

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

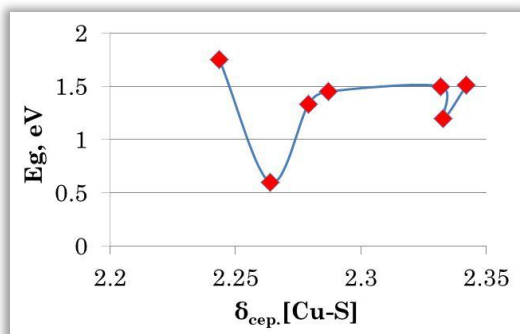


Рис 1. Залежність ширини забороненої зони від $\delta_{\text{сер.}}[\text{Cu-S}]$ в структурі деяких купрумвмісних сполук.

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

зірок є термоядерні реакції синтезу водню і гелію [1, 2]. Він також запропонував використовувати рівняння Лейна-Емдена для побудови теорії білих карликів, які дозволяють описувати процеси в політропних газових сферах. Цей метод для білих карликів був розроблений А. Фаулером і найбільше С. Чандрасекаром. Р. Фаулер першим звернув увагу на використання статистики Фермі-Дірака для теорії білих карликів. Однак першу теорію для білих карликів побудував Е. Стоунер [4, 5]. В основу своєї теорії він поклав варіаційний принцип, який використав для повної енергії. Було оцінено щільність і масу білого карлика [5].

Цей же метод використовував С. Чандрасекар для визначення щільності білого карлика [6]. Він побудував більш повну теорію білого карлика на основі рівнянь Лейна-Емдена [6, 7]. Слід зазначити, що всі астрофізичні моделі побудовані на основі міркувань рівноваги, і це все так чи інакше прив'язано до сферичної, взагалі кажучи, обертальної, симетрії. Таким чином, виведено рівняння Лейна-Емдена для умов рівноваги газової кулі з урахуванням відповідного політропного процесу. Рівняння Лейна були введені для газової кулі. Пізніше Емден пов'язав їх з політропними процесами. Тому саме це й було використано для їх використання в астрофізиці. На це звернув увагу та використав їх А. Еддінгтон [1, 2], а пізніше Р. Фаулер [3, 8] та їх аспірант С. Чандрасекар [6, 7]. Чандрасекар також окремо вивів це рівняння для ізотермічного процесу [7]. Однак ці рівняння не враховують обертання зорі.

Рівняння Айнштейна є ні що інше, як рівність потенційної (ефективної) енергії, яка також враховує обертальну відцентрову чи доцентрову енергію та кінетичну енергію [11-17]. Тобто це ні що інше, як розширення методів небесної механіки на неоднорідний всесвіт. Всі метрики, які є в загальній теорії відносності, грубо кажучи, є похідними від сферичної метрики. Тому цей метод як більш універсальний для астрофізичних застосувань рекомендував А. Еддінгтон [2]. Еквівалентність методу рівнянь Лейна-Емдена та рівнянь Айнштейна в теорії білих карликів була показана С. Чандрасекаром [10].

У роботі [11] узагальнено теорію вироджених карликів С. Чандрасекара шляхом побудови багатопараметричних і багатофазних моделей, які враховують неповну виродженість електронної підсистеми, наявність міжчастинкових взаємодій, магнітних полів, змінного хімічного вмісту вздовж радіуса та аксіального обертання зірок. Це дозволило адекватно описати та дати інтерпретацію сучасних спостережень. На основі розв'язку рівнянь рівноваги визначено залежність структурно-енергетичних характеристик карликів від параметрів моделей. Вирішено обернену задачу теорії вироджених карликів – визначення основних структурних і термодинамічних параметрів моделей на основі даних про маси, радіуси та ефективні температури спостережуваних польових карликів і карликів у подвійних системах. Теорія Фаулера-Чандрасекара не враховує хімічний склад матерії та її обертання. Крім того, крім холодних карликів з'явилися і гарячі карлики. Тому в другій половині 20 століття були проведені додаткові дослідження. У роботах Е. Шацмана, С. Чандрасекара, С. Каплана, Р. Джеймса, Л. Местелла, Ю. Зельдовича та І. Новікова були створені наступні теорії: елементарна теорія охолодження білих карликів, стійкість по відношенню до процеси нейтронізації та ефекти загальної теорії відносності, ефекти осьового обертання тощо [11].

Так як зв'язок термодинаміки з теорією відносності був проаналізований ще Р. Толменом [16, 17]. Звідси випливає легко бачити, що ці два методи: рівняння Лейна-Емдена та загальна теорія відносності є взагалі кажучи взаємозв'язаними теоріями. Якщо в рівняння Лейна-Емдена потрібно вводити обертання та різні типи взаємодій, то в рівняння Айнштейна потрібно також вводити різні типи взаємодій. В рівняннях Лейна-Емдена це виражається через показник політропи, а в рівняннях Айнштейна через зміни метрики та відповідними додатковими членами. При коректній постановці задачі ці два методи можна з успіхом використовувати для моделювання астрофізичних та космологічних процесів [11].

Слід зазначити, що варто було б розширити методи моделювання білих карликів, а також інших астрофізичних та космологічних об'єктів з точки зору фізики критичних явищ [12, 13].

Література

1. Eddington A. The Internal Constitution of the Stars. Nature, vol. 106, no. 2653, 1920. P. 14-20.
2. Eddington A. The Internal Constitution of Stars. [Cambridge University Press](#). 1926. 424 p.
3. Fowler R. H. On Dense Matter. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, vol. 87, is. 2, 1926: 114–122.
4. Stoner E. C. The limiting density in White Dwarf Stars. Philosophical Magazine 7,7, vol.41, 1929, pp. 63-70.
5. Stoner E. C. Equilibrium of Dense Star. Phil. Mag. Ser.1, vol.87, 1930. P. 944-963.

6. Chandrasekhar S. The Density of White Dwarf Stars *Philosophical Magazine*, Vol. 11, No. 7, 1931. P. 592- 596.
7. Chandrasekhar S. An Introduction to the Study of Stellar Structure. New York: Dower Publications, 2012. 512 pю
8. Kothari D. S., Fowler R. H. Applications of Degenerate Statistics to Stellar Matter. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 93, is.1, 1932. P. 61–89.
9. Eddington A. The physics of White Dwarfs Matter. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 100, 1940. P. 582-594.
10. Chandrasekhar S. Dynamical instability of gaseous masses approaching the schwarzschild limit in general relativity. *Rev. Lett.*, vol. 12, no.4, 1964. P.114-116.
11. Ваврух М. В., Смеречинський С. В., Тишко Н. Л. Нові моделі в теорії структури вироджених карликів Львів: Растр-7, 2018. 248 с.
12. Trokhimchuck P. P. Some Problems of Modelling Astrophysical and Cosmological Critical Processes. In: Eds. J. R. Ray @ S. S. Sharma. *Recent Review and Research in Physics*, Vo. 10, Ch.5. New Delhi: AkiNik Publications, 2024. P. 65-94.
13. Trokhimchuck P. P. To Question about Main Principles and Criteria of Critical Processes and Phenomena. *IJARPS*, vol. 11, is.6, 2024. P. 1-17.
14. Barrow J. D.; Tipler F. J. *The Anthropic Cosmological Principle (1st ed.)*. Oxford: University Press, 1986. 656 p.
15. Barrow J. D. *New Theories of Everything. The Quest for Ultimate Explanation*. London: Pantheon, 2007. 274 p.
16. Tolman R. *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*. Oxford: Clarendon Press, 1934. 501 p.
17. Данильченко П. І. *Основи релятивістської гравітермодинаміки*. Вінниця: ТВОРИ, 2022. 200с.

Деякі проблеми створення універсальної теорії інформатики

Трохимчук П. П.

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

Обговорюються основні проблеми створення універсальної теорії інформатики [1]. Подано короткий історичний аналіз цього питання [1-6]. Обговорюються питання, пов'язані з тим, якою має бути така теорія і які проблеми вона повинна розв'язувати. Аналізується питання необхідності впровадження системного підходу в теорію інформації [1, 2, 6]. Було показано, що ця теорія повинна бути варіантом теорії всього в глобальному сенсі і повинна бути теорією відкритого типу. Наведено шість критеріїв, яким мають задовольняти такі теорії [1, 5, 6]. Прикладом такої теорії є поліметричний аналіз, теорія змінної міри та ієрархії. Ця концепція включає процедуру вибору операційної бази (математичні перетворення) і відповідної обчислювальної конструкції (параметр зв'язності). Дві складові цього методу теорія інформаційних обчислень та гібридна теорія систем дозволяють розв'язати основні проблеми сучасної інформатики [1]. Сама ж теорія інформаційних обчислень з успіхом була використана для задач множення матриць та формування масивів [6]. Гібридна теорія систем була використана для розв'язання проблеми століття в кібернетиці згідно С. Біра (проблема складності інформації) та класифікації інформації за її обчислювальною складністю [3, 5]. Обговорюються й інші питання застосування цієї концепції в інформатиці.

Проблема створення універсальної теорії інформатики є однією з центральних проблем сучасної науки. Ця проблема пов'язана з розвитком цієї науки. Якщо на початку становлення цієї науки вона розвивалася відповідно до технологічних та економічних потреб, то зараз вона використовується для всіх без винятку галузей знань і видів людської діяльності. Тому така наука має містити в собі головні риси проблеми формалізації знань, зведення їх до «комп'ютерної» форми, зручності та комфортності їх обробки [1, 3]. Значну роль у цьому відіграє діалог між комп'ютером і людиною [1, 34, 5, 6]. Чим менше ми витрачаємо на це часу, тим більш сучасними є комп'ютерні технології та науки [1, 5, 6].

Основним елементом сучасного комп'ютера є процесор, який займається матричними обчисленнями [1]. Тому, так чи інакше ми повинні звести відповідну задачу до розрахунків [1, 5, 6]. З цієї точки зору ми можемо розглядати сучасну інформатику як