

**МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛА  $\text{Cu}_{1,22}\text{Fe}_{1,1}\text{Te}_2$**

**С.К.ОРУДЖОВ<sup>1</sup>, Г.Г.ГУСЕЙНОВ<sup>1</sup>, А.И.ДЖАБАРОВ<sup>1</sup>, А.И.НАДЖАФОВ<sup>1</sup>,  
М.М.АХМЕДОВ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт Физики НАН Азербайджана*

*AZ 1143, Бак, пр.Г.Джавида, 33*

<sup>2</sup>*Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана*

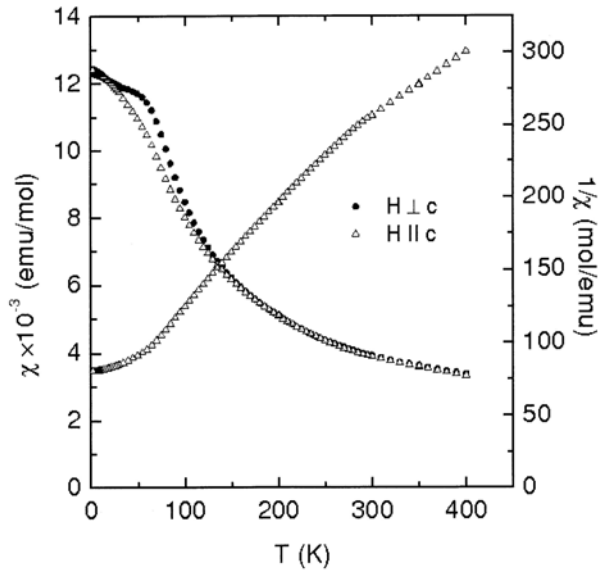
*AZ 1143, Баку, пр.Г.Джавида, 24*

В этой работе впервые представлены результаты измерений магнитной восприимчивости  $\text{Cu}_{1,22}\text{Fe}_{1,1}\text{Te}_2$  в широком интервале температур  $4\text{K} \leq T \leq 400\text{K}$  и намагниченности при различных температурах. Результаты измерений указывают на наличие антиферромагнитного характера взаимодействия. Эффективный магнитный момент атома железа, определенный из измерений магнитной восприимчивости, является близким к значению двухвалентного железа ( $\mu_{\text{эфф}}=4,74\mu_B$ ). В температурной зависимости магнитной восприимчивости ниже  $T \approx 30\text{K}$  наблюдается расщепление для режимов ZFC и FC, которое может быть связано с формированием ферромагнитных кластеров.

Соединения на основе I – III – VI групп типа  $\text{ABX}_2$  ( $\text{A}=\text{Cu}, \text{Ag}$ ;  $\text{B}=\text{Al}, \text{Ga}, \text{In}, \text{Fe}$ ;  $\text{X}=\text{S}, \text{Se}, \text{Te}$ ) являются материалами, находящими широкое применение в нелинейных оптических приборах, солнечных батареях и люминесцентных диодах [1]. Известно, что халькопирит –  $\text{CuFeS}_2$  проявляет уникальные оптические, электронные и магнитные свойства [2-4]. Что касается соединений  $\text{CuFeSe}_2$  и  $\text{CuFeTe}_2$ , то они до сих пор недостаточно изучены. В настоящей работе приведены результаты магнитных исследований монокристаллов, выращенных из расплава по методу Бриджмена из заранее синтезированных образцов стехиометрического  $\text{CuFeTe}_2$  [5]. Исследуемые монокристаллы кристаллизуются в тетрагональной симметрии, Пр.гр  $\text{P4/nmm}$ ,  $Z=1$ ,  $a=3,99\text{Å}$   $c=6,17\text{Å}$ , структурный тип риккардита –  $\text{Cu}_{4-x}\text{Te}_2$  [6]. Следует особо отметить, что при кристаллизации из расплава исследуемое вещество претерпевает структурное фазовое превращение и наблюдается распад на две фазы с резкой границей раздела: меньшая часть в виде совершенных монокристаллов, а верхняя, большая часть, в виде разноориентированных блочных состояний. В процессе кристаллизации четко наблюдается выход из состава элементарного Te, в результате чего изменяется отношение теллура к металлам. В связи с этим считали необходимым провести детальный химический анализ. Микрозондовый анализатор типа EDX (EDX – Energy Dispersive X-ray Analysis) показал следующие значения в атомных процентах:  $\text{Cu}=28 \pm 2$ ;  $\text{Fe}=25,5 \pm 1,5$  и  $\text{Te}=46,6 \pm 2$ . Эти значения, хотя и близки к данным [7, 8], но существенно отличается отношение количества Cu к Fe. Поэтому анализ монокристаллов дублировали на рентген анализаторе RA-2 и Analyst-800 Perkin Elmer. Полное совпадение результатов трех анализов в пределах погрешности методов позволило установить, что состав монокристаллов соответствует формуле  $\text{Cu}_{1,22}\text{Fe}_{1,1}\text{Te}_2$ .

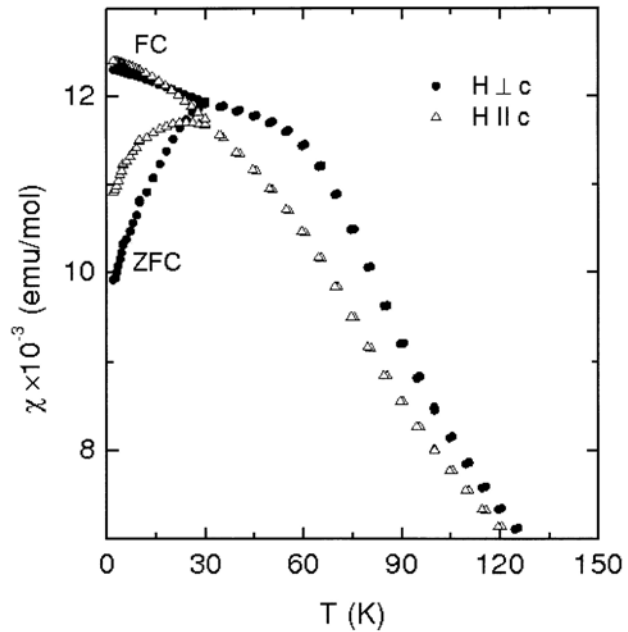
Магнитная восприимчивость была измерена в температурном интервале  $2\text{K} \leq T \leq 400\text{K}$  в магнитном поле  $20\text{kOe}$ . Температурная зависимость магнитной восприимчивости и обратной магнитной восприимчивости перпендикулярно и параллельно оси «с» кристалла представлена на Рис.1. Из рисунка видно, что ниже  $120\text{K}$  на температурной зависимости обратной магнитной восприимчивости наблюдается отклонение от закона Кюри-Вейса. Анизотропия на кривой температурной зависимости магнитной восприимчивости появляется ниже  $110\text{K}$ . Выше  $120\text{K}$  наблюдается линейное поведение кривой температурной зависимости

обратной магнитной восприимчивости, при температуре  $T \approx 290$  К кривая претерпевает изменение и далее идет опять линейно. Изменение магнитной восприимчивости при  $T \approx 290$  К может быть связано с возможностью существования состояния спин-волновой плотности с температурным переходом при  $T_{SDW} \approx 308$  К [9].



**Рис.1.**

Температурные зависимости магнитной восприимчивости и обратной магнитной восприимчивости монокристалла  $\text{Cu}_{1,22}\text{Fe}_{1,1}\text{Te}_2$  в температурном интервале  $4\text{K} \leq T \leq 400\text{K}$  в поле  $H=20\text{kOe}$ .



**Рис.2.**

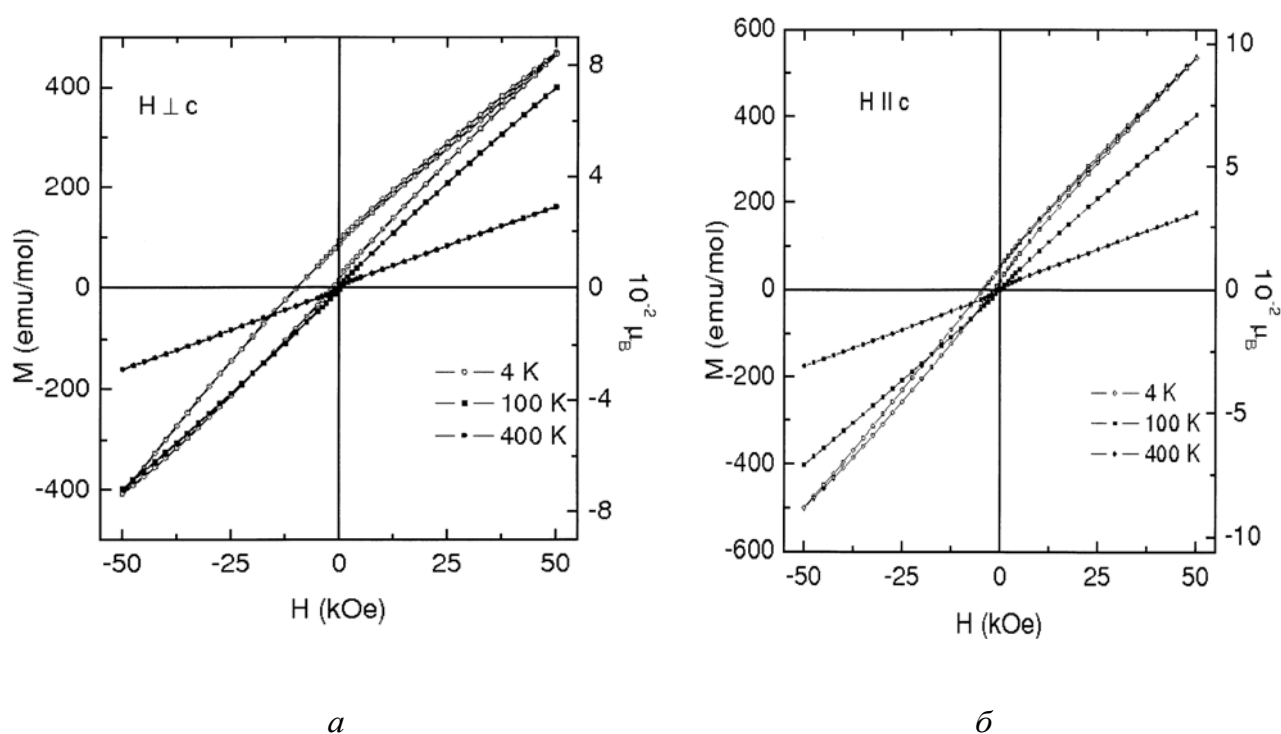
Температурная зависимость магнитной восприимчивости для режимов ZFC и FC монокристалла  $\text{Cu}_{1,22}\text{Fe}_{1,1}\text{Te}_2$  в температурном интервале  $4\text{K} \leq T \leq 125\text{K}$  в магнитном поле  $H=20\text{kOe}$ .

Парамагнитная температура Кюри ( $\theta = -300\text{K}$  для  $290\text{K} \leq T \leq 400\text{K}$ ) является отрицательной, что указывает на наличие антиферромагнитного взаимодействия. Эффективный магнитный момент составляет  $4,74\mu_B$ . Легко заметить, что полученное значение является несколько ниже значения, соответствующего двухвалентному железу ( $\text{Fe}^{2+} \sim 4,9\mu_B$ ).

Рис.2 показывает температурную зависимость магнитной восприимчивости для низких температур. Из рисунка видно, что для режимов ZFC (режим охлаждения образца в отсутствие поля) и FC (режим охлаждения образца в поле) наблюдается необратимость ниже  $T \approx 30\text{K}$  перпендикулярно и параллельно оси «с», являющаяся весьма характерной для спиновых стекол. Однако FC и ZFC поведение наблюдается для относительно сильного поля, такой высоко-полевой спин – стекольный эффект является достаточно неожиданным. Поэтому мы предполагаем, что такая FC и ZFC необратимость может скорее указывать на формирование ферромагнитных кластеров.

Полевая зависимость намагниченности для  $\text{Cu}_{1,22}\text{Fe}_{1,1}\text{Te}_2$  перпендикулярно и параллельно оси «с» показана на Рис.3а,б при различных температурах. Из рисунка видно, что при 4К как перпендикулярно оси «с», так и в направлении оси «с» мы имеем сдвинутый (приподнятый) FM гистерезис. Гистерезис, наблюдаемый перпендикулярно оси «с» является более широким. При высоких температурах намагниченность увеличивается почти линейно с полем ( $H > 5\text{kOe}$ ), как это и характерно для парамагнитной области. Наличие FM гистерезиса при низких

температурах также может быть вызвано формированием ферромагнитных кластеров. Сдвиг гистерезиса к сожалению мы объяснить не можем.



**Рис.3.**

Полевая зависимость намагниченности перпендикулярно оси «с» при различных температурах. Полевая зависимость намагниченности параллельно оси «с» при различных температурах.

Целью данной работы было исследование магнитных свойств соединения  $\text{Cu}_{1,22}\text{Fe}_{1,1}\text{Te}_2$ . Проведенные измерения магнитной восприимчивости показывают наличие анизотропии ниже 110К. Необратимость магнитной восприимчивости в режимах ZFC и FC ниже 30К связана с формированием ферромагнитных кластеров.

В заключение авторы считают своим долгом выразить благодарность З.Ю.Сеидову за участие в измерениях и обсуждении полученных результатов.

1. J.L.Shay and J.H.Wernick, *Ternary Chalcopyrite Semiconductors, Growth, Electronic Properties*, Pergamon, New York, (1975).
2. T.Teranishi, K.Sato and K.Konolo, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **36** (1974) 1618.
3. T.Teranishi, *J.Phys. Soc. Jpn.*, **16** (1961) 1881.
4. G.Donnay, L.M.Corliss, J.D.H.Donnay, N.Elliott and J.M.Hastings, *Phys. Rev.*, **112** (1958) 1917.
5. А.И.Наджафов, Г.Г.гусейнов, О.З.Алекперов, *Transaction of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXII** №5 (2002) 81.
6. S.A.Forman, M.A.Peacock, *Am.Min.* **34** №5-6 (1949) 441.
7. А.ЛюВайполин, В.Д.Прочухан, Ю.В.Рудь, Е.Е.Скорюкин, *Изв. АН СССР, неорг.материалы*, **20** (1984) 578.
8. A.U.Lamarche, J.C.Wolloy, G.Lamarche, S.W.Swainson, T.M.Holden, *J. of Magnetism and Magnetic Materials*. **186** (1998) 121.

9. A.Rivas, F.Gonzalez – Jimenez, L.D' Onofrio, E.Jaimes, M.Quitero and J.Gonzalez, «*SDW in the 2D Compound CuFeTe<sub>2</sub>*» *Hyperfine Interactions*, **134** (2001)115.

### **Cu<sub>1,22</sub>Fe<sub>1,1</sub>Te<sub>2</sub> MONOKRİSTALLARININ MAQNİT XASSƏLƏRİ**

**S.K.ORUCOV, Q.H.HÜSEYNOV, A.İ.CABBAROV, A.İ.NƏCƏFOV, M.M.ƏHMƏDOV**

Məqalə Cu<sub>1,22</sub>Fe<sub>1,1</sub>Te<sub>2</sub> monokristallarının geniş temperatur intervalında (2K≤T≤400K, 20kOe) maqnit xassələrinin tədqiqinə həsr olunub. Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində məlum olmuşdur ki, qarşılıqlı təsir mexanizmi antiferromaqnit xarakterə uyğundur.

Dəmir atomları üçün maqnit qavrayıcılığı ölçülərindən hesablanmış effektiv maqnit momentinin qiyməti üç və iki valentli Fe üçün aşağı qiymətə malikdir (3,49μV, 4,31μV). ZFC və FC rejimlər üçün T=30K-dən aşağıda maqnit qavrayıcılığının temperatur asılılığında parçalanma müşahidə edilir ki, bu da ferromaqnit klasterlərin əmələ gəlməsi ilə əlaqədar hesab edilir.

### **MAGNETIC PROPERTIES OF Cu<sub>1,22</sub>Fe<sub>1,1</sub>Te<sub>2</sub>**

**S.K.ORUDJOV, G.G.GUSEINOV, A.I.DJABBAROV, A.I.NADJAFOV, M.M.AKHMEDOV**

Results of magnetic susceptibility and magnetization experiments on single crystal Cu<sub>1,22</sub>Fe<sub>1,1</sub>Te<sub>2</sub> in wide temperature range 4-400K have been presented in this article. The results of measurements indicate the presence of antiferromagnetic character of interaction. Effective magnetic moment of the Fe determined from the magnetic susceptibility data had the value close for Fe<sup>2+</sup>. A clear splitting of the field-cooled (FC) and zero-field-cooled (ZFC) magnetic susceptibility occurred below T≈30K. The FC and ZFC splitting can indicate the formation of FM clusters.

Редактор: А.Гарибов