

Краткие сообщения

Универсальность линии необратимости намагниченности метгласов и сверхпроводников

В.А. Сиренко, В.В. Еременко

*Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина НАН Украины
пр. Ленина, 47, г. Харьков, 61103, Украина
E-mail: Sirenko@ilt.kharkov.ua*

Статья поступила в редакцию 15 апреля 2014 г., опубликована онлайн 21 июля 2014 г.

Проанализированы экспериментальные данные о температурных зависимостях намагниченности метгласов и сверхпроводников. Общая особенность — необратимость намагниченности: ниже температуры T^* при фиксированной напряженности поля намагниченность различна при охлаждении в магнитном поле (M_{FC}) и вне его (M_{ZFC}). Показано, что для всех образцов линия $T^*(H)$ универсальна и согласуется с теоретической зависимостью де Алмейды–Таулесса ($T^* \sim H^{2/3}$) во всем исследованном диапазоне магнитных полей.

Проаналізовано експериментальні дані про температурні залежності намагніченості метгласів та надпровідників. Загальною рисою є необоротність намагніченості: нижче температури T^* при фіксованій пружності магнітного поля намагніченість відрізняється при охолодженні у магнітному полі (M_{FC}) та у його відсутності (M_{ZFC}). Показано, що для усіх зразків лінія $T^*(H)$ є універсальною і відповідає теоретичній залежності де Алмейди–Таулесса ($T^* \sim H^{2/3}$) у дослідженому діапазоні магнітних полів.

PACS: **75.30.-m** Характерные свойства магнитоупорядоченных материалов;
75.30.-c Магнитные свойства наноструктур.

Ключевые слова: спиновое стекло, полиаморфизм, метгласы, сверхпроводники.

В работах [1,2] показана возможность существования разновидности полиаморфизма [3] — спин-стекольного полиаморфизма в магнитных соединениях на основе оксидов переходных металлов (манганитах, кобальтитах, ферритах). Такое состояние было обнаружено в результате анализа температурных зависимостей продольной компоненты намагниченности при различных условиях охлаждения: в магнитном поле с фиксированным значением его напряженности (field cooled (FC)) и без поля (zero field cooled (ZFC)). Температурные зависимости намагниченности в ZFC- и FC-условиях совпадают лишь выше определенной температуры T^* , а ниже T^* они «расщепляются». Полевая зависимость $T^*(H)$ — линия невозвратимости (irreversibility line) на магнитной фазовой H - T -диаграмме, которая для исследованных соединений соответствовала соотношению де Алмейды–Таулесса (AT) [4], а в ряде случаев при увеличении поля — соотношению Габай–Тулуза (GT) [5]. В результате анализа большого

объема литературных и экспериментальных данных о полевых зависимостях $T^*(H)$ [1,2] показано, что проявлением спин-стекольного полиаморфизма может служить индуцированный магнитным полем кроссовер между стекольными состояниями AT [4] и GT [5]. Для всех исследованных материалов он представлен универсальной критической линией на H - T -диаграмме, построенной в приведенных координатах.

В настоящей работе на рис. 1–3 представлены результаты анализа магнитных измерений для металлических стекол (метгласов) и сверхпроводников (табл. 1). Поскольку реальные зависимости $T^*(H)$ для рассматриваемых в настоящей работе материалов описываются теоретическими AT-линиями [4], экспериментальные результаты различных работ представим в координатах $T^*(H^{2/3})$, как показано в [1,2], для соответствующих участков экспериментальных кривых для манганитов, кобальтитов и ферритов. Линейной экстраполяцией для каждого из исследованных объектов находим па-

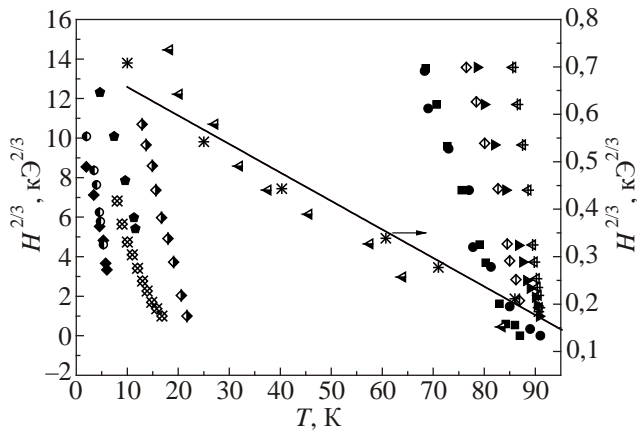


Рис. 1. Зависимость напряженности магнитного поля H от T^* — температуры расщепления температурных зависимостей ZFC- и FC- намагниченности для метгласов [6–8] и сверхпроводников [9–11]. Обозначения в табл. 1.

параметры T_{01}^* и H_{01} . В табл. 1 приведены значения этих параметров для метгласов и сверхпроводников и ссылки на статьи, из которых взяты результаты исследований низкотемпературной намагниченности в ZFC- и FC-режимах, а также обозначения, используемые для них на графиках.

Введем обозначение $\Delta_1 = T^*(H) - T_{01}^*$. Начальный участок зависимости $\Delta_1 = T^*(H) - T_{01}^*$ (вставка на рис. 2) хорошо описывается линейной функцией

$$\Delta_1(H)/T^*(H) = H/H_{01}, \quad (1)$$

теоретически описывающей температуру блокировки ансамбля взаимодействующих однодоменных (суперпарамагнитных) частиц [12–16]. Однако в более сильных полях наблюдается заметное отклонение от формулы (1), что, по-видимому, обусловлено возросшим взаимодействием между частицами.

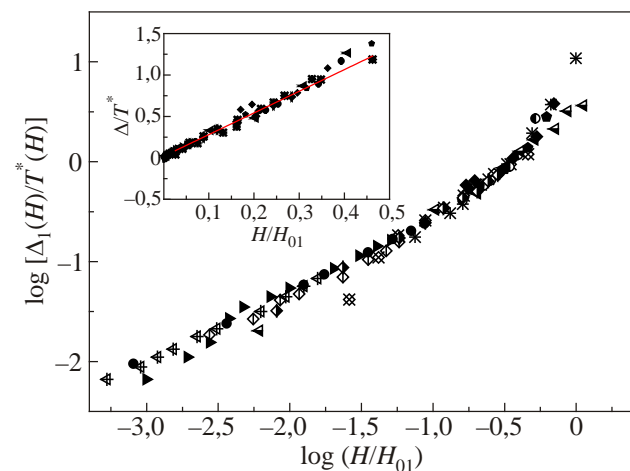


Рис. 2. Зависимость $\Delta_1/T^*(H)$ от напряженности приведенного магнитного поля H/H_{01} . Обозначения в табл. 1.

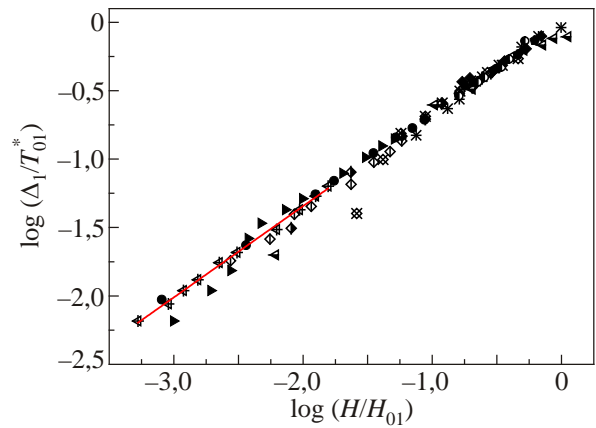


Рис. 3. Зависимость относительного изменения температуры необратимости намагниченности Δ_1 / T_{01}^* от напряженности приведенного магнитного поля H/H_{01} . Прямая линия с наклоном 0,66 соответствует теоретической АТ-линии [4] с показателем степени 2/3. Обозначения в табл. 1.

В металлических стеклах линия необратимости намагниченности во всем диапазоне исследованных магнитных полей хорошо описывается линией АТ [4]. Это обстоятельство, по-видимому, связано с полной магнитной изотропностью метгласов, так как при измерении намагниченности вдоль направления магнитного поля магнитоизотропная система подобна изинговской, а теория АТ [4] основана на том, что рассматривается изингоподобная система.

Линия необратимости намагниченности сверхпроводников также теоретически описывается АТ-линией [4]. По-видимому, в сверхпроводниках в исследованном диапазоне напряженностей магнитного поля сердцевинные вихри ориентируются вдоль магнитного поля подобно спиновым моментам в изинговских системах. Однако следует иметь в виду, что в сверхпроводниках в различных магнитных полях и при различных температурах реализуются различные вихревые структуры. Фазовые переходы между этими структурами магнитных вихрей, которые рассматриваются как стекла [9], являются проявлением полиаморфизма (полиаморфизма магнитных стекол в сверхпроводниках).

Таким образом, полиаморфизм, впервые подробно изученный Л.С. Палатником с соавторами [3], в современных работах проявляется:

- 1) как ориентационные фазовые переходы в углеродных наносистемах, допированных молекулярными газами [17,18];
- 2) в спиновых стеклах — манганитах, ферритах, кобальтитах [1,2];
- 3) в вихревых стеклах, реализующихся в сверхпроводниках 2-го рода [9];
- 4) в аморфных полупроводниках (Ge, Si), под влиянием высоких давлений переходящих в металлические фазы и даже в сверхпроводящее состояние [19].

Таблица 1. Объекты исследования

Химическая формула	Структурная морфология	$T_C(0)$, К	Δ_1 / T_{01}^* , К	H_{01} , кЭ	Ссылка	Обозначение
Fe(20Å)/Cr(12Å)	Многослойник	$T_{infl} = 93 \pm 1,4$ $T_g = 140$	118,4	0,6	[6]	✱
Au5%Fe	Аморфная лента	$T_g = 20,6$	17,5	38,5	[7]	⊗
Fe ₉₂ Zr ₈	Аморфная лента	~ 175	85,2	49	[8]	◁
YNi ₂ B ₂ C	Монокристалл (c)	15,5	17,7	69,5	[9]	◆
SmBa ₂ Cu ₃ O _{7-x}	Поликристалл	92,7 _p	89,5	204	[10]	■
	Поликристалл (отжиг)	89,9 _p	85,7	517	[10]	●
YBa _{1,75} Sr _{0,25} Cu ₃ O _{7-x}	Поликристалл		88,5	862,3	[11]	◇
YBa ₂ Cu ₃ O _{7-x}	Melt-textured (c)	90 ± 0,2	91	985	[11]	▶
	Melt-textured (ab)	90 ± 0,2	91	3196	[11]	⊕
La ₂ BaCuO _{4-x}	Керамика	~ 30	22,4	123,5	[11]	◇
Yb ₃ Rh ₄ Sn ₁₃	Монокристалл (c)	7,6	9,5	35,8	[9]	◆
2H-NbSe ₂	Монокристалл (c)	7,2	7,5	61,6	[9]	●

Работа выполнена при финансовой поддержке Украинского фонда фундаментальных исследований (грант Ф54/252-2013).

1. В.А. Сиренко, В.В. Еременко, *ФНТ* **40**, 230 (2014) [*Low Temp. Phys.* **40**, 179 (2014)].
2. В.А. Сиренко, В.В. Еременко, *ФНТ* **40**, 671 (2014) [*Low Temp. Phys.* **40**, No. 6 (2014)].
3. L.S. Palatnik, A.B. Bykovskii, P.A. Panchekha, A.G. Dudolatov, and V.I. Verchenko, *Dokl. Acad. Nauk. SSSR* **254**, 632 (1980).
4. L. de Almeida and D.J. Thouless, *J. Phys.: Math. Gen.* **11**, 983 (1978).
5. M. Gabay and G. Toulouse, *Phys. Rev. Lett.* **47**, 201(1981).
6. N. Theodoropoulou, A.F. Hebard, M. Gabay, A.K. Majumdar, C. Pace, J. Lannon, and D. Temple, *J. Magn. Magn. Mater.* **263**, 32 (2003).
7. D. Petit, L. Fruchter, and I.A. Campbell, *Phys. Rev. Lett.* **83**, 5130 (1999).
8. D.H. Ryan, J. van Lierop, and J.M. Cadogan, *J. Phys.: Condens. Matter* **16**, S4619 (2014).
9. S.S. Banerjee, A.K. Grover, M.J. Higgins, Gutam I. Menon, P.K. Mishra, D. Pal, S. Ramakrishnan, T.V. Chandrasekhar Rao, G. Ravikumar, V.C. Sahni, S. Sarkar, and C.V. Tomy, *Physica C* **355**, 39 (2001).
10. J.P. Peña, B.D. Martínez, C.A. Parra Vargas, A.G. Cunha, J.L. Pimentel, Jr, and P. Pureur, *Brazil. J. Phys.* **43**, 22 (2013).
11. F.T. Dias (2012), in: *Superconductors — Properties, Technology and Applications*, Yuri Grigorashvili (ed.), ISBN: 978-953-51-0545-9, InTech.
12. R. Skomski, *J. Phys.: Condens. Matter* **15**, 841 (2003).
13. J. Du, B. Zhang, R.K. Zheng, and X.K. Zhang, *Phys. Rev. B* **75**, 014415 (2007).
14. P. Allia, M. Coisson, P. Tiberto, F. Vinai, M. Knobel, M. Novak, and W.C. Nunes, *Phys. Rev. B* **64**, 0114420 (2001).
15. O. Margeat, M. Tran, M. Spasova, and M. Farle, *Phys. Rev. B* **75**, 134410 (2007).
16. P. Allia, F. Celegato, M. Coisson, A. Da Re, F. Ronconi, F. Spizzo, P. Tiberto, and F. Vinai, *J. Magn. Magn. Mater.* **290–291**, 580 (2205).
17. A.C. Бакай, *ФНТ* **32**, 1143 (2006) [*Low Temp. Phys.* **32**, 868 (2006)].
18. V.G. Manzhelii, A.V. Dolbin, V.B. Esel'son, V.G. Gavrilko, G.E. Gadd, S. Moricca, D. Cassidy, and B. Sundqvist, *Fiz. Nizk. Temp.* **32**, 913 (2006) [*Low Temp. Phys.* **32**, 695 (2006)].
19. O.I. Barkalov, V.G. Tissen, P.F. McMillan, M. Wilson, A. Sella, and M.V. Nefedova, *Phys. Rev. B* **82**, 020507 (2010).

Universality of the magnetization irreversibility line in metglasses and superconductors

V.A. Sirenko and V.V. Eremenko

The measured temperature dependences of magnetization of metallic glasses and superconductors are analyzed. Their common feature is irreversibility of magnetization: below a certain temperature value T^* the magnetization values measured at a fixed magnetic-field strength differ after cooling in a magnetic field (M_{FC}) and without it (M_{ZFC}). It is shown, that for all of the samples the $T^*(H)$ line is universal and fits well the theoretical dependence of de Almeida–Thouless ($T^* \sim H^{2/3}$) all over the measuring magnetic field range.

PACS: **75.30.-m** Intrinsic properties of magnetically ordered material;

75.30.-c Magnetic properties of nanostructures.

Keywords: spin glass, polyamorphism, metglasses, superconductors.