

АНИЗОТРОПИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО URu_2Si_2 В СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Ф.Г.Алиев^{+*1)}, С.Виейра^{*1)}, Р.Вийар^{*1)}, Х.Л.Мартинес^{*1)}

⁺Физический факультет Московского государственного университета
им. М.В.Ломоносова
119899 Москва, Россия

^{*}Facultad de Ciencias, C-III, Universidad Autonoma de Madrid,
28049, Madrid, SPAIN

Поступила в редакцию 20 декабря 1994 г.

Исследования температурных зависимостей магнитной восприимчивости монокристаллического URu_2Si_2 , впервые выполненные для слабых магнитных полей ($H < 5$ кЭ), свидетельствуют о появлении при температурах ниже 35К слабых ферромагнитных корреляций, имеющих анизотропный характер.

Сверхпроводник URu_2Si_2 – первый из тяжелофермионных систем, в котором открыто необычное сосуществование сверхпроводимости и магнетизма, когда температура сверхпроводящего перехода ($T_C \sim 1,2$ К) существенно меньше температуры антиферромагнитного упорядочения ($T_N \approx 17,5$ К) [1,2]. С одной стороны, природа магнитного упорядочения до сих пор остается непонятной, поскольку ни одна из моделей не объясняет крайне малый магнитный момент упорядочения при значительном скачке теплоемкости. С другой стороны, не является окончательно установленным и тип нетривиального (d или p) спаривания с ненулевым орбитальным моментом в сверхпроводящей фазе. Поскольку антиферромагнитный момент ориентирован вдоль тетрагональной оси c , то он не способен снять вырождение векторного параметра порядка. В этой ситуации важную роль для симметричного анализа в рамках модели Гинзбурга–Ландау играет возможное понижение симметрии нормальной фазы за счет других магнитных или структурных фазовых переходов.

В настоящей работе сообщается о первом экспериментальном исследовании магнитной восприимчивости χ монокристаллического URu_2Si_2 в интервале температур $1,7 < T < 300$ К и в магнитных полях от 100Э до $5 \cdot 10^4$ Э. Ошибка в ориентации образца не превышала 3–4 градусов. Измерения проводились при помощи коммерческого СКВИДА (Quantum Design). Насколько нам известно, все опубликованные к настоящему времени исследования выполнены в магнитных полях более 5кЭ [2]. В диапазоне температур $T > 50$ К и в сильных магнитных полях наши результаты соответствуют литературным данным и для краткости опускаются.

Рис.1 представляет температурные зависимости магнитной восприимчивости URu_2Si_2 в магнитных полях 100, 500 и 5000Э, направленных вдоль базисной плоскости. В слабых магнитных полях наблюдается существенное отклонение в сторону, соответствующую увеличению значений магнитной восприимчивости (рис.1). Магнитное поле $H > 10^3$ Э подавляет указанный эффект. Полевые зависимости магнитного момента M , представленные до $4 \cdot 10^3$ Э на вставке

¹⁾F.G.Aliev, S.Vieira, R.Villar J.L.Martinez

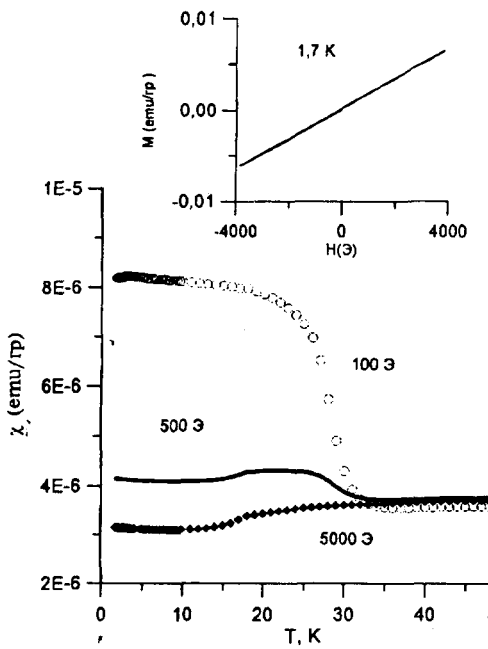


Рис.1

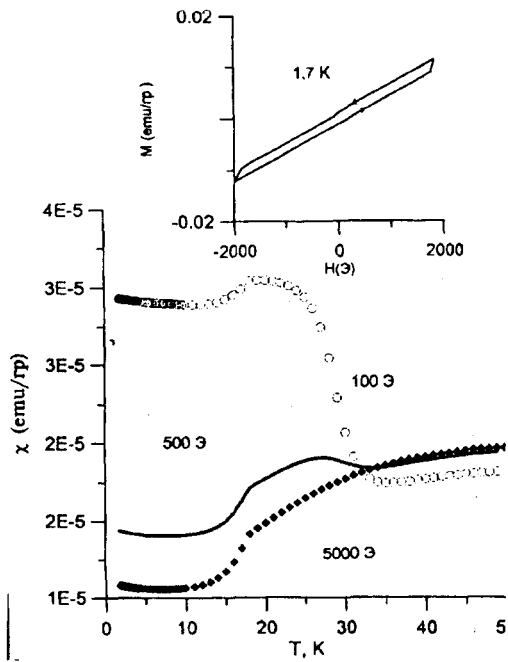


Рис.2

Рис.1. Температурные зависимости магнитной восприимчивости и полевые зависимости магнитного момента (вставка) монокристалла URu_2Si_2 для магнитного поля вдоль направления ab

Рис.2. Температурные зависимости магнитной восприимчивости и полевые зависимости магнитного момента (вставка) монокристалла URu_2Si_2 для магнитного поля вдоль тетрагональной оси c

к рис.1, являются линейными вплоть до $5 \cdot 10^4$ Э без видимых признаков гистерезиса. В полях 500 и 5000 Э при $T \approx 18$ К отчетливо наблюдается излом на $\chi(T)$, соответствующий антиферромагнитному переходу. Любопытно, что указанная аномалия трудноразличима в поле 100 Э.

Рис.2 представляет результаты измерения магнитной восприимчивости монокристаллического URu_2Si_2 в магнитных полях 100, 500 и $5 \cdot 10^3$ Э, направленных вдоль тетрагональной оси c . Вновь, как и для H вдоль базисной плоскости, в слабых магнитных полях наблюдается появление корреляций ферромагнитного типа, подавляемых магнитным полем. Наиболее убедительным аргументом в пользу ферромагнитного характера взаимодействий, возникающих при $T < 35$ К, является наличие слабого гистерезиса на полевых зависимостях магнитного момента (см. вставку к рис.2). Известный из литературы переход в антиферромагнитное состояние наблюдается в виде излома на зависимости $\chi(T)$ вблизи 18 К, причем его амплитуда, в отличие от $H \parallel ab$, слабо зависит от величины магнитного поля. Следует также отметить, что вблизи $T \sim 3$ К для обоих направлений поля наблюдается незначительная (менее 1% для $H \parallel ab$) аномалия магнитной восприимчивости, абсолютная величина которой слабо зависит от направления магнитного поля.

Предметом обсуждения в настоящей работе будет только ферромагнитная нестабильность вблизи $T \sim 35$ К. Анизотропный характер эффекта позволяет предположить, что переход не связан с наличием ферромагнитных примесей. Предположение о наличии ферромагнитной нестабильности ниже 35–40 К (однако не подтвержденное экспериментальным материалом) было высказано ранее Рамиресом с соавторами [3] с целью объяснить наблюдавшееся у ряда образцов расщепление сверхпроводящего перехода двухфазностью образцов. При этом отвечающая ферромагнитной нестабильности вторая фаза предположительно формируется областями, в которых имеет место нарушение кристаллической симметрии за счет сдвига базисных плоскостей перпендикулярно оси c . Однако недавно при исследовании магнитострикции в монокристаллическом URu_2Si_2 с узким и нерасщепленным сверхпроводящим переходом (то есть в специально отобранном "однофазном" образце) для магнитного поля вдоль тетрагональной оси было обнаружено необычное изменение знака спонтанной магнитострикции, объясненное присутствием как сверхпроводящего, так и парамагнитного гистерезисов [4]. Таким образом, представленное в настоящей работе прямое наблюдение гистерезиса магнитных свойств монокристаллического URu_2Si_2 для магнитного поля вдоль оси c , в совокупности с данными Ван Дейка с соавторами [4,5], может свидетельствовать об объемном характере наблюдаемой ферромагнитной нестабильности с эффективным магнитным моментом менее $10^{-3} \mu_B$ на атом урана.

Ферромагнитные корреляции крайне необычны для систем с тяжелыми фермионами где, как правило, рассматривалась лишь возможность реализации антиферромагнитных взаимодействий в нормальном состоянии. Интересно, что температура, ниже которой наблюдаются ферромагнитные корреляции, так же как и в UBe_{13} [6] соответствует энергии расщепления немагнитного основного состояния кристаллическим полем $\Delta_{CF} \approx 40$ К [7]. Таким образом, именно изменение природы магнетизма атомов урана, происходящее при $T < \Delta_{CF}$, может индуцировать появление слабого ферромагнетизма при этих температурах.

Авторы выражают благодарность В.Минееву за обсуждение результатов, Д.Хинксу (D.Hinks) за предоставление образца, а также РФФИ и МНФ за частичную поддержку работы.

-
1. W.Schlabitz, J.Bauman, B.Politt et al., Z. Phys. B52, 171 (1986).
 2. T.T.M.Palstra, A.A.Menovsky, G. van den Berg et al., Phys. Rev. Lett. 55, 2727 (1986).
 3. A.P.Ramirez, T.Siegrist, and T.T.Palstra, Phys. Rev. B44, 5392 (1991); E.A.Knetsch, Ph.D.thesis, U.Leiden, 1993 (unpublished).
 4. N.H.van Dijk, A.de Visser, J.J.M.Franse, and A.A.Menovsky, to be published in Proceedings of SCES'94, Amsterdam, 1994.
 5. N.H.van Dijk, Ph.D.thesis, UvA, 1994 (unpublished).
 6. Ф.Г.Алиев, С.Виейра, Р.Вийар, Х.Л.Мартинес, Письма в ЖЭТФ 60, 574 (1994).
 7. G.J.Nieuwenhuys, Phys. Rev. B35, 5260 (1987).