

14. Guo F., Xi X., Ma L., Nie Z., Nie Z., Highly efficient sorption of molybdenum from tungstate solution with modified D301 resin, RSC Adv. 11 (2021) 29939–29947. <https://doi.org/10.1039/D1RA04458C>
15. Chappell M., LeMonte J., McGrath C., Karna R., Styles R., Miller C., Miller L., Waites M., Middleton M., Price C., Chappell C., Dozier H., Abraham A., Henslee A., Strelzoff A., Predicting Langmuir model parameters for tungsten adsorption in heterogeneous soils using compositional signatures, Geoderma. 422 (2022) 115924. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115924>
16. Guo F., Xi X., Ma L., Nie Z., Property and mechanism on sorption of molybdenum from tungstate solution with a porous amine resin, J. Clean. Prod. 335 (2022) 130304. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130304>
17. Hamza M.F., K.A.M. Salih, Zhou K., Wei Y., Abu Khoziem H.A., Alotaibi S.H., Guibal E., Effect of bi-functionalization of algal/polyethyleneimine composite beads on the enhancement of tungstate sorption: Application to metal recovery from ore leachate, Sep. Purif. Technol. 290 (2022) 120893. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120893>
18. Аканова Г.Ж., Исмаилова Д.Х., Камысбаев А.Г., Сирек жер металдарын бөліп алу тәсілдері, Вестник КазНИТУ. 141 (2020) 695–700.
19. Джекшембекызы А., Исмаилова А.Г., Сравнительный анализ характеристик фотометрического определения молибдена, Вестник КБТУ. (2019) 31–38.

ПАРАМАГНЕТИЗМ И ДИАМАГНЕТИЗМ СОЕДИНЕНИЙ SrRECuSe_3 ($\text{RE} = \text{Sm, Gd, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y}$) В ИНТЕРВАЛЕ 4-300 К

Русейкина А.В.^а, Гармонов А.А.^а, Великанов Д.А.^б, Остапчук Е.А.^а,
Кислицина А.А.^а, Алексеева Н.А.^а

^аТюменский государственный университет

^бИнститут физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Снятые при комнатной температуре зависимости магнитных моментов образцов SrLnCuSe_3 от величины магнитного поля линейны (Рис. 1,2). Они отличаются только величиной и знаком наклона. Для соединений с $\text{Ln} = \text{Y, Lu}$ наклон отрицательный и небольшой, что говорит об их диамагнетизме. Молярная восприимчивость χ , рассчитанная из этих зависимостей равна $-4.2 \cdot 10^{-4}$ и $-4.9 \cdot 10^{-4} \text{ emu mol}^{-1}$ соответственно. Для соединений с $\text{Ln} = \text{Sm, Gd, Tb, Ho, Er, Tm, Yb}$ наклон графиков положительный и намного больший. Это значит, что при комнатной температуре они парамагнитны. Их параметры, рассчитанные по этим графикам, приведены в Таблице 1 с индексом 296 К. Здесь же даны значения констант Кюри C и соответствующих им эффективных магнитных моментов μ , рассчитанные в модели свободных ионов Ln^{3+} . Соответствие экспериментальных данных с расчётными хорошее и удовлетворительное (за исключением SrSmCuSe_3 , для которого C и μ завышены в 2,2 и 1,5 раза соответственно).

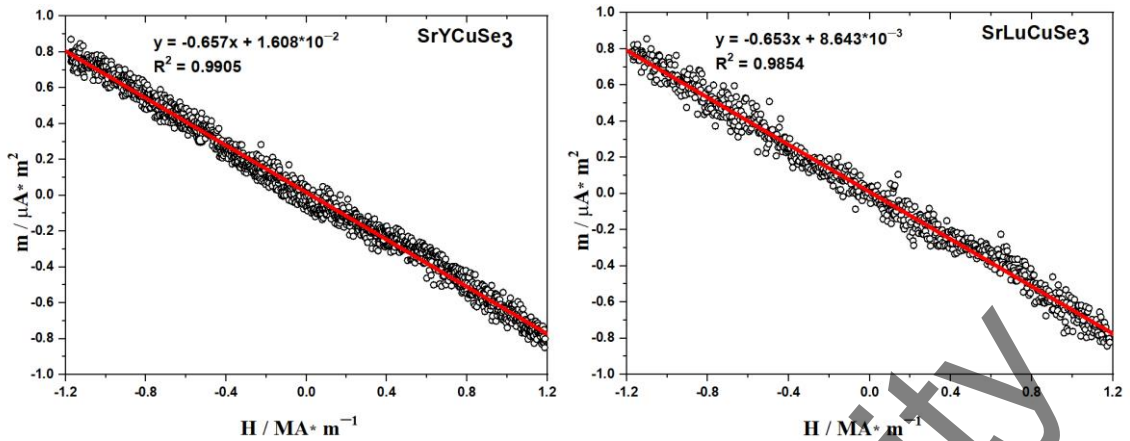
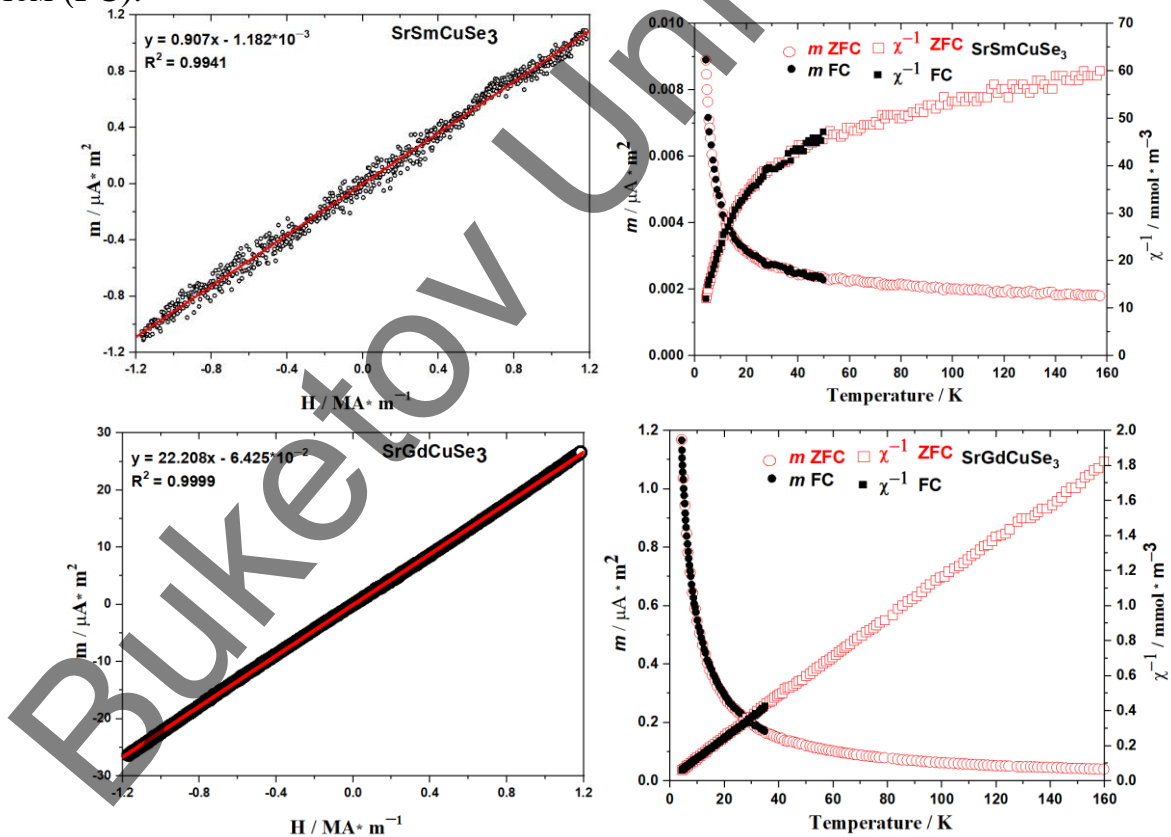


Рисунок 1. Зависящие от поля магнитные моменты при 296 К

На рисунке 2 показаны графики зависимостей удельных намагниченностей и обратных молярных восприимчивостей образцов парамагнитных при 296 К соединений ($Ln = Sm, Gd, Tb, Ho, Er, Tm, Yb$) от температуры в постоянном магнитном поле величиной 10 Э. Температурно-зависимые измерения проводились в режимах с охлаждением нулевым полем (ZFC) и охлаждением полем (FC).



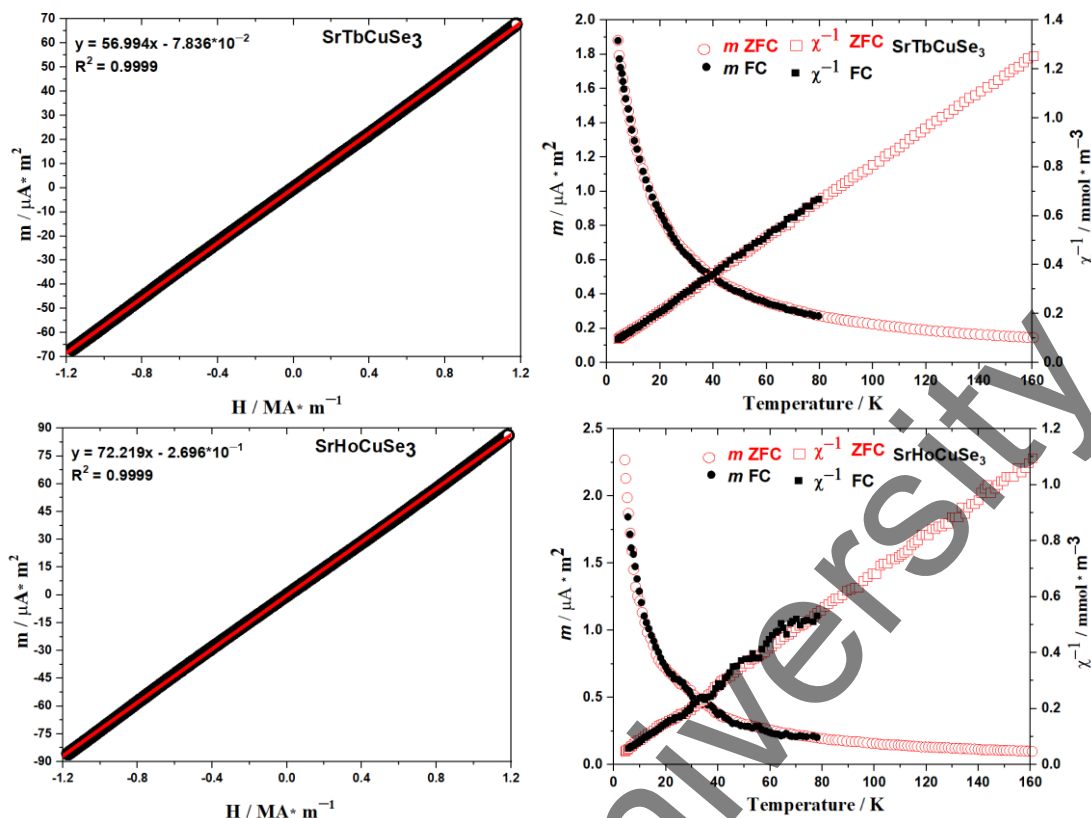


Рисунок 2. Зависящие от поля магнитные моменты при 296 К (слева) и зависящие от температуры удельная намагниченность и обратная магнитная восприимчивость при 10 Э (справа).

На этих кривых нет признаков переходов в магнитоупорядоченное состояние, следовательно, данные образцы остаются парамагнитными при понижении температуры вплоть до 4 К. Результаты аппроксимации графиков обратных восприимчивостей законом Кюри-Вейсса представлены в Таблице 1 с индексом 50-160 К. Здесь можно констатировать хорошее соответствие параметров аппроксимации (C и μ) с рассчитанными в модели свободных ионов Ln^{3+} (опять за исключением Sm^{3+}). Температуры Вейсса θ_p у всех образцов оказываются отрицательными, что указывает на антиферромагнитное взаимодействие катионов Ln^{3+} в парамагнитном состоянии. Аппроксимация температурной зависимости восприимчивости SrSmCuSe_3 законом Кюри-Вейсса даёт сильно завышенные по сравнению с моделью независимых ионов Sm^{3+} значения константы Кюри (в 7 раз) и эффективного магнитного момента (в 2,7 раза). Температура Кюри-Вейсса, абсолютная величина которой связана с интенсивностью взаимодействия ионов, получается нереально большой. Такие расхождения, по всей видимости, связаны с тем, что ионы Sm^{3+} имеют относительно низколежащие первые возбуждённые состояния выше основного состояния по правилу Хунда. Простейший способ учёта вклада этих состояний - модификация закона Кюри-Вейсса добавлением к восприимчивости температурно независимого термина ван Флека $\chi_0: \chi = \chi_0 + C/(T - \theta_p)$. Такая аппроксимация даёт следующие значения: $\chi_0 = 1.22 \cdot 10^{-3}$

$^3\text{emu mol}^{-1}$, $C = 0.0264 \text{ emu K mol}^{-1}$, $\mu = 0.46 \mu_B$, $a\theta_p = -3.7 \text{ K}$. Температура Кюри-Вейсса оказывается в таком приближении примерно одного порядка с таковой для других парамагнитных образцов SrLnCuSe_3 . Однако, значения константы Кюри и эффективного магнитного момента получаются, хотя и несколько более близкими, но всё же довольно сильно заниженными (в 3 раза для константы Кюри) по сравнению с расчётными.

Таблица 1. Магнитные характеристики соединений SrLnCuSe_3

	Y	Sm	Gd	Tb	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
$\chi_{296\text{K}} \cdot 10^3 \text{ (emu/mol)}$	-0.42	0.67	22.6	40.5	46.6	36.9	22.2	7.53	-0.48
Exp. $\mu_{296\text{K}} \text{ (}\mu_B\text{)}$	-	1.26	7.32	9.74	10.52	9.31	7.26	4.21	-
Exp. $\mu_{50-160\text{K}} \text{ (}\mu_B\text{)}$	-	2.26	7.62	9.27	9.79	9.62	7.34*	4.55	-
Calc. $\mu \text{ (}\mu_B\text{)}$	-	0.845	7.937	9.721	10.607	9.581	7.561	4.536	-
Exp. $C_{296\text{K}} \text{ (emu K/mol)}$	-	0.198	6.69	10.75	13.85	10.84	6.60	2.22	-
Exp. $C_{50-160\text{K}} \text{ (emu K/mol)}$	-	0.637	7.27	11.87	11.98	11.49	6.74*	2.59	-
Calc. $C \text{ (emu K/mol)}$	-	0.089	7.878	11.817	14.068	11.480	7.149	2.572	-
$\theta_p \text{ (K)}$	-	-325	-5.5	-9.4	-3.3	-5.2	-7.0*	-58.2	-

*Значения рассчитаны для $T = 15-70 \text{ K}$.

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ В РЯДУ SrRECuSe_3

Русейкина А.В., Остапчук Е.А., Кислицина А.А., Алексеева Н.А.
Тюменский государственный университет

В данной работе четверные селениды SrRECuSe_3 были получены в виде порошков методом восстановительного селенидирования. Данный метод нами апробирован не только на синтезе неизвестных ранее селенидах с $RE = \text{Nd, Sm, Tb-Dy}$ но и на уже ранее полученных SrRECuSe_3 ($RE = \text{Gd, Y, Lu, Sc}$ в виде монокристаллов. Кристаллические структуры соединений SrRECuSe_3 ($Ln = \text{Nd, Sm, Gd-Lu, Y, Sc}$) уточнены методом Ритвельда по данным порошковой рентгеновской дифракции. Для соединения SrYCuSe_3 проводили дополнительное уточнение методом минимизации производной разности.

Все соединения селенидной серии SrRECuSe_3 кристаллизуются в орторомбической сингонии. В ряду SrRECuSe_3 экспериментально подтверждена последовательная смена двух пространственных групп и трех структурных типов. Соединения SrRECuSe_3 ($RE = \text{Ho-Yb, Lu, Y, Sc}$), содержащие тяжелые лантаноиды с маленьким ионным радиусом $0.901-0.861 \text{ \AA}$ и скандий с радиусом 0.745 \AA , обладают более симметричной структурой