

**Кристаллохимия и физические свойства синтетического аналога ярошевскита
 $\text{Cu}_9\text{O}_2(\text{VO}_4)_4\text{Cl}_2$**

Научный руководитель – Сийдра Олег Иоханнесович

Владимирова Виктория Александровна

Студент (бакалавр)

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле,
Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vladimirovav.sbk.1998@yandex.ru

Разработка аккумуляторных устройств и батарей с меньшими затратами энергии являются приоритетными научными направлениями химии, физики, материаловедения, кристаллографии и кристаллохимии. Одним из таких перспективных для использования минералов, благодаря своей кристаллической структуре, является оксованадат меди с дополнительным анионом ярошевскит $\text{Cu}_9\text{O}_2(\text{VO}_4)_4\text{Cl}_2$, впервые найденный на вулкане Толбачик «Ядовитая» фумарола.

Кристаллы синтетического ярошевскита $\text{Cu}_9\text{O}_2(\text{VO}_4)_4\text{Cl}_2$ были получены в процессе высокотемпературного синтеза методом газотранспортных реакций в тройной системе $\text{CuO-V}_2\text{O}_5\text{-CuCl}_2$, в соотношении 10:1:6. Отобранный кристалл синтетического аналога ярошевскита был изучен на дифрактометре *Bruker APEX DUO*. Кристаллическая структура была уточнена в программе *SHELX* в пространственной группе *P-1*: $a= 6.472(4) \text{ \AA}$, $b= 8.343(6) \text{ \AA}$, $c= 9.206(7) \text{ \AA}$, $\alpha=105.177^\circ$, $\beta= 96.215^\circ$, $\gamma= 107.642^\circ$, $R_1=4.8\%$. Кристаллическая структура представляет собой цепочки из тетраэдров $[\text{OCu}_4]^{6+}$, соединенных по медным вершинам $(\text{Cu})^{2+}$, и окружающих их тетраэдров $[\text{VO}_4]^{3-}$. Кристаллы синтетического ярошевскита характеризуются призматическим габитусом и темно-синим цветом зерен.

Результаты исследования образца ярошевскита показали данные, которые на данный момент интерпретированы следующим образом. Выше 200 К наблюдается обычное парамагнитное поведение, эффективный магнитный момент составляет 1.78 $\mu\text{B}/\text{Cu}$, тогда как ожидаемая величина должна составлять 1.73 $\mu\text{B}/\text{Cu}$, то есть все 9 атомов меди - магнитные. В районе 24-27 К есть магнитный переход, при котором восприимчивость резко возрастает: это может быть признаком ферромагнитного поведения, однако момент насыщения составляет всего 1.4 $\mu\text{B}/\text{f.u.}$, тогда как для ферромагнетика мы бы ожидали 1 $\mu\text{B}/\text{Cu}$, что в пересчете составляет 9 $\mu\text{B}/\text{f.u.}$ Это может означать, что магнитные моменты упорядочиваются скорее антиферромагнитно, поскольку величина 1.4 $\mu\text{B}/\text{f.u.}$ не является целой, тогда как для ферромагнетика должны были наблюдаться более целые числа: например, 1 $\mu\text{B}/\text{f.u.}$

Источники и литература

- 1) I. V. Pekov, N. V. Zubkova, M. E. Zelenski. Yaroshevskite, $\text{Cu}_9\text{O}_2(\text{VO}_4)_4\text{Cl}_2$, a new mineral from the Tolbachik volcano. *Mineralogical Magazine*. 2013. V. 77. P. 107-116.

Иллюстрации

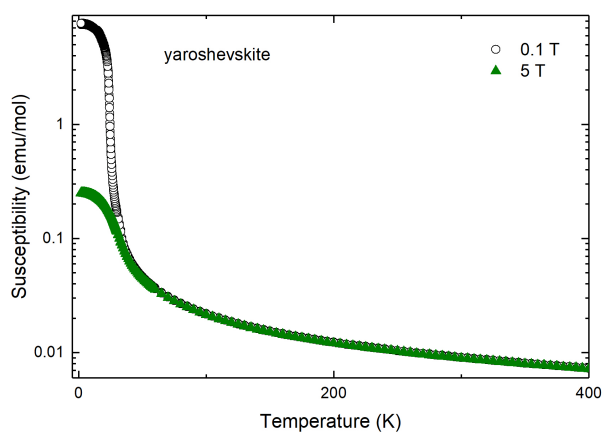


Рис. 1. Рисунок 1. График зависимости магнитной восприимчивости от изменения температуры для синтетического ярошевскита

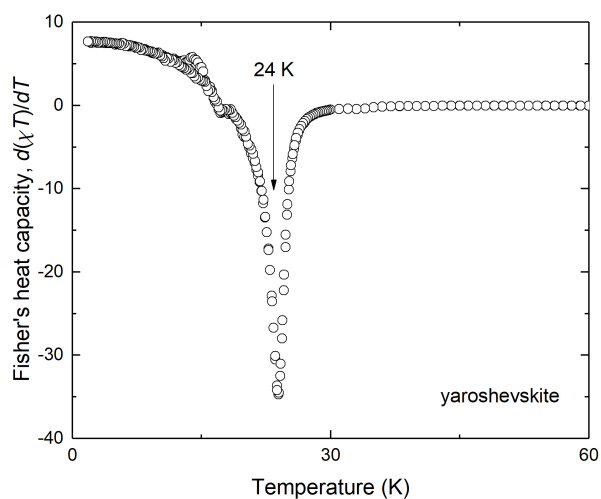


Рис. 2. Рисунок 2. График зависимости теплоемкости от изменения температуры для образца синтетического ярошевскита