

Залежність струму від різниці фаз, яка включає другу гармоніку, може виникати у надпровідних контактах з тунельним шаром, що містить ферромагнітні домішки, контактах з тунельним шаром, що має неоднорідну структуру та у контактах на основі надпровідників з d-хвильовою симетрією впорядкування, надпровідних контактах на основі високотемпературних надпровідників [2]. У таких контактах наявність другої гармоніки зумовлена, як правило, порушенням симетрії тунельного шару або особливостями електронної структури надпровідників.

Дослідження динаміки флюксонів у ДДК з несинусоїдною залежністю струму від різниці фаз, яка включає другу гармоніку, є менш вивченими. У деяких роботах було показано, що наявність другої гармоніки може призводити до зміни швидкості руху флюксонів, а також до виникнення нових типів динамічних структур.

Актуальність дослідження динаміки флюксонів у ДДК з несинусоїдною залежністю струму від різниці фаз, яка включає другу гармоніку, зумовлена тим, що такі контакти можуть проявляти нові цікаві властивості, зокрема, змінену динаміку флюксонів та можливість генерації терагерцового випромінювання.

Метою нашої роботи є дослідження динаміки флюксонів у довгих джозефсонівських контактах, у яких залежність струму від різниці фаз включає другу гармоніку.

Основними результатами виконаного дослідження є:

- побудовано теоретичну модель, яка описує динаміку флюксонів у ДДК з неklasичною залежністю струму від різниці фаз, що включає другу гармоніку;
- досліджено вплив другої гармоніки на швидкість руху флюксонів та їх взаємодію;
- розглянуто можливість виникнення нових типів динамічних структур у ДДК з неklasичною залежністю струму від різниці фаз;
- з'ясовано можливість генерації терагерцового випромінювання у ДДК з неklasичною залежністю струму від різниці фаз.

1. Tsuei, C.C., Kirtley, J.R. Pairing symmetry in cuprate superconductors. Review of Modern Physics. 2000. 72. P.969.
2. Askerzade, I. (2012). Unconventional Superconductors: anisotropy and multiband effects. Springer, Berlin, 177 p.

Статистичний розподіл ковалентної складової хімічного зв'язку у структурі деяких купрумвмісних сульфідів

Смітюх О.В., Марчук О.В.

Волинський національний університет імені Лесі Українки
Smitiukh.Oleksandr@vnu.edu.ua

Нерівномірний розподіл ковалентних зв'язків у кристалічній структурі може призвести до утворення дефектів, що змінюють фізичні властивості матеріалу. Зокрема, наявність дефектів змінює енергетичні рівні в заборонених зонах, що впливає на електричну провідність та інші властивості речовини.

Окрім того, матеріали з сильно незбалансованим розподілом ковалентних зв'язків можуть демонструвати різні типи провідності, наприклад, напівпровідникову (табл. 1) або металічну, залежно від того, як дефекти впливають на рухливість носіїв зарядів. Це може призвести до зміни електричних властивостей матеріалу в залежності від температури, зовнішніх полів або механічних навантажень.

Таблиця 1

Сполука	Довжина зв'язку, Å	ПГ	Властивості
Cu ₂ S	$\delta_{\text{сеп.}}[\text{Cu-S}] = 2.3328$	<i>Fm-3m</i>	напівпровідник ($E_g = 1.2 \text{ eV}$), [1]
CuFeS ₂	$\delta_{\text{сеп.}}[\text{Cu-S}] = 2.2638$	<i>F-43m</i>	антиферромагнітний напівпровідник ($E_g = 0.6 \text{ eV}$), [2]
Cu ₂ CoSiS ₄	$\delta_{\text{сеп.}}[\text{Cu-S}] = 2.2791$	<i>I-42m</i>	напівпровідник ($E_g = 1.33 \text{ eV}$), [3]
Cu ₂ CoGeS ₄	$\delta_{\text{сеп.}}[\text{Cu-S}] = 2.2436$	<i>I-42m</i>	напівпровідник ($E_g = 1.75 \text{ eV}$), [3]

$\text{Cu}_2\text{CoSnS}_4$	$\delta_{\text{сер.}}[\text{Cu-S}] = 2.2871$	$I-42m$	напівпровідник ($E_g = 1.4-1.5$ eV), [3]
$\text{Cu}_2\text{ZnSiS}_4$	$\delta_{\text{сер.}}[\text{Cu-S}] = 2.3422$	$Pmn2_1$	напівпровідник ($E_g = 1.51$ eV), [4]
$\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$	$\delta_{\text{сер.}}[\text{Cu-S}] = 2.3318$	$I-42m$	напівпровідник ($E_g = 1.5$ eV), [5]

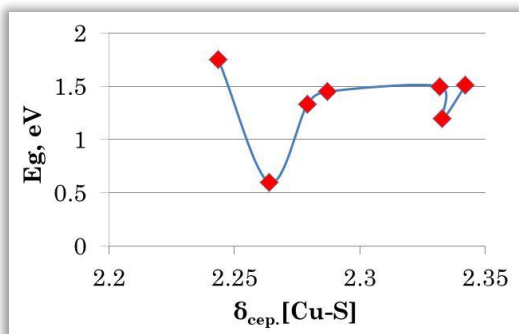


Рис 1. Залежність ширини забороненої зони від $\delta_{\text{сер.}}[\text{Cu-S}]$ в структурі деяких купрумвмісних сполук.

Тому така нерівномірність в структурі може суттєво модулювати властивості матеріалу, відкриваючи нові можливості для створення функціональних матеріалів з конкретними характеристиками.

Міжатомна відстань Cu-S є важливою складовою і збільшення ковалентної складової призводить до збільшення ширини забороненої зони.

Список літератури

1. Oliveria M., McMullan R.K., Wuensch B.J. Single crystal neutron diffraction analysis of the cation distribution in the high-temperature phases $\alpha\text{-Cu}_{2-x}\text{S}$, $\alpha\text{-Cu}_{2-x}\text{Se}$, and $\alpha\text{-Ag}_2\text{Se}$. *Solid State Ionics*. 1988, 28. P. 1332-1337. [https://doi.org/10.1016/0167-2738\(88\)90382-7](https://doi.org/10.1016/0167-2738(88)90382-7)
2. Charles L.B., Ellis J.H. The Crystal Structure of Chalcopyrite Determined by X-Rays. *J. Am. Chem. Soc.* 1971, 39(12). P. 2518-2525. <https://doi.org/10.1021/ja02257a002>
3. Gulay L.D., Nazarchuk O.P., Olekseyuk I.D. Crystal structures of the compounds $\text{Cu}_2\text{CoSi}(\text{Ge}, \text{Sn})\text{S}_4$ and $\text{Cu}_2\text{CoGe}(\text{Sn})\text{Se}_4$. *J. Alloys Compd.* 2004, 377. P. 306-311. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2004.02.004>
4. Rosmus K.A., Aitken J.A. $\text{Cu}_2\text{ZnSiS}_4$. *Acta Cryst. E*. 2011, 67(4). i28. <http://doi.org/10.1107/S1600536811008889>
5. Munoz M., Vera E., Pineda T., Guaspud J. Synthesis and characterization by solid-state impedance spectroscopy of semiconductor $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ material for photovoltaic technologies. *J. Phys.* 2017, 786. P. 1-7. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/786/1/012028>

Основні методи моделювання фізики білих карликів

Трохимчук П. П., Галян В. О.

Кафедра теоретичної та комп'ютерної фізики і мені А. В. Свідзинського,

Волинський національний університет імені Лесі Українки

Trokhimchuck.Petro@vnu.edu.ua; trope1650@gmail.com

Проаналізовано основні особливості формулювання основних принципів і критеріїв теорій білих карликів. Подано короткий порівняльний аналіз основних методів моделювання [1-15]. Усі ці методи повинні базуватися на умовах рівноваги. Показано, що метод Стоунера [4,5], рівняння Лейна-Емдена [1-3, 4-12] та рівняння Ейнштейна [9-15] засновані на пошуку умов рівноваги для симетрії сфери або близьких до сфери об'єктів. Розглянуто основні особливості методу Стоунера та рівнянь Лейна-Емдена. Проаналізовано особливості застосування методів загальної теорії відносності для моделювання структури та процесів білого карлика. Обговорюються основні концепції теорії білих карликів [1-13]. Обговорюється роль досліджень А. Еддінгтона, Р. Фаулера, Е. Стоунера та С. Чандрасекара у створенні цієї теорії. Показано роль розвитку теоретичної фізики (статистики Фермі-Дірака) у створенні цієї теорії.

Слід зазначити, що завдяки дослідженням Стоунера в теорії атома Бора, саме з теорії білих карликів з'явився принцип Паулі і одне з перших застосувань статистики Фермі-Дірака для вироджених електронних систем. Основний внесок у розвиток теорії білих карликів зробили А. Еддінгтон, Р. Фаулер, їх учень С. Чандрасекар, Е. Стоунер, В. Андерсон та інші [1-13]. А. Еддінгтон започаткував дослідження білих карликів і, крім того, вказав, що джерелом енергії