

## О суперпарамагнетизме в квазиодномерных полупроводниковых антиферромагнетиках $\text{TlFeS}_2$ , $\text{TlFeSe}_2$

© Р.Г. Велиев<sup>¶</sup>

Институт физики Национальной академии наук Азербайджана,  
Az-1143 Баку, Азербайджан

(Получена 12 марта 2012 г. Принята к печати 16 марта 2012 г.)

Проведен анализ мессбауэровских спектров квазиодномерных полупроводниковых антиферромагнетиков  $\text{TlFeS}_2$ ,  $\text{TlFeSe}_2$ . Показано, что в квазиодномерных антиферромагнитных доменах  $\text{TlFeS}_2$ ,  $\text{TlFeSe}_2$  вследствие флуктуации спинов (спин-флопов) нарушается полная компенсация магнитных моментов. При этом домены ведут себя в окрестности одномерной температуры Нееля ( $T_{\text{N1D}}$ ) как ферромагнитные ультрамелкие частицы в состоянии суперпарамагнетизма. Эта особенность в окрестности  $T_{\text{N1D}}$  характерна для квазиодномерных полупроводниковых антиферромагнетиков, в которых  $T_{\text{N1D}} \gg T_{\text{N3D}}$ .

В обзорной статье [1] были сделаны определенные обобщающие выводы о природе магнитного фазового перехода в сильноцепочечных полупроводниковых соединениях  $\text{TlFeS}_2$ ,  $\text{TlFeSe}_2$ . Однако в [1] практически не были проанализированы статьи, посвященные исследованию квазиодномерных антиферромагнетиков  $\text{TlFeS}_2$ ,  $\text{TlFeSe}_2$  с помощью мессбауэровской спектроскопии, позволяющей изучать динамические процессы, происходящие в спиновой системе магнетика за очень малые времена ( $10^{-7} - 10^{-10}$  с).

Из статических магнитных измерений можно получить ценные сведения о макроскопических магнитных характеристиках низкоразмерных магнетиков. Однако из таких измерений невозможно извлечь информацию о динамических свойствах спиновой системы низкоразмерного антиферромагнетика, хотя они играют существенную роль в поведении низкоразмерной антиферромагнитной системы в интервале температур от  $T_{\text{N3D}}$  до  $T_{\text{N1D}}$  ( $T_{\text{N3D}}$  и  $T_{\text{N1D}}$  — температуры Нееля в трехмерном и одномерном случаях), особенно в области формирования ближнего магнитного порядка.

Публикации [2,3] посвящены исследованию релаксационных эффектов в спиновой системе (магнитной структуре) квазиодномерных полупроводниковых антиферромагнетиков  $\text{TlFeS}_2$ ,  $\text{TlFeSe}_2$  с помощью метода ядерного гамма-резонанса (ЯГР — метод Мессбауэра). Авторы [2,3] отмечают, что особый интерес представляет асимметрия линий квадрупольного расщепления, которая наблюдалась ими в мессбауэровских спектрах поликристаллических образцов  $\text{TlFeS}_2$  и  $\text{TlFeSe}_2$  соответственно в интервалах температур  $T = 150 - 175$  и  $260 - 315$  К (рис. 1 и 2). Причиной асимметрии, как утверждают авторы [2,3], является спин-решеточная релаксация, которая свойственна суперпарамагнитным веществам. Примечательно то обстоятельство, что интервалы температур, где квазиодномерные полупроводниковые антиферромагнетики  $\text{TlFeS}_2$  и  $\text{TlFeSe}_2$ , согласно работам [2,3], ведут себя как суперпарамагнетики, расположены в окрестности одномерной температуры Нееля ( $T_{\text{N1D}}$ ) как для  $\text{TlFeS}_2$ , так и для  $\text{TlFeSe}_2$ .

По нашему мнению, в упорядоченных квазиодномерных антиферромагнитных доменах  $\text{TlFeS}_2$  и  $\text{TlFeSe}_2$  в окрестности одномерной температуры Нееля ( $T_{\text{N1D}}$ ) вследствие флуктуации спинов (спин-флопов) возможны нарушения полной компенсации магнитных моментов, и они ведут себя в окрестности  $T_{\text{N1D}}$  как ферромагнитные ультрамелкие частицы в состоянии суперпарамагнетизма [4], т.е. эта особенность в окрестности  $T_{\text{N1D}}$  характерна для квазиодномерных полупроводниковых антиферромагнетиков, в которых  $T_{\text{N1D}} \gg T_{\text{N3D}}$ .

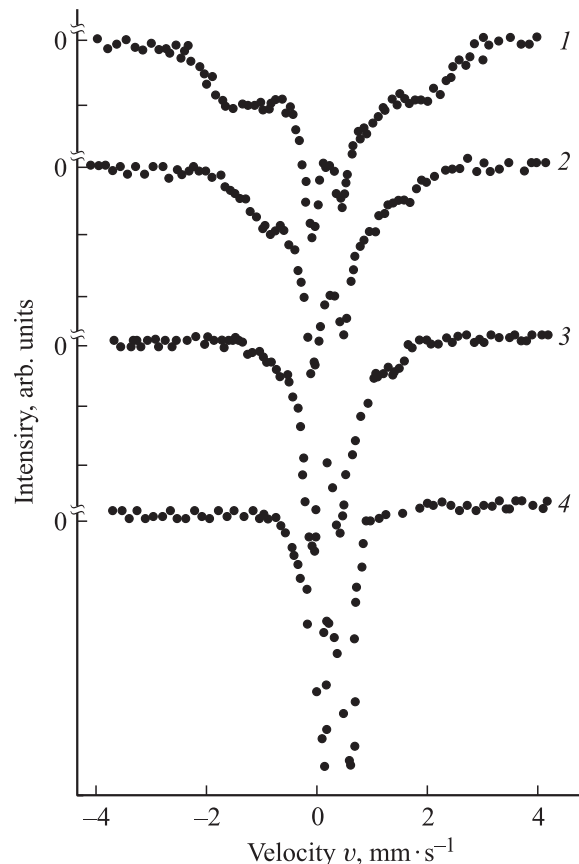


Рис. 1. Мессбауэровские спектры  $\text{TlFeS}_2$  (согласно [2]). Температура, К: 1 — 150, 2 — 160, 3 — 170, 4 — 180.

<sup>¶</sup> E-mail: ramizveliye@gmail.com

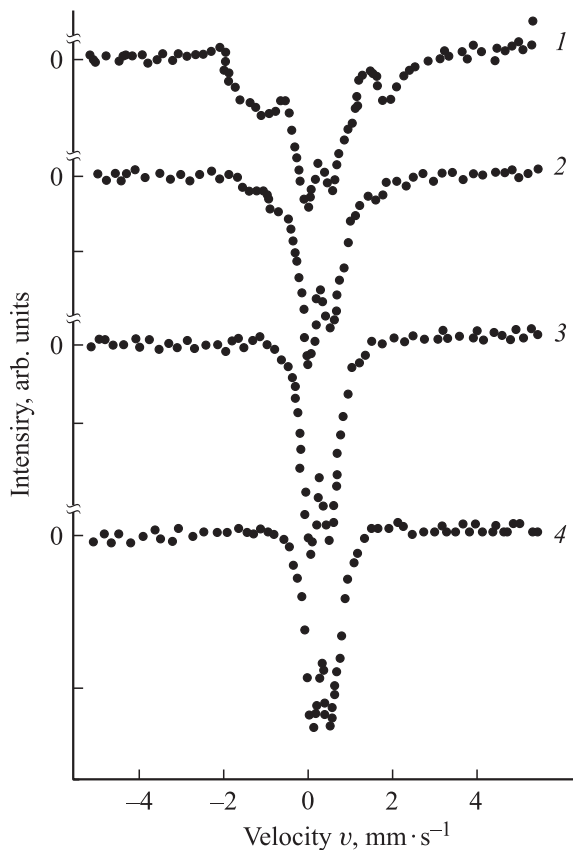


Рис. 2. Мессбауэровские спектры  $TiFeSe_2$  (согласно [3]). Температура, К: 1 — 260, 2 — 270, 3 — 310, 4 — 325.

Таким образом, на примере квазиодномерных полупроводниковых антиферромагнетиков  $TiFeS_2$ ,  $TiFeSe_2$  [1] можно заключить, что для всех поликристаллических полупроводниковых антиферромагнетиков, обладающих в низкосимметричной кристаллической структуре цепочными построениями, лишь тогда можно говорить об „одномерности“ их магнитной структуры (спиновой системы), когда температурная зависимость их статической магнитной восприимчивости  $\chi(T)$  имеет две температуры Нееля,  $T_{N3D}$  и  $T_{N1D}$ , характеризующие соответственно дальний и ближний магнитный порядок, при этом должно выполняться  $T_{N1D} \gg T_{N3D}$ .

В температурной зависимости теплоемкости таких антиферромагнетиков, исследованной в адиабатическом калориметре, должна наблюдаться аномалия с явным отклонением от  $\lambda$ -типа. Экспериментальная величина эффективного магнитного момента ( $\mu_{eff}^{exp}$ ) квазиодномерного антиферромагнетика должна быть меньше его теоретического значения ( $\mu_{eff}^{theor}$ ), так как  $\mu_{eff}^{exp}$  антиферромагнетика рассчитывается из парамагнитной области зависимости  $\chi(T)$ , где антиферромагнитные домены находятся в разупорядоченном (хаотическом) состоянии; поэтому при проявлении квазиодномерного антиферромагнитного упорядочения в парамагнитной области антиферромагнетика  $\mu_{eff}^{exp}$  будет меньше  $\mu_{eff}^{theor}$ . Чем шире

температурный интервал проявления квазиодномерности антиферромагнетика в парамагнитной области, тем меньше величина  $\mu_{eff}^{exp}$  в сравнении с  $\mu_{eff}^{theor}$ .

В температурной зависимости коэффициента термоэдс полупроводниковых квазиодномерных антиферромагнетиков температурная область изменения знака носителей заряда должна совпадать с выявленной из зависимости  $\chi(T)$  температурной областью  $T_{N1D}$ , т. е. должно иметь место влияние ближнего магнитного порядка на перенос заряда в таких антиферромагнетиках.

Наконец, в мессбауэровских спектрах в окрестности одномерной температуры Нееля  $T_{N1D}$  будут проявляться особенности, характеризующие суперпарамагнитные свойства квазиодномерных полупроводниковых антиферромагнетиков ( $T_{N1D} \gg T_{N3D}$ ).

### Список литературы

- [1] Р.Г. Велиев. ФТП, **45** (2), 162 (2011).
- [2] Г.Д. Султанов, Г.Д. Гусейнов, С.Г. Ибрагимов, А.С. Шукюров. Докл. АН АзССР, **43** (12), 16 (1987).
- [3] Г.Д. Султанов, Р.М. Мирзабабаев, С.Г. Ибрагимов, А.С. Шукюров, М.Т. Касумов. ФТТ, **29** (7), 2138 (1987).
- [4] С.В. Вонсовский. *Магнетизм* (М., Наука, 1971) гл. 23, § 6, с. 807.

Редактор Л.В. Шаронова

### About a superparamagnetism in quasi-one-dimensional semiconductor antiferromagnets $TiFeS_2$ , $TiFeSe_2$

R.G. Veliyev

Institute of Physics,  
National Academy of Sciences of Azerbaijan,  
Az-1143 Baku, Azerbaijan

**Abstract** The analysis of Mössbauer spectra of the quasi-one-dimensional antiferromagnet semiconductors  $TiFeS_2$  and  $TiFeSe_2$  is carried out. It is shown, that in quasi-one-dimensional antiferromagnetic domains  $TiFeS_2$ ,  $TiFeSe_2$  full compensation of magnetic moments is violated due to the fluctuations of the spins (spin-flops). In this case, the domains behave in the neighborhood of one-dimensional Neel temperature ( $T_{N1D}$ ) as ferrimagnetic ultrafine particles in the state of superparamagnetism. This feature in vicinity of  $T_{N1D}$  is typical for quasi-one-dimensional semiconductor antiferromagnets, in which  $T_{N1D} \gg T_{N3D}$ .