

вдосконалити захист даних, розширити базу контенту сервісу і провести дослідження щодо налаштування рекомендацій нейромереживими методами.

### Список літератури

1. The Netflix Prize Rules [Електронний ресурс] / – 2006. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.netflixprize.com/assets/rules.pdf>.
2. Stephanie Crawford. How Netflix Works [Електронний ресурс] / Stephanie Crawford, Tracy V. Wilson. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <https://electronics.howstuffworks.com/netflix2.htm>.
3. Michael Jahrer. The BigChaos Solution to the Netflix Prize 2008 [Електронний ресурс] / Michael Jahrer, Andreas T'oscher. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.netflixprize.com/assets/ProgressPrize2008\\_BigChaos.pdf](https://www.netflixprize.com/assets/ProgressPrize2008_BigChaos.pdf).
4. Bharat Bhasker. Recommender Systems in e-Commerce / Bharat Bhasker, K Srikumar. // EC '99: Proceedings of the 1st ACM conference on Electronic commerce. – 2010. – С. 158–166.
5. Fleder D., Hosanagar K. Blockbuster Culture's Next Rise or Fall: The Impact of Recommender Systems on Sales Diversity (журнал) // Management Science, Vol. 55, No. 5, May 2009, pp. 697-712. — 2009. — P. 1 - 49.
6. Muffaddal Qutbuddin Comprehensive Guide on Item Based Collaborative Filtering [Електронний ресурс] / Muffaddal. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://towardsdatascience.com/comprehensive-guide-on-item-based-recommendation-systems-d67e40e2b75d>.
7. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / пер. с англ. А. А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.: цв. ил.
8. Сегаран Т. Программируем коллективный разум. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс. 2008. – 368 с.
9. Введение в кросс-валидацию k-fold [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://codecamp.ru/blog/cross-validation-k-fold/>.
10. Introduction to scikit-learn [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/vvedenie-v-scikit-learn/>
11. Сайт компанії IMDb – Режим доступу до ресурсу: <https://www.imdb.com/>
12. Kaggle [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: <https://www.kaggle.com/ashirwadsangwan/imdb-dataset>
13. Luc Bouganim, Yanli Guo. Database Encryption // Encyclopedia of Cryptography and Security / Ed. by Henk C. A. van Tilborg and Sushil Jajodia. — Springer, 2011. — P. 307—312.
14. Rakesh Agrawal, Jerry Kiernan, Ramakrishnan Srikant, Yirong Xu. Order preserving encryption for numeric data (англ.) // Proceedings of the 2004 ACM SIGMOD international conference on Management of data - SIGMOD '04. — Paris, France: ACM Press, 2004. — P. 563

Рукопис подано до редакції 30.03.2021

УДК 52-1:524.382

Ю. Д. ТКАЧЕНКО, студ., Д. В. ШВЕЦЬ, Н.О. КАРАБУТ, старші викладачі  
Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОДВІЙНИХ ЗІРОК

**Мета.** Метою дослідження є розгляд та класифікація існуючих методів реєстрації та спостереження подвійних зірок.

**Методи дослідження.** Проведено системний аналіз існуючих способів виявлення подвійних систем, проаналізовано наявні на сьогодні підходи та розглянуто їх особливості.

**Наукова новизна.** Розглянуто типи подвійних зірок, які можна класифікувати як візуальні, що виглядають як два окремих компоненти, відносно положення яких змінюється через рух вздовж своїх орбіт, астрометричні, в яких візуально помітна тільки одна компонента зі змінним рухом, який спричиняється гравітаційним впливом другої компоненти, спектроскопічні, спектри яких виявляють регулярні зміни та фотометричні, періодичні коливання повної яскравості яких викликані рухом компонентів подвійної системи.

**Практичне значення.** Фізичні подвійні зірки представляють для астрономії як науки в цілому фундаментальний інтерес, який здебільшого визначається тим, що саме вивчення подвійних зірок дозволило однозначно встановити єдність закону всесвітнього тяжіння Ньютона у Всесвіті і отримати, спираючись на спостереження, фундаментальні знання про маси зірок, їх світності і еволюції.

**Результати.** Використовуючи існуючі на сьогодні методи виявлення подвійних зірок можливо з'ясувати велику кількість їх параметрів незалежно від типу подвійних систем. Відповідно до методу спостереження і виявлення тієї або іншої системи зірок, можна скористатись різними варіантами знаходження параметрів світил. Зміна блиску тіла системи зазвичай викликана зміною взаємного положення тіл, внаслідок їх руху по орбітах, а також обертанням тіла навколо власної осі. В останньому випадку крива блиску дозволяє встановити період обертання тіла на час спостереження. У змінних зірок зміна блиску може бути пов'язана з рухом навколо неї менш яскравої зірки-компаньйона, а також може свідчити про наявність планет коло неї. Зміни зсувів або роздвоєнь спектральних ліній спектрально-

подвійних зірок дозволяють визначити променеву швидкість, яка є проекцією орбітальної швидкості на промінь зору. Криві променевих швидкостей одного або обох компонентів дають можливість обчислити елементи істинної орбіти.

**Ключові слова:** астрономія, подвійні зірки, астрофізика, спектральний аналіз.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-146-150

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Подвійні зірки (системи зірок) – це пари зірок, що мають спільний центр мас та пов'язані між собою силами гравітації. Вони мають ті чи інші особливості, за допомогою яких вивчення зірок в цілому, як окремого явища, стає більш продуктивним.

Серед подвійних зірок традиційно виділяють фізичні і оптичні пари. Перші являють собою системи близько розташованих в просторі зірок, що обертаються навколо спільного центру тяжіння за законами Кеплера. Оптичні пари, в свою чергу, складаються з фізично віддалених в просторі об'єктів, що випадковим чином проєктуються на небосхил в прилеглих областях з точки зору спостерігача. На сьогодні оптичні пари не являють інтересу для науки, на противагу фізичним парам [1].

**Аналіз досліджень та публікацій.** Подвійні оптичні системи зірок були виявлені ще в середині XVII століття Галілео Галілеєм. Далі вивченням цього явища зайнялися такі вчені, як астрофізик Вільям Гершель, який склав каталог з понад 700 подвійних зірок, а потім до досліджень долучився його син, Джон Гершель, який проводив спостереження в Південній Африці [2]. В Європі дослідженнями подвійних зірок займалися Василь Струве і його син Отто Струве, які загалом відкрили більш ніж 3000 систем зірок [3]. Всі ці зірки відносяться до класу візуально-подвійних. Для своїх спостережень вони використали телескопи-рефрактори, що дозволило їм покращити результати Гершелів. Зі збільшенням об'єктивів телескопів та вдосконалення технічної бази збільшувалась і кількість нових відкритих подвійних систем. Так, на початку XX сторіччя було відомо вже понад 13000 подвійних зірок, а в 1961 було видано каталог з понад 64000 подвійних зірок [1]. На сьогодні це питання досліджується досить активно [4-9].

**Постановка завдання.** Метою досліджень є аналіз існуючих методів виявлення та спостереження подвійних зірок.

**Викладення матеріалу та результатів.** Подвійні системи можуть класифікуватися за методом їх відкриття як візуальні, астрометричні, спектроскопічні та фотометричні подвійні зірки [1].

*Фізичні візуально-подвійні зірки* помітні як два окремих компоненти, відносно положення яких змінюється, так як вони рухаються по своїм орбітам. Це, здебільшого, зірки з достатньо великим періодом обертання, що зумовлюється великою відстанню між компонентами. Через великий період простежити орбіту подвійної зірки можна тільки завдяки великій кількості спостережень протягом десятків років [3]. Першою орбітою подвійної зірки, яка була визначена в 1830 році, була орбіта  $\xi$  Великої Ведмедиці (рис. 1) [10].

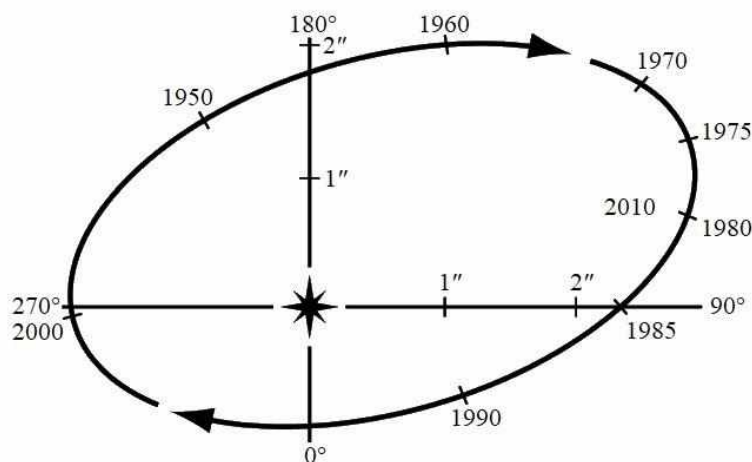


Рис. 1. Орбіта  $\xi$  Великої Ведмедиці

Спостереження візуальних подвійних зірок дозволяють отримати лише проекцію орбітального еліпса на площину неба. При цьому форма та орієнтація справжньої орбіти залишаються невідомими. Однак з урахуванням того, що первинний компонент має бути розташований в фокальній точці відносно орбіти, вони можуть бути розраховані. Абсолютний розмір орбіти може бути визначений лише у випадку, коли відома відстань до подвійної зірки. Використовуючи третій закон Кеплера, можна розрахувати повну масу цієї системи, а власні маси компонент системи можна визначити, спостерігаючи їх рух щодо центру мас.

*Астрометричні подвійні зірки* – це системи зірок, в яких візуально помітна лише одна компонента, але її рух на небосхилі змінний, що вказує на наявність другого компоненту, що гравітаційно впливає на неї. Натомість, у випадку з візуально-подвійними зірками можна спостерігати рух на небосхилі одночасно двох об'єктів. Якщо з тих чи інших причин не можна спостерігати один з компонентів, то подвійну систему все одно можна визначити через зміну положень на небосхилі іншого компоненту. Це дозволяє говорити про астрометричну подвійну зірку [3].

У астрометричних подвійних зірок може спостерігатися тільки більш яскравий компонент, що обертається навколо центру мас. Якщо оцінена маса видимої компоненти, наприклад із світності, то маса невидимого компонента також може бути оцінена.

Першою астрометричною подвійною зіркою, у якій спостерігався хвилеподібний власний рух (рис. 2), був Сіріус. З цього зробили висновок, що у нього є малий компаньйон, який був візуально відкритий кілька десятиліть потому. Він отримав назву Сіріус В, та виявився абсолютно новим на той час типом об'єктів – білим карликом.

Власний рух близьких зірок корисно вивчати в пошуках планетних систем. Перші надійно виявлені планети були відкриті радіоастрономами в 1991 році в околиці нейтронної зірки-радіопульсара PSR 1257+12 по періодичному доплеровському зміщенню частоти його імпульсів. Ця система складається, як мінімум, з трьох планет з масами порядку маси Землі. Присутність планет поруч зі звичайними зірками вперше було виявлено в 1995 році методом оптичної спектроскопії.

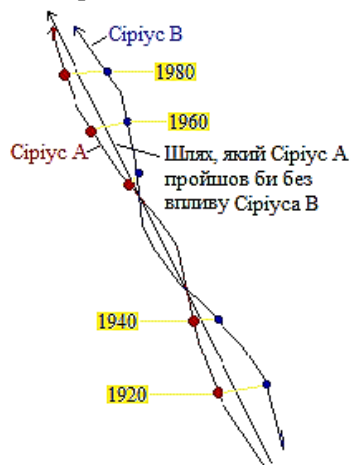


Рис. 2. Хвилеподібний рух Сіріуса

*Спектроскопічні подвійні зірки* виглядають як одиночні навіть при спостереженнях дуже потужними телескопами, але їх спектри виявляють регулярні зміни.

Доплерівське зміщення спектральної лінії прямо пропорційно радіальній швидкості. Тому поділ спектральних ліній найбільший, коли один компонент наближається, а інший віддаляється від спостерігача. Період зміни спектра і є орбітальним періодом зірок.

Роздвоєння і зміщення ліній у спектрах спектрально-подвійних зірок зображено на рис. 3. Періодична зміна швидкості відносно променя зору призводить до періодичної зміни зсувів відповідних ліній. Розщеплення спектральних ліній спостерігається в подвійних системах, де обидва компонента є яскравими зірками. Коли ж один з компонентів слабкіше в порівнянні з іншим,

то на спектрах будуть видні лінії тільки однієї, більш яскравої зірки. Їх зміщення також буде змінюватися періодично. Під час затемнення більш яскравої зірки другою компонентою можна побачити лінії менш яскравої зірки. Проводячи систематичні спостереження таких зсувів, можна встановити залежність зміщень від часу і обчислити такі основні характеристики, як маси компонент подвійної системи, відстань між ними, ексцентриситет і орієнтацію орбіти.

Слід зазначити, що немає загального способу визначення просторового положення орбіти. Видима швидкість  $v$  пов'язана з істинною швидкістю  $v_0$  співвідношенням

$$v = v_0 \sin i,$$

де  $i$  – кут між променем зору та нормаллю орбітальної площини.

*Фотометричні подвійні зірки.* У фотометричних подвійних зірках періодичні коливання повної яскравості викликані рухом компонентів подвійної системи. Як правило, фотометричні подвійні зірки є затемненими змінними, в яких зміна яскравості зумовлена проходженням компонентів один перед одним. Клас фотометричних подвійних зірок, в яких немає реальних затемнень,

відноситься до еліпсоїдальних змінних. У цих системах, принаймні, один з компонентів викривлений в еліпсоїдальну форму приливним тяжінням іншого. На різних ділянках орбіти проекція площі поверхні викривленого компонента змінюється. Поверхнева температура також буде нижчою на краях приливних горбів. Разом ці фактори викликають невеликі зміни яскравості.

Нахил орбіти затемненої подвійної зірки має бути дуже близьким до  $90^\circ$ . Цей кут може бути визначений з так званої кривої блиску. Кривою блиску називається зміна зоряної величини затемненої змінної як функції часу. Відповідно до форми кривої блиску, фотометричні зірки розбиті на три основних типи: типу Алголя, типу  $\beta$  Ліри і типу W Великої Ведмедиці.

**Рис. 3.** Роздвоєння і зміщення ліній у спектрах спектрально-подвійних зірок

**Зірки типу Алголя.** Затемнювані змінні типу Алголя названі так по першій відкритій зірці цього типу –  $\beta$  Персея (Алголь). Протягом більшої частини періоду крива блиску залишається досить постійною. Це відповідає фазам, протягом яких зірки видно роздільно одна від одної і повна зоряна величина залишається постійною.

На кривій блиску є два різних мінімуму, один з яких первинний, що зазвичай набагато глибший, ніж другий. Це зумовлено відмінностями в яскравості зірок. Коли більша зірка, яка зазвичай є холодним гігантом, закриває менший і більш гарячий компонент, на кривій блиску з'являється глибокий мінімум. Коли мала, яскрава зірка, проходить по диску гіганта, повна зоряна величина системи сильно не змінюється.

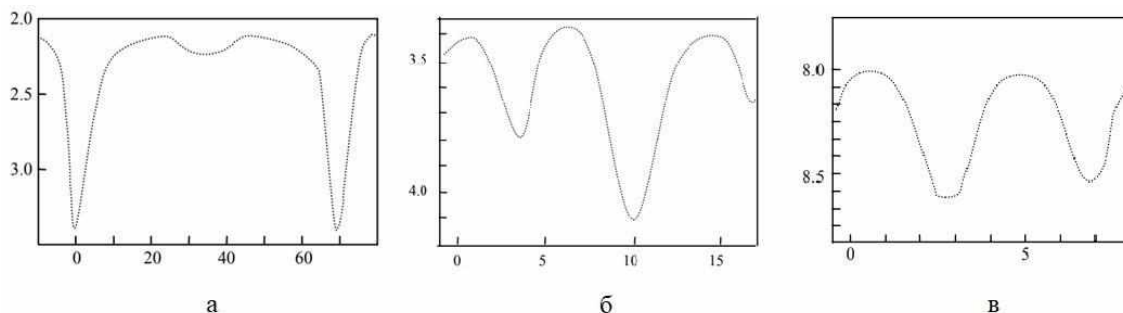
Форма мінімумів залежить від того, чи відбуваються окремі затемнення або повні. При окремому затемненні крива блиску гладка, тому що яскравість змінюється плавно зі зміною глибини затемнення. При повному затемненні є інтервал, протягом якого один компонент повністю невидимий. Повна яскравість залишається тоді постійною, а крива блиску має майже плоский мінімум. Дані зміни проілюстровано на рис. 4а. Таким чином, форма мінімуму в змінних типу Алголя дає інформацію про нахил орбіти.

Тривалість мінімумів залежить від відношення зіркових радіусів до розміру орбіти. Якщо зірка є також спектроскопічно-подвійною, можуть бути знайдені справжні розміри орбіти. В цьому випадку маси і розміри орбіти, а також радіуси можна визначити, не знаючи відстань до системи.

**Зірки типу  $\beta$  Ліри.** У подвійних системах типу  $\beta$  Ліри повна зоряна величина змінюється безперервно (рис. 4б). Зірки розташовані настільки близько одна до одної, що принаймні одна з них набуває еліпсоїдальної форми. Тому яскравість змінюється також поза затемнень. Змінні типу  $\beta$  Ліри можна розглядати як еліпсоїдальні затемнювані змінні.

У самій системі  $\beta$  Ліри одна зірка має перепопнену межу Роша і стійко втрачає масу на свого компаньйона. Переміщення маси викликає додаткові особливості в кривій блиску.

**Зірки типу W Великої Ведмедиці (W UMa).** У зірках типу W UMa мінімуми кривої блиску майже ідентичні, дуже круглі і широкі (рис. 4в). Це тісні подвійні системи, в яких обидва компонента перепопнюють свої порожнини Роша, утворюючи так звану контактну подвійну систему.



**Рис. 4.** Зміна кривої блиску в залежності: а - від розташування зірок, б - блиску в залежності від зміни зоряної величини, в - в зірках типу W Великої Ведмедиці (W UMa)

**Висновки і напрямок подальших досліджень.** Завдяки сучасним методам виявлення подвійних зірок можливо з'ясувати безліч їх параметрів незалежно від їх типу. Відповідно до методу спостереження і виявлення тієї або іншої системи зірок, можна використовувати різні варіанти знаходження параметрів світил.

Зміна блиску тіла системи зазвичай викликана зміною взаємного положення тіл, внаслідок руху тіл по орбітах, а також обертанням тіла навколо власної осі. В останньому випадку крива блиску дозволяє встановити період обертання тіла на час спостереження.

У змінних зірок зміна блиску часто пов'язана з пульсаціями зірки, з рухом навколо неї менш яскравої зірки-компаньйона (затемнена змінність) та з іншими причинами. Крім того, порівняно слабкі зміни блиску зірки можуть свідчити про наявність у неї планет.

Зміни зсувів або роздвоєнь спектральних ліній спектрально-подвійних зірок дозволяють визначити променеву швидкість, яка є проекцією орбітальної швидкості на промінь зору. Криві променевих швидкостей – одного компонента або обох, якщо супутник не надто відрізняється за блиском від головної зірки – дають можливість обчислити елементи істинної орбіти.

У разі, коли подвійна зірка є затемненою, то стає можливим побудувати залежність інтегрального блиску від часу. Змінність блиску на цій кривій буде залежати від затемнень, ефектів еліпсоїдальності, ефектів відображення (перетворення випромінювання однієї зірки в атмосфері іншої).

Аналіз кривих блиску дає можливість визначити не тільки елементи орбіти затемненої подвійної зірки, але й деякі характеристики самих компонентів (наприклад, форму та розміри).

### Список літератури

1. Киселев А. А. Двойные звезды и значение их наблюдений в астрономии / А. А. Киселев. - Соросовский образовательный журнал, 1996, №4, с. 69-73.
2. Паннекук А. История астрономии / А. Паннекук. - М: Наука, 1966 – 592с.
3. Кутто П. Наблюдение визуально-двойных звезд. - Пер. с фр. А. М. Черепашука. - М.: Мир, 1981. - 238 с.
4. Липунов В. М. В мире двойных звёзд / В. М. Липунов. - М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009. - 256 с.
5. Чинарова Л.Л. Двойные звезды и их эволюция: Метод. указания для школьников ст. кл., студ. физ.-мат. спец. ун-тов и любителей астрономии. - Одесса.: НИИ "Астрономическая обсерватория" ОНУ им. Мечникова, 2007.
6. Куликовский П. Г. Двойные звёзды / П. Г. Куликовский. - Физика космоса: Маленькая энциклопедия (2-е изд.). - М.: Советская энциклопедия, 1986. - 783 с.
7. Бакулин П.И. Курс общей астрономии./ П.И. Бакулин, Э.В. Кононович, В.И. Мороз. - М.: Наука, 1983. - 560 с.
8. Мур П. Астрономия с Патриком Муром. / П. Мур. - Москва, Файр-Пресс, 2004, 364 с.
9. Климишин И. А. Элементарная астрономия / И. А. Климишин. - Москва: Наука, 1991. - 464 с.
10. Список подвійних зірок у Великій Ведмедиці. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://tls-urist.ru/uk/seven-stars-of-the-big-bear-the-constellation-of-a-large-bear.html>

Рукопис подано до редакції 30.03.2021

УДК 621.311

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., О.В. ГРИЦЕНКО, асист.  
Криворізький національний університет

### ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ З СИСТЕМОЮ ОХОЛОДЖЕННЯ

**Мета роботи.** Метою даної роботи є вибір найбільш ефективної системи охолодження для установки фотоелектричного перетворення з концентратором сонячного випромінювання.

**Методи дослідження.** У роботі використані чисельні методи, методи математичного аналізу, математичне моделювання, програмування.

**Наукова новизна.** Встановлено вперше, що залежності температури води на виході від ККД теплообмінника мають лінійний характер. Побудовано графік ККД систем охолодження.

**Практичне значення.** На сьогоднішній день в світі спостерігається стрімке зростання використання фотоелектричних перетворювачів. Тому підвищення ефективності перетворення сонячної енергії в електричну є актуальне наукове завдання. Використання системи охолодження підвищує стійкість фотоелектричного перетворювача до високих температур, що дозволяє не тільки збільшити генерацію електрики влітку, але і продовжити термін служби модулів.