов в разбавленных ферритах меди

© А.А. Опаленко, А.Б. Коршак, Л.Г. Антошина

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Москва, Россия

E-mail: tellur125@mail.ru

(Поступила в Редакцию 29 марта 2010 г.)

В окончательной редакции 22 июня 2010 г.)

Измерены мессбауэровские спектры ферритов  $\text{CuGa}_x\text{Al}_{2-x}\text{Fe}_{2-3x}\text{O}_4$  ( $x = 0.3, 0.4, 0.5$ ) при температуре 90–295 К. Определена степень нарушения дальнего магнитного порядка в зависимости от температуры. Найдена температура Кюри для состава  $x = 0.5$  и построена зависимость температуры Кюри от концентрации немагнитной примеси.

## 1. Введение

В ферритах при замещении определенной части магнитных ионов немагнитными рвутся обменные связи и возникают состояния со смешанными взаимодействиями ближнего и дальнего порядка. В работе [1] была рассчитана степень разбавления двух подрешеток ферритов-шпинелей для начала разрушения дальнего магнитного порядка. Это явление названо фрустрацией.

Мы в своей предыдущей работе [2] провели мессбауэровское исследование медного феррита, разбавленного немагнитными ионами  $\text{Ga}^{3+}$  и  $\text{Al}^{3+}$ . Были измерены мессбауэровские спектры образцов  $\text{CuGa}_x\text{Al}_{2-x}\text{Fe}_{2-3x}\text{O}_4$  при концентрациях  $x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$  при комнатной температуре. Оказалось, что при  $x \geq 0.3$  спектры демонстрируют разную степень разрушения дальнего магнитного порядка. Сопоставление данных с результатами магнитных измерений позволило предположить наличие двух магнитных фазовых переходов. Однако эффект Мессбауэра позволяет на микроскопическом

уровне наблюдать фазовые превращения и поэтому нами предпринято новое исследование в температурном диапазоне 90–295 К.

## 2. Эксперимент

Измерены мессбауэровские спектры феррита меди  $\text{CuGa}_x\text{Al}_{2-x}\text{Fe}_{2-3x}\text{O}_4$  при концентрациях  $x = 0.3, 0.4, 0.5$  в температурном диапазоне 90–295 К (рис. 1–3). Для образца  $x = 0.3$  спектры характеризуются преобладанием зеемановских секстетов, доля парамагнитного дублета относительно мала. При больших концентрациях преобладает парамагнитный дублет. На рис. 4 приведена относительная площадь секстетов в спектре  $S_6$  для концентраций  $x = 0.3, 0.4, 0.5$ .

## 3. Обсуждение результатов

Кривые на рис. 4 повторяют характер кривых спонтанной намагниченности насыщения, измеренных нами

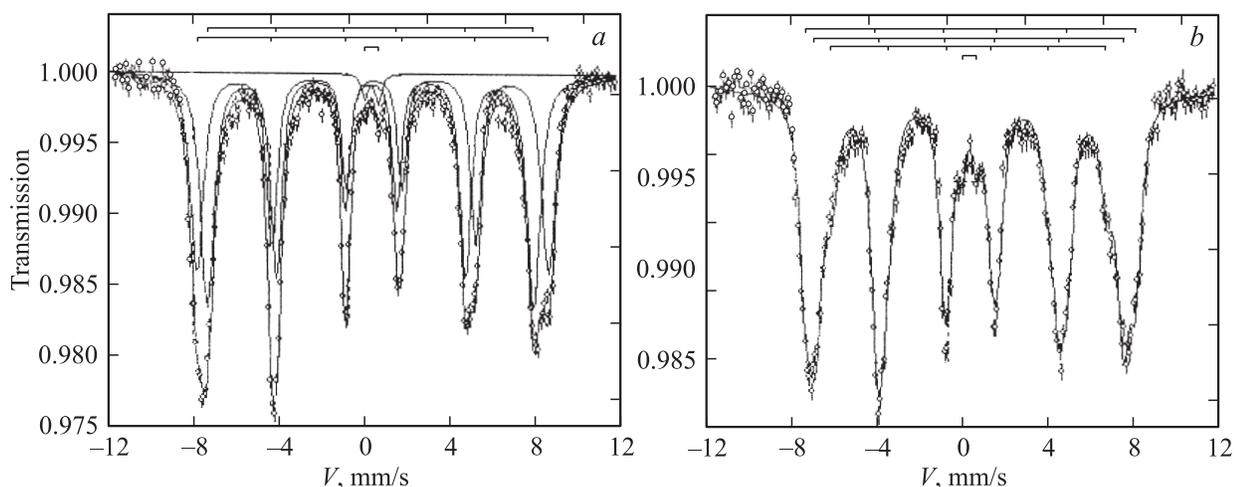


Рис. 1. Мессбауэровские спектры феррита меди для  $x = 0.3$  при различных температурах.  $T, \text{K}$ :  $a$  — 90,  $b$  — 200,  $c$  — 250,  $d$  — 295.

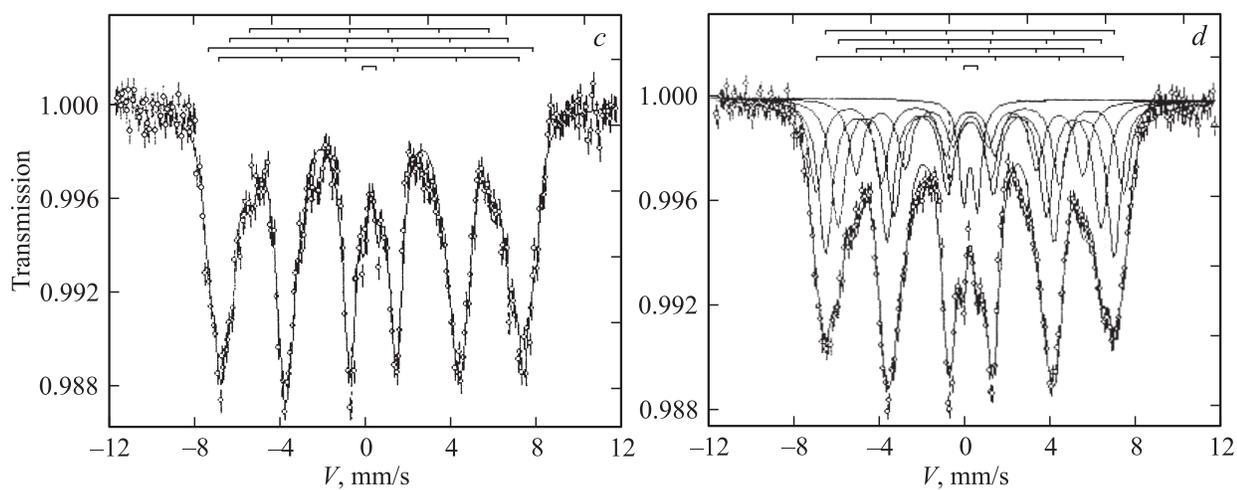
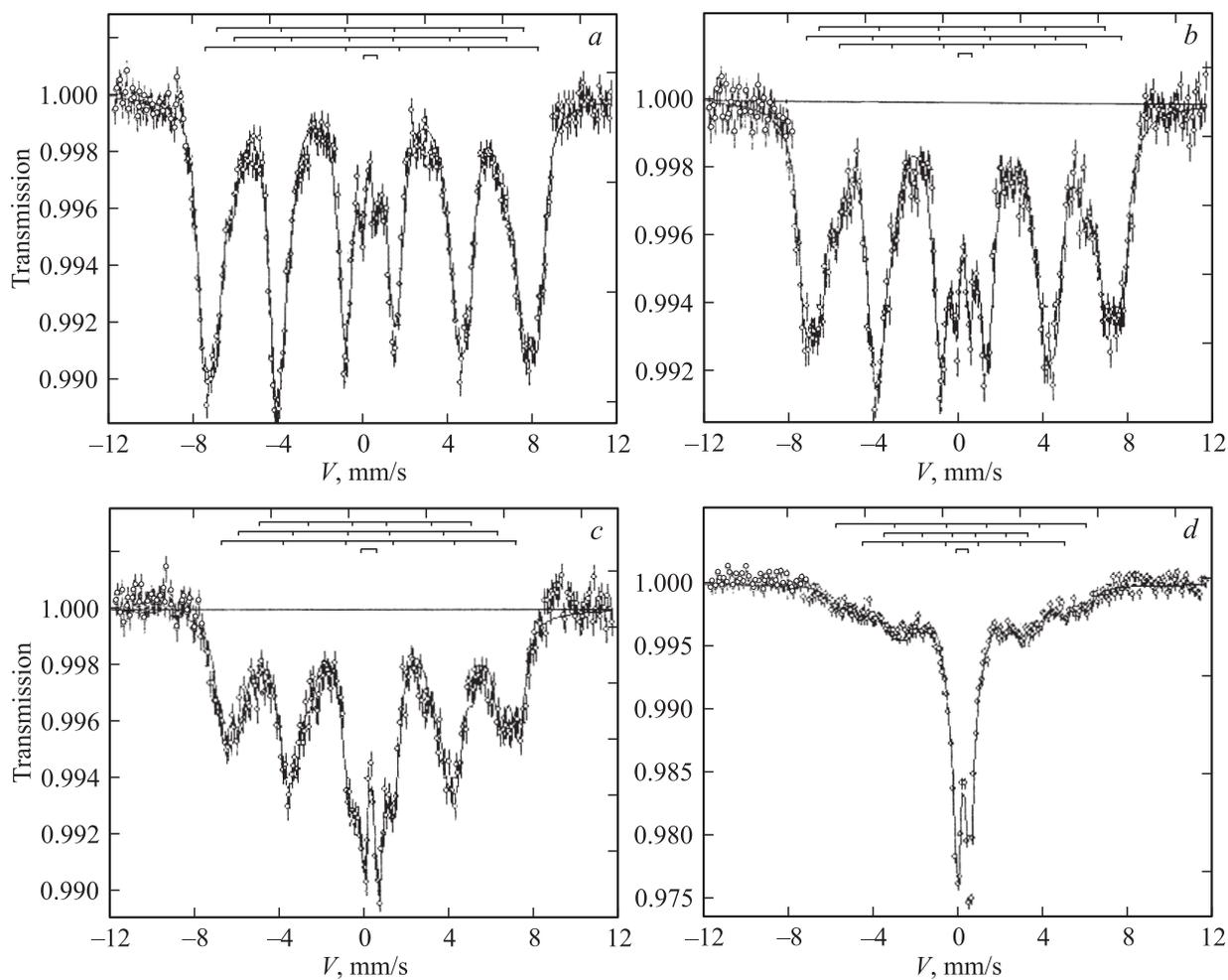
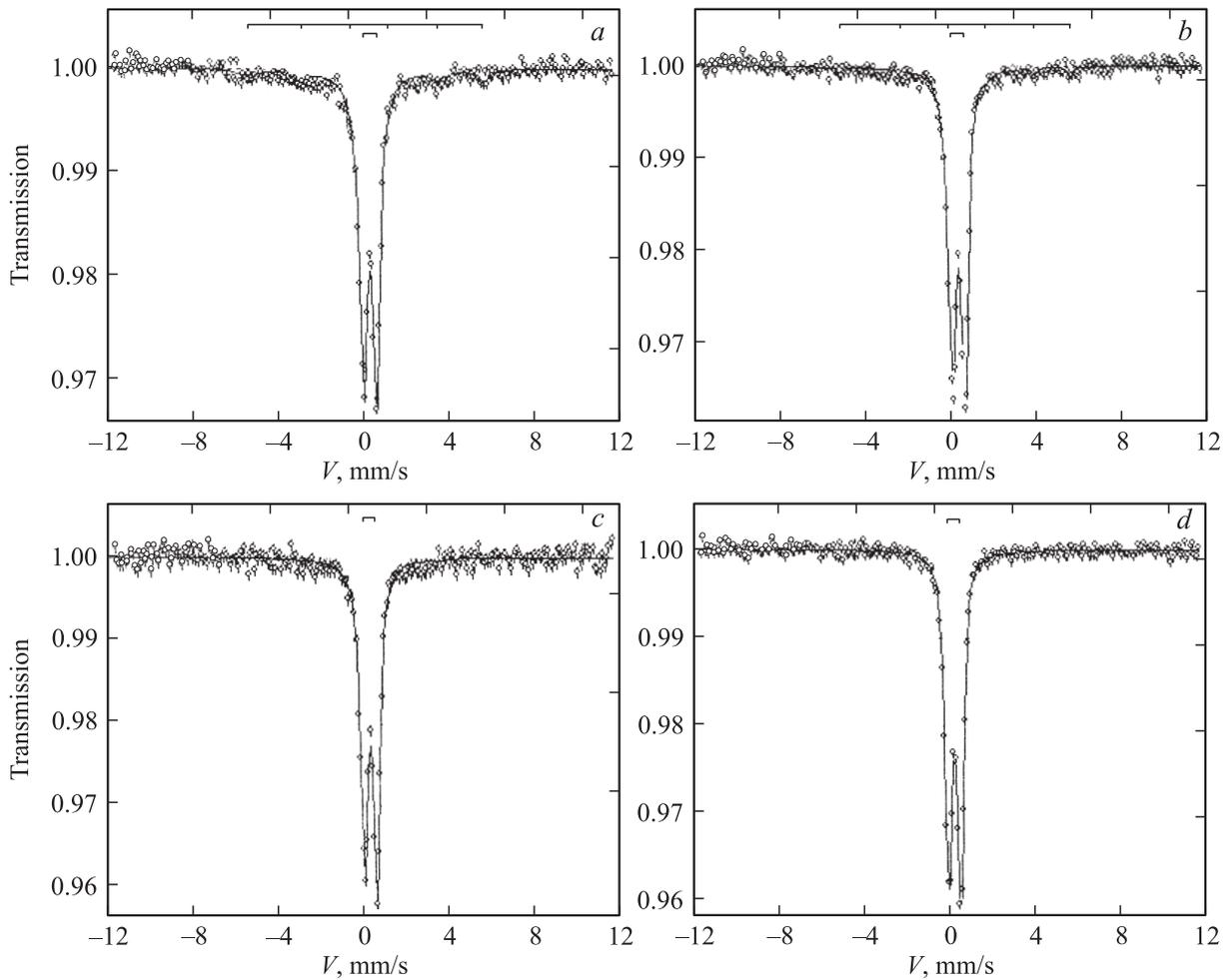


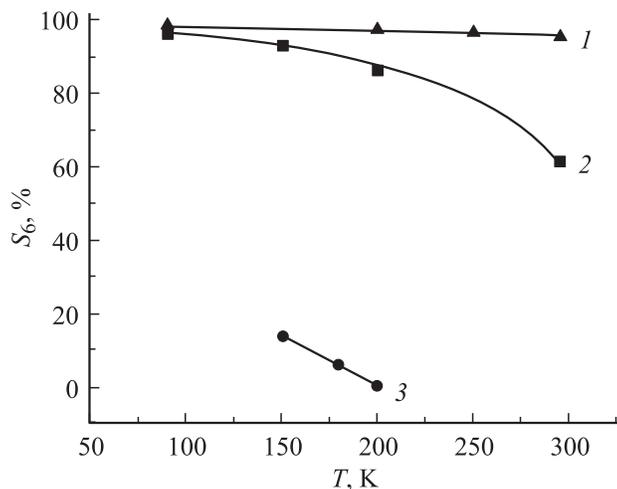
Рис. 1 (продолжение).

Рис. 2. Мессбауэровские спектры феррита меди для  $x = 0.4$  при различных температурах.  $T, K$ :  $a$  — 90,  $b$  — 150,  $c$  — 200,  $d$  — 295.

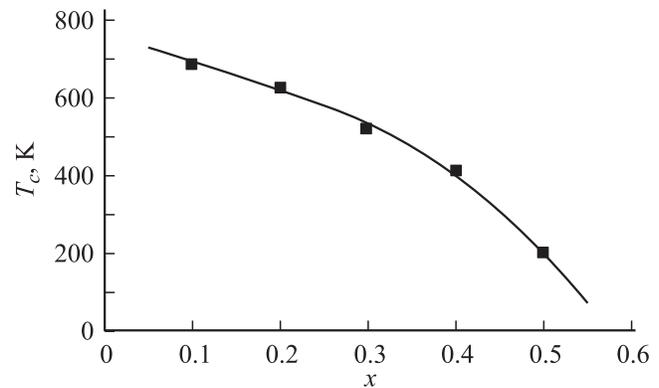


**Рис. 3.** Мессбауэровские спектры феррита меди для  $x = 0.5$  при различных температурах.  $T$ , К:  $a$  — 150,  $b$  — 180,  $c$  — 200,  $d$  — 295.

ранее [2]. Для образца  $x = 0.5$  нами определена температура Кюри  $T_c = 200$  К, когда в спектре остается только парамагнитный дублет.



**Рис. 4.** Температурная зависимость доли зеемановских секторов в спектрах ферритов.  $x$ : 1 — 0.3, 2 — 0.4, 3 — 0.5.



**Рис. 5.** Зависимость температуры Кюри от состава феррита.

Эксперимент показывает отсутствие ранее предполагавшегося перехода, близкого к  $T_c$ . Наблюдается переход в чисто ферромагнитное состояние для состава  $x = 0.3$  при  $T = 90$  К. При больших концентрациях этот переход возможен при более низких температурах.

Опираясь на магнитные измерения [2] и результаты эксперимента, можно построить зависимость температуры Кюри от степени разбавления, представленную на рис. 5. Видно, что как при малых концентрациях примеси, когда фрустрация не наблюдается, так и при сильном разбавлении  $T_c$  в зависимости и от концентрации монотонно убывает.

#### 4. Выводы

1) Подтверждается сделанное на основе магнитных измерений предположение о том, что у феррита  $\text{CuGa}_x\text{Al}_{2-x}\text{Fe}_{2-3x}\text{O}_4$  фрустрированная (нарушенная магнитная) структура появляется при концентрации  $x = 0.3$ . Характер изменения магнитных свойств с температурой для разбавленных ферритов (рис. 4) хорошо согласуется с измерениями спонтанной намагниченности.

2) Мессбауэровские исследования на микроскопическом уровне позволяют изучать магнитные фазовые переходы и определять точки Кюри. Нами показано для всех изученных составов отсутствие фазового перехода, близкого к точке Кюри. Определен переход к полному ферримагнитному упорядочению для состава  $x = 0.3$  при  $T = 90$  К. Найдена температура Кюри для состава  $x = 0.5$  и построена зависимость температуры Кюри от степени разбавления феррита.

#### Список литературы

- [1] С.Р. Poole, Н.А. Farach. *Z. Phys. B* **47**, 55 (1982).
- [2] Л.Г. Антошина, Е.Н. Евстафьева, А.А. Опаленко. *ФТТ* **51**, 4, 737 (2009).