

Электронный спиновый резонанс в квазиодномерном $S = 1/2$ антиферромагнетике с однородным взаимодействием Дзялошинского-Мории $K_2CuSO_4Br_2$ Т.А. Солдатов,^{1,2} К.Ю. Поваров,^{1,3} М. Hälg,³ W.E.A. Lorenz,³ А. Желудев,³ А.И. Смирнов^{1,2}¹Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН²Московский физико-технический институт (государственный университет)³Neutron Scattering and Magnetism, Laboratory for Solid State Physics, ETH Zürich

Магнитные кристаллы с низкоразмерной спиновой структурой демонстрируют отсутствие магнитного упорядочения в широкой области температур ниже температуры Кюри-Вейсса T_{CW} . В этой области спиновая система сильно коррелирована и находится в так называемой спин-жидкостной фазе, в которой существуют долгоживущие возбуждения. В квазиодномерном $S = 1/2$ диэлектрическом антиферромагнетике $K_2CuSO_4Br_2$ температура Кюри-Вейсса $T_{CW} = 20$ К, а упорядочение задерживается до точки Нееля $T_N = 70$ мК. В этих кристаллах магнитные ионы меди Cu^{2+} , несущие спин $S = 1/2$, располагаются вдоль кристаллографической оси a , формируя спиновые цепочки. Внутрицепочечный обменный интеграл $J = 20.5$ К значительно больше межцепочечного $J' = 0.034$ К. Отличительной чертой кристаллов данного вещества является существование *однородного* взаимодействия Дзялошинского-Мории (ДМ) между соседними магнитными ионами внутри цепочки [1]. Однородное взаимодействие ДМ между соседними спинами в гейзенберговской цепочке спинов $S = 1/2$ модифицирует двухспиновый континуум возбуждений, сдвигая весь спектр в \mathbf{q} -пространстве на волновой вектор $q_{DM} = D/Ja$, где D - вектор ДМ, a - период спиновой цепочки [2]. Как следствие, в магнитном поле $\mathbf{H} \parallel \mathbf{D}$ линия электронного спинового резонанса (ЭСР) расщепляется на две линии с частотами на верхней и нижней границах несмещенного континуума при волновом векторе q_{DM} , формируя спиновый дублет линий. При ориентации магнитного поля \mathbf{H} перпендикулярно вектору \mathbf{D} сигнал магнитного резонанса не расщепляется, но образуется энергетическая щель в нулевом поле.

Спиновый дублет ЭСР и энергетическая щель были действительно экспериментально обнаружены в спин-жидкостной фазе квазидвумерного антиферромагнетика на искаженной треугольной решетке Cs_2CuCl_4 , в котором однородное взаимодействие ДМ существует в спиновых цепочках, связь между которыми ослаблена из-за геометрической фрустрации обменных связей между цепочками [3]. Однако, в настоящей работе исследуется кристалл $K_2CuSO_4Br_2$, спиновая система которой значительно лучше соответствует теоретической

модели спионного дублета вследствие ее практически идеальной квазиодномерности ($J/J' \approx 600$). Структура этого орторомбического P_{nma} минерала представлена на Рис. 1.

Цель работы - исследовать магнитный резонанс в спин-жидкостной фазе $K_2CuSO_4Br_2$ в широком интервале температур и частот с целью обнаружения спионного дублета и выявления всех особенностей частотно-полевого спектра в этом антиферромагнетике, включая участки частот как ниже, так и выше энергетической щели.

На Рис. 2 представлена частотно-полевая диаграмма ЭСР для магнитного поля, приложенного вдоль b -оси параллельно вектору \mathbf{D} . Температурная эволюция ЭСР-линии на частоте 27.83 ГГц при этой ориентации поля показана на Рис. 3. Частотно-полевая диаграмма для магнитного поля, направленного перпендикулярно вектору \mathbf{D} , представлена на Рис. 4. Температурная эволюция линии ЭСР на частоте 27.75 ГГц при этой ориентации поля показана на Рис. 5.

В области температур $T > 25$ К в кристаллическом образце $K_2CuSO_4Br_2$ мы наблюдаем одиночную линию парамагнитного резонанса. При охлаждении ниже 10 К спектр магнитного резонанса значительно изменяется. Для ориентаций магнитного поля $\mathbf{H} \parallel a, c$ резонансная линия сдвигается в сторону более низких полей (Рис. 5), для $\mathbf{H} \parallel b$ - превращается в спионный дублет (Рис. 3). Трансформация резонансных линий прекращается при температуре около 2 К.

Теоретический анализ [2] спионного континуума для антиферромагнитной цепочки спинов $S = 1/2$ с однородным взаимодействием ДМ предсказывает следующие частоты спионного дублета для произвольного направления поля \mathbf{H} по отношению к ДМ вектору \mathbf{D} :

$$\hbar \nu = \left| g\mu_B \vec{H} \pm \frac{\pi}{2} \vec{D} \right|.$$

Используя последнюю формулу, нами была получена оценка величины D : $D \approx 0.27$ К.

Таким образом, в кристаллах $K_2CuSO_4Br_2$ обнаруживается магнитный резонанс спионного типа, находящийся в полном соответствии с допустимой симметрией кристалла ориентацией векторного параметра взаимодействия ДМ.

Литература

- [1] Hälg M., Lorenz W.E.A., Povarov K.Yu., Månsson M., Skourski Y., Zheludev A.
Quantum spin chains with frustration due to Dzyaloshinskii-Moriya interactions
Phys. Rev. B. - 2014. - **90**. - С. 174413.

[2] Gangadharaiah S., Sun J., Strykh O.A.

Spin-orbital effects in magnetized quantum wires and spin chains

Phys. Rev. B. - 2008. - **78**. - C. 054436.

[3] Povarov K.Yu., Smirnov A.I., Strykh O.A., Petrov S.V., Shapiro A.Ya.

Modes of magnetic resonance in the spin liquid phase of Cs_2CuCl_4

Phys. Rev. Lett. - 2011. - **107**. - C. 037204.

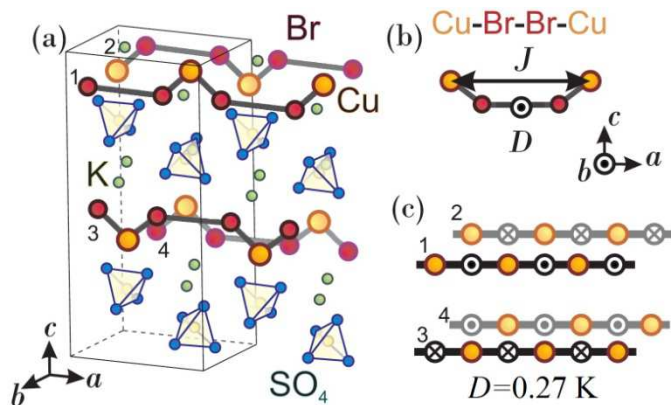


Рис. 1. (a) Кристаллическая структура $\text{K}_2\text{CuSO}_4\text{Br}_2$. (b) Магнитные взаимодействия между Cu^{2+} - ионами согласно симметричному анализу кристаллической структуры. (c) Два набора неэквивалентных спиновых цепочек с противоположным направлением вектора ДМ.

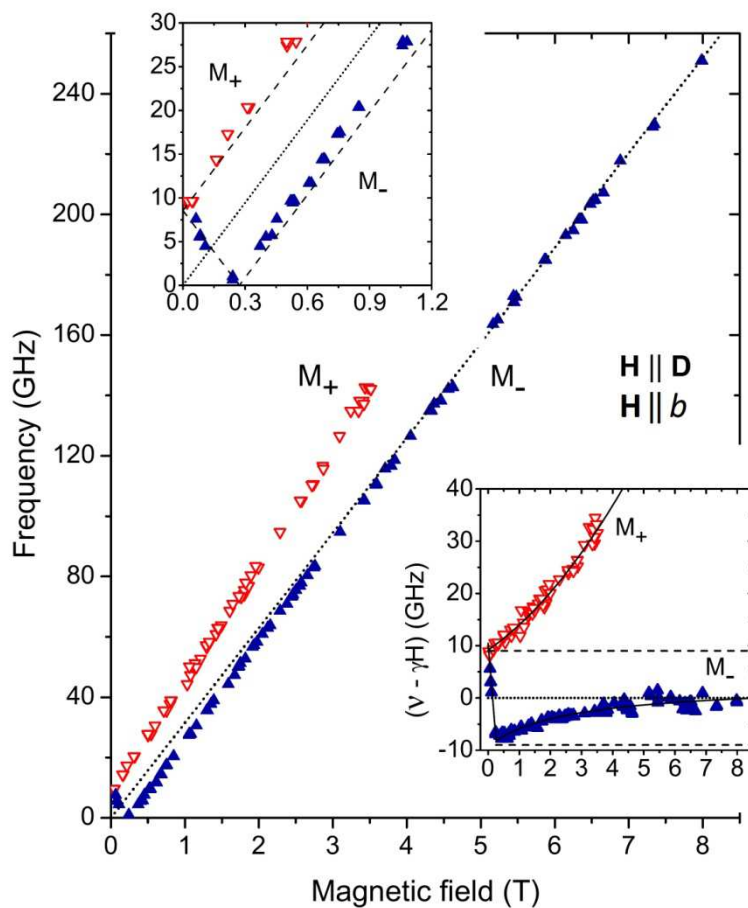


Рис. 2. Частотно-полевая зависимость для $\mathbf{H} \parallel \mathbf{D}$ при $T = 0.5$ К. Пунктирные линии - теоретическое предсказание при $D = 0.27$ К.

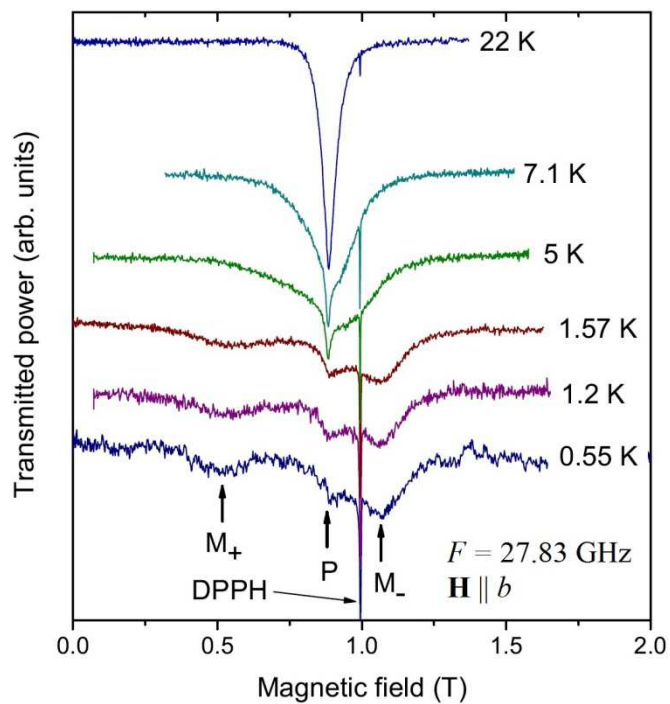


Рис. 3. Температурная эволюция ЭСР-линии на частоте 27.83 ГГц для $\mathbf{H} \parallel b$. M_+ и M_- обозначают компоненты спионного дублета.

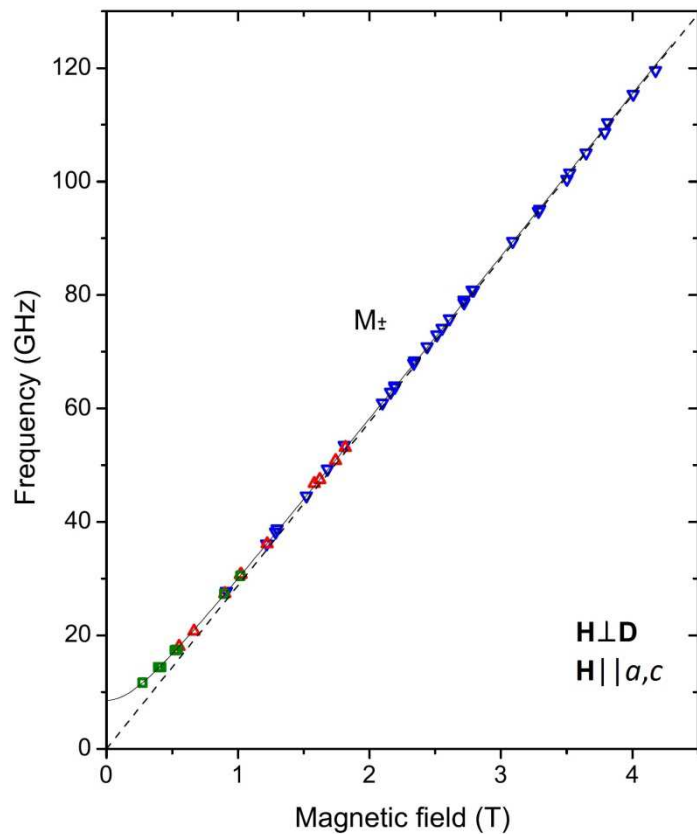


Рис. 4. Частотно-полевая зависимость для $\mathbf{H} \perp \mathbf{D}$ при $T = 0.5$ К. Сплошная линия - теоретическая зависимость с параметром $D = 0.27$ К.

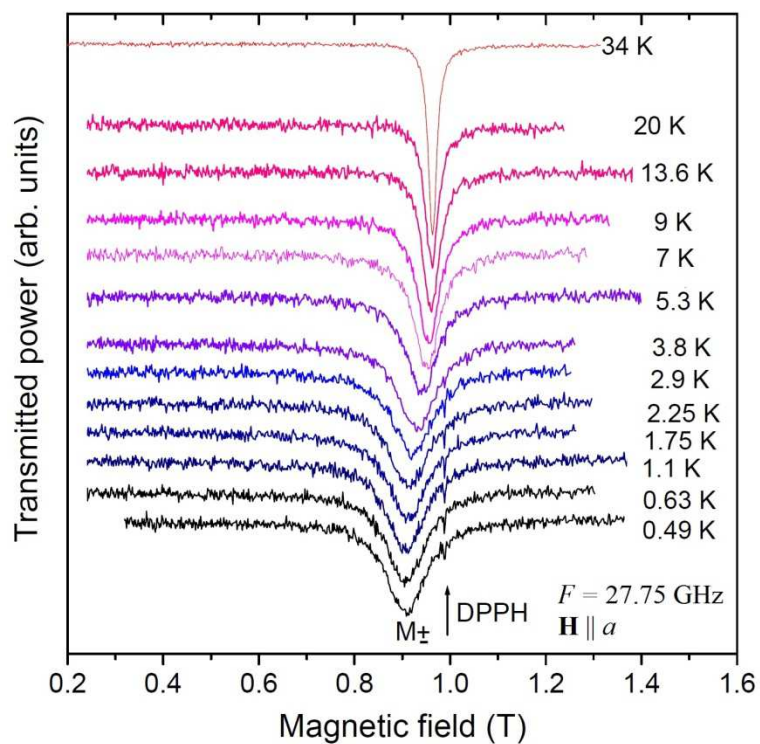


Рис. 5. Температурная эволюция ЭСР-линии на частоте 27.75 ГГц для $\mathbf{H} \parallel a$.