ВІСНИК

КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ISSN 1728-273x

– АСТРОНОМІЯ

_____ 1(55)/2017 Засновано 1958 року

Викладено результати оригінальних досліджень учених Київського університету з питань фізики Сонця, позагалактичної астрономії, астрофізики високих енергій, астрометрії, метеорної та кометної астрономії та озону над Антарктидою.

Для наукових працівників, аспірантів, студентів старших курсів, які спеціалізуються в галузі астрономії.

Изложены результаты оригинальных исследований по вопросам релятивистской астрофизики, физики Солнца, астрометрии, небесной механики.

Для научных работников, аспирантов, студентов старших курсов, специализирующихся в области астрономии.

The Herald includes results of original investigations of scientists of Kyiv University on solar physics, extra-galactic astronomy, high energy astrophysics, astrometry, meteor and comet astronomy and ozone over the Antarctic.

It is intended for scientists, post-graduate students and student-astronomers.

| ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР | В. М. Івченко, д-р фізмат. наук, проф. |
|----------------------------|--|
| РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ | В. М. Єфіменко, канд. фізмат. наук (заст. відп. ред.); О. В. Федорова, канд. фізмат.наук (відп. секр.); Б. І. Гнатик, д-р фізмат. наук; М. Ю. Гордовський, канд. фізмат. наук; В. І. Жданов, д-р фізмат. наук; І. Д. Караченцев, д-р фізмат. наук; В. І. Клещонок, канд. фізмат. наук; Р. І. Костик, д-р фізмат. наук; В. Г. Лозицький, д-р фізмат. наук; Г. П. Міліневський, д-р фізмат. наук; С. Л. Парновський, д-р фізмат. наук; А. Дель Пополо, проф.; О. А. Соловйов, д-р фізмат. наук |
| Адреса редколегії | Астрономічна обсерваторія, вул. Обсерваторна, 3, Київ, Україна, 04053 🕿 (38044) 486 26 91, 486 09 06 e-mail: visnyk@observ.univ.kiev.ua |
| Затверджено | Вченою радою Астрономічної обсерваторії 29.03.17 (протокол № 3) |
| Атестовано | Вищою атестаційною комісією України. Постанова Президії ВАК України № 01-05/5 від 01.07.10 |
| Зареєстровано | Міністерством інформації України. Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 20329-101129 від 25.07.13 |
| Засновник та видавець | Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет". Свідоцтво внесено до Державного реєстру ДК № 1103 від 31.10.02 |
| Адреса видавця | ВПЦ "Київський університет" (кімн. 43), 6-р Т. Шевченка, 14, м. Київ, Україна, 01601, ☎ (38 044) 239 32 22; факс 239 31 28 |

BULLETIN of taras shevchenko national university of kyiv

ISSN 1728-273x

– ASTRONOMY –

—— 1(55)/2017 Founded in 1958

The Herald includes results of original investigations of scientists of Kyiv University on solar physics, extra-galactic astronomy, high energy astrophysics, astrometry, meteor and comet astronomy and ozone over the Antarctic.

It is intended for scientists, post-graduate students and student-astronomers.

Викладено результати оригінальних досліджень учених Київського університету з питань фізики Сонця, позагалактичної астрономії, астрофізики високих енергій, астрометрії, метеорної та кометної астрономії та озону над Антарктидою.

Для наукових працівників, аспірантів, студентів старших курсів, які спеціалізуються в галузі астрономії.

Изложены результаты оригинальных исследований по вопросам релятивистской астрофизики, физики Солнца, астрометрии, небесной механики.

Для научных работников, аспирантов, студентов старших курсов, специализирующихся в области астрономии.

| RESPONSIBLE EDITOR | V. M. Ivchenko, Dr. Sci., Prof. |
|----------------------------|--|
| EDITORIAL BOARD | V. M. Efimenko, Ph. D. (vice-ed. resp.); O. V. Fedorova, Ph. D. (resp. sec.); M. Yu. Gordovsky, Ph. D.; B. I. Hnatyk, Dr. Sci.; I. D. Karachentzev, Dr. Sci.; V. I. Kleschonok, Ph. D.; R. I. Kostyk, Dr. Sci.; V. G. Lozytsky, Dr. Sci.; G. P. Milinevsky, Dr. Sci.; S. L. Parnovsky, Dr. Sci.; A. del Popolo, Prof.; O. A. Soloviev, Dr. Sci.; V. I. Zhdanov, Dr. Sci. |
| Editorial board Address | Astronomical Observatory, 3, Observatorna str., Kiev, 04053, Ukraine, 쫄 (38044) 486 26 91, 486 09 06 e-mail: visnyk@observ.univ.kiev.ua |
| Confirmed | Scientific Comettee of Astronomical Observatory 29.03.17 (protocol № 3) |
| Attested | Higher Attestation Council of Ukraine. Decree of the Presidium of HAC of Ukraine № 01-05/5 from 01.07.10 |
| Registered | Ministery of Information of Ukraine. State registration certificate KB № 20329-101129 from 25.07.13 |
| Foundator and Publisher | National Taras Shevchenko University of Kyiv, Printing and Publishing Centre "Kiev University". The certificate is added to registry ДК № 1103 from 31.10.02 |
| Publisher's address | Kyiv University Publishing and Printing Center (off. 43), 14 Taras Shevchenko blv., Kyiv, 01601, Ukraine, ☎ (38044) 239 32 22; fax 239 31 28 |

| 3MICT |
|--------------|
|--------------|

| Шатохіна С., Головня В., Андрук В. Ресурс УкрВО для задач пошуку, перевідкриття та уточнення орбіт астероїдів | 6 |
|--|----|
| Їжакевич О., Андрук В., Пакуляк Л., Лук'янчук В. Фотографічні спостереження Великих планет та їх супутників у ГАО НАН України в 1961–1990 рр | 9 |
| Парновський С. Знаходження початкової функції світності галактик з активним зореутворенням | 13 |
| Клещонок В., Лук'яник I. Web-орієнтований інтерфейс віддаленого доступу до Київського інтернет-телескопа | 14 |
| Карбовський В., Лазоренко П., Свачій Л., Буромський М., Кас'ян С. Програми спостережень на МАК у 2001–2015 pp. та їх результати | 17 |
| Лозицький В., Єфіменко В. Подвійний цикл Хейла у змінах діаметрів сонячних плям. Попередні результати | 20 |
| Криводубський В. | |
| Альфа-ефект Бебкока–Лейтона у поверхневих шарах Сонця | 22 |
| Федорова О., Василенко А., Жданов В. Пекулярні АЯГ за даними INTEGRAL та RXTE | 29 |
| Лозицький В., Осіпов С. Вимірювання магнітних полів у сонячних плямах за спектральними лініями з різними факторами Ланде | 34 |
| Ковальчук М., Вовчик Є., Стоділка М., Білінський А., Баран О., Гірняк М., Мартинюк-Лотоцький К. Визначення часу існування штучних супутників Землі залежно від елементів орбіти | 39 |
| Казанцев А., Казанцева Л. Пошук можливих зв'язків гравітаційного впливу Сонця й Місяця із землетрусами | 43 |
| Парновський С. Великомасштабні рухи галактик: перевірка моделі Dipole Repeller за даними про RFGC галактики | 46 |
| Козак П. Дотичні до земної атмосфери метеори | 48 |
| Лозицький В., Лозицька Н. Магнітні поля в протонному сонячному спалаху БАЛУ X17.2/4В за даними одночасних вимірювань у кількох спектральних лініях | 51 |
| Єфіменко В. Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка у 2016 р | 57 |
| Казанцев А. Пам'яті Лідії Матвіївни Шербаум | 59 |

| Shatokhina S., Golovnia V., Andruk V. Asteroids searching, rediscovery and orbit correction with UkrVO resources | 6 |
|--|----|
| Yizhakevych O., Andruk V., Pakuliak L., Lukianchuk V. Photographic observations of major planets and their moons in MAO NAS of Ukraine during 1961–1990 | 9 |
| Parnovsky S. How to find an initial luminosity functions of starburst galaxies | 13 |
| Kleshchonok V., Luk'yanyk I. Web-oriented interface for remotely access the Kiev Internet-telescope | 14 |
| Karbovsky V., Lazorenko P., Svachiy L., Buromsky M., Kasjan S. The programs of observations on MAC in 2001–2015 and their results | 17 |
| Lozitsky V., Efimenko V. Doubke Hale's cycle in changes of sunspot diameters. Preliminary results | 20 |
| Krivodubskij V. The alpha effect of Babcock–Leighton in the surface layers of the Sun | 22 |
| Fedorova E., Vasylenko A., Zhdanov V. Peculiar AGNs from the INTEGRAL and RXTE data | 29 |
| Lozitsky V., Osipov S. Magnetic field measurements in sunspots using spectral lines with different Lande factors | 34 |
| Koval'chuk M., Vovchyk Ye., Stodilka M., Bilinsky A., Baran O., Hirnyak M., Martynyuk-Lototsky K. Estimation of the lifetime of artificail satellites of the Earth depending on their elements of orbit | |
| Kazantsev A., Kazantseva L. A search for possible connections of gravitational influence of the Sun and the Moon with earthquakes | 43 |
| Parnovsky S. Large-scale galactic motions: test of the Dipole Repeller model with the RFGC galaxies data | 46 |
| Kozak P. Earth atmosphere grazing meteors | 48 |
| Lozitsky V., Lozitska N. | |
| Magnetic fields in proton solar flare of X17.2/4B class according to data of simultaneous measurements in a few spectral lines | 51 |
| Efimenko V. Astronomical observatory of National Taras Shevchenko University of Kyiv in 2016 | 57 |
| Kazantsev A. To the memories of Lidia M. Sherbaum | 59 |

| Шатохина С., Головня В., Андрук В. Ресурс УкрВО для задач поиска, переоткрытия и уточнения орбит астероидов | 6 |
|--|----|
| Ижакевич Е., Андрук В., Пакуляк Л., Лукьянчук В. Фотографические наблюдения Больших планет и их спутников в ГАО НАН Украины в 1961–1990 гг | 9 |
| Парновский С. Нахождение начальной функции светимости с активным звездообразованием | 13 |
| Клещонок В., Лукьяник И. Web-ориентированный интерфейс удаленного доступа к Киевскому интернет-телескопу | 14 |
| Карбовский В., Лазоренко П., Свачий Л., Буромский М., Касьян С. Программы наблюдений на МАК в 2001–2015 гг. и их результаты | 17 |
| Лозицкий В., Ефименко В. Двойной цикл Хейла в изменениях диаматров солнечных пятен. Предварительные результаты | 20 |
| Криводубский В. Альфа-эффект Бэбкока–Лейтона в поверхностных слоях Солнца | 22 |
| Федорова Е., Василенко А., Жданов В. Пекулярные АЯГ по данным INTEGRAL и RXTE | 29 |
| Лозицкий В., Осипов С. Измерения магнитных полей в солнечных пятнах по спектральным линиям с различными факторами Ланде | 34 |
| Ковальчук М., Вовчик Е., Стодилка М., Билинский А., Баран А., Гирняк М., Мартынюк-Лотоцкий К. Оценка времени существования искусственных спутников Земли в зависисмости от элементов орбиты | 39 |
| Казанцев А., Казанцева Л. Поиск возможных связей гравитационного влияния Солнца и Луны с землетрясениями | 43 |
| Парновский С. Крупномасштабные движения галактик: проверка модели Dipole Repeller по данным о RFGC галактиках | 46 |
| Козак П. Метеоры касательные к земной атмосфере | 48 |
| Лозицкий В., Лозицкая Н. Магнитные поля в протонной солнечной вспышке Балла X17.2/4В по данным одновременных измерений в нескольких спектральных линиях | 51 |
| Ефименко В. Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко в 2016 г | 57 |
| Казанцев А. Памяти Лидии Матвеевны Шербаум | 59 |
| | |

УДК 521.95

С. Шатохіна, наук. співроб., В. Головня, наук. співроб., В. Андрук, наук. співроб., Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ

РЕСУРС УКРВО ДЛЯ ЗАДАЧ ПОШУКУ, ПЕРЕВІДКРИТТЯ ТА УТОЧНЕННЯ ОРБІТ АСТЕРОЇДІВ

Ядром Української віртуальної обсерваторії (УкрВО) є об'єднаний цифровий архів спостережень, проведених упродовж XX ст. в обсерваторіях України. За даними результатів сканувань та обробки декількох тисяч платівок спостережних програм ФОН, ОРБІТА отримано понад 150 положень і зоряних величин астероїдів. Розроблена і впроваджена в ГАО НАН України технологія обробки цифрових зображень дозволяє одержати високу точність результатів. Попередній аналіз отриманих даних вказує на доцільність використання фотографічних спостережень минулих 1950–1990 років. Ключові слова: УкрВО, малі планети

Вступ. У ГАО НАН України розроблена методика опрацювання оцифрованих зображень [1; 2; 4; 8; 10; 18; 24] і накопичений великий досвід використання Об'єднаного Цифрового Архіву УкрВО [3, 20, 25]. Фотографічні спостереження минулих періодів XX ст. залишаються важливим джерелом інформації про малі тіла Сонячної системи для заповнення положеннями їх ранніх опозицій та фотометричних оцінок блиску в міжнародних базах даних. Сучасний підхід до переопрацювання ранніх спостережень з використанням нових цифрових технологій вимірювань і обробки забезпечує досить високу точність положень [5; 6; 9; 10; 11; 14; 23]. Це може бути ефективним особливо для малоспостережуваних у ті часи астероїдів, або тих, що відкриті значно пізніше і фотографічні платівки для яких – єдине джерело інформації у попередній до моменту відкриття час.

Результати та їх аналіз. Наразі закінчена цифрова обробка фотографічних платівок програми Фотографічного Огляду Неба (ФОН), за матеріалами якої складено каталог зір північної небесної півкулі. У [7] детально наведено опис методики, отримані результати, внутрішню і зовнішню точність положень та В-величин зір. Під час редукційної обробки цифрових зображень платівок каталог зірок Тусho-2 використано в якості опорного.

Результати обробки 93 платівок 8 зони ΦΟΗ (α = 0^h ÷ 24^h, δ = +4^o ÷ +12^o) використані для масового пошуку астероїдів. Астероїди ідентифіковані на 66 платівках. Для цих платівок середня квадратична похибка редукції одного положення становить 0.097 і 0.093 агсsес по прямому сходженню і схиленню відповідно, а по зоряній величині 130. На сканах ідентифіковано 130 астероїдів, 157 астрометричних положень і В-величин яких зібрано в каталог. Отримані всі астероїди із зоряною величиною від 7.^m8 до 15.^m7, що відображено їх розподілом по зоряних величинах на рис. 1. За середній час експозиції 20 хв для платівок ФОН можно стабільно отримати всі астероїди до 14.^m3 зоряної величини. Слабкішу решту із зазначених на рисунку можна ідентифікувати тільки за сприятливих обставин, таких як найкращі умови спостереження, відносно незначний рух астероїда за експонований час та інші. Зазвичай усі ідентифіковані астероїди належать до Маіп belt. Виключення становлять тільки 748 і 2204, що належать до сімейств Hilda і Mars crosser.





Рис. 2. Малі планети на платівці GUA040C000887В

На платівках, отриманих за іншими, ніж ФОН, програмами, є також велика кількість різноманітних астероїдів. Проте виділити спостережний ряд певного астероїда не завжди можливо. Зображення платівки, отриманої за програмою спостережень малих планет методом Блажко показано на рис. 2. Дев'ять астероїдів із візуальною зоряною величиною від 10.^m7 до 15.^m0, які позначені на рис. 2 – ідентифіковано, для них отримано точні положення.

© Шатохіна С., Головня В., Андрук В., 2017

Виконано порівняння всіх положень астероїдів з ефемеридою JPL(14-106) DE431 [17], отримані значення різниць (O-C) і В-Мv, де Mv – приблизна ефемеридна візуальна зоряна величина астероїда. Розподіл (O-C) і В-Mv залежно від зоряної величини і альбедо астероїда наведено на рис. 3, 4. Відмітимо, що частково розкид (O-C) астероїдів може бути наслідком застосування різних ефемерид для них. На рис. 4а залежність В-Мv від зоряної величини представлена для всіх отриманих 157 астероїдів. На рис. 4б додатково відображені вибрані нами з даних JPL і MPC значення показника кольору В-V для 82 астероїдів, що найбільш достовірно визначені. Кількість наших даних вибрана відповідною для порівняння. Обидва рисунки демонструють пониження значення показника кольору для низькоальбедних астероїдів. Для астероїдів з альбедо меншим ніж 0.07 ці значення найменші. Таким астеродам відповідає значна їх частина від 11 до 15 зоряної величини.



Рис. 3. Розкид отриманих різниць (О-С)_α, (О-С)_δ за зоряною величиною Мν астероїда



Рис. 4 а), б). Розподіл різниць показників кольору В-Му за зоряною величиною Му і альбедо астероїда

У каталозі містяться поодинокі зображення астероїдів. Знайдена невелика кількість двох-трьох положень для окремих 24 астероїдів. Від платівки до платівки для одного й того самого астероїда помітні значні зміни О-С, що не може бути наслідком порівняння з ефемеридою. Причини цього мають бути досліджені.

Серед усієї кількості отриманих астероїдів є такі, що спостерігались в часи, які передували моменту їх відкриття. Це – астероїди 14691 і 6475. Окрім них, є спостереження, які виконані поблизу років відкриття астероїда або в той проміжок часу, де недостатня кількість спостережень за даними MPC [19]. Це – астероїди 3767, 3509, 1817, 5363, 3478. Розподіл всіх наявних в світі спостережень астероїдів 14691 і 6475 за даними MPC, наведено на рис. 5, де схематично відображені також наші спостереження. Отримані екваторіальні координати і В-величини для цих семи астероїдів, а також різниці (O-C) після порівняння з ефемеридою наведені в табл. 1. Для кожного з них за архівами даних УкрВО і обсерваторії в Балдоне (Латвійський університет) виконано пошук можливих їх інших спостережень. Знайдено кілька десятків платівок, що відповідають одночасно моменту, місцезнаходженню на платівці і прийнятній для телескопа зоряній величині астероїда. На даний момент проаналізовані результати чотирьох вже відсканованих і опрацьованих платівок (№ 1134,1443,1453,1749) для інших зон ФОНу.



Рис. 5. Розподіл всіх наявних в МРС світових спостережень астероїдів 14691 і 6475 за часом

На жаль, вказані вище астероїди досить слабкі, і на знайдених платівках ФОНу не виявлені внаслідок недостатньої проникної здатності останніх. Можливо, решта зі знайдених платівок із більшою експозицією матиме такі зображення. Подібна робота була успішно відпрацьована під час обробки всіх спостережень Плутона в архівах УкрВО і обсерваторії в Балдоне [13].

Таблиця 1

| Nº plate | UTC | Asteroid | RA | DEC | B (Tycho-2) | (O-C) _α *cosδ, arcsec | (O-C) _{ō,} arcsec | B – Mv |
|-------------|-------------------|----------|------------|-------------|----------------|--|-------------------------------|--------|
| 1126 | 1987-10-21.792517 | 6475 | 225928.789 | +074648.932 | 15.661 | -0.41 | -0.10 | 0.40 |
| 1500 | 1989-09-20.831430 | 14691 | 213153.404 | +051221.230 | 15.767 | 0.11 | -0.80 | 0.43 |
| 1522 | 1989-10-26.857446 | 5363 | 010859.721 | +111206.804 | 15.539 | -0.54 | -0.32 | 0.67 |
| 1586 | 1990-02-23.108033 | 3767 | 142439.044 | +044817.322 | 16.517 | -0.98 | 0.28 | 1.21 |
| 1646 | 1990-05-30.881617 | 1817 | 153141.792 | +081952.504 | 13.806 | 1.34 | 1.33 | 0.50 |
| 1682 | 1990-07-22.969889 | 3509 | 211833.902 | +071103.564 | 15.862 | -0.22 | 0.95 | 0.60 |
| 2033 | 1992-09-27.027028 | 3478 | 030729.902 | +101914.612 | 16.051 | 0.10 | 0.66 | 0.90 |

Окремі астероїди, спостереження яких відбулося до або поблизу моменту їх відкриття

Висновки. Опрацювання оцифрованих фотографічних платівок попередніх років розширює діапазон спостережних даних, дає можливість підвищити точність отриманих результатів з урахуванням нових даних та методик обробки. Отримані в процесі ідентифікації поодинокі положення астероїдів зможуть поповнити кожну окрему їх опозицію в міжнародних банках даних, але сама кількість їх недостатня для корекції руху астероідів та інших небесномеханічних задач. Вибрані із загальної кількості малоспостережувані і так звані перевідкриті астероїди мають більшу цінність. Отримані нами положення астероїдів не можуть конкурувати за першість серед всіх відомих світовій спільноті, як спостереження з 1.2-м телескопа Шмідта обсерваторії в Балдоне, де виявлені [12] унікальні 1973–1974 р. зображення деяких астероїдів до 17.^m1 зоряної величини. Але вони мають високу точність, а наявність спостережень з 1949 р. в цифрових архівах JDA UkrVO дозволяє вибрати і визначити унікальні й доцільні для обробки й використання об'єкти. Ряд сучасних результатів і попередніх обробок окремих платівок з астероїдами [12; 20; 26] ГАО НАН України і обсерваторії в Балдоне дозволяють зробити висновки про доцільність використання ранніх фотографічних спостережень 1950–1980 р. із колекції УкрВО для вирішення задач корекції руху астероїдів та їх перевідкриття.

Список використаних джерел

1. Andruk V. A trial Microtek scan maker application for star photometry / V. Andruk, L. Pakuliak (in ukr.: Андрук В. Дослідження можливості викорис-тання сканерів Microtek для фотометрії зір / В. Андрук, Л. Пакуляк) // J. of Phys. Studies, 2007. Vol. 11. № 3. – Р. 329–333.

2. Andruk V. M. Photometry of plates digitized using Microtek ScanMaker 9800xl TMA scanner / V. M. Andruk, G. Z. Butenko, A. I. Yatsenko // KPCB, 2010. – Vol. 26, № 3. – P. 146–150.

3. Astroinformation resource of the Ukrainian virtual observatory: Joint observational data archive, scientific tasks, and software / I. B. Vavilova et al. // KPCB, 2012. – Vol. 28, № 2. – P. 85–102.

4. Astrometry of PSA plates digitalized by two kinds of scanners. Separation of images of the stars from two exposures / V. Andruk, G. Ivanov, А. Yatsenko et al. (in ukr.: Астрометрія платівок ДША, оцифрованих двома типами сканерів. Розділення зображень зір двох експозицій / В. Андрук., Г. Іванов, А. Яценко та ін.) // KNUB. Astronomy, 2012. – № 48 – Р. 11–13.

5. Golovnia V. Astrometry of the plates of the DWA digitized with the Microtek scanmaker 9800XL TMA / V. Golovnia, V. Andruk, A. Yatsenko (in ukr.: Foловня В. Астрометрія платівок ПША, оцифрованих сканером MICROTEK SCANMAKER 9800XL ТМА / У. GOIOVNIA, V. Andruk, A. Yatsenko (in ukr.: Го-ловня В. Астрометрія платівок ПША, оцифрованих сканером MICROTEK SCANMAKER 9800XL ТМА / В. Головня, В. Андрук, А. Яценко) // J. of Phys. Studies, 2010. – Vol. 14, № 2. – Р. 1–8.

6. Catalog of positions and B-magnitudes of stars in the circumpolar region of the Northern Sky Survey (FON) project / V. M. Andruk et al. // KPCB, 2016. – Vol. 32, № 1. – P. 38–47

7. Catalog of equatorial coordinates and B-magnitudes of stars of the FON project / V. M. Andruk et al. // KPCB, 2016. – Vol. 32. № 5. – P. 260–263.

8. On application of a scanner for determination of coordinates and photometric characteristics of stras from the FON program plates / V. M. Andruk, G. A. Ivanov, M. T. Pogorel'tsev, A. I. Yatsenko (in rus.: Об использовании сканера для определения координат и фотометрии звёзд на пластинках программы ФОН / В. Н. Андрук, Г. А. Иванов, М. Т. Погорельцев, А. И. Яценко) // КFNT, 2005. – Vol. 21, № 5. – Р. 396–400.

9. Processing results of digitized photographic observations of Pluto from the collections of the Ukrainian Virtual Observatory / L. V. Kazantseva et al. // KPCB,-2015. – Vol. 31. – № 1. – P. 37–54.

10. Scanning results of images of the 60th declination zone of the FON project. Measurement reduction methods and characterization of the output catalog A. I. Yatsenko et al. // KPCB, 2011. - Vol. 27. № 5. - id. 249.

11 Andruk V.M., Pakuliak L.K., Golovnya V.V. et al. // 2015, arxiv.org/abs/1512.05535.

12 Asteroids from digitized processing of photographic observations in Baldone / I. Eglitis., M. Eglite, S. V. Shatokhina, V. M. Andruk, Yu. I. Protsyuk // Book

AstroPlate", Prague, March 14–18, 2016. – P. 41 [http://www.mao.kiev.ua/biblio/jscans/discrete/AstroPlate-2016_020.jpg].
 13. Astrometric and photometric processing of Pluto digitized photographic observations during 1961 to 1996 / I. Eglitis., M. Eglite, L. V. Kazantseva et al.
 // Book of Abstr. "AstroPlate", Prague, March 14–18, 2016. – P. 40 [www.mao.kiev.ua/biblio/jscans/discrete/AstroPlate-2016_020.jpg].
 14. Golovnya V. Digital Archive of UkrVO The Positional Accuracy of Minor Planets Determinations / V. Golovnya, V. Andruk // Odessa Astron. Publ., 2013.

- Vol. 26, Is. 2. - P. 226-228.

15. Catalog of positions and B-magnitudes of stars in the circumpolar region of Northen Sky Survey (FON) project / V. M. Andruk, L. K. Pakuliak, V. V. Golovnia et al. // Odessa Astron. Publ., 2015. – Vol. 28, № 2. – P. 192–195.

16. Compilation of catalog of stellar equatorial coordinates and B-magnitudes using UkrVO plate database / V. M. Andruk, V. V. Golovnya, G. A. Ivanov et. al, // Odessa Astron, Publ., 2014, - Vol. 27, N 1, - P, 53-54

17. Jon. Giorgini HORIZONS [Web-Interface http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi].

18. Method for evaluating the astrometric and photometric charakteristics of commercial scanners in their application for the scienrific purpose / Yu. I. Protsyuk, V. N. Andruk, M. M. Muminov et al. // Odessa Astron. Publ., 2014. - Vol. 27, N 1. - P. 61-62.

19. Minor Planet Center Web-Interface [http://www.minorplanetcenter.net/db_search].

20. Observations in the Past of Solar System Bodies with MAO NANU Plate Archives / T. P. Sergeeva, V. V. Golovnya, E. M. Yizhakevych et al.; eds. M. Tsvetkov, V. Golev, F. Murtagh & R. Molina. – Sofia :Towards the WFPDB Integration VIRTUAL OBSERVATORY: Plate Content Digitization, Archive Mining and Image Sequence Proc., 2006. – P. 161–166.

21. Results of processing of astronegatives with commercial scanner / Yu. Protsyuk, O. E. Kovylianska, S. V. Protsyuk, V. M. Andruk // Odessa Astron. Publ., 2014. – Vol. 27, N 1, – P. 63–64.

22. Sergeeva T. MAO NAS of Ukraine Plate Archive: "Observations in the Past" of Minor Planets / T. Sergeeva, V. Golovnya, A. Sergeev // Kinematics and physics of celestial bodies, Supp., 2005. - N 5. - P. 577.

23. Shatokhina S. Finding of the observations of external planets' satellites using Plate Archive. First results / S. Shatokhina, E. Yizhakevych // Kinematics

and physics of celestial bodies, Supp., 2005. – N 5. – P. 570. 24. Software for processing of digitized astronegatives from archives and Databases of Virtual Observatory / Yu. I. Protsyuk, V. M. Andruk, L. V. Kazantseva // Odessa Astron. Publ., 2014. – Vol. 27, N 1, – P. 59–60.

25. UkrVO Joint Digitized Archive and Scientific Prospects / I. B. Vavilova, L. K. Pakuliak, Yu. I. Protsyuk et al. // Baltic Astronomy, 2012. - Vol. 21, N 3. - P. 356-365

26. Wide field plate archive of MAO NAS of Ukraine: electronic plate collection / T. P. Sergeeva, A. V. Sergeev, L. K. Pakulyak, V. V. Golovnya // Baltic Astronomy, 2004. - Vol. 13.

S. Shatokhina, Researcher, V. Golovnia, Researcher, V. Andruk, Researcher, MAO NAS of Ukraine, Kyiv

ASTEROIDS SEARCHING, REDISCOVERY AND ORBIT CORRECTION WITH UKRVO RESOURCES

Modern approach to processing early photographic observations from Joint Digital Archive of Ukrainian Virtual Observatory (UkrVO) with new technologies can be an effective instrument for rediscovery of asteroids and correction their orbits. Using of techniques digitization of astronegatives and further processing of observations of Northern Sky Survey (FON) and of other projects are applied for broad search for images of minor planets. From analysis of 93 plates of the 8 zone FON we obtained 150 positions and B-magnitudes of asteroids. Analysis of the differences (O–C) was made.

Keywords: ÚkrVO, minor planets.

С. Шатохина, науч. сотр., В. Головня, науч. сотр., В. Андрук, науч. сотр., Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев

РЕСУРС УКРВО ДЛЯ ЗАДАЧ ПОИСКА, ПЕРЕОТКРЫТИЯ И УТОЧНЕНИЯ ОРБИТ АСТЕРОИДОВ

Ядром Украинськой виртуальной обсерватории (УкрВО) является объединенный цифровой архив наблюдений, проведенных в течении двадцатого века в обсерваториях Украини. По данным результатов сканирований и обработки нескольких тысяч пластин наблюдательных программ ФОН, ОРБИТА получено более 150 положений и звездных величин астероидов. Разработаная и внедренная в ГАО НАН Украини технология обработки цифровых изображений позволяет добиться высокой точность результатов. Предварительный анализ полученных данных указывает на целесообразность использования фотографических наблюдений прошлых 1950–1990 годов.

Ключевые слова: УкрВО, малые планеты.

УДК 523.45/.48, 52-14

О. Їжакевич, молодш. наук. співроб., В. Андрук, наук. співроб., Л. Пакуляк, канд. фіз.-мат. наук, Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ; В. Лук'янчук, магістр, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ФОТОГРАФІЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ВЕЛИКИХ ПЛАНЕТ ТА ЇХ СУПУТНИКІВ У ГАО НАН УКРАЇНИ В 1961–1990 рр.

У межах національного проекту "Українська віртуальна обсерваторія" проведено роботи зі створення каталогів астрономічних положень і зоряних величин великих планет та їх супутників на базі фотографічних спостережень, виконаних у ГАО НАН Укріїни за допомогою чотирьох телескопів упродовж 1961–1990 р. Завдяки програмному комплексу, розробленому в ГАО для редукції оцифрованих астронегативів, виконано редукцію спостережень супутників Сатурна (S2–S9), а також Урана, Нептуна та їх супутників U1–U4, N1. За опорну систему слугувала система зоряного каталогу ТУСНО2. Внутрішня точність визначення положень становить ±0.09 – ±0.25 arcsec. На даний час виконується аналогічна редукція рядів фотографічних спостережень Нептуна, Урана та їх супутників, що були отримані в ГАО за цей самий період.

Ключові слова: каталоги, тіла Сонячної Системи, Сатурн, Уран, Нептун.

Вступ. База даних фотографічних спостережень DBGPA, налічує значну кількість платівок з тілами Сонячної Системи. Частково ці спостережень опрацьовувалися раніше в міру їх накопичення з прив'язкою до різних каталожних систем [1–5]. Ми поставили собі за мету – переопрацювати ці спостереження на сучасному рівні із залученням єдиної опорної системи каталогу ТҮСНО-2 [6–8, 14]. Завдяки комплексу програм, розробленому у відділі астрометрії та відлагоджених в операційній системі LINUX-MIDAS-ROMAFOT, була виконана редукція цих спостережень.

Основні ряди спостережень були отримані безпосередньо в ГАО у 1961–1984 р. за допомогою двох астрографів: DLFA (D/F=40/550) та DWA (D/F = 40/200). Окрім того, в експедиційних умовах (в Узбекистані), отримано декілька коротких рядів фотографічних спостережень за допомогою астрографа Цейса DAZ (D/F=40/300) і рефлектора Z600. Табл. 1 дає більш детальну інформацію про параметри телескопів та фотоматеріали.

Деякі характеристики спостережного матеріалу

Таблиця 1

| Telescope | F, mm | Scale, "/mm | Field, deg | Size, mm | Bandwidth | Type, emulsion |
|-----------|-------|-------------|------------|----------|-----------|------------------------------|
| DLFA I | 5500 | 38.47 | 2.5x2.5 | 240x240 | Bph | Agfa Astro, ORWO-ZU21, -ZU2 |
| DLFA II | 5500 | 38.47 | 1.8x2.5 | 160x240 | Vph | ORWO-NP27 |
| DWA I, II | 2000 | 103.13 | 8.0x8.0 | 300x300 | Bph | ORWO-ZU21 |
| DAZ I,II | 3000 | 68.80 | 5.5x5.5 | 300x300 | Bph | ORWO-ZU21 |
| Z-600 | 7500 | 27.5 | 0.5x0.5 | 90x120 | Bph | ORWO-ZU21, -ZU2 ORWO-NP27 |

Супутники Сатурна. З архіву Бази даних фотографічних спостережень DBGPA було вибрано понад 250 фотопластинок із можливими зображеннями головних супутників Сатурна (S2–S9). Раціональна конструкція Бази даних сприяла зручному пошуку та вибору потрібної інформації. Усі спостереження виконано силами співробітників ГАО. На рис. 1 показано активність і результативність окремих спостерігачів за цей період. Методика фотографічних спо-

© Їжакевич О., Андрук В., Пакуляк Л., Лук'янчук В., 2017

стережень супутників Сатурна полягала в тому, що на одну й ту саму платівку експонували декілька знімків різної тривалості від декількох секунд до декількох хвилин. При цьому платівку зміщували у певному напрямку, зазвичай повздовж меридіана. Такий підхід збільшував шанс виявити слабкі та близькі до Планети супутники. Основними визначальними факторами при пошуку і виявленню супутників на астронегативах є масштаб телескопа, відстань супутника від Планети на даний момент, а також світлосила інструмента. Найпродуктивнішими виявилися спостереження супутників Сатурна на астрографі DLFA, масштаб якого та роздільна здатність сприяли впевненому визначенню положень супутників S2, S3, S4, S5, S6,S8. На ширококутному астрографі DWA, нажаль, успішними виявилися спостереження тільки двох супутників S6 та S8. Короткотривалий ряд 1986 р. на астрографі DAZ (Кітаб) виявився не дуже успішним через несприятливе розташування супутників. Спостереження у 1990 р. на рефлекторі Z600 підтвердили доцільність застосування рефлекторів для розв'язку астрометричних задач. На рис. 2 показано розподіл спостережень супутників Сатурна уподовж 30 років на різних телескопах.



Рис. 1. Активність спостерігачів



Рис. 2. Розподіл спостережень супутників Сатурна впродовж 30 років

Сучасний рівень космічних досліджень вимагає і сучасних методів виявлення та опрацювання добутої інформації. Новизна методики полягає в тому, що ми маємо справу не ыз самою фотографічною платівкою, а з її оцифрованим аналогом. Оцифровка платівок здійснювалася на сканері Epson Expression 10000XL (EE) у сірому діапазоні 16 bits з роздільною здатністю 1200 dpi [9–13]. Зв'язок між двома системами, системою прямокутних координат X,Y та сферичних α, δ, як відомо, визначається нескінченним степеневим рядом, члени якого залежать від багатьох факторів. Обчислення за цими формулами можливе лише після прийняття певних обмежень щодо кількості членів степеневого ряду. Варіюючи цією кількістю, ми отримуємо результат з різним рівнем точності. Чим більше каталожних зірок потрапляє на платівку, тим точніше можна здійснити зв'язок між двома координаційними системами.

Спостережний матеріал було отримано за допомогою телескопів з різними характеристиками, з різною кількістю каталожних зірок, що потрапляють на платівки. Тому і кількість членів редукційних формул індивідуальна для кожно-

~ 11 ~

го телескопу. При редукції спостережень на астрографі DWA (середня кількість зір на платівці n = ~610) та астрографі DAZ (середня кількість зір n = ~142) застосовувався поліном шостого ступеня (27 членів). Редукція спостережень з телескопа DLFA (n = ~75) здійснювалася із застосуванням полінома третього ступеня, а спостереження, отримані на рефлекторі Z600 (n = ~16) оброблялися за лінійною моделлю.

Про внутрішню точність редукції фотографічних спостережень супутників Сатурна свідчать дані таблиці 2, де по кожному телескопу наведено імена супутників, кількість ночей спостережень, кількість отриманих платівок та знімків, а також кількість визначених астрометричних положень. В останніх чотирьох стовпчиках таблиці наведено відомості про середньо квадратичні похибки RMS визначення фотографічної зоряної величини, екваторіальних координат *α* та δ, а також – середнє значення кількості опорних зірок на пластинці.

Таблиця 2. Результати редукції спостережень супутників Сатурна по кожному телескопу. Внутрішня точність редукції

| | Saturn's | Quantity of | | | | | N | | |
|------|----------------------|-------------|--------|-----------|-----------|--------|--------|--------|-------|
| | satellites | nights | plates | Snapshots | Positions | Bph | Alpha | Delta | stars |
| DLFA | S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8 | 62 | 138 | 344 | 1017 | ± 0.27 | ± 0.09 | ± 0.09 | 75 |
| DWA | S4 S5 S6 S8 | 14 | 30 | 69 | 101 | ± 0.27 | ± 0.23 | ± 0.22 | 610 |
| DAZ | S4 S5 S6 S8 | 7 | 8 | 32 | 95 | ± 0.34 | ± 0.09 | ± 0.10 | 142 |
| Z600 | S3 S4 S5 S6 S7 S8 S9 | 9 | 33 | 66 | 172 | ± 0.37 | ± 0.09 | ± 0.11 | 16 |
| | Σ | 92 | 209 | 511 | 1385 | | | | |

Завершальним етапом редукції є обчислення сферичних координат усіх об'єктів на знімку та пошук серед них супутників Сатурна. Для цього були підготовлені так звані пошукові файли з уточненими моментами (UTC) часу експонування та відповідними передбачуваними координатами об'єктів спостережень.

За допомогою ефемеридних даних IMCCE (теорія TASS 1.7) (http://lnfm1.sai.msu.ru/neb/nss/nssephmr.htm) і завдяки засобам обчислення ефемерид М.В. Ємєльянова для всіх моментів експозицій були визначені (O-C)_і, їх середні значення та похибки середнього (табл. 3). При цьому виявлялися та вилучалися знімки з безрезультатними спостереженнями.

Таблиця З

Таблиця 4

Результати редукції спостережень по кожному супутнику Сатурна. Порівняння з теорією

| Saturn's satellites | Vmg | N nights | N posit. | (O-C)α, arcsec | (O-C)δ, arcsec |
|---------------------|------|----------|----------|----------------|----------------|
| S2 Enceladus | 11.7 | 6 | 12 | 0.48±0.20 | 0.16±0.14 |
| S3 Tethys | 10.3 | 20 | 96 | -0.01±0.06 | 0.10±0.04 |
| S4 Dione | 10.4 | 40 | 184 | 0.07±0.03 | 0.07±0.03 |
| S5 Rhea | 9.7 | 57 | 269 | 0.15±0.03 | 0.07±0.03 |
| S6 Titan | 8.3 | 84 | 435 | 0.09±0.02 | -0.03±0.02 |
| S7 Hiperion | 14.2 | 8 | 13 | -0.04±0.13 | 0.10±0.18 |
| S8 Japetus | 12 | 78 | 375 | 0.11±0.02 | 0.04±0.02 |
| S9 Phoebe | 16.4 | 1 | 1 | 0.44 | -0.27 |

Урана та Нептуна, редукція спостережень. Спостереження Урана, Нептуна та їх супутників були виконані за допомогою трьох телескопів: DLFA, DWA, Z600 майже одночасно зі спостереженнями Сатурна (1963–1990 р.) Параметри телескопів дозволили виявити 4 супутника Урана (U1, U2, U3, U4) та один супутник Нептуна (N1). Методика редукції цих спостережень подібна до редукції спостережень супутників Сатурна, про які розповідалося вище. Суттєвою різницею є різниця в довжині експозицій – від декількох хвилин до 15–18 хв. У табл. 4 представлено результати редукції по Урану, його чотирьох супутниках (U1,U2,U3,U4), а в табл. 5 – результати по Нептуну та Тритону(N1). У другому стовпчику ліворуч наведено середнє значення обчисленої фотографічної зоряної величини Врh, а в 4-му та 5-му стовпчиках наведено середні значення О-С при порівнянні з теорією DE431 (IMCCE) і похибки цих середніх.

Результати редукції фотографічних спостережень Урана та його супутників. (U1-U4). Внутрішня точність редукції

| | Rnh N | | N | (Ο-C)α | δ(Ο-Ο) | | RMS of | | N Ref. |
|---------------------|-------|-------|-------|------------|------------|------|--------|-------|--------|
| | Брп | posit | pates | arcsec | arcsec | Bph | Alpha | Delta | stars |
| U1 Ariel, Z600 | 12.1 | 3 | 3 | -0.30±0.68 | 0.78±0.42 | 0.43 | 0.13 | 0.13 | 16 |
| U2 Umbriel, Z600 | 12.6 | 8 | 6 | -0.16±0.30 | 0.31±0.14 | 0.47 | 0.11 | 0.12 | 16 |
| U3 Titania, Z600 | 12.6 | 22 | 15 | 0.04±0.11 | 0.12±0.07 | 0.28 | 0.08 | 0.12 | 17 |
| U4 Oberon, Z600 | 12.8 | 22 | 15 | -0.09±0.12 | 0.10±0.10 | 0.32 | 0.08 | 0.12 | 17 |
| U4 Oberon, DWA | 12.5 | 1 | 1 | 0.01 | -0.61 | 0.27 | 0.10 | 0.11 | 1260 |
| All satellits | | 56 | | | | | | | |
| Uranus, DLFA | 9.1 | 9 | 7 | 0.90±0.20 | -0.23±0.27 | 0.25 | 0.06 | 0.07 | 101 |
| Uranus, DWA | 6.4 | 29 | 12 | 0.13±0.15 | -0.22±0.14 | 0.16 | 0.16 | 0.18 | 877 |
| Uranus, Z600 | 10.6 | 23 | 14 | 0.15±0.14 | 0.06±0.14 | 0.41 | 0.08 | 0.10 | 17 |
| Uranus, All telesc. | 8.4 | 61 | 33 | 0.25±0.10 | -0.12±0.09 | 0.32 | 0.12 | 0.14 | |
| Σ | | 117 | 33 | | | | | | |

Таблиця 5

| | Bph | N | N | (O-C)α | Ο-C)δ | | RM | IS of | |
|----------------------|------|-------|--------|------------|------------|------|-------|-------|-------------|
| | Брп | posit | nights | arcsec | arcsec | Bph | Alpha | Delta | N Ref.stars |
| Neptune, DLFA | 8.3 | 3 | 3 | 0.23±0.26 | 0.07±0.20 | 0.32 | 0.05 | 0.08 | 93 |
| Neptune, DWA | 8.5 | 33 | 14 | 0.20±0.12 | -0.32±0.17 | 0.34 | 0.23 | 0.25 | 724 |
| Neptune, Z600 | 9.1 | 15 | 12 | -0.06±0.10 | 0.01±0.11 | 0.23 | 0.10 | 0.09 | 16 |
| Neptune, All telesc. | 8.7 | 51 | 29 | 0.12±0.08 | -0.20±0.12 | 0.08 | 0.18 | 0.19 | |
| Triton N1, Z600 | 11.5 | 9 | 8 | 0.28±0.19 | 0.31±0.16 | 0.65 | 0.10 | 0.08 | 16 |
| Σ | | 60 | 29 | | | | | | |

Результати редукції спостережень Нептуна та його супутника (N1). Внутрішня точність редукції

Висновки. Завершена редукція фотографічних спостережень восьми супутників Сатурна за 1961–1990 р. Опрацьовано 209 фотографічних платівок (511 знімків). Отримано каталог з 1385 астрономічних положень. Точність редукції, в середньому, з прив'язкою до каталогу ТҮСНО2 лежить у межах ~ ±0.09 – ±0.23 arcsec. Продовжується редукція спостережень Урана та Нептуна На даний момент опрацьовано 33 платівок із зображеннями Урана та 29 платівок з Нептуном. Загалом отримано каталог 117 астрономічних положень Урана разом із супутниками та каталог 60 положень Нептуна та Тритона. Внутрішня точність редукції спостережень цих об'єктів – ±0.08 – ±0.25. Слід відмітити, що точність редукції по телескопу DWA в 2–2.5 раза нижча за точність результатів по інших телескопах.

Робота з опрацювання спостережень Великих планет та їх супутників продовжується.

Створений у ГАО НАН України архів фотоспостережень в рамках проекту УкрВО зберігає в собі інформацію про неповторювані події в навколишньому космічному просторі. Сподіваємося, що наша робота з переопрацювання цієї інформації на сучасному технічному рівні може розширити наші знання про планети та їх супутники, які перебувають під збурюючим впливом як з боку планет-гігантів, так і сусідів-супутників.

Список використаних джерел

1. Yizhakevych O. M. Positional Observations of Saturn's satellites at the MAO AS of USSR in 1980 / O. M. Yizhakevych // Scientific paper deposited in All - russian institute of scientific and technical information. - Kyiv, 1991. - № 4553-B91.

2. Positional Observations of Jupiter VI at the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Siences of Ukraine / O. M. Yizhakevych, S. V. Kaltygina, S. P. Major, S. V. Shatokhina // Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 1991, Vol. 7, № 2. – P. 98.

3. Positional Photogpachic observations of Jupiter's external satellites in 1987–1988 / O. M. Yizhakevych, S. V. Kaltygina, I. V. Ledovskaya, S. V. Shatokhina // Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 1994. Vol. 10, № 1. – P. 88.

4. Kulyk I. The Natural satellite database of the Main Astronomical Observatory of The National Academy of Siences of Ukraine : an overview / Kulyk I., Ye. Yizhakevych, L. Pakuliak // IMCCE. Internat. Workshop NAROO-GAIA "A new reduction of old observationsn the Gaia era". – Paris Observatory, June 2012. - Paris, France. - P. 153-158 [http://hal.upmc.fr/hal-00758312]. - Submitted on 7 May 2013.

5. First results of MAO NASU SS bodies photographic archiv digitizing / L. Pakuliak, V. Andruk, S. Shatokhina et al. // IMCCE Internat. Workshop NAROO-GAIA "A new reduction of old observations the Gaia era". Paris Observatory, June 2012. - Paris, France. - P. 161-165 [http://hal.upmc.fr/hal-00821005]. Submitted on 7 May 2013

6. Data Processing of Plates Containing Images of Uranus and Neptune from Ukrvo Digital Archive: Structure, Quality Analysis / Yu. Protsyuk, O. Yizhakevych, O. Kovylianska et al. // Odessa Astron. Publ., 2015. - Vol. 28, N 2. - P. 204-206.

7. *Vizhakevych* 0. *M*. Catalog of Astronomical Positions of Saturi's Moons, Obtained by Photographic Observations on MAO NASU in 1961–1991 : Program and Abstracts / O. M. Yizhakevych, L. K. Pakuliak, V. M. Andruk // 15th Odessa Int. Astron. Gamow Conf. School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmonicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology. - Odessa, Aug.16-23, 2015: ,2015.

8. Creating the catalogs of astronomical positions of Saturn's satellites (S1-S8) and Jupiter's outer satelliters (J6-J8) basing on Goloseevo photographical observations database DBGPA : Program and Abstracts / Ye. M. Yizhakevych, L. K. Pakuliak, S. V. Shatokhina et al. (in rus.: Создание каталогов астрономических положений спутников Сатурна (S1–S8) и внешних спутников Юпитера (J6–J8) на основе Голосеевской базы данных фотографических наблюдений DBGPA / Е. М. Ижакевич, Л. К. Пакуляк, С. В. Шатохина и др.) // 14th Odessa Internat. Astron. Gamow Conf. School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, Cosmomicrophysics, Radio-Astronomy and Astrobiology". - Odessa, Ukraine, Aug. 17-24, 2014. - P. 38.

9. On application of a scanner for determination of coordinates and photometric characteristics of stras from the FON program plates / V. M. Andruk, G. A. Ivanov, M. T. Pogorel'tsev, A I. Yatsenko (in rus.: Об использовании сканера для определения координат и фотометрии звёзд на пластинках программы ФОН / В. Н. Андрук, Г. А Иванов, М. Т. Погорельцев, А. И. Яценко) // KFNT, 2005. – Vol. 21, № 5. – Р. 396–400.

10. Andruk V. M. Photometry of plates digitized using Microtek ScanMaker 9800xl TMA scanner / V. M. Andruk, G. Z. Butenko, A. I. Yatsenko // KPCB, 2010. – Vol. 26, № 3. – P. 146–150.

11. Astrometry of PSA plates digitalized by two kinds of scanners. Separation of images of the stars from two exposures / V. Andruk, G. Ivanov, A. Yatsenko et al. (in ukr.: Астрометрія платівок ДША, оцифрованих двома типами сканерів. Розділення зображень зір двох експозицій / В. Андрук., Г. Іванов, А. Яценко та ін.) // KNUB Astronomy, 2012. – № 48. – Р. 11–13.

12. Golovnia V. Astrometry of the plates of the DWA digitized with the Microtek scanmaker 9800XL TMA / V. Golovnia, V. Andruk, A. Yatsenko (in ukr.: Foловня В. Астрометрія платівок ПША, оцифрованих сканером MICROTEK SCANMAKER 9800XL ТМА / В. Головня, В. Андрук, А. Яценко) // Ј. of Phys. Studies, 2010. - Vol. 14, № 2. - P. 1-8.

13. Method for evaluating the astrometric and photometric charakteristics of commercial scanners in their application for the scienrific purpose Yu. I. Protsyuk, V. N. Andruk, M. M. Muminov et al. // Odessa Astron. Publ., 2014. – Vol. 27, N 1. – P. 61–62.
 14. Theory of Motion of Selected Saturn's Satellites : Program and Abstracts / O. M. Yizhakevych, V. Troianskyi, A. Bazyey et al. // 15th Odessa Internat.

Astron. Gamow Conf. School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmonicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology". – Odessa, Aug.16–23, 2015. – P. 68–69.

Надійшла до редколегії 15.06.16

Е. Ижакевич, мл. науч. сотр., В. Андрук, науч. сотр.,

Л. Пакуляк, канд. физ.-мат. наук,

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев;

В. Лукьянчук, магистр,

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ БОЛЬШИХ ПЛАНЕТ И ИХ СПУТНИКОВ В ГАО НАН УКРАИНЫ В 1961-1990 Г.

В рамках национального проекта "Украинская виртуальная обсерватория" проведены работы по созданию каталогов астрономических положений и звездных величин больших планет и их спутников на базе архива фотографических наблюдений в ГАО НАН Украины с помощью четырех телескопов в период с 1961 г. по 1990 г. Благодаря программному комплексу, созданному в ГАО для редукции

~ 13 ~

оцифрованных астронегативов, выполнена обработка спутников Сатурна (S2–S9), а так же планет Урана, Нептуна и их спутников U1–U4, N1. В качестве опорной системы выбрана система каталога ТҮСНО2. Внутренняя точность определений положений составила ±0.09–± 0.25 arcsec. В настоящее время выполняются работы по обработке рядов фотографических наблюдений Нептуна, Урана и их спутников, полученных в ГАО за этот же период.

Ключевые слова: каталоги, тела Солнечной системы, Сатурн, Уран, Нептун.

O. Yizhakevych, junior researcher, V. Andruk, researcher, L. Pakuliak, Ph. D., MAO NAS of Ukraine; V. Lukianchuk, magister, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

PHOTOGRAPHIC OBSERVATIONS OF MAJOR PLANETS AND THEIR MOONS IN MAO NAS OF UKRAINE DURING 1961–1990

We present the results of digitizing and processing of archival observations to obtain the astrometric positions and stellar magnitudes of major planets and their satellites. The work has been done within the framework of the national project "Ukrainian Virtual Observatory" on the basis of photographic observations carried out in MAO NASU. The processing of digital images and the astrometric reduction of data was made in the software package created and developed in MAO for the reduction astrometric negatives. The catalogue includes data of Saturn's moons (S2–S9), obtained using 4 telescopes in 1961–1990. The stellar catalogue TYCHO2 was used as the reference. The internal positional accuracy is $\pm 0.09 - \pm 0.25$ arcsec. The same procedure is now applying for the processing of photographic observations of Neptune, Uranus, and their moons, obtained in MAO during the same period.

Key words: catalogues, Solar System bodies, Saturn, Uranus, Neptune.

УДК 524.7

С. Парновський, д-р фіз.-мат. наук, Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЧАТКОВОЇ ФУНКЦІЇ СВІТНОСТІ ГАЛАКТИК З АКТИВНИМ ЗОРЕУТВОРЕННЯМ

Показано, як визначити початкову функцію світності, що описує розподіл світності галактик при нульовому віці спалаху, на основі поточної функції світності вибірки галактик з активним зореутворенням.

Функція світності (ФС), яка описує розподіл світності галактик, є важливою статистичною характеристикою населення галактик [1, 5]. Для галактик з активним зореутворенням, світність яких у лінії випромінювання Н α або в ультрафіолетовому континуумі сильно змінюється у проміжку часу близько декількох мільйонів років, треба розрізняти розподіл початкових світностей галактик та розподіл світностей галактик у вибірці, що досліджується. У роботі [3] введено поняття ФС для початкових світностей L_0 , яку позначимо $n_1(L_0)$ та ФС для вибірки, яку позначаємо n(L). У роботі [3] знайдено залежність між цими двома ФС, як у загальному випадку, так і в випадку закону еволюції світності галактик L, встановленому в роботі [4] на основі дослідження приблизно 800 компактних яскравих галактик з активним зореутворенням. Закон має вигляд

$$L(T) = L_0 \times f(T), \quad f(T) = \begin{cases} 1 & T \le T_0 \\ \exp(-\rho(T - T_0)) & T > T_0 \end{cases},$$
(1)

де *T* – проміжок часу після спалаху зореутворення. У роботі [3] було встановлено, що $T_0 = 3.2$ млн років, і значення параметру p = 0.75 (млн років)⁻¹; p = 0.43 (млн років)⁻¹ та p = 0.33 (млн років)⁻¹ для випромінювання у рекомбінаційній лінії Н α , *FUV* та *NUV* континуумі, відповідно. Залежність записується у вигляді

$$n(L) = C\left(n_{1}(L) + qL^{1/2}\int_{L}^{\infty} x^{-3/2}n_{1}(x)dx\right).$$
 (2)

Параметр $q = (pT_0)^{-1}$ є фіксованим, параметр *C* забезпечує потрібне нормування. Якщо обидві функції $n_1(L_0)$ та n(L) нормуються однаково, то за результатами роботи [3] можна отримати $C = (1 + 2q/3)^{-1}$. За допомогою (2) у [3] отримано розподіл n(L) за певними розподілами $n_1(L_0)$.

У статті розглянуто питання отримання початкової ФС $n_1(L_0)$ за відомим розподілом n(L), тобто розв'язку інтегрального рівняння (2). При всій важливості отримання початкової ФС, це питання є математичним і в певній ступені технічним, тому воно розглядається окремо.

Рівняння (2) стосується певного узагальнення лінійних інтегральних рівнянь Вольтерри 2-го роду, але його ядро залежить тільки від x, що дає можливість отримати розв'язок. Для цього множимо (2) на $L^{-1/2}$ і беремо похідну. Отримуємо диференційне рівняння на n_1 , яке розв'язується підстановкою $n_1(L) = L^{q+1/2}z(L)$. Пропустимо деталі розрахунку і наведемо розв'язок, який має вигляд

$$n_{1}(L_{0}) = \left(1 + \frac{2q}{3}\right) \left(n(L_{0}) - qL_{0}^{q+1/2} \int_{L_{0}}^{\infty} n(x)x^{-q-3/2} dx\right).$$
(3)

© Парновський С., 2017

Його можна перевірити, якщо підставити у (2). За допомогою (3) можна отримати початкову ФС для певних поточних ФС, зокрема для лог-нормальної ФС, що добре описує спостережні ФС та містить два параметри *а* та *L*́:

$$n(L) = \left(\frac{a}{\pi}\right)^{1/2} \exp\left(-\frac{1}{4a}\right) \tilde{L}^{-1} \exp\left(-a\ln^2(L/\tilde{L})\right) = \left(\frac{a}{\pi}\right)^{1/2} \exp\left(-\frac{1}{4a}\right) \tilde{L}^{-1} \left(\frac{L}{\tilde{L}}\right)^{-a\ln(L/\tilde{L})}.$$

$$n_1(L_0) = \left(1 + \frac{2q}{3}\right) \left[\left(\frac{a}{\pi}\right)^{1/2} \exp\left(-\frac{1}{4a}\right) \tilde{L}^{-1} \exp\left(-a\ln^2(L_0/\tilde{L})\right) - \frac{1}{4a}\right] \tilde{L}^{-1} \exp\left(-a\ln^2(L_0/\tilde{L})\right) + \frac{1}{4a} \left[\frac{a}{L}\right]^{1/2} \exp\left(-\frac{1}{4a}\right) \tilde{L}^{-1} \exp\left(-\frac{1}{4a}\right) \tilde{L}^{-1} \exp\left(-\frac{1}{4a}\right) \tilde{L}^{-1} \left[\frac{a}{L}\right]^{1/2} \exp\left(-\frac{1}{4a}\right) \tilde{L}^{-1} \exp\left(-\frac{1}{4a}\right) \tilde{L}^{-1} \left[\frac{a}{L}\right]^{1/2} \exp\left(-\frac{1}{4a}\right) \left$$

Для неї

$$-\frac{q}{2}\exp\left(\frac{(q+1/2)^2-1}{4a}\right)\left(\frac{L_0}{\tilde{L}}\right)^{q+1/2}\tilde{L}^{-1}\operatorname{erf}\left(\ln\frac{L_0}{\tilde{L}}\sqrt{a}+\frac{q+1/2}{2\sqrt{a}}\right)\right],$$
(5)

де erf – так звана функція помилок.

Таким чином, ми отримали формулу (3) для визначення початкової ФС і застосували її до лог-нормальної поточної ФС. Зазначимо, що є стаття [2], в якій також розглядається початкова ФС вибірки галактик шляхом розрахунку їх вихідних світностей за формулою (1). Але це початкові ФС зовсім різних вибірок.

Спостережною основою обох досліджень є розподіл світностей компактних яскравих галактик з активним зореутворенням, описаних у [1,4,5]. Вони задовольняють певні обмеження на тип, потік, світність у деяких емісійних лініях, тощо. За цими критеріями галактики увійшли в вибірку, яка налічує приблизно 800 галактик. У роботі [2] знайдено розподіл початкових світностей тих самих галактик. Натомість початкова ФС, що обчислена в цій роботі за поточною ФС, є ФС для більшої вибірки, в яку входять компактні яскраві галактики з активним зореутворенням, які на момент останнього спалаху зореутворення, що має вік менш ніж 6 мільйонів років, задовольняли критеріям входження у вибірку. Через еволюцію світностей за законом (1) деякі галактики стали недостатньо світними для входження у вибірку, що досліджується і в якісь момент у минулому вже перестали потрапляти у вибірки. Але їх внесок у початкову $\Phi C n_1(L_0)$ залишився. Вона, таким чином, містить галактики, які не входять до вибірки з робіт [2, 4]. Тому не має сенсу порівнювати початкові ΦC з цієї роботи, наприклад розподіл (5) з параметрами, отриманими для ΦC (4) для вибірки приблизно 800 компактних яскравих галактик з активним зореутворенням, з початковою ΦC з роботи [2], оскільки вони належать до різних вибірок. Початкова ΦC з цієї роботи є вищою для слабких світностей та нижчою для високих світностей порівняно з ΦC з роботи [2].

Список використаних джерел

1. Parnovsky S. Multi-wave luminosity functions of starburst galaxies / S. Parnovsky, I. Izotova (in ukr.: С. Парновський. Мультихвильові функції світності галактик з активним зоре утворенням / С. Парновський, І. Ізотова) // Bull. Kyiv National Taras Shevchenko University. Astronomy, 2015. – Вип. (1)52. – С. 15–23.

 Parnovsky S. Initial luminosity functions of straburst galaxies / S. Parnovsky, I. Izotova (in ukr.: Парновський С. Початкові функції світності галактик з активним зореутворенням / С. Парновський, І. Ізотова) // Bull. Kyiv National Taras Shevchenko University. Astronomy, 2016. – Вип. 54. – С. 10–14.
 Parnovsky S. L. Impact of the short-term luminosity evolution on luminosity function of star-forming galaxies / S. L. Parnovsky // Astrophysics and Space

Sci., 2015. – Vol. 360, article id. 4. – 6 p.
 4. Parnovsky S. L. Hα and UV luminosities and star formation rates of large sample of luminous compact galaxies / S. L. Parnovsky, I. Yu. Izotova,

Y. I. Izotov // Astrophysics and Space Sci., 2013. – N 343. – P. 361–376.
 5. Parnovsky S. L. Luminosity function of luminous compact star-forming galaxies / S. L. Parnovsky, I. Yu. Izotova // Astrophysics and Space Sci., 2016.

- Vol. 361, article id. 111. - 11 p.

Надійшла до редколегії 15.06.16

С. Парновский, д-р физ.-мат. наук,

Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченка, Киев

НАХОЖДЕНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ СВЕТИМОСТИ С АКТИВНЫМ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕМ

Показано, как определить начальную функцию светимости, которая описывает распределение светимостей галактик при нулевом возрасте вспышки звездообразования, зная текущую функцию светимости выборки галактик с активным звездообразованием.

Parnovsky S., Dr. Sci., Astronomical observatory of the Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

HOW TO FIND AN INITIAL LUMINOSITY FUNCTIONS OF STARBURST GALAXIES

We show how to find the initial luminosity function (LF) which appear the distributions of galaxy luminosities at zero starburst age L_0 from the current LF of the sample of the starburst galaxies. We solve the corresponding Integral equation and get the formula for initial LF $n_1(L_0)$ obtained from the LF n(L) of the sample. In particular we consider the case of n(L) being the log-normal function.

УДК 52.14+520.823+524.352

В. Клещонок, канд. фіз.-мат. наук, І. Лук'яник, канд. фіз.-мат. наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

WEB-OPIЄНТОВАНИЙ ІНТЕРФЕЙС ВІДДАЛЕНОГО ДОСТУПУ До київського інтернет-телескопа

Описано часткову модифікацію Київського інтернет-телескопа. Наведено склад телескопа, програмного забезпечення та особливості його роботи. Розлянуто методи роботи з телескопом за допомогою віддаленого доступу. Ключові слова: Інтернет-телескоп, віддалений доступ.

~ 15 ~

Вступ. У 2008 р. введено в дослідну експлуатацію автоматизований Київський інтернет-телескоп (КІТ) [1]. Телескоп встановлений на спостережній станції Київського університету в с. Лісники (Kyiv comet station, номер 585, координати λ = 30.52462°, φ = 50.20229°). Телескоп створений на базі оптичної труби Celestron 1400XTL (діаметр D = 356 мм, F = 3910 мм, F/D = 11, система Шмідт-Касегрен). Як фотоприймач на разі використовується ПЗЗ камера ST-8XE. Вона має 1530 x 1020 квадратних пікселів розміром 9 мкм. В комплект входить також блок фільтрів, який має стандартний набір фільтрів широкополосної системи Джонсона UBVRI. Параметри системи фільтрів наведені в роботі [2]. Блок світлофільтрів керується окремим контролером ELEXOL Ether I/O 24, який також використовується для дистанційного керування фокусуванням телескопа. Перший варіант телескопа використовував базове монтування Celestron CGE, в якому використовувания телескопа. Перший варіант телескопа використовував базове монтування Celestron CGE, в якому використовувания були виявлені його певні недоліки – нестабільність у роботі і накопичення помилок при переведеннях телескопа. Тому пізніше було придбано більш якісне монтування WS240GT, яке керується за допомогою інтелектуального мікропроцесорного блока. Як приводи використовуються сервоприводи, що забезпечує кращу точність наведення і ведення телескопа. Пізніше до комплекту телескопа був введений обігрівач труби та вхідної лінзи телескопа, який підтримує температуру вище на кілька градусів вище температури повітря, для запобігання запотівання оптики.

Структура програмного забезпечення. При побудові програмного забезпечення телескопа використовувався сучасний підхід. Робота всіх вузлів телескопа керується набором програм. Для зручності розробки окремих модулів, можливості заміни окремих вузлів та роботи комплексу в неповному складі було прийнято створити програмне забезпечення телескопа за модульним принципом. Програмний комплекс складається з головного модуля та модулів окремих вузлів та процесів, які виконуються під час роботи телескопа. Усі модулі представляють собою повноцінні програми в операційній системі Windows. До них також входить модуль зв'язку з Web-сервером, завдяки якому отримується програма спостережень або окремі завдання і надсилається на віддалений сервер інформація про стан телескопа і результати спостережень.



Рис. 1. Схема організації віддаленого доступу до Київського інтернет-телескопа

Кожний модуль має можливість працювати як в автономному режимі при ручному керуванні, так і у складі програмного комплексу. При роботі у складі комплексу при автоматичній роботі телескопа роботу всіх модулів організовує головний керуючий модуль. Можливий також варіант змішаного типу роботи, для якого частина модулів працює автоматично, а частина під керуванням оператора. Така можливість створює більш захищену від помилок систему в цілому.

Основна інформація для роботи програмного комплексу і налаштування окремих модулів зберігаються в реєстрі операційної системи Windows. Таким чином досягається необхідна гнучкість роботи комплексу. Досить просто відбувається заміна окремих модулів. Достатньо замінити інформацію в реєстрі, і керівний модуль буде завантажувати інший набір програмних модулів. Такий підхід дозволяє також просто отримати необхідну службову інформацію про інші модулі для організації обміну даними між окремими програмами. При роботі спостерігач має змогу керувати всіма вузлами окремо. Такий метод роботи буде можливий при "ручному" режимі проведення спостережень.

Віддалена робота на телескопі. Для типових задач по фотометрії попередньо відомих об'єктів можна доручити телескопу виконання програми спостережень в автоматичному режимі. Програма спостережень може набиратися готуватися попередньо перед початком спостережень за допомогою стандартних офісних програм, або готуватися і редагуватися безпосередньо під час виконання спостережень. Також у користувача за допомогою Web-iнтерфейсу є можливість дистанційно замовляти спостережні завдання телескопу і забирати отримані результати. Такий режим передбачає участь людини у редагуванні програми спостережень також через Web-інтерфейс на основі поданих заявок. Перед початком спостережень підготована програма автоматично завантажується з сайту телескопа і при включенні автоматичного режиму безпосередньо виконується телескопом.

Такі способи керування телескопом не є універсальними. Дуже часто спостерігач повинен мати можливості оперативно втручатися в програму роботи телескопа щоб поміняти параметри експозицій, послідовність фільтрів, або навіть об'єкт спостережень. У цій конфігурації програмного забезпечення таку можливість має тільки спостерігач, який працює безпосередньо біля телескопа. Для забезпечення можливості віддаленого керування телескопом розроблений Web-інтерфейс. Також для членів команди розробників телескопа забезпечена можливість віддаленого доступу до керуючого комп'ютера за допомогою сервера доступу до робочого стола стандартного програмного пакету RealVNC. Всі методи віддаленої роботи з інтернет-телескопом представлені на рис. 1.

Сервер проекту та підтримка його роботи. Виходячи з концепції роботизованого інтернет-телескопа, розроблено та впроваджено головний сервер, основним призначенням якого є інформаційне забезпечення інтернеткористувачів та виконання певних сервісних функцій: насамперед зв'язку з телескопом, зберігання і доступу до спостережних даних та авторизованого доступу до спостережних можливостей телескопа. Основою серверу є сайт http://unit.univ.kiev.ua, який складається з двох частин: відкритої для всіх інтернет-користувачів та закритої (тільки для зареєстрованих користувачів). Відкрита частина містить інформацію щодо Київського інтернет-телескопа, учасників проекту та корисну інформацію астрономічного спрямування. Закриту частину організовано як систему авторизованого доступу. Паралельно сервером виконується ряд програм, які вирішують наступні завдання: формування та надання розкладу спостережень на поточну ніч; доступ до ftp-серверу, на якому зберігаються спостережні дані; запис в базу даних різної інформації, яка надходить з телескопа; організація зв'язку та відображення на сайті інформації з телескопа, доступ до спостережних можливостей телескопа.

Окрім головного сервера (територіально розміщений в Обчислювальному центрі Київського національного університету імені Тараса Шевченка) є кілька допоміжних. Як СУБД використовується PostgreSQL, яку встановлено на сервері, який працює під OC LINIUX (територіально розміщений на Астрономічній обсерваторії Київського національного університету ім. Тараса Шевченка) і, в якій зберігається вся інформація щодо користувачів, спостережень і статусу телескопа. Результати спостережень зберігаються на авторизованому ftp-сервері (територіально розміщений в Обчислювальному центрі Київського національного університету ім. Тараса Шевченка) доступ до якого здійснюється через авторизовану частину сайту.

Організація авторизованого доступу. Основною метою створення авторизованої частини є надання користувачам та учасникам проекту простого, інтуїтивно зрозумілого web-інтерфейсу для безпечного доступу до спостережних можливостей телескопа. Вона має вирішувати наступні завдання: реєстрація користувачів проекту; поділ прав користувачів залежно від їх статусу та задач, які ставляться користувачами; доступ зареєстрованих користувачів до власного облікового запису; замовлення спостережень; перегляд розкладу спостережень; формування та корегування розкладу спостережень; інформування користувачів щодо дій, які виконуються телескопом під час спостережень; доступ зареєстрованих користувачів до сторінки спостережень; збереження спостережень та можливість їх скачування; перегляд статистичної інформації щодо відвідування web-сторінки проекту; адміністрування користувачів; забезпечення користувачів можливістю on-line спілкування; забезпечення зв'язку з адміністраторами авторизованої частини сайту; створення системи безпеки функціонування авторизованої частини сайта; безпосередній віддалений доступ до спостережних можливостей телескопа.

Весь комплекс програмного забезпеченя для організації авторизованого доступу розроблено засобами HTML, PHP, Javascript, AJAX JQUERY та СУБД PostgreSQL.

Web-opiєнтований інтерфейс. За рахунок спонсорської допомоги ТОВ "Українські новітні технології" у 2016 р. на спостережній станції в с. Лісники був організований WiMax доступ до телескопа. Це дало можливість отримати стаціонарну IP адресу і, відповідно, можливість віддаленого керування телескопом. Відтак, в рамках виконання теми 16БФ023-02 був розроблений web-opiєнтований інтерфейс, що суттєво розширює можливості доступу до телескопа та дозволяє більш повно використовувати його можливості. Весь інтерфейс розроблений засобами HTML, PHP, Javascript, JQUERY та має інтуїтивно зрозумілий вигляд. Загалом через нього можна керувати виконанням завдань, які сформовані у вигляді розкладу спостережень на ніч спостережень, задавати нові координати об'єкту, рухати телескоп, змінювати фільтр, фокусувати тощо.

Висновки. У межах виконання теми 16БФ023-02 був розроблений web-орієнтований інтерфейс, що суттєво розширює можливості доступу до Київського інтернет-телескопа зовнішніх користувачів. Був змінений режим доступу до телескопа з CDMA на WiMax, що істотно збільшило швидкість обміну інформації в обидва боки.

Список використаних джерел

The Kyiv internet telescope project / Ya. O. Romanyuk, V. V. Kleschonok, V. M. Reshetnyk et al. // Astronomical Society of India Conf. Series, 2012.
 Vol. 7. – P. 297.
 A study of the photometric system of the Kiev network telescope / V. M. Andruk, Ya. O. Romanyuk, V. V. Kleshchonok et al. // Kinematics and Physics

of Celestial Bodies, 2012. – Vol. 28, № 6. – P. 296–303.

Надійшла до редколегії 05.10.16

В. Клещонок, канд. физ.-мат. наук, И. Лукьяник, канд. физ.-мат. наук, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

WEB-OPИEНТИРОВАННЫЙ ИНТЕРФЕЙС УДАЛЕННОГО ДОСТУПА К КИЕВСКОМУ ИНТЕРНЕТ-ТЕЛЕСКОПУ

Описывается частичная модификация Киевского интернет-телескопа. Приведен состав телескопа, программного обеспечения и особенности его работы. Рассмотрены методы роботы с телескопом с помощью удаленного доступа. Ключевые слова: интернет-телескоп, удаленный доступ. V. Kleshchonok, Ph. D. in Phys. and Math. Sci., I. Luk'yanyk, Ph. D. in Phys. and Math. Sci., Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

WEB-ORIENTED INTERFACE FOR REMOTELY ACCESS THE KIEV INTERNET-TELESCOPE

The partial revision of the Kiev internet-telescope was described in the article. The structure of the telescope and software and features its work. Methods of work with the telescope with help of remotely access were examined. Key words: internet-telescope, remotely access.

УДК 520.253

В. Карбовський, наук. співроб., П. Лазоренко, канд. фіз.-мат. наук, Л. Свачій, канд. фіз.-мат. наук, Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ; М. Буромський, пров. інж., С. Кас'ян, інж., Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ПРОГРАМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА МАК У 2001–2015 р. ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ

Наведено результати виконаних програм, проведених з 2001 по 2015 р. на комплексі МАК: спостереження зірок у ділянках з радіоджерелами – об'єктами ICRF та екаторіальний астрометричний огляд неба. Програми виконувалися спільно Головною астрономічною обсерваторією НАН України та Астрономічною обсерваторією Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Отримано три каталоги положень та V зоряних величин КМАС1, КМАС2, КМАС3. Створення вказаних каталогів є важливою задачею, актуальність якої зберігається і надалі до отримання нових каталогів за допомогою космічних місій, зокрема, як GAIA.

Ключові слова: ПЗЗ спостереження, астрометричні каталоги зір, фотометрія зір.

Вступ. У 2000–2001 р. було розпочато створення комплексу МАК шляхом модернізації меридіанного аксіального круга ГАО НАН України та обсерваторії Київського університету. На даний момент комплекс МАК включає дві складові частини [3]:

1. Інструментально-вимірювальну (апаратну):

- меридіанний аксіальний телескоп;
- ПЗЗ-камера;
- модуль комунікації ПЗЗ-камери з керуючим ПК (для роботи на довгу лінію ~ 20 м);
- система установки телескопа на задане δ;
- система дистанційного керування спостереженнями (з головного корпусу ГАО);
- система живлення ПЗЗ-камери та електронних вузлів комплексу.

2. Програмну:

Був підготовлений цілий комплекс комп'ютерних програм, які включають:

- підготовку вхідних даних для спостережень;
- програми керування ПЗЗ-камерою та процесом збору спостережуваних даних;
- програми попередньої обробки отриманих даних та їх архівації;
- комплекс програм по обробці всього циклу спостережень;

Проведена модернізація дала можливість виконати наступні програми спостережень (рис. 1):

- спостереження зір у полях з радіоджерелами;
- спостереження зір в екваторіальній зоні неба.

Спостереження зір у полях з радіоджерелами. З 2001 по 2003 р. на МАК (ПЗЗ-камера з матрицею ISD017AP) проводилися спостереження зірок у площадках з радіоджерелами – об'єктами ICRF з метою створення опорного астрометричного каталогу зірок до V = 17^m у напрямку на позагалактичні радіоджерела. Програма включала 192 позагалактичних радіоджерела рівномірно розміщених у зоні схилень 0° +30° (рис. 2). Спостережувані поля навколо радіоджерел мають кутовий розмір 24' за схиленням та 46' за прямим піднесенням.

- Отриманий астрометричний каталог має дві версії:
 - версія КМАС1-Т, що містить 104796 зірок у 159 полях,
 - версія КМАС1-СU містить 115032 зірки в 192 полях.

Помилки положень по внутрішній збіжності 30–50mas, по зовнішній 40–70 mas, фотометричних V даних 0.05–0.07 mag для зірок V < 14^m. Для зірок V > 16^m відповідні оцінки становлять 160 mas, 200 mas та 0.1 mag [1, 2]. Каталог розміщений у Страсбурзькій базі даних: http://cdsarc.u-strasbg.fr/.

Спостереження зір в екваторіальній зоні. У 2002 р. розпочата довгострокова программа спостережень зірок в екваторіальній зоні з 4-кратним перекриттям сканів. Програма мала на меті поширення опорної системи Hipparcos-Тусho на зірки до V =17^m та отримання їхніх фотометричних характеристик. У межах цієї програми на ПЗЗ-камері з матрицею ISD017AP проведено 98 спостережних ночей і отриманий астрометричний каталог КМАС2 положень та зоряних V величин зірок до 17^m у зоні схилень від 0 до +2^o. Каталог містить 1.09·10⁶ зірок і базується на спостереженнях отриманих на меридіанному крузі МАК у 2002–2005 р.

У табл. 1 наведено похибки одного спостереження σ_1 і каталожного положення σ_n . Таким чином, для зірок 10–15^m середня похибка каталожного положення $\sigma_n(\alpha)$, $\sigma_n(\delta)$ лежить у межах 0.05–0.1^m, а похибка фотометрії $\sigma_n(V)$ у межах 0.05–0.1^m [4].



Рис. 1. Програми спостережень на МАК



Рис. 2. Розташування площадок каталога КМАС1 на небесній сфері

Таблиця 1

Похибка одного положення σ1 і середня похибка каталожних положень фотометрії σ_n

| V mag | σ₁(α) | σ₁(δ) | σ ₁ (<i>V</i>) | σ _n (α) | σ_n(δ) | σ _n (V) |
|-------|--------|--------|-----------------------------|--------------------|--------|--------------------|
| 9 | 0.099" | 0.164" | 0.246 | 0.092 | 0.153 | 0.229 |
| 10 | 0.097 | 0.113 | 0.146 | 0.058 | 0.068 | 0.088 |
| 11 | 0.091 | 0.099 | 0.094 | 0.055 | 0.060 | 0.056 |
| 12 | 0.104 | 0.113 | 0.103 | 0.062 | 0.067 | 0.061 |
| 13 | 0.119 | 0.128 | 0.112 | 0.070 | 0.075 | 0.066 |
| 14 | 0.145 | 0.165 | 0.133 | 0.084 | 0.096 | 0.077 |
| 15 | 0.231 | 0.256 | 0.185 | 0.132 | 0.147 | 0.106 |
| 16 | 0.537 | 0.563 | 0.317 | 0.325 | 0.340 | 0.192 |
| 17 | 0.819 | 0.838 | 0.314 | 0.623 | 0.638 | 0.239 |

Каталог КМАС2 розміщений у Страсбурзькій базі даних: http://cdsarc.u-strasbg.fr/. У кінці 2005 р. ця ПЗЗ-камера вийшла з ладу. Із 2006 р. по 2009 р. спостереження на МАК не проводились. У кінці 2009 р. на комплексі МАК була встановлена нова ПЗЗ-камера Apogee Alta U47. Було підготовлене нове програмне забезпечення управління камерою і процесом збору отриманих даних та їх обробкою.

~

У 2010 р. була продовжена довготермінова програма спостережень зірок на МАК з ПЗЗ-камерою Ародее Alta U47 в екваторіальній зоні неба (δ=2.0° +5.5°) з 4-кратним перекриття сканів. За період роботи комплексу від 2010 до 2015 р. проведено 124 ночі спостережень з ПЗЗ-камерою Ародее Alta U47 й отримано астрометричний каталог КМАСЗ положень та зоряних V величин зірок до 17^m в зоні схилень від +2° до +5.5°. Каталог містить 2.05·10⁶ зір. Похибки σ'_α, σ'_δ і σ'_V одного спостереження залежно від V наведені в лівій частині табл. 2. З правого її боку наведені похибки каталогу σ_α, σ_δ і σ'_V.

Похибки одного спостереження о' і похибки каталогу о за внутрішньою узгодженістю

| V | N | σ'α | σ' _δ | σ' _v | σ_{α} | σ_{δ} | σν |
|----|--------|--------|------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 8 | 409 | 0.101" | 0.102" | 0.089 ^m | 0.067" | 0.068" | 0.059 ^m |
| 9 | 2709 | 0.096 | 0.095 | 0.074 | 0.064 | 0.063 | 0.050 |
| 10 | 6656 | 0.090 | 0.092 | 0.068 | 0.060 | 0.062 | 0.045 |
| 11 | 15664 | 0.092 | 0.096 | 0.069 | 0.062 | 0.064 | 0.046 |
| 12 | 34184 | 0.107 | 0.110 | 0.072 | 0.071 | 0.074 | 0.048 |
| 13 | 72583 | 0.125 | 0.127 | 0.086 | 0.083 | 0.085 | 0.056 |
| 14 | 150310 | 0.144 | 0.146 | 0.115 | 0.096 | 0.098 | 0.076 |
| 15 | 284069 | 0.231 | 0.235 | 0.180 | 0.154 | 0.157 | 0.120 |
| 16 | 504002 | 0.503 | 0.489 | 0.282 | 0.335 | 0.326 | 0.188 |

Похибка одного спостереження для зірок V<14^m становить 90–130 mas. Для зірок, що спостерігались 3-4 рази, похибки положень каталогу по внутрішній узгодженості становить 60 – 80 mas для зірок V<14^m, та 80 – 200 mas для зірок 14^m<V<16^m.

Верхні оцінки похибок σ_α, σ_δ і σ_V каталогу по зовнішній збіжності (тобто включають похибки каталога UCAC4) отримані порівняно з каталогом UCAC4 і наведені в табл. З. Якщо вважати, що величина похибок KMAC3 та UCAC4 однакова, то дійсні похибки каталогу KMAC3 будуть менші в 2^{0.5} раза і близькі до наведених у табл. 2.

Таблиця З

Точність каталогу КМАСЗ по зовнішній збіжності

| V | σα | σ_{δ} | σν |
|----|--------|-------------------|--------------------|
| 8 | 0.162" | 0.167" | 0.737 ^m |
| 9 | 0.154 | 0.159 | 0.352 |
| 10 | 0.147 | 0.154 | 0.122 |
| 11 | 0.139 | 0.146 | 0.119 |
| 12 | 0.139 | 0.144 | 0.132 |
| 13 | 0.137 | 0.141 | 0.152 |
| 14 | 0.151 | 0.152 | 0.202 |
| 15 | 0.258 | 0.260 | 0.251 |
| 16 | 0.619 | 0.621 | 0.345 |
| 17 | 0.953 | 0.960 | 0.492 |

Список використаних джерел:

1. Observing programs of the Kyiv meridian axial cicle equipped with a CCD micrometer / V. Telnyuk-Adamchuk, Yu. Babenko, P. Lazorenko et al. // Astron. and Astrophys., 2002. – Vol. 386, № 3, – P. 1153.

2. The Kylv Meridian Axial Circle catalogue of stars in fields with extragalactic radio sources / P. Lazorenko, Yu. Babenko, V. Karbovsky et al. // Astron. and Astrophys., 2005. – Vol. 438. – P. 377.

3. Karbovsky V. The Kyiv Meridian Axial Circle with a CCD micrometer / V. Karbovsky // Kinematics and phisics of celestial bodies. Suppl. Ser., 2005. – № 5. – P. 390.

4. Astrometric catalogue of stars in the equatorial zone KMAC2 / P. F. Lazorenko, V. L. Karbovsky, M. I. Buromsky et al. // KPCB, 2015. - Vol. 31, N 5. - C. 253-260. Надійшла до редколегії 20.07.16

В. Карбовский, научн. сотр.,

П. Лазоренко, канд. физ.-мат. наук,

Л. Свачий, канд. физ.-мат. наук,

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев;

М. Буромский, ведущ. инж., С. Касьян, инж., Киевський национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

ПРОГРАММЫ НАБЛЮДЕНИЙ НА МАК В 2001–2015 гг. И ИХ РЕЗУЛЬТАТЫ

Приводятся результаты выполненных программ которые проводились с 2001 по 2015 гг. на комплексе МАК: наблюдение звезд в площадках с радиоисточниками – объектами ICRF и экваториальный астрометрический обзор неба. Программы выполнялись совместно Главной астрономической обсерваторией НАН Украины и Астрономической обсерваторией Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Полученны три каталога положений и V звездных величин КМАС1, КМАС2, КМАС3. Создание указанных каталогов является важной задачей, актуальность которой сохраняется и в дальнейшем к получению новых каталогов с помощью космических миссий, таких, например, как GAIA.

Ключевые слова: ПЗС наблюдения, астрометрические каталоги звезд, фотометрия звезд.

V. Karbovsky, Researcher, P. Lazorenko, Ph. D. in Phys. and Math. Sci.

L. Svachiy, Ph. D. in Phys. and Math. Sci. MAO NAS of Ukraine,

M. Buromsky, Principal Eng., S. Kasjan, Eng.,

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

THE PROGRAMS OF OBSERVATIONS ON MAC IN 2001-2015 AND THEIR RESULTS

We describe the results of the astrometric sky surveys with the telescope MAC which were performed in 2001-2015. We observed stars near the equator and stars in the fields with radio-sources which are the ICRF objects. Observations were initiated by the Main Astronomical observatory of NAS of Ukraine and Astronomical observatory of Taras Shevchenko Kiev national University. We obtained three catalogues of positions and V-magnitudes, KMAC1, KMAC2, and KMAC3. They can be used as reference high-precision catalogues actual for practical use till the creation of new space-mission catalogues like Gaia.

Keywords: CCD observation, astrometric catalogues of star, star photometry.

Таблиця 2

УДК 523.98

В. Лозицький, д-р фіз.-мат. наук, В. Єфіменко, канд. фіз.-мат. наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ПОДВІЙНИЙ ЦИКЛ ХЕЙЛА У ЗМІНАХ ДІАМЕТРІВ СОНЯЧНИХ ПЛЯМ. ПОПЕРЕДНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Аналізуються інтегральні розподіли діаметрів сонячних плям у циклах активності № 12–24. Для визначення показника інтегрального розподілу α приймаються до уваги лише великі плями діаметра 50–90 Мм; для підвищення точності визначення величини α всі дані усереднюються за кожен 11-річний цикл. Основні результати є такими: (а) за 13 останніх циклів середнє значення α дорівнює 5.4, (б) віковий тренд у змінах α відсутній, однак (в) є достовірні свідчення наявності подвійного циклу Хейла (близько 44 років). Зокрема, мінімальні значення α відмічені у циклах № 14, 17–18 та 22. Поскільки величина α відображає дисперсію діаметрів сонячних плям, отримані дані вказують на те, що конвективна зона Сонця генерує зародки активних областей у різних статистичних режимах, які змінюються з циклом близько 44 років.

Ключові слова: Сонце, сонячна активність, сонячні плями, інтегральний розподіл діаметрів сонячних плям, подвійний цикл Хейла.

Вступ. Характерною особливістю сонячної активності є її 11-річний цикл. Однак це тільки найбільш інтенсивний і очевидний цикл активності Сонця, свого роду його "пульс". Більш детальний аналіз показує, що у спектрі коливань сонячної активності є близько 20 менш інтенсивних, але достовірних циклів, зокрема, також цикли тривалістю 11.89 та 9.97 року [12]. Ці цикли близькі до періодів обертання Юпітера навколо Сонця (11.86 року) і повторення квадратур в системі "Юпітер–Сатурн" (9.90 року).

Існування у спектрі коливань сонячної активності "планетних" періодів близько 12 і 10 років указує на можливий вплив планет на сонячну активність. Ця гіпотеза розглядалась багатьма вченими, зокрема, П. Р. Романчуком [11]. Цікаво, що "планетні" періоди належать не лише до сонячних плям, але й до спалахів на Сонці. Наприклад, Л.А. Акімов та ін. [1], вивчаючи рентгенівські й оптичні спалахи на Сонці методом фур'є-аналізу, виявили, що у спектрах потужності цих спалахів є достовірні періоди у 36.5, 73, 88 та 116 діб. Перший період майже точно збігається із середнім періодом осьового обертання Сонця, видимим з Меркурія, другий – це його подвоєне значення. Період 88 діб – це сидеричний (відносно нерухомих зірок) період обертання Меркурія навколо Сонця, а 116 діб – синодичний (видимий із Землі) період обертання планети навколо Сонця. Виявилось також, що спалахів на Сонці виникає більше тоді, коли Меркурій найбільше віддаляється від Сонця.

Для подальшого більш детального вивчення циклічності сонячної активності слід використовувати якомога більш довгі ряди однорідних спостережень. Фактично, регулярні спостереження рентгенівського випромінювання Сонця ведуться близько 40 років, тоді як телескопічні спостереження кількості сонячних плям – більше 400 років (від їх перших спостережень Галілеєм, Шейнером і Фабріціусом). Однак слід врахувати, що такий загальновідомий параметр сонячної активності як кількість сонячних плям – це фактично числа Вольфа, які визначаються не зовсім однозначно, поскільки залежать і від кількості груп плям на Сонці, і від кількості всіх підряд порахованих плям. Розбиття всіх спостережених на Сонці плям на їх групи проводиться за магнітними характеристиками плям. Основний критерій тут такий: в групі плям має бути головна і хвостова магнітні полярності, причому ці полярності змінюються за певним законом і від одного 11-річного циклу до іншого, і при переході через сонячний екватор. Тому, наприклад, наявність на Сонці однієї компактно розташованої групи плям ще не означає, що цю групу при підрахунку чисел Вольфа слід розглядати як одну групу. Це можуть бути і дві тісно зближені групи плям. Вирішити тут питання (про наявність однієї чи двох груп плям) можна лише на основі спектрально-поляризаційних спостережень на основі ефекту Зеємана, які дають змогу визначити і напруженість магнітного поля в плямах, і їх магнітну полярність. Однак проблема тут в тім, що самі такі спостереження ведуться близько 100 років (з 1908 р.), тоді як телескопічні спостереження плям і прямі визначення чисел Вольфа – з 1610 р. Більше того, правило магнітних полярностей у групах сонячних плям встановлено Хейлом і Нікольсоном [5] лише у 1925 р. Тому всі визначення чисел Вольфа до 1925 р. є дещо умовними – фактично в них є невідомим фактор магнітних полярностей груп плям.

Про існування певних проблем в підрахунку кількості сонячних плям свідчить і той факт, що з липня 2015 р. Міжнародний Центр даних при Бельгійській Королівській обсерваторії пропонує новий, ревізований ряд відносної кількості сонячних плям [3]. Основні зміни полягають у тому, що за основу взято спостережний ряд Альфреда Вольфера, а не Рудольфа Вольфа, що приблизно в 1.7 раза збільшує більш ранні значення, наближаючи їх до сучасних оцінок. Тому більш виправданим у даному випадку було б використання якогось іншого параметра сонячної активності, який не тільки визначається досить тривалий час, але й не залежить від магнітних полярностей плям. Таким параметром є площі плям (виправлені за ефект проекції) або ж їх діаметри. Ці параметри вже аналізувались в роботах [2, 4], але для обмежених часових інтервалів, які не включають всі наявні на сьогодні дані. Отже, метою даної роботи є аналогічний аналіз для більш широкого часового інтервалу, який охоплює цикли активності № 12–24.

Спостережні дані та схема їх аналізу. Було використано дані Грінвіцького каталогу і його продовження NOAA-USEF (http://solar.science.msfc.nasa.gov/greenwich/). Детальне порівняння даних різних каталогів, виконане в роботі [9], показує, що це найбільш надійний, довгий і однорідний ряд площ груп сонячних плям. Оскільки сонячні плями дуже рідко мають правильну круглу форму (що полегшує вимірювання їх діаметрів), то був використаний інший підхід: для кожної групи плям визначався еквівалентний діаметр *d*_{екв}. Величина *d*_{екв} знаходилась по площі групп плям *S*_p, виправленій за ефект проекції. Щоб встановити зв'язок між *d*_{екв} і *S*_p, були спеціально відібрані одиночні і круглі за формою сонячні плями, по яких будувалась допоміжна калібровочна залежність [4]. Для прискорення опрацювання даних, була складена одним із авторів (В.Є.) машинна програма, яка здійснювала селекцію плям по площам і розмірам в автоматичному режимі, без ручного втручання. Крім того, в основному приймались до уваги тільки великі плями, що мають діаметри більше 40 мега-

метрів (Мм). Це пов'язано з тим, що лінійна ділянка на інтегральній залежності для сонячних плям, по якій визначається показник α, знаходиться здебільшого в діапазоні діаметрів 50–90 Мм [2].

Розгляд отриманих інтегральних залежностей показав, що величина параметра α досить надійно визначається в роки максимумів 11-річного циклу, коли плям на Сонці багато, і менш надійно – в роки мінімумів, коли сонячних плям відносно мало. Тому спершу були визначені усереднені характеристики за всі роки кожного 11-річного циклу.

Результати та їх обговорення. Виявилось, що величина параметра α суттєво змінються від циклу до циклу (рис. 1), що підтверджує результати роботи [2]. Однак були встановлені також нові закономірності, а саме такі (рис. 2). Для 13 останніх циклів (№ 12–24) середнє значення показника інтегрального розподілу α для діаметрів сонячних плям дорівнює 5.4. Раніше в роботі [5] для семи останніх циклів було знайдено середнє значення параметра α близько 6.0. Віковий тренд у змінах α відсутній, однак є достовірні свідчення наявності подвійного циклу Хейла (близько 44 років). Зокрема, мінімальні значення α відмічені у циклах № 14, 17–18 та 22.







Рис. 2. Порівняння показника інтегрального розподілу α для циклів активності № 12–24. (Штриховою лінією показано віковий тренд у змінах параметра α)

Варто нагадати, що перші вказівки на 44-річний цикл у змінах чисел Вольфа були отримані в роботі [12]. Однак там цей цикл є лише п'ятим по потужності після циклів тривалістю приблизно 11, 12, 10 та 95 років (наведений порядок циклів відповідає спаданню їх потужності). Припущення про існування подвійного циклу Хейла висловлено також в роботі [7] на основі вивчення швидкості диференційного обертання Сонця у різних циклах. Відповідні ефекти є досить слабкими і спостерігаються на фоні значного вікового тренду, що дорівнює 0.7 % впродовж останніх 130 років (з 12-го циклу по 23-й). Таким чином, цей результат (стосовно тренду) суттєво відрізняється від наведених на рис. 2 даних, згідно з якими віковий тренд у змінах показника інтегрального розподілу для діаметрів сонячних плям взагалі відсутній (принаймні, він менший 0.2 %).

Можливо, 44-річний цикл існує також у змінах напруженостей магнітного поля великих сонячних плям. Зокрема, згідно з роботою [8], мінімальні напруженості в таких плямах були у 1965 р. і 2008–2009 р., тобто з інтервалом у 43–44 роки. Відповідно до даних роботи [8], більш очевидним тут є 11-річний цикл.

Автором роботи [6] підмічена цікава закономірність: найбільш видатні досягнення в дослідженнях сонячних магнітних полів мали місце з інтервалом у чотири сонячні 11-річні цикли, тобто також з інтервалом приблизно 44 роки. Наприклад, перше спостереження розщеплених спектральних ліній у спектрах сонячних плям було зроблено Лок'єром у 1866 р. (10-й цикл), і тільки у 1908 р. (14-й цикл) це розщеплення було правильно трактовано Хейлом як прояв ефекту Зеємана. У 1952 р. (18-й цикл) був створений Бебкоками сонячний магнітограф, а у 1956 р. (початок 19-го циклу) була розроблена теорія переносу випромінювання в магнітному полі (W.Unno та В.Є. Степановим). Виходячи з цієї закономірності, Harvey [6] висловив припущення, що у 22-му циклі (1990-ті роки) можна очікувати нових видатних досягнень в дослідженнях сонячних магнітних полів. Як можливий варіант щодо цього, називалось створення телескопів високого розділення, зокрема THEMIS і SOT. Тут корисно нагадати, що перші прямі спостережні свідчення про існування у сонячних спалахах надпотужних магнітних полів (~10⁴ Гс) були отримані саме у 22-му циклі [10].

Поскільки величина α відображає дисперсію діаметрів сонячних плям, отримані дані вказують на те, що конвективна зона Сонця генерує зародки активних областей у різних статистичних режимах, які змінюються з циклом близько 44 років. З цієї точки зору, вказаний цикл є суто сонячним циклом, який проявляється також у кількості сонячних плям, швидкості їх обертання і напруженості в них магнітного поля. Однак якщо підмічена автором роботи [6] закономірність не є чистою випадковістю, не виключена і інша гіпотеза, що 44-річний цикл, можливо, є деяким глобальним циклом, тобто зовнішнім по відношенню до Сонця і всієї сонячної системи. Ця гіпотеза вимагає ретельної перевірки при майбутніх дослідженнях.

Висновки. Підтверджено результати роботи [2] про значну відмінність показника інтегрального розподілу α для різних 11-річних циклів сонячної активності. З'ясовано, що у циклах активності № 12–24 середнє значення α дорівнює 5.4, причому віковий тренд у змінах α відсутній. Однак є достовірні свідчення наявності подвійного циклу Хейла (близько 44 років). Зокрема, мінімальні значення α відмічені у циклах № 14, 17–18 та 22. Оскільки величина α відображає дисперсію діаметрів сонячних плям, то отримані дані вказують на те, що конвективна зона Сонця генерує зародки активних областей у різних статистичних режимах, які змінюються з циклом близько 44 років. Із порівняння отриманих даних з результатами інших авторів [7, 8, 12] можна зробити висновок, що подвійний цикл Хейла існує також серед сонячних плям, швидкості їх обертання і напруженості в них магнітного поля. Можливо, цей цикл проявляється також у деяких процесах [6] на Землі.

Список використаних джерел

1. Akimov L. O. Solar activity during the cycles 21-23 from X-ray and optical observations / L. O. Akimov I. L. Belkinaand T. P. Bushueva// Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel, 2005. - Vol. 21, No. 4. - P. 267-277.

2. Babij V. P. Statistical characteristics of large sunspots in solar activity cycles 17–23 / V. P. Babij, V. M. Efimenko, V. G. Lozitsky // Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 2011. – Vol. 27, N 4. – P. 191–196.

3. Clette F.Cliver Revisiting the sunspot number. A 400-year perspective on the solar cycle / Clette F., L. Svalgaard J.M. E. W. Vaquero // Space Sci. Rev., 2014. – Vol. 186, Iss. 1–4. – P. 35–103.

4. Efimenko V. Statistical peculiarities of 24th cycle of solar activity / V. Efimenko, V. Lozitsky (in ukr.: Статистичні особливості 24-го циклу сонячної активності) // Bull. Kyiv. Nation. Univ., Astronomy, 2016.– № 53. – Р. 52–55.

5. Hale G. E. The law of sun-spot polarity / G. E. Hale, S. B. Nicholson // Astrophysical Journal, 1925. - Vol. 62. - P. 270.

6. Harvey J. Small-scale photospheric magnetic fields: observational methods and limitations / J. Harvey // Proc. of a Workshop held in Göttingen, 1-3 October, 1985; Ed. by W. Deinzer, M. Knölker and H. H. Voigt // Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen. Göttingen: Vandenhoeck&Ruprecht, 1986. – P. 25.

7. Javaraiah J. Long-term variations in the solar different rotation / J. Javaraiah // Solar Phys., 2003. - Vol. 212, Iss. 1. - P. 23-49.

8. Lozitska N. I. Indexes of groups of sunspots for long-term forecasting of geomagnetic activity / N. I. Lozitska, V. M. Efimenko (in ukr.: Індекси груп со-нячних плям для довгострокового прогнозування геомагнітної активності) // Bull. Kyiv. Nation. Univ., Astronomy, 2015. – № 52. – Р. 43–47.

9. Lozitska N. I. Problem of mistakes in databases, processing and interpretation of observations of the Sun / N. I. Lozitska // Odessa Astronomical Publications, 2015. - Vol. 28, N 2. - P. 236-237.

10. Lozitsky V. G. Problem of superstrong magnetic fields in solar atmosphere / V. G. Lozitsky (in ukr.: Проблема надпотужних магнітних полів в атмосфері Сонця) // Kinematika I Fizika Nebesnykh Tel, 1993. – Vol. 9, № 3. – Р. 23–32.

Romanchuk P. R. The nature of solar cyclicity / P. R. Romanchuk // Soviet Astronomy, 1981. – Vol. 25, N 1. – P. 87–92.
 Tsirulnik L. B. Forecasting the 23rd and 24th solar cycles on the basis of MGM spectrum / L. B. Tsirulnik, T. V. Kuznetsova and V. N. Oraevsky // Advances in Space Research, 1997. – Vol. 20, Iss. 12. – P. 2369–2372.

Надійшла до редколегії 12.02.17

В. Лозицкий, д-р фіз.-мат. наук,

В. Ефименко, канд. физ.-мат. наук,

Киевський национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

ДВОЙНОЙ ЦИКЛ ХЕЙЛА В ИЗМЕНЕНИЯХ ДИАМЕТРОВ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализируются интегральные распределения диаметров солнечных пятен в циклах активности № 12–24. Для определения показателя интегрального распределения α принимаются во внимание лишь большие пятна диаметра 50–90 Мм; для повышения точности определения величины α все данные усреднены за каждый 11-летний цикл. Основные результаты таковы: (а) для 13 последних циклов среднее значение α равно 5.4, (б) вековой тренд в изменениях α отсутствует, однако (в) имеются достоверные свидетельства наличия двойного цикла Хейла (около 44 лет). В частности, минимальные значения α отмечены в циклах № 14, 17–18 и 22. Поскольку величина α отражает дисперсию диаметров солнечных пятен, полученные результаты указывают на то, что конвективная зона Солнца генерирует зародыши активных областей у различных статистических режимах, которые изменяются с циклом около 44 лет.

Ключевые слова: Солнце, солнечная активность, солнечные пятна, интегральное распределение диаметров солнечных пятен, двойной цикл Хейла.

V. Lozitsky, Dr. Sci., V. Efimenko, Ph. D., Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

DOUBLE HALE'S CYCLE IN CHANGES OF SUNSPOT DIAMETERS. PRELIMINARY RESULTS

Integral distributions for diameters of sunspots are analyzed in cycles Nos. 12-24. For determination of index of integral distribution a, the large sunspots of 50–90 Mm are taken into account; all data are averaged for each 11-year cycle for better accuracy. The main results are following: (a) the mean value of α index is 5.4 for last 13 cycles; (b) secular trend in changes of α index is absent, and (c) there are reliable evidences of double Hale's cycle (about 44 years). In particular, the lowest values of α index were found for cycles Nos. 14, 17–18 and 22. Since this index reflects the dispersion of sunspot diameters, obtained results indicate that convective zone of the Sun generates the embryos of active regions in different statistical regimes which change with cycle about 44 years.

Key words: Sun, solar activity, sunspots, integral distribution for diameters of sunspots, double Hale's cycle.

УДК 523.98

В. Криводубський, д-р фіз.-мат. наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

АЛЬФА-ЕФЕКТ БЕБКОКА-ЛЕЙТОНА В ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ СОНЦЯ

Проведено аналіз недавніх досліджень циклічності магнітної активності Сонця на основі αΩ-динамо моделі. Згідно з моделлю αΩ-динамо радіальний градієнт кутової швидкості дΩ/д діє на полоїдальне магнітне поле В_Р, у результаті чого генерується тороїдальне магнітне поле Βτ (Ω-ефект). Водночас спіральна турбулентність, діючи на тороїдальне поле В_т, регенерує нову полоїдальну магнітну компоненту протилежного знака – В_Р (альфа-ефект). Оскільки диференційному обертанню 🖓 тритаманна майже стабільна регулярність в часі, то між спостереже-© Криводубський В., 2017

ними величинами B_P і B_T існує функціональна залежність. Полоїдальне магнітне поле B_P в епоху мінімуму нового сонячного циклу (коли поле В_Р максимальне) визначає величину згенерованого тороїдального магнітного поля В_т, яке несе відповідальність за інтенсивність плямоутворення в подальшому циклі. Це уможливлює за величиною виміряного на початку циклу магнітного поля В_Р прогнозувати амплітуду (числа Вольфа W) і потужність (загальну площу плям) нового циклу. Тривалий час у минулому не вдавалося виявити позитивні кореляції між характеристиками сонячних плям (числом Вольфа або загальною площею плям) поточного циклу і полярним магнітним потоком (який характеризує величину полоїдального поля В_Р) в епоху мінімуму циклу (кінець старого циклу і початку нового). У термінах динамо-теорії це нібито свідчило про відсутність функціональної залежності полоїдального поля В_Р у кінці циклів від тороїдального поля В_Т у максимумі циклів. Виявлено, що *α*-ефект Бебкока–Лейтона, який визначається кутами нахилу біполярних магнітних областей, турбулентною дифузією і меридіональною циркуляцією, зумовлює регенерацію полоїдального поля, і йому властиві випадкові флуктуації в часі і просторі. Кардинально інша ситуація після запровадження параметра магнітної потужності циклу, який представляє собою добуток площі всіх плям циклу на кути нахилу біполярних магнітних областей. При спільному засвоєнні (асиміляції) площі плям, відстані між зваженими центрами протилежних магнітних полярностей і кутів нахилу відновлюється функціональна залежність полярних магнітних потоків (які служать індикатором полоїдального поля В_Р) від асимільованого параметра магнітної потужності сонячних плям (який характеризує відносну інтенсивність тороїдального поля В_т). У межах αΩ-динамо це свідчить про те, що поверхневий α-ефект Бебкока–Лейтона зумовлює генерацію нового полоїдального магнітного поля, а асимільований параметр магнітної потужності плям є невід'ємною компонентою майбутніх прогнозів активності сонячних циклів на основі моделей динамо.

Ключові слова: Сонце, турбулентність, магнітні поля, сонячні плями, цикли активності, динамо-модель, прогнози сонячної активності.

Вступ. В останні роки в літературі продовжується дискусія щодо місця зосередження в сонячній конвективній зоні (СКЗ) т.з. альфа-ефекту, відкритого в теорії макроскопічного (усередненого) магнітного поля в турбулентному середовищі [1]. Суть α-ефекту полягає в здатності спіральних (гіротпропних) турбулентних рухів < u · rot u > створювати в замагніченій плазмі електричне поле

$$\varepsilon = \alpha < B > /c, \tag{1}$$

паралельне чи антипаралельне залежно від знака параметра спіральності

α

$$\approx -(\tau/3) < u \cdot \text{rot } u >, \tag{2}$$

до усередненого магнітного поля [1]. Кутові дужки <...> означають процедуру усереднення (згладження) за масштабами або часовими проміжками, які значно перевищують характерні просторові / і часові τ параметри турбулентного поля швидкостей u. Альфа-ефект служить однією із двох базових складових моделі альфа-омега динамо магнітного циклу Сонця (див. нижче).

Зазвичай при побудові сценарію регенерації полоїдального поля дослідники залучають до розгляду два типи α-ефекту. Перший тип, який був запропонований Ε. Паркером [2] і теоретично обґрунтований М. Штеєнбеком і Ф. Краузе [3], пов'язаний з радіальною неоднорідністю турбулентної конвекції у всьому об'ємі СКЗ, тоді як другий механізм, розроблений Г.В.Бебкоком [4] і Р.Б. Лейтоном [5], пов'язаний з поверхневими активними магнітними областями. В обох випадках спіральність поля турбулентних швидкостей < u · rot u >, яка в електропровідному середовищі веде до збудження α-ефекту, виникає в результаті впливу сили Коріоліса на горизонтальні рухи речовини, проте ці рухи в запропонованих механізмах мають різну природу [6]. "Класичний" механізм α-ефекту Паркера–Штеєнбека– Краузе опирається на рухи, які виникають внаслідок термічної конвекції, тоді як у механізмі Бебкока-Лейтона береться до уваги магнітна плавучість. Умова появи α-ефекту полягає в тому, щоб усереднене значення спіральності поля турбулізованих конвективних швидкостей < u · rot u >, викликане силою Коріоліса (т.зв. кінетичний параметр спіральності), повинно відрізнятися від нуля і мати якийсь певний знак (позитивний чи негативний) на великих відстанях $L >> l: < u \cdot rot u > \neq 0$. У більшості теоретичних досліджень до останнього часу залучалась до розгляду, в основному, кінетична версія α-ефекту Паркера-Штеєнбека-Краузе. Загальноприйнято, що кінетичний α-ефект функціонує у всьому об'ємі СКЗ (див., наприклад, [7-10]). Разом з тим, в останні роки наступив ренесанс щодо вивчення поверхневого α-ефекту Бебкока–Лейтона. Виявилося, що механізм Бебкока–Лейтона заслуговує не меншої уваги [11–17], оскільки його властивості можна оцінити з статистичних властивостей спостережених сонячних плям на відміну від необхідності теоретичних розрахунків кінетичного параметру Паркера-Штеєнбека-Краузе.

Сценарій і динамо-модель сонячного циклу. Згідно із сучасними науковими переконаннями, які сформувалися на основі спостережень і теоретичних уявлень [18], глобальне магнітне поле Сонця В складається з двох аксіально-симетричних компонент. Перша компонента – приховане від спостерігачів в сонячних глибинах сильне тороїдальне (азимутальне) поле Вт. Воно спрямоване вздовж паралелей в основному на середніх і низьких широтах та має протилежну полярність (спрямованість) обабіч екватора. Тільки найбільш потужні глибинні поля (≥10³ Гс), прориваючись завдяки магнітній плавучості на сонячну поверхню, проявляються у вигляді локальних опуклостей тороїдального поля, визначаючи тим самим інтенсивність плямоутворення. Останню прийнято характеризувати відносною кількістю сонячних плям W (числом Вольфа) і параметром потужності циклу. Максимальне значення усереднених місячних чисел W в циклі, зазвичай, називають амплітудою 11-річного циклу, тоді як параметр потужності циклу визначається як загальна площа всіх плям, спостережених впродовж циклу. Друга компонента глобального магнітного поля Сонця – зосереджене в меридіональних площинах слабке полоїдальне поле Вр. Силові лінії полоїдального поля, виходячи на сонячну поверхню, формують фонові магнітні поля, зокрема, полярні магнітні поля. Полоїдальне поле зримо проявляється у вигляді корональних стримерів, що виходять із високих широт і спостерігаються під час повних затемнень Сонця. У чистому вигляді полоїдальні поля трапляються в приполярних ділянках вище 55° геліошироти. Зазвичай, вони визначаються шляхом прямих магнітографічних вимірювань [19] або ж вимірювань магнітного потоку на основі спостережень полярних факелів (які служать індикаторами полярних магнітних потоків) [20]. Спостереження показують, що величина і полярність обох глобальних магнітних компонент циклічно змінюються в протифазі з середнім періодом близько 11 років [4, 21].

Найбільшого поширення серед дослідників набули уявлення, що спусковим механізмом сонячного циклу служить процес турбулентного гідромагнітного динамо [22, 23], у результаті якого частина енергії обертання і конвективних рухів перетворюється в енергію магнітного поля. Роль "динамо-машини" на Сонце відіграє його конвективна зона, де в результаті взаємодії обертання (з кутовою швидкістю Ω) і турбулізованої конвекції (зі швидкістю u) створюється специфічна комбінація диференційного обертання Ω(*r*, θ) і усередненої спіральної турбулентної конвекції < u · rot u >. У високопровідній сонячній плазмі магнітні поля вморожені (закріплені) в речовину. За цієї умови радіальне диференційне обертання біля дна СКЗ витягує магнітні силові лінії глибинного полоїдального (меридіонального) поля В_Р, орієнтуючи їх у азимутальній площині, що призводить до збудження тороїдальної компоненти поля В_т, яка має протилежні напрями в північній і південній півсферах (т. зв. ефект "накручування", або ж Ω-ефект). Зазначений ефект описується першим членом правої частини рівняння

$$\partial \mathbf{B}_{\mathbf{T}} / \partial t = r \sin \theta \left(\mathbf{B}_{\mathbf{P}} \nabla \right) \mathbf{\Omega} \, \mathbf{i}_{o} + \mathbf{v}_{\mathrm{T}} \Delta \mathbf{B}_{\mathrm{T}}, \tag{3}$$

де *r* – відстань від центра Сонця, v_T ≈ (τ/3) < u · u > ≈ (τ/3) (*u*²) – турбулентна в'язкість, ∇ = ∂/∂*r* – радіальний градієнт, θ і *i*_φ – полярний кут і одиничний азимутальний вектор у сферичній системі координат, відповідно. Завдяки магнітній плавучості фрагменти тороїдального поля (магнітні Ω-петлі) прориваються із глибин до сонячної поверхні, де через певний час їх можна спостерігати на фотосферному рівні в "королівській зоні" у вигляді біполярних магнітних груп плям, орієнтованих вздовж лінії, приблизно паралельної сонячному екватору (точніше спрямованої під невеликим, до 10°, кутом до екватора). Саме цей невеликий кут нахилу біполярних магнітних груп відіграє ключову роль у поверхневому альфа-ефектові Бебкока–Лейтона. (див. нижче). Головні плями в біполярних групах (лідируючі по відношенню до напряму обертання) мають протилежні полярності в північній і південній півсферах і збігаються з полярністю магнітних полюсів.

Альфа-ефект, збуджуючи електричне поле $\varepsilon = \alpha B_T/c$ (1), регенерує з тороїдального поля B_T нову полоїдальну магнітну компоненту B_P :

$$\partial \mathbf{B}_{\mathbf{P}} / \partial t = \operatorname{c} \operatorname{rot} \varepsilon + v_{\mathrm{T}} \Delta \mathbf{B}_{\mathbf{P}} = \operatorname{rot} (\alpha \mathbf{B}_{\mathrm{T}}) + v_{\mathrm{T}} \Delta \mathbf{B}_{\mathbf{P}}, \tag{4}$$

антипаралельного спрямування по відношенню до його вихідної меридіональної орієнтації в попередньому циклі (перший член в правій частині рівняння (4)), замикаючи тим самим сонячний динамо-цикл [1]. Нове полоїдальне поле внаслідок турбулентної дифузії (другий член у правій частині рівняння (4)) поступово згасає), однак диференційне обертання підсилює тороїдальну компоненту (перший член в правій частині рівняння (3)) до тих пір, поки не настане магнітна реверсація (зміна полярності) полоїдального поля в епоху максимуму циклу плям. Після реверсації диференційне обертання починає генерувати нову тороїдальну компоненту протилежної орієнтації до попередньої, так що сумарне тороїдальне поле поступово зменшується. У міру його зменшення α-ефект все ще підсилює нову полоїдальну компоненту, допоки сумарне тороїдальне поле не зникне в епоху нового мінімуму активності плям [14]. В цей час нове полоїдальне поле протилежної орієнтації, навпаки, досягає свого максимального значення.

Таким чином, зміна в часі амплітуд і полярностей глобальних магнітних компонент Сонця відбувається в протифазі. В епоху максимуму циклу, коли амплітуда тороїдального поля найбільша, полоїдальне поле проходить через нульове значення і змінює свою полярність. І навпаки, в епоху мінімуму, коли тороїдальне поле проходить через нульове значення і змінює полярність (знак), амплітуда полоїдального поля стає максимальною.

Після завершення зазначеного сценарію завдяки регулярному диференційному обертанню розпочинається нове зростання тороїдальної компоненти протилежної орієнтації, так що далі описаний цикл повторюється, але з протилежними полярностями глобальних полів. Таким чином реверсація полярностей глобальних магнітних полів в описаній схемі відбувається відповідно до спостереженого магнітного циклу Хейла [24]. Механізм регенерації основних компонент глобального магнітного поля і замикання сонячного циклу внаслідок двох зазначених базових турбулізованних конвективних ефектів збудження магнетизму прийнято називати моделлю αΩ-динамо циклу [1–3, 6, 18, 22, 23].

Суттєву роль в описаному сценарії відіграє турбулентна дифузія ν_т, яка створює необхідність постійної генерації магнітного поля і водночас входить важливою складовою частиною в процеси еволюції магнітних полів. Вона об'єднує всі маломасштабні петлі магнітного потоку в одне згладжене поле і, крім того, сприяє поширенню великомасштабного поля із ділянки його генерації по всій СКЗ. У випадку, коли генерація і дифузія магнітних потоків зрівноважені отримують циклічну модель турбулентного αΩ-динамо, яка описується системою рівнянь (3)–(4).

Омега-ефект і прогнозування потужності циклів. Загальноприйнято, що радіальний градієнт кутової швидкості ∂Ω/∂г, діючи в сонячних глибинах на полоїдальне поле В_Р, трансформує його в тороїдальне поле В_Т (див. рівняння (4)). Зазвичай вважають [1–3, 6, 18, 22, 23], що найбільш сприятливим місцем для генерації тороїдального поля служать глибинні шари поблизу дна СКЗ у районі тахокліну, де густина кінетичної енергії диференційного обертання значно перевищую густину магнітної енергії. Окрім того, тут збуджуване поле зазнає найменших втрат внаслідок магнітної плавучості.

За допомогою моделі $\alpha\Omega$ -динамо на підставі даних спостережень в роботі [25] уперше було теоретично обґрунтовано *функціональний зв'язок* між амплітудою полоїдального поля В_Р, що спостерігається в полярних областях у мінімумі циклу, і інтенсивністю плямоутворення *W* наступаючого циклу. На підставі встановленої функціональної залежності зазначених магнітних індексів був зроблений вдалий прогноз чисел Вольфа 21-го циклу [25]. Виявлена кореляція зумовлена досить стабільною регулярністю диференціального обертання $\partial\Omega/\partial r$, якому притаманні лише незначні зміни з часом [14]. Оскільки $B_T \sim B_P \partial\Omega/\partial r$ (див. рівняння (3)), то при майже стабільній величині радіального градієнту диференційного обертання $\partial\Omega/\partial r$ полоїдальне поле B_P в епоху мінімуму циклу зумовлює величину згенерованого тороїдального поля B_T , тобто активність плямоутворення, в наступаючому циклі. В. Макаров та ін. [26] на підставі статистичного опрацювання спостережених даних 16–22 циклів виявили високу лінійну кореляцію між запровадженим ними *А*-індексом (магнітним моментом крупномасштабного полоїдального поля) і амплітудою *W* наступного максимуму. Згодом Дж. Джянг та ін. [27] на підставі спостережених даних останніх 9 циклів встановили залежності річних значень міжнародних чисел сонячних плям R_{тах} від дипольного моменту DM, розрахованого на основі А-індексу [22], а також від дипольного моменту DM, визначеного в результаті прямих вимірювань полярного магнітного поля в мінімумі циклу [19] (рис. 1).



Рис. 1. Максимальна потужність сонячних циклів R_{max}

(максимальне значення річних міжнародних чисел сонячних плям у даному циклі) як функція дипольного моменту (DM) полярного магнітного поля попередніх сонячних мінімумів. Світлі кружки – дипольний момент, оцінений на підставі А-індексу крупномасштабного магнітного поля [26], темні кружки – дипольний момент, отриманий в результаті прямих вимірювань полярного магнітного поля в мінімумі 21–23 циклів [19]. Квадрат – прогноз максимуму 24-го циклу, розрахований у 2007 р. [27] на підставі оцінок дипольного моменту на початку циклу і лінійної залежності, показаної на цьому графіку. (Рисунок узято з роботи [27])

Зазначені вище переконливі докази тісної кореляції між спостереженими полоїдальним полем в мінімумі циклу і амплітудою наступного циклу без сумніву свідчать, що Ω-ефект служить надійною складовою механізму сонячного αΩдинамо, а вимірювання полоїдального поля в мінімумі циклів можна залучати для прогнозів наступних максимумів циклів.

Поверхневий альфа-ефект і прогнозування полоїдальних полів в мінімумі циклів. Альфа-ефект Бебкока– Лейтона пов'язаний з правилом Джоя [28], згідно з яким осі магнітних біполярних груп плям орієнтовані під певним кутом до широтного напряму "схід-захід", так що західні (лідируючі по відношенню до обертання) плями знаходяться в середньому ближче до екватора, ніж східні хвостові плями (рис. 2).



Рис. 2. Ілюстрація правила Джоя біполярних магнітних груп плям:

S – площа найбільшої плями в групі, / – відстань між центрами протилежних магнітних полярностей, α – кут нахилу магнітних осей біполярних груп плям до широтного напряму. Пунктирна лінія показує локальну сонячну паралель в північній півкулі, екватор знаходиться внизу, тому кут нахилу α – позитивний. Малюнок взято із роботи [13]

Середній позитивний кут нахилу а (англ. tilt angle) впродовж циклу становить близько 4°, змінюючись при цьому від кількох градусів (для груп поблизу екватора) до 8–10° для високоширотних груп. Нахил осі біполярних груп зумовлений дією сили Коріоліса на горизонтальні складові швидкості стікання речовини донизу у спливаючих тороїдальних магнітних трубках. Сила Коріоліса повертає магнітні силові дуги (що утворюють біполярні групи плям) під певними кутами до екваторіального напряму, які зростають при збільшенні геліошироти [29]. Маломасштабні полоїдальні компоненти магнітних петель, які з'єднують плями з протилежними полярностями, дають меридіональний внесок в глобальне полоїдальне поле в процесі розпаду активних областей впродовж циклу. Надзвичайно важливо, що ці маломасштабні меридіональні внески мають протилежне спрямування по відношенню до орієнтації затухаючого глобального полоїдального поля B_P поточного циклу. Турбулентна дифузія об'єднує маломасштабні магнітні флуктуації в крупніші утворення, а меридіональна циркуляція переносить їх до полюсів Сонця. У результаті тут спочатку відбувається погашення магнітного потоку поточного циклу, а потім накопичення магнітного потоку протилежної полярності [30, 31]. Зрештою це призводить до зародження нового глобального полоїдального поля протилежного знака (-В_Р), яке досягає свого максимального значення на межі старого і нового циклів (в епоху мінімуму наступаючого циклу). Саме в цьому полягає суть нелокального поверхневого α-ефекту Бебкока–Лейтона [4, 5], який відіграє актуальну роль в сонячному турбулентному динамо. Важливо, що описаний механізм пов'язаний зі спостереженими характеристиками магнітних активних областей. Тому його внесок в генерацію магнітного поля можна оцінити на підставі статистичної обробки спостережених даних.

Внесок активних областей в полоїдальне поле сумірний їхньому магнітному потоку [13], який пропорційний площі плям. Тому в роботах [12–14] загальний внесок всіх спостережених впродовж певного часу активних областей описується параметром магнітної потужності сонячних плям В, який визначається як сумарний добуток

$$B = \Sigma S_i I_i \sin \alpha$$

(5)

де S_i – площа найбільшої плями в певній групі, I_i – відстань між зваженими центрами протилежних магнітних полярностей, α_i – кут нахилу магнітних осей біполярних груп плям до широтного напряму. Підсумовування ведеться за всіма активними областями, що спостерігаються в певний проміжок часу, індекс сумування і відповідає окремій групі плям, а зазначені параметри беруться для фази максимального розвитку кожної групи. У тих випадках, коли сумування у виразі (5) ведеться за весь сонячний цикл, величину *В* позначають як *B*_{сус} [32].

Оскільки α -ефект перетворює тороїдальне поле **B**_T на полоїдальне **B**_P згідно з рівнянням (4): $B_P \sim \alpha B_T$, то у дослідників були наївні очікування функціональної залежності полоїдального поля B_P на межі старого і нового циклів (епоха мінімуму нового циклу) від амплітуди (чисел Вольфа *W*) старого циклу, подібної до зумовленої Ω -ефектом функціональної залежності *W* від B_P [27], яка зображена на рис. 1. Одначе, виявилося, що амплітуда поточних не корелює з дипольним полоїдальним полем B_P у кінці цих циклів [13, 20, 26] (див. рис. 36).



Рис. 3: а) положення окремих сонячних циклів в координатах величин *B*, розрахованих за формулою (1) (площа найбільшої плями в певній групі була взята в міліонних частиках сонячної півсфери, а відстань між зваженими центрами протилежних магнітних полярностей – в кілометрах), і значень індексу *A* крупномасштабного магнітного поля (магнітним моментом крупномасштабного полоїдального поля) [26] у наступні мінімуми активності. Біля розрахованих точок вказано номери циклів; спостережені, дані для яких брались із каталогу сонячної діяльності Пулковської астрономічної обсерваторії [33]. Отримана лінійна кореляція описується співвідношенням *A* = 4,1x10⁻¹¹ *B*;

б) те саме для амплітуди циклів *W* (максимальні усереднені за рік числа Вольфа) і індексу *А* в наступні мінімуми циклів (рисунок узято з роботи [13])

У термінах динамо-теорії це *нібито свідчить про відсутність функціональної залежності* полоїдального поля **B**_P у кінці поточних циклів (мінімумі наступних циклів) від тороїдального поля **B**_T у максимумі поточного циклу. Дослідники вважають, що таке співвідношення все ж таки реалізується завдяки α-ефекту, але його неоднозначність зумовлена випадковими флуктуаціями, властивими цьому ефекту [13, 14, 32]. На противагу майже стабільному в часі ефекту, для α-ефекту властива значна хаотичність у часі й просторі. Альфа-ефект пов'язаний з відносно маломасштабними рухами, які не є регулярними на відміну від глобального диференційного обертання. Тому випадкові *флуктуації порушують функціональний зв'язок* між тороїдальною і полоїдальною компонентами магнітного поля [27].



Рис. 4. Залежність значень індексу крупномасштабного дипольного магнітного поля *А* [26] у мінімумах активності окремих сонячних циклів від магнітної потужності плям поточних циклів *В*_{сус}. Кружками показано дані каталогу сонячної діяльності Пулковської астрономічної обсерваторії (19-21 цикли) [33], трикутниками – обсерваторія Маунт-Вілсон (16–21 цикли) [37], квадратами – обсерваторія Кодайканал (14–21 цикли) [37]. Наведена лінійна кореляція описується співвідношенням *А* = 2,16х10⁻¹⁰*B*_{сус} (рисунок узято з роботи [32])

Однак внесок механізму Бебкока-Лейтона в генерацію полоїдального поля, включаючи наявні флуктуації, можна все ж таки оцінити за даними спостережень сонячних плям. І саме формула (5) надає таку можливість на підставі засвоєння (асиміляції) спостережених даних біполярних груп сонячних плям. Тобто, ситуація значно поліпшується і площі найбільших груп плям починають корелювати з полярними магнітними потоками в кінці циклів (коли нове полоїдальне поле згідно з моделлю αΩ-динамо досягає максимального значення), якщо ці площі помножити на середньо зважені кути нахилів біполярних магнітних областей (БМО) і врахувати протяжність біполярних груп. У роботі Л. Кичатінова і С. Олемського [13] на підставі спостережених даних циклів 19–21 виявлено хорошу кореляцію між сумарним внеском усіх сонячних груп плям (розрахованим з допомогою виразу (5) шляхом асиміляції площі найбільшої плями в БМО, протяжності і кута нахилу кожної біполярної групи плям) і крупномасштабним дипольним магнітним полем в кінці циклів (рис. За). У роботах [14, 32, 28] ці результати було підтверджено на підставі довшого ряду (за 14-21 сонячні цикли) спостережених даних (див. рис. 4).

У роботі [34] на підставі опрацювання бази сонячних даних, що охоплюють часовий інтервал довший століття, було дослідження кореляції між площами сонячних плям (максимальної і сумарної за цикл) [35] і величиною усередненого полярного магнітного потоку (розрахованого із вимірів полярних факелів) в мінімумі циклів [36]. Установлено, що площі сонячних плям поточних циклів не корелюють з полярним магнітним потоком наступних мінімумів. Тому площа сонячних плям сама по собі не може бути підходящим параметром для використання в прогнозах полярних магнітних потоків на початку нових циклів на основі моделей динамо.

Отже, ситуація значно поліпшується і площі плям починають корелювати з полярними магнітними потоками, якщо ці площі помножити на середньо зважені кути нахилів БМО і врахувати протяжність біполярних магнітних груп плям. Це свідчить про те, що при спільному засвоєнні (асиміляції) кутів нахилу, площі плям і протяжності біполярних груп відновлюється функціональна залежність полярних магнітних потоків на початку нових циклів (коли полоїдальне поле досягає максимального значення) від асимільованого параметру сонячних плям попереднього циклу. Тому цей асимільований параметр, ймовірно, є невід'ємною компонентою майбутніх сонячних прогнозів на основі моделей динамо. Проаналізовані кореляції спостережених сонячних даних, отриманих за століття, підсилюють переконання, що процеси виникнення і розпаду БМО служать основним механізмом генерації полоїдального поля (тобто свідчать на користь механізму Бебкока–Лейтона).

Висновок. Згідно з моделлю сонячного $\alpha\Omega$ -динамо радіальний градієнт кутової швидкості $\partial\Omega$ / ∂r діє на полоїдальне магнітне поле *B*_P, у результаті чого генерується тороїдальне магнітне поле *B*_T (Ω-ефект). Водночас спіральна турбулентність, діючи на тороїдальне поле Вт, регенерує нову полоїдальну магнітну компоненту протилежної орієнтації – $B_{\rm P}$ (альфа-ефект). Оскільки диференційному обертанню $\partial \Omega / \partial r$ притаманна майже стабільна регулярність, то між спостереженими величинами B_P і B_T існує функціональна залежність: максимальне магнітне поле B_P в епоху мінімуму визначає величину згенерованого поля B_T в наступаючому циклі, яке несе відповідальність за інтенсивність плямоутворення. Це надає можливість по величині визначеного на початку циклу поля В_Р прогнозувати амплітуду *R*_{max} (числа Вольфа *W*) і потужність (загальну площу всіх плям) циклу.

Разом з тим, певний час в минулому не вдавалося виявити позитивних кореляцій між характеристиками сонячних плям циклу (числом Вольфа або загальною площею плям) і полярним магнітним потоком в кінці поточного циклу на межі з наступним циклом (мінімум нового циклу), коли полоїдальне магнітне поле досягає свого максимального значення. У термінах динамо-теорії це нібито свідчило про відсутність функціональної залежності полоїдального поля В_Р в мінімумі нових циклів від тороїдального поля В_Т у максимумі попередніх циклів.

Як згодом виявилося, це було зумовлено тим, що поверхневому α-ефекту Бебкока–Лейтона (який визначається кутами нахилу біполярних активних областей, турбулентною дифузією і меридіональною циркуляцією, і зумовлює регенерацію нового полоїдального поля) властиві випадкові флуктуації в часі і просторі.

Ситуація, однак, кардинально змінилася після того, як було запроваджено параметр магнітної потужності сонячних плям циклу, який представляє собою добуток площі всіх плям циклу на кути нахилу БМО. При спільному засвоєнні (асиміляції) площі плям, відстані між зваженими центрами протилежних магнітних полярностей і кутів нахилу відновлюється функціональна залежність полярних магнітних потоків (які служать індикатором полоїдального поля B_P) у мінімумі нового циклу від асимільованого параметру магнітної потужності сонячних плям (який характеризує відносну інтенсивність тороїдального поля В_Т) попереднього циклу. У рамках αΩ-динамо це свідчить про те, що поверхневий α-ефект Бебкока–Лейтона зумовлює генерацію нового полоїдального магнітного поля В_Р циклу, а асимільований параметр магнітної потужності плям є невід'ємною компонентою майбутніх прогнозів активності сонячних циклів на основі моделей турбулентного αΩ-динамо.

Список використаних джерел

1. Krause F. Mean Field Magnetohydrodynamics and Dynamo Theory / F. Krause, K.-H. Rädler. - Oxford : Pergamon Press, Ltd., 1980. - 271 p.

 Parker E. N. The formation of sunsports from the solar toroidal field / E. N. Parker // Astrophys. J., 1955. – Vol. 121. – P. 491–507.
 Steenbeck M. The generation of stellar and planetary magnetic fields by turbulent dynamo action / M. Steenbeck, F. Krause // Zeits. Naturforsch, 1966. – Vol. 21a. – P. 1285–1296.

4. Babckok H. W. The topology of the Sun's magnetic field and the 22-year cycle / H. W. Babckok // Astrophys. J., 1961. – Vol. 133. – P. 572–1033.

Leighton R. B. A magneto-kinematic model of the solar cycle / R. B. Leighton // Astrophys. J., 1969. – Vol. 156. – P. 1–26.
 Ossendrijver M. The solar dynamo / M. Ossendrijver // Astron. Astrophys. Rev., 2003. – Vol. 11, N 4. – P. 287–367.

7. Krivodubskij V. N. Rotational anisotropy and magnetic quenching of gyrotropic turbulence in the solar convective zone / V. N. Krivodubskij // Astron. Reports., 1998. - Vol. 42. - P. 122-126.

8. Krivodubskij V. N. The structure of the global solar magnetic field excited by the turbulent dynamo mechanism / V. N. Krivodubskij //Astron. Reports., 2001. – Vol. 45. – P. 738–745.

9. Krivodubskij V. N. Turbulent dynamo near tachocline and reconstruction of azimuthal magnetic field in the solar convection zone // Astron. Nachrichten. – 2005. – 326, N 1. – P. 61–74

10. Krivodubskij V. N. Small scale alpha-squared effect in the solar convection zone / V. N. Krivodubskij // Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 2015. – Vol. 31, N 2, – P. 55–64.

11. Erofeev D. V. An observational evidence for the Babcock-Leighton dynamo scenario / D. V. Erofeev // Proc. IAU Symp., 2004. - Vol. 223. - P. 97-98.

12. Sunspot group tilt angles and the strength of the solar cycle / M. Dasi-Espuig, S. K. Solanki, N. A.Krivova et al. // Astronomy. Astrophys., 2010. – Vol. 518, id. A7. – 10 p.

- 13. Kitchatinov L. L. Does the Babcock-Leighton mechanism operate on the Sun? / L. L. Kitchatinov, S. V. Olemskoy // Astron. Lett., 2011. Vol. 37. P. 656-658
- 14. Kitchatinov L. L. The solar dynamo: Inferences from observations and modelling / / L. L. Kitchatinov //Geomagnetism, Aeronomy, 2014, Vol. 54. – P. 867–876.
- 15. Karak B. B. Babcock-Leighton solar dynamo: The role of downward pumping and the equatorward propagation of activity / B. B. Karak, R. Cameron // Astrophys. J., 2016. Vol. 832, N 1, article id. 94. 12 p.
- 16. Miesch M. S. A three-dimensional Babcock-Leighton solar dynamo model: Initial results with axisymmetric flows / M. S. Miesch, K. Teweldebirhan // Advances in Space Research, 2016. - Vol. 58, N 8. - P. 1571-1588.
- 17. Hazra G. A theoretical study of the build-up of the Sun's polar magnetic field by using a 3D kinematic dynamo model / G. Hazra, A. R. Choudhuri, M. S. Miesch // Astrophys. J., 2017. – Vol. 835, N 1, article id. 39. – 16 p.
 18. Vainshtein S. I. The Turbulent Dynamo in Astrophysics / S. I. Vainshtein, Ya. B. Zel'dovich, A. A. Ruzmaikin. – Moscow : Nauka, 1980. – 352 p.
 (in rus.: Вайнштейн С. И. Турбулентное динамо в астрофизике / С. И. Вайнштейн, Я. Б. Зельдович, А. А. Рузмайкин. – М. : Hayka, 1980. – 352 c.).
 19. Svalgaard L. Sunspot cycle 24: Smallest cycle in 100 years? / L. Svalgaard, E. W.Cliver, Y. Kamide // Geophys. Research Lett., 2005. – Vol. 32, N 1.
- CiteID L01104.
- 20. Solar cycle propagation, memory, and prediction: insights from a century of magnetic proxies / A. Muñoz-Jaramillo, M. Dasi-Espuig, L. A. Balmaceda, E. E. DeLuca // Astrophys. J. Lett., 2013. – Vol. 767, Is. 2, article id. L25. – 7 p.
 21. Hathaway D. H. The solar cycle / D. H. Hathaway // Living Rev. Solar Phys., 2015 – Vol. 12, N 4. – P. 1–87.
 22. Charbonneau P. Dynamo models of the solar cycle / P. Charbonneau // Living Rev. Solar Phys., 2010. – Vol. 7, N 3. – P. 1–91.
- 23. Cameron R. H. The global solar dynamo / R. H. Cameron, M. Dikpati, A. Brandenburg // Space Sci. Rev., 2016. (arXiv: 1602.01754v1 [astro-ph.SR] 4 Feb 2016).
- 24. Hale G. E. The low of Sun-spot polarity / G. E. Hale, S. B. Nicholson // Astrophys. J., 1925. Vol. 62. P. 270. 25. Using dynamo theory to predict the sunspot number during cycle 21 / K.H. Schatten, P. H. Scherrer, L. Svalgaard, J. M. Wilcox // Geophys. Research Lett., 1978. - Vol. 5. - P. 411-414.
- Jarge-scale magnetic field and sunspot cycles / V. I. Makarov, A. G. Tlatov, D. K. Callebaut et al. // Solar Phys., 2001. Vol. 198, N 2. P. 409–421.
 Jang J. Solar activity forecast with a dynamo model / J. Jiang, P. Chatterjee, A R. Choudhuri // MNRAS, 2007. Vol. 381, N 4. P. 1527–1542.
 The magnetic polarity of sun-spots / G. E. Hale, F. Ellerman, S. B. Nicholson, A. H. Joy // Astrophys. J., 1919. Vol. 49. P. 153–186.
 Wang Y.-M. Average properties of bipolar magnetic regions during sunspot cycle 21 / Y.-M. Wang, N. R. Jr. Sheeley // Solar Phys., 1989. Vol. 124,

N 1. – P. 81–100

- 30. Wang Y.-M. Evolution of the Sun's polar fields during sunspot cycle 21 Poleward surges and long-term behavior / Y.-M. Wang, A. G. Nash, N. R. Sheeley Jr. // Astrophys. J., 1989. - Vol. 347. - P. 529-538.
- 31. Komm R. W. Meridional flow of small photospheric magnetic features / R. W. Komm, R. F. Howard, J. W. Harvey // Solar Phys., 1993. Vol. 147, N 2. - P. 207-223.
- 32. Olemskoy S. V. Fluctuations in the alpha-effect and grand solar minima / S. V. Olemskoy, A. R. Choudhuri, L. L. Kitchatinov // Astron. Reports., 2013. Vol. 57, N 6. P. 458.
- 33. URL: http://www.gao.spb.ru/database/csa/groups_r.htm.
- 34. Solar cycle propagation, memory, and prediction: insights from a century of magnetic proxies / A. Muñoz-Jaramillo, M. Dasi-Espuig, L. A. Balmaceda, E. E. DeLuca // Astrophys. J. Lett., 2013. Vol. 767, L25. 7 p.
- 35. A homogeneous database of sunspot areas covering more than 130 years / L. A. Balmaceda, S. A. Solanki, N. A. Krivova, S. Foster // J. Geophys. Research, 2009. - Vol. 114, Iss. A7. - CiteID A07104.
- 36. Calibrating 100 years of polar faculae measurements: implications for the evolution of the heliospheric magnetic field / A. Muñoz-Jaramillo, N. R. Sheeley, J. Zhang, E. E. DeLuca // Astrophys. J., 2012. – Vol. 753, N 2, article id. 146. – 14 p 37. URL: ftp:ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_REGIONS.

Надійшла до редколегії 03.03.17

В. Криводубский, д-р физ.-мат. наук,

Київський національний університет имени Тараса Шевченко, Киев

АЛЬФА-ЭФФЕКТ БЭБКОКА–ЛЕЙТОНА В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ СОЛНЦА

Проведен анализ недавних исследований цикличности магнитной активности Солниа на основе ад-динамо модели. Согласно модели αΩ-динамо радиальный градиент угловой скорости & /α действует на полоидальное магнитное поле В_P, в результате чего генерируется тороидальное магнитное поле Β_τ (Ω-эффект). В то же время спиральная турбулентность, действуя на тороидальное поле В_{т.} регенерирует новую полоидальную магнитную компоненту противоположного знака – В_Р (альфа-эффект). Поскольку дифференциальному вращению XXX присуща почти стабильная регулярность во времени, то между наблюдаемыми ве́личинами В_Р и В_т существует функциональная зависимость. Полоидальное магнитное поле В_Р в эпоху минимума нового солнечного цикла (когда поле B_P максимальное) определяет величину сгенерированного тороидального магнитного поля B₇, которое несет ответственность за интенсивность пятнообразования в наступающем цикле. Это дает возможность по величине измеренного в начале цикла магнитного поля В_Р прогнозировать амплитуду (числа Вольфа W) и мощность (общую площадь всех пятен) нового цикла. Вместе с тем, длительное время в прошлом не удавалось обнаружить положительных корреляций между характеристиками солнечных пятен цикла (числом Вольфа или общей площадью пятен) и полярным магнитным потоком (который характеризует величину полоидального поля В_Р) в эпоху минимума цикла (конец старого цикла и начало нового). Как впоследствии оказалось, это было обусловлено тем, что *а*-эффекту Бэбкока–Лейтона, который определяется углами наклона биполярных магнитных областей, турбулентной диффузией и меридиональной циркуляцией, и приводит к регенерации полоидального поля, присущи случайные флуктузции во времени и про-странстве. Ситуация, однако, кардинально изменилась после того, как был введен параметр магнитной мощности цикла, представляющий собой произведение площади всех пятен цикла на углы наклона биполярных магнитных областей. При совместной ассимиляции площади пятен, расстояния между взвешенными центрами противоположных магнитных полярностей и углов наклона восстанавливается функциональная зависимость полярных магнитных потоков (которые служат индикатором полоидального поля Вь) от ассимилированного параметра магнитной мощности солнечных пятен (характеризующего относительную интенсивность тороидального поля В_т). В рамках αΩ-динамо это свидетельствует о том, что поверхностный α-эффект Бэбкока–Лейтона приводит к генерации нового полоидального магнитного поля, а ассимилированный параметр магнитной мощности пятен является неотъемлемой компонентой будущих прогнозов активности солнечных циклов на основе моделей динамо.

V. Krivodubskii, Dr. Sci.

Astronomical Observatory of Taras Shchevchenko National University of Kyiv, Kyiv

THE ALPHA EFFECT OF BABCOCK-LEIGHTON IN THE IN THE SURFACE LAYERS OF THE SUN

The paper reviews recent studies of cyclicity of magnetic activity of the Sun based on the αΩ-dynamo model. According to the αΩ-dynamo model the radial gradient of angular velocity $\partial \Omega' \partial r$ acts on the poloidal magnetic field B_P, as a result generating the toroidal magnetic field B_T (Ω -effect). Meanwhile helical turbulence, acting on the toroidal field B_T, regenerates new poloidal magnetic component of opposite sign – B_P. Since the differential rotation XXA is inherent in almost stable regularity in time, there is a functional dependence between the observed values of the poloidal B₂ and toroidal B⊤ magnetic fields. Poloidal magnetic field B₂ in minimum epoch of the solar cycle (when field B₂ has maximum value) determines the amount of the generated toroidal magnetic field B_T (which is responsible for intensity of the spots activity in the coming cycle). This allows us to predict the amplitude (Wolf numbers W) and the strength (the total area of spots) of cycle for the measured field Bp at the beginning of the cycle.

However, for a long time in past there were no detected the positive correlations between the characteristics of sunspots cycle (Wolf number or the total area of spots) and polar magnetic flux (which characterized the value of poloidal field B_P) at the end of the cycle. In the terms of dynamo theory it was supposedly evidenced of the absence of functional dependence poloidal fields B_P at the end of cycles on the toroidal field B_T in maximum of cycles. As it turned out later, this was due to the fact that the surface α -effect of Babcock–Leighton (which defined by tilt angles of the bipolar magnetic fields, turbulent diffusion and meridional circulation, and causes the regeneration of the poloidal field bi is characterized by random fluctuations in time and space. The situation, however, changed drastically after the introducing of the parameter of magnetic strength spots of cycle, which is a product of the assimilated parameter magnetic polarity and the tilt angles, the functional dependence of polar magnetic flux (which is an indicator of poloidal field B_P) on the assimilated parameter magnetic strength of sunspots (which describes the relative intensity of the toroidal field B_T) was restored. Within the framework of the $\alpha\Omega$ -dynamo this indicates that the surface α -effect of Babcock–Leighton leads to the generation of the poloidal magnetic flux (which is an integral component for future forecasts of solar activity based on the dynamo dedis.

УДК 524.7

E. Fedorova¹, Ph. D., A. Vasylenko², Ph. D., V. Zhdanov¹, Dr. Sci., Prof., ¹Astronomical Observatory of National Taras Shevchenko University of Kyiv, Kyiv ²Main Astronomical Observatory of the NAS of Ukraine, Kyiv

PECULIAR AGNS FROM THE INTEGRAL AND RXTE DATA

We analysed how the active galactic nucleus (AGN) X-ray primary continuum depends on AGN activity in radio, using the data of RXTE Spectral & Timing Database (Rossi X-ray Timing Explorer) and INTEGRAL (INTErnational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory). Our aim is to test the relation between spectral shapes of these AGNs and the prediction of the "spinparadigm" model of the AGN "central engine". We have found that for the major part of radio-quiet (RQ) AGNs the value of highenergy exponential cut-off in primary spectrum appears to be significantly higher than 100 keV and thus follows the "spinparadigm" predictions. In the same time, near 25 % of radio-loud (RL) AGNs demonstrate the high-energy cut-off at the energies above 150 keV, contradicting the "spin paradigm". We have composed a sample of "peculiar" 69 RQ and 10 RL AGNs that seem to contradict to the "spin paradigm" for further individual studies of these objects.

Key words: galaxies: Seyfert – X-rays: galaxies: active – galaxies

Introduction. One of the most prominent physical differences between AGNs of various classes can be related with jet activity and RL/RQ dichotomy. There are several schemes explaining physical (non-geometrical) differences in the AGN structure, and one of the most well-known of them is often referred to as the "spin-paradigm". This model associates the jet activity with high values of the central super massive black hole (SMBH) spin as well as with the direction of rotation of the accretion disk (AD) around the black hole [1]. Namely, high values of the SMBH spin (a>0.75) in prograde system (i.e. when the directions of the SMBH spin and the angular velocity of accretion disk rotation are the same) and retrograde systems (i.e. systems with SMBH spin antiparallel to the angular velocity of AD) with the spin of SMBH a<-0.1 correspond to powerful jet and radio emission in RL AGN with the radio loudness parameter $R = L_{vradio} / L_{vopt} > 100$ (here L_{nradio} and L_{vopt})

are monochromatic luminosities at 5GHz and in V band, correspondingly [2]). The comparably low values of SMBH spin (-0.1<a<0.5) corresponds to RQ AGNs with low values of radio loudness parameter (R<100, [2]) and weak or no jets[3].

Following this model, in RQ AGNs fit into standard Shakura-Synyaev AD model [4] (i.e. geometrically thin, radiatively efficient, steady state disk with zero viscosity at the sonic point) with almost radial infall inside the innermost stable orbit; whereas the disks in RL AGNs are "torqued" (there is nonzero magnetic viscosity at the sonic point) magnetized disks described by Agol and Krolik [5]. In such systems the spin energy of central SMBH can dissipate through the sonic point into the disk due to magnetic reconnection between the inner part of AD and SMBH horizon. One of the consequences of this model is that the innermost part of AD in RL AGN is disrupted and smeared away by powerful centrifugally-driven jet outflows, leading to the low values of the exponential cutoff in the spectrum of the primary emission (below 100 keV), whereas the high values or absence of the high-energy cut-off are prescribed to RQ AGN spectrum. However, some objects were found which seem to contradict this paradigm [6-9]. That is why it is interesting to compare the high-energy exponential cut-off with the RL/RQ characteristics of AGNs.

In the present paper we obtain main parameters of the hard X-ray spectra (0.5–250 keV) of 79 non-blazar Seyfert galaxies from RXTE spectra & timing database to find the objects with peculiar spectral shape. Additionally, we consider for this aim the objects of INTEGRAL sample we worked out earlier in [10].

In Sections 2 we describe the samples of AGNs we considered, and describe the data and models, and present the best fit individual model parameters of the AGNs of RXTE sample.

In Section 3, we show the resulting subsample of peculiar AGNs from both RXTE and INTEGRAL samples. Finally, in the last section we discuss our results and draw out conclusions.

Sample, data and fitting. We compiled a sample of AGNs from the RXTE AGN spectra and timing database. After excluding blazars and bad datasets, the final sample consists of 79 AGNs, including 10 RL and 69 RQ AGNs. We also included in our consideration the INTEGRAL sample of 95 AGNs we treated earlier in [10].

To perform our spectral fitting, we use the XSPEC 12.8 package of HEASOFT (High Energy Astrophysical SOFTware) software provided by NASA [11].

For the primary spectrum of AGN we used the standard power law with an exponential cut-off at high energies $A_{PL}(E) = KE^{-r}\exp(-E/E_c)$ (*cutoffpl*), where Γ is the photon index and E_c is the cut-off energy. This primary emission is reflected from a neutral or ionized material of an accretion disc or gas-dust torus; to model it we used *pexrav* model [12]. This model describes a power-law emission partially reflected by an infinite flat slab of neutral or ionized medium. To take into account the proper absorption in the investigated object, described by the formula $A_{abs}(E) = \exp\{-N_{\mu}\sigma[E(1+z)]\}$ and

modeled by *zphabs* model in XSPEC. Galactic absorption (in the Milky Way) is also included in all the spectral models, following the data by Kalberla et al.[13] and using the model *phabs* (the same as *zphabs* with the redshift z=0).

Thus the model in XSPEC for S1-S1.5 AGNs schematically looks like:

phabs(N_{HGal})*zphabs*pexrav(Γ , E_c, R).

describing the emission of an AGN "central engine" both direct and reflection fractions (pexrav) with the same low level of absorption, and for S1.7 – S2 AGNs:

$phabs(N_{HGal})^{*}(zphabs^{*}cutoffpl(\Gamma, E_{c}, R)+pexrav(\Gamma, E_{c}, R)),$

describing the sum of strongly obscured direct emission of the "central engine" (*cutoffpl*) and slightly absorbed reflected one (*pexrav*). For each galaxy of the sample, we obtained such spectral parameters as the power-law index, relative reflection parameter *R*,

cut-off energy E_c and intrinsic absorption value. The best-fit parameters are presented in Table 1, together with the errors, lower and upper limits at 90 % confidence level. Below we perform also a correlation analysis of the main spectral parameters, namely "photon index – cut-off energy". The peculiar AGNs addressing the "spin-paradigm" are boldfaced and underlined in the Table 1. Objects with the best-fit value of the high-energy cut-off contradicting the "spin-paradigm" predictions, but with error's level too high to determine this finally (i. e. "candidates to the peculiar subsample"), are underlined only.

Best fit parameters of AGNs of RXTE sample

Table 1

| Source | Class | Г | E _c , keV | R | N _H , 10 ²² cm ⁻² |
|------------------------|------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|--|
| Mkn 335 | RQ NL S1 | 2.60±0.05 | >170 | 4.6±2.7 | 2.3±1.4 |
| <u>RHS 03 (RBS 78)</u> | RQ S1 | 1.37±0.12 | +18 8 -3 | +1.5 2.2 –1.3 | <0.95 |
| Mkn 348 | RQ S2 | 1.77±0.07 | >100 | <7.0 | 24±4 |
| PG 0052+251 | RQ S1.2 | 1.75±0.04 | +42 73 –18 | <0.45 | <1.0 |
| TONS 180 | RQ NL S1 | 2.09±0.15 | 34±21 | <0.3 | <0.5 |
| Fairall 9 | RQ S1 | 1.79±0.03 | >15 | 3.8±0.3 | <1.0 |
| <u>NGC 526A</u> | RQ S1.9 | 1.25±0.05 | 10±1 | 4.2±0.7 | 4100±400 |
| <u>Mkn 590</u> | RQ S1.2 | +0.14 1.59 -0.13 | +9 18 -4 | +1.8 2.7 -1.3 | <1.0 |
| NGC 1052 | RL S2 | 1.97±0.05 | +9 36 -6 | +6 24 -5 | 22±3 |
| NGC 1068 | RQ S2 | 1.62±0.12 | >1400 | <1.16 | >930 |
| 4U 0241+61 | RQ S1.2 | 1.94±0.05 | +189 160 -74 | 1.21±0.26 | 3.35±0.33 |
| RHS 17 | RQ S1 | 2.50±0.11 | >70 | 18±5 | <1.0 |
| <u>4U 0241+611</u> | RQ S1.2 | 1.92±0.06 | 76±64 | 1.5±0.4 | 3.2±0.4 |
| NGC 1386 | RQ S2 | 3.5±1.3 | >3 | <47 | +0.7 2.0 -0.8 |
| <u>3C 111</u> | RL S1 | 1.88±0.01 | >1500 | 0.16±0.05 | 2.7±0.2 |
| <u>3C 120</u> | RL S1 | 1.92±0.01 | 230±40 | 0.38±0.06 | 0.45±0.33 |
| IRAS 04575-7537 | RQ S2 | 2.28±0.04 | 15±1 | 10±2 | $^{+26}_{24 - 10}$ |
| Ark 120 | RQ S2 | 2.07±0.04 | 26±4 | 3.5±0.4 | 0.8±0.2 |
| Pictor A | RQ S1 | 1.35±0.03 | 13±1 | 1.0±0.3 | <1.0 |
| E253-G3 | RQ S2 | +0.8 3.18 –1.9 | >15 | <35 | +42 151 -37 |
| NGC 2110 | RQ S2 | 2.09±0.05 | >500 | 1.1±0.5 | 24±2 |
| <u>MCG+8-11-11</u> | RQ S1 | 1.40±0.04 | 11±1 | 4.8±0.6 | <1.0 |
| PKS 0558-504 | RQ NL S1 | 2.17±0.03 | >289 | <0.22 | <1.0 |
| Mkn 3 | RQ S2 | 1.71±0.06 | >300 | <3.3 | +3.4 8.8 -3.3 |
| <u>Mkn 79</u> | RQ S1.2 | 1.95±0.03 | +30 19 _4 | 8.7±0.9 | <0.9 |
| PG 0804+761 | RQ S1 | 2.12±0.23 | >20 | 2.4±1.2 | <2.4 |
| PKS 0921-213 | RL S1 | 1.70±0.06 | +1700 132 -66 | +0.42 0.50 -0.39 | <0.81 |
| <u>Mkn 110</u> | RQ NL S1.5 | 1.79±0.02 | +25 52 -13 | 0.98±0.01 | 0.81±0.20 |
| NGC 2992 | RQ S2 | +0.10 2.00 -0.09 | +3 16 -2 | +4.1 12.6 -7.8 | +14 15 -13 |
| MCG-5-23-16 | RQ S2 | 2.21±0.03 | >500 | 0.7±0.2 | 33±2 |
| NGC 3227 | RQ S1.5 | 1.20±0.03 | >1300 | 1.9±0.3 | +5 23 -6 |
| NGC 3281 | RQ S2 | 2.6±0.4 | >30 | <4.0 | 300 ⁺⁹ ₋₇ |
| NGC 3516 | RQ S1.5 | 2.14±0.06 | >209 | 2.9±0.5 | 21±3 |
| PG 1116+215 | RQ S1 | 2.35±0.11 | 18±4 | 23±7 | <0.5 |
| NGC 3783 | RQ S1 | 2.00±0.02 | 900±400 | 0.95±0.13 | <0.5 |

End of the table 1

| NGC 3998 | RQ S1 | 2.00±0.06 | +690 106 -50 | <0.39 | <0.5 |
|--|------------|-------------------------|---------------------------|-----------|---------------|
| NGC 4051 | RQ NL S1.5 | 2.59±0.01 | +540 397 –146 | 7.1±0.3 | 1.5±0.2 |
| PG 1202+281 | RQ S1 | 2.2±0.5 | >10 | 0.88±0.09 | <0.5 |
| NGC 4151 | RQ S1.5 | 1.53±0.06 | +32 112 -8 | 9.8±3.3 | 9.8±0.3 |
| PG 1211+143 | RQ NL S1 | 2.41±0.05 | +11 27 -4 | 3.9±1.2 | 9.8±0.3 |
| <u>Mkn 766</u> | RQ NL S1 | 2.12±0.09 | +7 23 _4 | >3.5 | <0.5 |
| NGC 4258 | RQ S2 | 1.34±0.17 | +4 11 -2 | 1.9±1.5 | <0.5 |
| NGC 4388 | RQ S2 | 2.15±0.19 | >500 | 5.6±4.7 | 6.4±0.4 |
| <u>TON 1542 (Mkn 771,</u> <u>Ark 374, RBS 1125)</u> | RQ S1 | 1.8±0.6 | +21 10 -4 | <1 | <0.5 |
| NGC 4507 | RQ S2 | 1.77±0.12 | >500 | 0.57±0.05 | 6.4±0.6 |
| NGC 4593 | RQ S1 | 1.82±0.01 | +2291 1130 -471 | 4.2±0.8 | <0.5 |
| NGC 4945 | RQ S2 | 1.22±0.09 | 143±44 | 4.2±0.8 | 3.2±0.2 |
| Centaurus A (NGC 5128) | RL S2 | 1.86±0.02 | >1000 | < 0.0002 | 12±1 |
| MCG-6-30-15 | RQ NL S1.2 | 2.42±0.01 | >2008 | 3.1±0.1 | 2.7±0.2 |
| IRAS 13349+2438 | RQ S1 | 1.7±0.8 | +20 8 -3 | <22 | <0.5 |
| IC 4329A | RQ S1.2 | 2.05±0.05 | >300 | 0.83±0.09 | 15±3 |
| <u>Mkn 279</u> | RQ S1.5 | 1.7±0.1 | 12±1 | 4.4±1.3 | <0.5 |
| Circinus | RQ S2 | 3.25±0.05 | >2000 | >1000 | 54±2 |
| NGC 5506 | RQ S1.9 | 2.3±0.1 | >800 | 4±1 | 13±3 |
| NGC 5548 | RQ 51.5 | 1.98±0.6 | 287±118 | 0.9±0.2 | 14±2 |
| PG 1416-129 | RQ S1 | 1.4±0.2 | +3505 503 -405 | <4.5 | <0.5 |
| PG 1440+356 (Mkn 478) | RQ NL S1 | +0.6 3.5 –2.5 | >5 | <38.3 | <0.5 |
| MCG-2-40-4 | RQ S2 | 1.8±0.7 | >7 | <6.8 | +24 80 -16 |
| NGC 6251 | RQ S2 | 2.27±0.15 | >60 | 1.3±0.5 | 680±120 |
| NGC 6240 | RQ S2 | 1.96±0.28 | >605 | 5.1±0.6 | 130±20 |
| NGC 6300 | RQ S2 | 2.41±0.09 | +360 354 -250 | >46 | +13 80 -10 |
| PDS 456 | RQ S1 | 3.8±0.2 | >200 | 42±25 | <0.5 |
| <u>3C 382</u> | RL S1 | 1.97±0.01 | >117 | 0.39±0.07 | 1.89±0.23 |
| IRAS 1825-5926 | RQ S2 | 1.9±0.6 | 10±6 | <8.8 | 5.2±1.8 |
| <u>ESO 103-G35</u> | RL 52 | 2.33±0.02 | >70 | >40 | 36±1 |
| <u>3C 390.3</u> | RL S1 | 1.79±0.04 | 126 ^{+/3} -37 | 0.25±0.11 | 1440±250 |
| <u>3C 405</u> (Cygnus A) | RL S2 | 2.81±0.13 | >1000 | <1.7 | 46±1 |
| RHS 56 | RQ NL S1 | 2.4±0.4 | >41 | 4.5±2.1 | <0.5 |
| Mkn 509 | RQ S1.2 | 1.91±0.01 | 466 ⁺²¹¹ 4 | 0.51±0.05 | 0.68±0.15 |
| IC 5063 | RQ S2 | 2.22±0.03 | >290 | 28±12 | 44±2 |
| NGC 7172 | RQ S2 | 2.04±0.02 | >540 | 3.7±1.1 | 25±12 |
| NGC 7213 | RL S1.5 | 1.59±0.08 | 10±3 | 4.9±2.0 | < 0.01 |
| NGC 7314 | RQ 51.9 | 2.25±0.12 | >600 | 1.9±0.5 | 2/±/ |
| <u>Ark 564</u> | RQ NL S1 | 1.70±0.07 | 27 _4 | 0.6±0.2 | 12.2±0.3 |
| MR 2251-178 | RQ S1.5 | 1.78±0.01 | +67 225 -43 | <0.03 | 1.0±0.2 |
| NGC 7469 | RQ S1.2 | 2.1±0.1 | >800 | 0.76±0.25 | 3.0±0.4 |
| MCG-2-58-22 (Mkn 926) | RQ S1.5 | 1.90±0.07 | +375 303 –50 | 0.39±0.15 | 3.4±0.3 |
| NGC 7582 | RQ S2 | 2.35±0.09 | >728 | 120±80 | 50±9 |
| <u>RHS 61</u> | RQ S1 | 1.81±1.11 | +40 8 –4 | <14 | <1.0 |

The Γ vs. E_c diagram for both the objects of RXTE and INTEGRAL samples is shown on the Fig. 1. Correlations for parameters for the total set of the data are shown in the Table 2.

Table 2

| Correlation, parameters -> Object class ↓ | Г, <i>Е</i> с | Г, R | E _c , R |
|--|---------------|-------|--------------------|
| RQ | 0.08 | 0.28 | 0.196 |
| RL | 0.58 | -0.09 | 0.26. |
| all | 0.19 | 0.26 | 0.14 |

Correlation coefficients between spectral parameters for the AGNs of RXTE sample

As we can see we have small correlations between photon index and reflection parameter, as well as between the cutoff energy and reflection parameter, however, we see that the correlation between photon index and cut-off energy is considerable. At the same time, the mean values of these spectral parameters over the subsamples of RL and RQ AGNs do not differ within the error limits: Γ =1.91±0.13 and $E_c = 296^{+690}_{-37}$ keV for RQ AGNs, and Γ =1.73±0.08 and $E_c = 390^{+1000}_{-25}$ keV for RL ones.



Fig. 1. Photon index vs. cut-off energy diagram for the AGNs of RXTE and INTEGRAL samples

Peculiar AGNs and spin-paradigm. Analysis performed had revealed the subsample of AGNs deviating from the "spinparadigm" prescriptions. The "mainstream" of RQ AGNs really follows this pattern, and only 25 objects from 150 (15 % of total number of RQ objects) demonstrate the exponential high-energy cut-off below or near 100 keV. The situation with RL objects is opposite: only 17 of total 35 objects (48 %) have high-energy cut-offs below 100 keV in their spectra. Additionally to the results of the Table.1, the peculiar AGNs found in the INTEGRAL sample are shown in the Table.3 (for these objects the same spectral model was applied in [10] to describe hard X-ray continuum emission above 3 keV). Here the "confirmed" peculiar AGNs with high enough accuracy level of parameters determining are also boldfaced. These sources should be recommended for further more detailed investigations of the full set of data available on them to understand exactly the reason of their contradiction with spin paradigm. Presumably, such high percentage of "spin-paradigm-deviating" AGNs among the RL party can be caused by jet contamination of a primary spectrum of the "central engine".

Conclusions. We have performed the spectral modelling of the RXTE data of 79 non-blazar AGNs from RXTE spectra & timing database, to test the correspondence between their spectral properties and the pattern predicted by the "spinparadigm" model of AGN "central engine". We also used to this purpose the original sample of 95 AGNs observed by INTEGRAL mission which we have investigated earlier in [10].

As a result we have revealed 25 RQ and 17 RL AGNs demonstrating a behaviour contradicting the "spin-paradigm" prescribing low values of high-energy exponential cut-off in RL AGN spectra and higher ones for RQ AGNs. These objects have to be studied in details to clear out the reasons of such contradiction. For instance, the most probable reasons of the great percentage of peculiar RL object can be in fact "fake" caused by the X-ray contamination from the jet. However, in the same time we note, especially for RQ objects, that the percentage of peculiar objects can be a bit higher due to uncorrelated variability in different ranges of energies [15]: a part of objects with a variable spectral shape like NGC 4388 or NGC 4945 [7, 14], can be missed in an investigation like that of the present paper.

Acknowledgements. This research has made use of data and software obtained through the RXTE and INTEGRAL science data centers (ESA); provided by the NASA/Goddard Space Flight Center. The work has been supported by the scientific program "Astronomy and Space Physics" of Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Name

Table 3.

E_c, keV

R

Peculiar AGNs from RXTE and INTEGRAL samples. The dash in the last column (Ec) denotes the absence of high-energy exponential cut-off in th spectrum of an object (cut-off has not been detected)

Г

Class

| IGR J18027-1455 | RQ S1 | 1.52±0.03 | 0.63 ^{+0.68} -0.38 | 110 ⁺¹⁰⁶ -38 |
|-----------------------|-------|--------------------------------|--|----------------------------|
| WKK 1263 | RQ S1 | 1.63±0.03 | 1.51 ^{+0.66} | 119 ⁺¹⁰⁴ |
| GRS 1734-292 | RQ S1 | 1.52±0.01 | 0.38 ^{+0.15} _{-0.19} | 82 ⁺¹¹ -9 |
| IGR J16482-3036 | RQ S1 | 1.59 ^{+0.04} | 1.49 ^{+1.09} | 101 ⁺¹⁵⁰ -37 |
| IGR J17488-3253 | RQ S1 | 1.44±0.02 | 0.18±0.18 | 135 ⁺¹⁴³ |
| SWIFT J1038.8-4942 | RQ S1 | 1.51±0.04 | 1.25±0.38 | 102 ⁺¹²⁸ |
| LEDA 090443 | RQ S1 | 2.28±0.04 | 6.26 ^{+1.36} | 134 ⁺¹²² |
| IGR J07597-3842 | RQ S1 | 1.56±0.01 | 0.61 ^{+0.35} | 71 ⁺¹⁵ |
| NGC 4593 | RQ S1 | 1.76±0.01 | 0.69±0.11 | 122 ⁺⁶⁸ |
| 2E 1853.7+1534 | RQ S1 | 1.89±0.03 | 2.24 ^{+0.93} | 129 ⁺²³² |
| 1A 1343-60 | RQ S1 | 1.65±0.02 | 0.58±0.19 | 110 ⁺³⁷ |
| NGC 4151 | RQ S1 | 1.28±0.02 | 0.05±0.03 | 84±7 |
| M 87 | RL S1 | 2.50±0.01 | 0 | - |
| IGR J13109-5552 | RL S1 | 1.58±0.05 | 1.58 ^{+1.35} | _ |
| 3C 382 | RL S1 | 1.76±0.01 | 0.68±0.19 | 180 ⁺⁶³ -38 |
| 3C 111 | RL S1 | 1.60±0.01 | 0.29±0.11 | 171 ⁺²⁹ |
| 3C 390.3 | RL S1 | 1.78±0.01 | 1.28±0.17 | 217 ⁺⁷⁸ -47 |
| Pictor A | RL S1 | 1.80±0.01 | 0.99±0.23 | - |
| 3C 120 | RL S1 | 1.74±0.01 | 0.25 ^{+17.79} | - |
| QSO B0241+62 | RL S1 | 1.61±0.01 | 1.05±0.13 | 216 ⁺¹⁶¹ -67 |
| S5 2116+81 | RL S1 | 1.96±0.04 | 2.37 ^{+1.15} _{-0.99} | - |
| WKK 6471 | RL S1 | 1.91±0.05 | 0 | - |
| MCG-01-24-012 | RQ S2 | 1.77±0.04 | 1.88 ^{+1.22} | 107 ⁺¹¹⁰ -47 |
| ESO 103-35 | RQ S2 | 1.94±0.03 | 1.89 ^{+0.82} | 119 ⁺⁴⁰ -26 |
| PGC 037894 | RQ S2 | 1.54 ^{+0.06} -0.04 | 1.42 ^{+1.53} | 136 ⁺²³¹ -56 |
| WKK 0560 | RQ S2 | 1.22 ^{+0.10} -0.07 | 1.44 ^{+2.97} | 104 ⁺⁹⁷ -42 |
| NGC 4138 | RQ S2 | 1.36±0.03 | $0.09^{\tiny +0.72}_{\tiny -0.01}$ | 156 ⁺⁵⁰¹ -84 |
| NGC 1194 ¹ | RQ S2 | 1.18±0.15 | 1.15±0.89 | 99 ⁺²⁰⁷ -35 |
| ESO 506-27 | RQ S2 | 1.46±0.01 | 0.73±0.34 | 155±62 |
| IGR J20187+4041 | RQ S2 | 1.57±0.04 | 1.48 ^{+1.31} | 77 ⁺⁴³ -21 |
| IC 4518A | RQ S2 | 1.55±0.01 | 2.62±0.61 | 127 ⁺⁶⁶³ -66 |
| NGC 4992 | RQ S2 | 1.41±0.02 | 0 | +180 179 –100 |
| NGC 6240 | RQ S2 | +0.11 2.70 -0.16 | 0 | +101 100 -61 |
| NGC 1052 | RL S2 | 1.41±0.04 | 0.10 ^{+0.34} | +202 150 -110 |
| Mrk 6 | RL S2 | 1.48±0.01 | 0.52±0.13 | +186 226 –175 |
| 3C 405 | RL S2 | 1.51±0.02 | 0 | +113 175 _57 |

2.67±0.04

1.82±0.02

1.31±0.01

0.59±0.39

0

0

_

References

NGC 1275

NGC 5128

NGC 5252

Sikora M., Stawarz L., Lasota J.-P. // http://www.slac.stanford.edu/cgi-wrap/getdoc/slac-pub-12284.pdf.
 Garofalo D. // Adv. Astron., 2013. – ID 213105.
 Shakura N. I., Sunyaev R. A. // A&A, 1973. – Vol. 24. – P. 337.
 Agol E., Krolik J.H. // Astron. J., 2000. – Vol. 528. – P. 161-170.
 De Rosa A., Bassani L., Ubertini P. et al.// A&A. – 2008. – Vol.483. – P. 749.

RL S2

RL S2

RL S2

^{1.} Garofalo D., Evans D.A., Sambruna R.M. // MNRAS, 2010. - Vol. 406. - P. 975.

7. Fedorova E., Beckmann V., Neronov A., Soldi S.//MNRAS. - 2011. - Vol.417. - P.1140.

8. Soldi S., Beckmann V., Gehrels N., De Jong S., Lubinski P. // 2011, in: proc.of the Workshop "Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe". ArXiv:1105.5993.

- Solid S., Beckmann V., Bassani L., Courvoisier T.J.-L. et al. // A&A, 2005. Vol. 444. P. 431.
 Vasylenko A., Zhdanov V., Fedorova E. // Astroph. Space Sci., 2015. Vol. 360. P. 71.
- Araud K., Gordon C., Dorman B. An X-Ray Spectral Fitting Package // https://heasarc.gsfc.nasa.gov/xanadu/xspec/manual/manual.html.
 Magdziarz P., Zdziarski, A. A. //MNRAS, 1995. Vol. 273. P. 837.
- 13. Kalberla P. M. W., Burton W. B., Hartmann D., Arnal E. M., Bajaja E., Morras R., Poppel W. G. L. // A&A, 2005. Vol. 440. P. 775.
- Fedorova E., Zhdanov V.I. // Kinemat.Phys.Celest.Bodies, 2016. Vol. 32, is.4. P. 172-180.
 Chesnok N.G., Sergeev S.G., Vavilova I.B. // Kinemat. Phys. Celest. Bodies, 2009. Vol. 25, N 2. P. 107–113.

Надійшла до редколегії 15.06.16

Федорова О., канд. фіз.-мат. наук, Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ Василенко А., канд. фіз.-мат. наук, Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ Жданов В., проф., Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

ПЕКУЛЯРНІ АЯГ ЗА ДАНИМИ INTEGRAL ТА RXTE

Проведено аналіз залежності спектральних параметрів первинного континууму активних ядер галактик від типу їх активності в радіодіапазон, використовуючі дані космічних місій INTEGRAL та RXTE з метою перевірки відповідності форми їх спектра до передбачень моделі будови центральної машини АЯГ "спін-парадігма". Е результаті виявлено, що для більшості РТ АЯГ значення експоненційного завалу на високих енергіях значно перевищує 100 кеВ, або навіть відсутнє, що відповідає передбаченням спін-парадигми, тоді як для РГ АЯГ блтзько 25 % обсктів не вкладаються у спін-парадігму і мають експоненційний завал у спектрі на енергіях вище 150 кеВ, або ж не мають такого завалу зовсім. Складено вибірку таких об'єктів для подальшого детального дослідження.

Федорова Е., канд. физ.-мат. наук, Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Киев; Василенко А., канд. физ.-мат. наук, Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев; Жданов В., проф., Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Киев

ПЕКУЛЯРНЫЕ АЯГ ПО ДАННЫМ INTEGRAL И RXTE

Проведен анализ зависимости спектральных параметров первичного континуума активных ядер галактик от типа их активности в радиодиапазоне, с использованием данных космических миссий INTEGRAL и RXTE, для проверки соответствия формы их спект-ров предсказаниям, сделанным на основе модели строения центральной машины АЯГ "спин-парадигма". В результате обнаружено, что для большинства РТ АЯГ значения экспоненциального завала на высоких энергиях сущестенно превишает 100 кеВ, или вообще отсутствует, в соотетствии с предсказаниями "спин-парадигмы", тогда как для РГ АЯГ около 25 % объектов не соотвествуют "спин-парадигме", демонстрируя экспоненциальный завал в спектре на энергиях, превышающих 150 кеВ, или даже не имеют такового завала вообще. Собрано выборку таких объектов для дальнейшего более детального их исследования.

УДК 523.982

В. Лозицький, д-р фіз.-мат. наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ С. Осіпов, канд. фіз.-мат. наук, Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ

ВИМІРЮВАННЯ МАГНІТНИХ ПОЛІВ У СОНЯЧНИХ ПЛЯМАХ ЗА СПЕКТРАЛЬНИМИ ЛІНІЯМИ З РІЗНИМИ ФАКТОРАМИ ЛАНДЕ

Представлено результати прямих вимірювань магнітного поля в сонячних плямах, які спостерігались на горизонтальному сонячному телескопі АЦУ-5 ГАО НАН України у червні-липні 2015 р. Магнітні поля вимірювались за зеєманівським розщепленням кількох ліній Fel, Mnl ma Nil, розташованих у спектрі поблизу ліній Fel 5434.5 Å ma Fel 6093.66 Å. Ефективні фактори Ланде g_{eff} цих ліній – у межах від –0.22 до 2.14. Виявлено суттєві відмінності виміряних напруженостей як для ліній з різними, так і близькими величинами д_{ей}. Лінія Fel 5434.5 Å (д_{ей} = –0.014) у деяких місцях сонячних плям виявляє достовірне розщеплення, що відповідає магнітним полям напруженістю до 2.5 КГс. У всіх досліджених випадках лінія Fel 6094.419 Å з негативним фактором Ланде (g_{eff} = –0.22) розшеплюється у спектрах плям подібно до ліній з позитивним фактором Ланде (geff > 0). Обговорено можливі причини цього ефекту.

Ключові слова: Сонце, сонячні плями, ефект Зеємана, магнітні поля, прямі вимірювання, фактори Ланде.

Вступ. Вимірювання магнітних полів по спектральних лініях з різними факторами Ланде важливі для досліджень магнітних полів, які є неоднорідними у горизонтальній площині. Теоретично при однорідному магнітному полі величина виміряного поля Bobs не повинна залежати від фактора Ланде і має відповідати дійсному магнітному полю Btrue. Однак при неоднорідних магнітних полях це не так; зокрема, якщо спостерігається поверхнева неоднорідність магнітного поля у формі поєднання більш слабкого фонового поля і більш сильного поля, зосередженого у маломасштабних (просторово нероздільних) силових трубках, то за певних умов виникає ефект "зеєманівського насичення" [9]. При цьому лінії з різними факторами Ланде можуть давати суттєво відмінні (у кілька разів) виміряні магнітні поля, якщо використовувати традиційні методи інтерпретації спостережень. Перші результати щодо цього були отримані в роботі [1] магнітографічним методом на основі порівняння даних вимірювань в 13 спектральних лініях. Було виявлено, що для слабких магнітних полів за межами сонячних плям (≤ 100 Гс) існує залежність виміряного поздовжнього

~ 35 ~

магнітного поля B_{\parallel} від фактора магнітної чутливості д λ^2 : в цілому, величина B_{\parallel} тим більша, чим менше д λ^2 . Аналогічна залежність отримана в роботі [5] фотографічним методом по 9 лініях, притому за даними в неполяризованому світлі (стоксовий параметр *I*) і для ширшого діапазону напруженостей, \leq 1000 Гс. На основі розрахунків в рамках двохкомпонентної моделі показано, що подібна залежність виникає при дуже сильних просторово нероздільних магнітних полях (\approx 10 кГс), занурених у більш слабке фонове поле [5].

Одночасно з роботою [1], була опублікована робота Стенфло [12], у якій порівнюються магнітографічні вимірювання методом "відношення ліній" лише у двох лініях, Fe I 5247.1 Å та 5250.2 Å. Вони мають майже однакові глибини формування в атмосфері Сонця і температурні чутливості, але помітно відмінні ефективні фактори Ланде *g*_{eff}, 2.0 та 3.0, відповідно. Для спокійних областей на Сонці знайдено, що *B*_{II} (5247.1) / *B*_{II} (5250.2) ≠ 1; виявилось, що це відношення певним чином залежить від віддалі від центрів вказаних ліній. Було показано, що отримані дані можна пояснити наявністю на Сонці просторово нероздільних (субтелескопічних) силових трубок із дійсним полем *B*_{true} = 1.1–2.3 кГс. Варто зауважити, що висновки робіт [5] та [12] щодо величини *B*_{true} (≈ 10 кГс та 1.1–2.3 кГс, відповідно) не слід вважати суперечливими, оскільки у другому випадку використовувались спектральні лінії з великими факторами Ланде. Вимірювання по таких лініях, з методичних причин, адаптовані на більш вузький діапазон магнітого поля – не вище 4-5 кГс.

Семель [8] порівняв одночасні вимірювання магнітного поля з допомогою лямда-метра у 12 спектральних лініях для різних областей на Сонці: сонячних плям, факелів активних і спокійних областей. Він виявив дуже добре узгодження результатів вимірювань (з точністю до 10 %) для сонячних плям, але значну (до 5 раз) розбіжність отриманих даних для факелів. Це було трактовано як свідчення просторово нероздільної структури магнітного поля за межами сонячних плям.

Стенфло та ін. [13] вивчали статистичні характеристики стоксових профілів / та V для 400 неблендованих ліній Fe I в областях фотосферної сітки та факелів. Спостереження були проведені з фур'є-спектрометром обсерваторії Кітт Пік (США). Зроблено висновок, що величина *B*_{true} у силових трубках дорівнює типово 1.4–1.7 кГс, а фактор заповнення 3–4 % для сітки і 5–15 % для факелів. Окрім того, було знайдено, що для 12 спектральних ліній високих мультиплетів (№ 823–1177) існує суттєва відмінність між теоретичними (для *LS*-звязку) і емпіричними факторами Ланде. Стосовно лінії Fe I 5434.527 Å (мультиплет № 15, g_{eff} = – 0.014) автори зазначають: "Наші дані не показують ознак присутності цієї лінії у стоксових профілях *V*, що відповідає *g*_{eff} = 0". Однак пізніше саме в цій лінії виявлено значне по величині (до 40 мÅ) розщеплення емісійних піків в профілях *I* ± *V*, що спостерігались у потужних сонячних спалахах. Якщо це розщеплення вважати проявами ефекту Зеємана, то відповідна величина магнітного поля – кілька десятків кілогаусс [3, 4].

Венглінський і Лозицький [14] порівнювали магнітні поля у сонячних плямах по 146 лініях різних хімічних елементів, що мають ефективні фактори Ланде *g*_{eff} у межах від 0.50 до 2.50. Виявлено вказівки на негативний висотний градієнт магнітного поля величиною 0...–4 Гс/км, а також залежність виміряного поля *B*_{obs} від величини *g*_{eff}, але лише в області півтіні плями. Розрахунками показано, що фактична величина *B*_{true} локальних магнітних полів має однаковий порядок (~10³ Гс) як у тіні, так і в півтіні плями. Істотно змінюється при цьому лише фактор заповнення площі сильною компонентою: зокрема, в тіні плями він близький до одиниці, тоді як в півтіні – межах 5÷20 %.

Лозицький і Клюєва [7] виявили, що лінія Fe I 5434.527 Å має у деяких місцях тіней плям дуже слабке розщеплення (≤ 5 мÅ), що відповідає магнітним полям *B* ≈ 12.9 ± 3.9 кГс. Відповідні спостережні дані отримані на ГСТ АО КНУ. Важливо з'ясувати, чи існує подібний ефект за даними з іншого інструменту а також у інших сонячних плямах. У цьому відношенні, представляють значний інтерес і інші магніточутливі лінії з невеликими факторами Ланде. Вивчення цих питань на новому спостережному матеріалі і було основним завданням даної роботи.

Спостереження були проведені на горизонтальному сонячному телескопі АЦУ-5 ГАО НАН України. Спектри Сонця реєструвались з допомогою ПЗЗ-камери SBIG ST-8300. Для отримання спектрів *I* + *V* та *I* – *V* використовувалась поляризаційна мозаїка В.Й.Скоморовського [10] і чвертьхвильова пластинка. І поляризаційна мозаїка, і чвертьхвильова пластинка и поляризаційна мозаїка, і чвертьхвильова пластинка розміщувались перед вхідною щілиною спектрографа на відстані близько 1 см. Поскільки ширина смужок мозаїки є досить малою – всього 0.4 мм, і під час спостережень через неї проходили непаралельні пучки променів (діаметр головного дзеркала телескопа 44 см, фокус 17.5 м), неминуче виникало часткове накладання променів ортогональних поляризацій на границях меж сусідніх смужок мозаїки. Щоб зменшити ширину зони такого накладання (яке, по суті, замість спектрів *I* ± *V* дає спектри *I*) доводилося діафрагмувати вхідний пучок по висоті до величини ~12 см. Це практично ніяк не впливало на просторову роздільну здатність прямих спостережень, оскільки в умовах астроклімату Києва дрижання та замивання зображення істотно перевищує дифракційну межу інструмента.

Впродовж червня-липня 2015 р., на АЦУ-5 спостерігались кілька великих сонячних плям недалеко від центра диска Сонця. Зокрема, спостерігались найбільші плями на диску у такі дати: 10, 20, 23 і 26 червня, 8 і 18 липня а також 25 серпня 2015 р. Спектри *I* ± *V* реєструвались в діапазоні приблизно ± 4 Å навколо таких довжин хвиль: 5434.5 та 6094.4 Å (рис. 1). Зареєстровані спектри були виправлені за ефекти площинності поля, паразитичну інтерференцію і кривизну спектральних ліній. У вказаних ділянках спектра спостерігалось одразу кілька ліній із добре видимим зеєманівським розщепленням; зокрема, як видно з рис. 1, у діапазоні λ = 5434.5 Å таких ліній було близько десятка.

Спостереження одного і того самого місця на Сонці виконувались двічі, при різних орієнтаціях чвертьхвильової пластинки, які відрізнялись на 90°. Це робилось для зменшення впливу ефекту Евершеда. Адже різні смужки мозаїки відповідають різним місцям на Сонці, де можуть бути різні допплерівські зсуви Δλ_E. Тому, якщо при першому положенні чвертьхвильової пластинки (яке, умовно, відповідає куту 45°) різниця положень спектральної лінії у двох сусідніх смужках мозаїки була 2Δλ_H + Δλ_E (де Δλ_H – зеєманівське розщеплення), то при куті –45° – вже 2Δλ_H – Δλ_E. Беручи середнє значення, отримуємо лише 2Δλ_H, а по ньому – правильну величину магнітного поля *B*. Правда, це буде лише тоді, коли реєстрація спектрів при обох орієнтаціях чвертьхвильової пластинки відповідає строго одному і тому ж місцю на Сонці. У дійсності ж, внаслідок того, що спектри при цих двох орієнтаціях чвертьхвильової пластинки знімались неодночасно (з інтервалом до 1 хв), дрижання зображення і неточне гідування могло призвести до деякого "сповзання" зображення Сонця на вхідній щілині спектрографа. Однак для центральних частин великих плям, особливо спостережуваних поблизу центра диска Сонця, вплив цих факторів має бути відносно незначним.

Fel 5434.527 Å (g_{eff} = -0.014)



↑ Fel 6093.65 (g_{eff} = 0.33)

Рис. 1. Спостережені картини зеєманівського розщеплення ліній у сонячних плямах для спектральних ділянок поблизу λ = 5434.5 Å (08.07.2015, 7^h 12^m UT, AR 2381) та λ = 6094.4 Å (18.07. 2015, 7^h 20^m UT)

Для ілюстрації на рис. 2 показано розподіл положень спектральної лінії MnI 5432.548 (*g*_{eff} = 2.143) уздовж напряму вхідної щілини інструмента для двох орієнтацій чвертьхвильової пластинки, які представлені кривими з різним типом усереднення (лише згладжені криві для орієнтації пластинки +45°, і незгладжені криві + згладжені – для орієнтації –45°). Ці дані стосуються плями 08.07.2015 р.; загальний вигляд спектра для цього місця на Сонці показаний у верхній частині рис. 1. Тут видно: а) періодичні коливання положення лінії при переході до сусідньої смужки мозаїки і б) дискретна зміна відхилення лінії на протилежне положення при зміні орієнтації чвертьхвильової пластинки. Саме це й доводить магнітну природу цього ефекту. У цьому випадку величина виміряного магнітного поля у деяких місцях плями доходить до 1500 Гс. Однак, як буде показано нижче, величина виміряного поля може суттєво відрізнятись по різних спектральних лініях.





Вказано положення лінії при двох орієнтаціях чвертьхвильової пластинки, які відрізняються на 90°

Результати та їх обговорення. Магнітні поля в плямах вимірювались по спектральних лініях, представлених в таблиці 1. У цій таблиці, фактори Ланде ліній № 3 та 5–8 відповідають лабораторним значенням згідно з роботою [15], для інших ліній фактори Ланде є теоретичними для випадку LS-зв'язку.

Таблиця 1.

Вибрані магніточутливі лінії, за якими вимірювались магнітні поля в сонячних плямах

| № п/п | Елемент, мультиплет | λ, Å | EP, eB | G eff |
|-------|---------------------|----------|--------|--------------|
| 1 | MnI – 1 | 5432.548 | 0.00 | 2.143 |
| 2 | Fel – 1143 | 5432.950 | 4.43 | 0.666 |
| 3 | Fel – 15 | 5434.527 | 1.01 | - 0.014 |
| 4 | Nil – 70 | 5435.871 | 1.98 | 0.500 |
| 5 | Fil – 1161 | 5436.299 | 4.37 | 1.440 |
| 6 | Fil – 113 | 5436.594 | 2.27 | 1.816 |
| 7 | Fel – 1177 | 6093.66 | 4.59 | 0.339 |
| 8 | Fel – 1177 | 6094.419 | 4.63 | - 0.218 |

Вимірювання магнітних полів проводились методом фіксації "центрів ваги" профілів *I* + *V* та *I* − *V*. Різниця положень цих профілів у спектрі вважалась рівною 2∆λ_H. Щоб уникнути суттєвого впливу "шумів" в далеких крилах ліній, приймались до уваги лише центральні частини профілів в межах, що не перевищували напівширину лінії.

Із порівняння даних вимірювань по лініях, представлених у табл. 1, можна зробити такі висновки.

1. Зазвичай лінії з найбільшими факторами Ланде дають найбільші виміряні магнітні поля B_{obs}. Це можна пояснити частковим спектральним розділенням π- та σ-компонентів у ефекті Зеємана при непоздовжніх магнітних полях, коли кут у між силовою лінією і променем зору не дорівнює 0° або 180°. У такому випадку, отримані дані близькі до поздовжньої компоненти вектора магнітного поля, тобто B_{obs} ≈ Bcosγ = B_{||}. Для кількісного порівняння результатів по різних лініях використовувалась відносна величина середнього магнітного поля R_i, обчислена за формулою Семеля [8]

$$R_{i} = \frac{N \sum_{\alpha} B_{i\alpha}}{\sum_{i} \sum_{\alpha} B_{i\alpha}}.$$
(1)

У цій формулі *В*_{іа} означає виміряне магнітне поле в лінії *і* а також в точці а на Сонці; *N* – кількість ліній.

На рис. 3 наведено порівняння величин *R*_i по лініях № 1–6 для сонячної плями 8.07.2015 р. Видно, що лінії з найвищими факторами Ланде (g_{eff} = 1.44–2.14) показують однакове (у межах похибок) відносне поле *R*_i, тоді як лінії з g_{eff} = 0.5–0.7 – достовірно менше (на ≈ 50 %) поле. Таким чином, величина розбіжностей величини *R*_i у нашому випадку значно більша, ніж в роботі Семеля [8]. Це можна пояснити тим, що в роботі Семеля майже всі лінії мають g_{eff} ≥ 1 (лише одна лінія, Fe II 5234.6, має g_{eff} = 0.93). У нашому ж випадку, як видно з табл. 1, п'ять ліній із восьми – це лінії з – 0.22 ≤ g_{eff} ≤ 0.666. Крім того, у різних місцях плям можуть бути ділянки як однакового, так і суттєво відмінного магнітного поля [2, 11].



Рис. 3. Порівняння магнітних полів, виміряних у плямі 8.07.2015 р. за лініями з різними факторами Ланде

2. Лінія Fe I 5434.527 Å (g_{eff} = – 0.014) у деяких місцях плям виявляє дуже слабке розщеплення, що відповідає магнітним полям у 2–2.5 кГс. Це ілюструє рис. 4, де показано положення вказаної лінії у різних смужках мозаїки, але лише при одній орієнтації чвертьхвильової пластинки. Це зроблено для більшої наочності спостережних даних – щоб краще було видно дискретну зміну спектрального положення лінії при переході від однієї смужки мозаїки до іншої. Із рис. 4 видно (особливо в інтервалі значень абсциси 800÷1300), що "центр ваги" лінії періодично змінює своє положення відносно тренду, обумовленого, передусім, ефектом Евершеда. Вважаючи, що ці відхилення від тренду дорівнюють зеєманівському розщепленню Δλ_H, можна знайти величину відповідного магнітного поля. Для наочності по осі ординат наведено відповідну калібровку зміщень лінії в напруженостях, припускаючи g_{eff} = 0.01. З рисунка 4 випливає, що область зареєстрованого розщеплення лінії Fe I 5434.527 Å у плямі була досить значною – вона за-ймала 7 смужок мозаїки, тобто близько 20 Мм на Сонці.

Згідно з рис. З лінія Fe I 5434.527 Å (якій на графіку відповідає точка з g_{eff} ≈ 0), показує в середньому приблизно таке ж виміряне середнє поле, як і лінії з g_{eff} = 1.44–2.14. Однак виявилось, що у різних місцях цієї самої плями а також в інших плямах величина *R*_i для Fe I 5434.527 Å може бути дуже різною – від 0 до 2, тобто навіть значно вищою, ніж в середньому по всіх інших лініях. Наприклад, у тій самій плямі 8.07.2015 р. напруженість магнітного поля по цій лінії досягала 2.3 кГс, тоді як по лініях з великими факторами Ланде – до 1.5 кГс. Це непрямим чином вказує на те, що ця лінія згідно з її емпіричним фактором Ланде (g_{eff} = – 0.014), дійсно може виявляти ознаки ефекту Зеємана у сонячних спалахах [3, 4], але при достатньо сильних магнітних полях. Поскільки таких ознак у сонячних факелах автори роботи [13] не зареєстрували, то це, можливо, вказує на вужчий діапазон напруженостей магнітного поля у факелах.



Рис. 4. Розподіл виміряного положення "центра ваги" лінії Fe I 5434.527 Å вздовж одномірного перерізу плями 8.07.2015 р. Кружечками показані середні положення лінії у кожній смужці, тонкою ламаною лінією – тренд

3. Виявилось також, що у всіх досліджених випадках лінія Fel 6094.419 Å з негативним фактором Ланде (g_{eff}= –0.22) розщеплюється у спектрах плям так, наче в неї позитивний фактор Ланде (g_{eff} > 0). Це не можна пояснити неправильним значенням цього фактора, поскільки у цієї лінії відоме емпіричне його значення (g_{eff} = -0.218), визначене в лабораторних умовах [15]. Також малоймовірним є такий інструментальний фактор, як випадкові зміщення спектральних ліній (наприклад, внаслідок ефекту Евершеда або турбулентності у спектрографі), поскільки вказаний ефект є регулярним і завжди відповідає g_{eff} > 0. Залишаються, таким чином, лише можливі ефекти сонячного походження, а саме такі: а) дійсна зміна полярності магнітного поля у тому діапазоні висот, де формується ця лінія, і б) ефект Пашена–Бака [6]. Щодо першої можливості, то вона уявляється малоймовірною, оскільки близьку висоту формування в атмосфері має також сусідня лінія Fel 6093.66 з позитивним фактором Ланде g_{eff} > 0.33. Вона, як і інші сусідні лінії з geff > 0, завжди показує правильну (не протилежну) магнітну полярність (рис. 1). Щодо ефекту Пашена-Бака, то він можливий для ліній Fel лише при магнітних полях рівня ~105 Гс [6]. Якщо такі поля на Сонці дійсно існують, то ефект Пашена-Бака має виникати передусім у тих спектральних лініях, які відповідають мінімальному енергетичному проміжку між атомними термами сусідніх мультиплетів. Поскільки цей проміжок прогресивно зменшується саме при переході до ліній високих мультиплетів, то той факт, що Стенфло та ін. [13] виявили "неправильні" фактори Ланде саме для ліній високих мультиплетів (№ 823–1177) є вагомим аргументом саме на користь ефекту Пашена-Бака. Однак тоді доводиться припускати, що магнітні поля рівня ~105 Гс зустрічаються не лише у сонячних спалахах, але й у сонячних факелах. На сьогодні це уявляється також малоймовірним, однак потребує додаткової перевірки у майбутньому.

Висновки. Основним висновком роботи є те, що в області сонячних плям магніточутливі лінії Fel 5434.5 Å та Fel 6094.419 Å з ефективними факторами Ланде g_{eff} = -0.014 та - 0.22, відповідно, виявляють ознаки ефекту Зеємана з такими особливостями: а) лінія Fel 5434.5 Å має достовірне розщеплення, що відповідає магнітним полям напруженістю до 2.5 kГc (тобто таким самим за величиною або навіть сильнішим, ніж інші лінії з g_{eff} > 0), б) лінія Fel 6094.419 Å розщеплюється у спектрах плям подібно до ліній з позитивним фактором Ланде (g_{eff} > 0). Другий ефект можна пояснити ефектом Пашена–Бака, але при дуже сильних магнітних полях рівня ~105 Гс. На сьогодні існування таких полів у сонячних плямах є вельми дискусійним і вимагає спеціального розгляду при майбутніх дослідженнях.

Список використаних джерел

1. The comparison of the magnetographic magnetic field measured in different spectral lines / S. I. Gopasyuk, V. A. Kotov, A. B. Severny, T. T. Tsap // Solar Phys., 1973. – Vol. 31, N 2. – P. 307–316.

Lozitsky V. G. Indications of 8-kilogauss magnetic field existence in the sunspot umbra / V. G. Lozitsky // Adv. Space Res., 2016. – Vol. 57. – P. 398–407.
 Lozitsky V. G. Observational evidences for extremely strong magnetic fields in solar flares / V. G. Lozitsky // Intern. J. Astron. Astrophys., 2011. – Vol. 1, N 3. – P. 147–154.

4. Lozitsky V. G. Observations of magnetic fields with strength of a few tesla in solar flares / V. G. Lozitsky (in rus.: Наблюдения магнитных полей напряженностью в несколько тесла в солнечных вспышках) // Kinematics and Phys. of Celestial Bodies, 1998. – Vol. 14, № 5. – Р. 401–414.

5. Lozitsky V. G. On calibration of magnetographic measurements with account of spatially unresolved inhomogeneities / V. G. Lozitsky (in rus.: О калибровке магнитографических измерений с учетом пространственно неразрешимых неоднородностей) // Physica Solariterrestris.. – Potsdam, 1980. – N 14. – P. 88–94.

6. Lozitsky V. G. Solar magnetic fields and Pashen-Back effect / V. G. Lozitsky (in rus.: Солнечные магнитные поля и эффект Пашена–Бака) // Bulletin of Crimea astrophysical observatory, 2009. – Vol. 104, № 6. – Р. 132–137.

7. Lozitsky V. G. Peculiarities of the Zeeman splitting of lines with small Lande factors in a sunspot spectra / Lozitsky V. G., Klyuyeva A. I. (in ukr.: Особливості зеєманівського розщеплення ліній з малими факторами Ланде у спектрі сонячної плями) // Bull. Astron. Shkoly, 2011. – Vol. 7, № 1. – Р. 17–23.

8. Semel M. Magnetic field observed in a sunspot and faculae using 12 lines simultaneously / M. Semel // Astron. and. Astrophys., 1981. - Vol. 97. - P. 75-78.

9. Severny A. B. Some instrumental problems of magnetic field measurements of the Sun and stars / A. B. Severny (in rus.: Некоторые инструментальные вопросы измерения магнитных полей Солнца и звезд) // Bulletin of Crimea astrophysical observatory, 1977. – Vol. 56. – Р. 142–148.

10. Skomorovsky V. I. Mosaic for magnetic field measurements / V. I. Skomorovsky (in rus.: Мозаика для измерения магнитных полей) // Issledovaniye po geomagnetismy, aeronomii s fizike Solnza, 1974. - Vol. 26. - P. 220-221.

11. Solanki S. K. Sunspots: An overview / S. K. Solanki // Astron. Astroph. Rev., 2003. – Vol. 11. – P. 153–286.

12. Stenflo J. O. Magnetic-field structure of the photospheric network / J. O. Stenflo // Solar Phys., 1973. - Vol. 32, № 1. - P. 41-63.

13. Stenflo J. O. Diagnostics of solar magnetic fluxtubes using a Fourier transform spectrometer / J. O. Stenflo, J. W. Harvey, J. W. Brautt, S. Solanki // Astron. Astrophys. - 1984. - Vol. 131. P. 333-346.

14. Venglinsky E. Direct magnetic field measurements in sunspot umbra and penumbra by 146 spectral lines / E. Venglinsky, V. Lozitsky (in ukr.: Прямі вимірювання магнітного поля в тіні й півтіні сонячних плям по 146 спектральних лініях) // Bulletin Kyiv. Nation. Univ., Astronomiya, 2012. – № 49. – Р. 25–27. 15. Zemanek E. N. Splitting of some spectral Fel lines in magnetic field / Е. N. Zemanek, А. Р. Stefanov (in rus.: Расщепление некоторых спектральных

линий Fel в магнитном поле) // Bulletin Kyiv. Nation. Univ., Astronomiya, 1976. – № 18. – Р. 20–36.

Налійшпа до редкопегії 21.10.16

В. Лозицкий, д-р физ.-мат. наук,

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев С. Осипов. канд. физ.-мат. наук.

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев

ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В СОЛНЕЧНЫХ ПЯТНАХ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ЛИНИЯМ С РАЗЛИЧНЫМИ ФАКТОРАМИ ЛАНДЕ

Представлены результаты прямых измерений магнитного поля в солнечных пятнах, которые наблюдались на горизонтальном солнечном телескопа АЦУ-5 ГАО НАН Украины в июне-июле 2015 г. Магнитные поля измерялись по зеемановскому расщеплению нескольких линий Fel, Mnl и Nil, расположенных в спектре поблизости линий Fel 5434.5 Å и Fel 6093.66 Å. Эффективные факторы Ланде д_{ей} этих линий – от –0.22 до 2.14. Обнаружены существенные отличия измеренных напряженностей как для линий с разными, так и близкими величинами geff. Линия Fel 5434.5 Á (geff = – 0.014) в некоторых местах солнечных пятен обнаруживает достоверное расщепление, соответствующее магнитным полям напряженностью до 2.5 kГс. Во всех исследованных случаях линия Fel 6094.419 Å с отрицательным фактором Ланде (g_{eff} = – 0.22) расщепляется в спектрах пятен подобно линиям с позитивным фактором Ланде (g_{eff} > 0). Обсуждены возможные причины этого эффекта.

Ключевые слова: Солнце, солнечные пятна, эффект Зеемана, магнитные поля, прямые измерения, факторы Ланде.

V. Lozitsky, Dr. Sci.,

Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyivo, Kyiv S. Osipov, Ph. D.,

Main Astronomical Observatory of National Academy of Science of Ukraine, Kyiv

MAGNETIC FIELD MEASUREMENTS IN SUNSPOTS USING SPECTRAL LINES WITH DIFFERENT LANDE FACTORS

Results of direct measurements of magnetic fields in sunspots are presented. Observations were carried out in June-July 2015 on Horizontal Solar Telescope AtsU-5 of Main Astronomical Observatory of National Academy of Science of Ukraine. Magnetic fields were measured by the Zeeman splitting of some spectral lines of Fel, Mnl and Nil placed nearly Fel 5434.5 Å and Fel 6093.66 Å. Effective Lande factors of these lines, g_{eff} , are in range from – 0.22 do 2.14. Significant differences were found both for lines with different and closest values of g_{eff} . In some places of sunspots, Fel 5434.5 Å line ($g_{eff} = -0.014$) displays a realible splitting which corresponds to magnetic field strengths up to 2.5 kG. In all cases under study, Fel 6094.419 Å line with negative Lande factor (geff = - 0.22) has the sign of splitting as a line with positive Lande factor (geff > 0). The possible reasons of this effect are discussed.

Key words: Sun, sunspots, Zeeman effect, magnetic fields, direct measurements, Lande factors.

УДК 521

М. Ковальчук, канд. фіз.-мат. наук, Є. Вовчик, канд. техн. наук, М. Стоділка, д-р фіз.-мат. наук, А. Білінський, інж., О. Баран, канд. фіз.-мат. наук, М. Гірняк, інж., К. Мартинюк-Лотоцький, інж., Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка, Львів

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ІСНУВАННЯ ШТУЧНИХ СУПУТНИКІВ ЗЕМЛІ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ОРБІТИ

Для опису руху штучних супутників Землі (ШСЗ) у нецентральному полі земного тяжіння за наявності опору атмосфери використано диференціальні рівняння Лагранжа для елементів орбіти. Досліджено зв'язок між елементами орбіти ШСЗ на певний момент часу та подальшою тривалістю існування супутника. Описано методику, що дає можливість швидко і надійно оцінити час існування ШСЗ на орбіті. Для порівняння наведено спостережувані терміни існування супутників на орбіті, що дало змогу провести тестування запропонованої методики розрахунку. Різниця між розрахованим і спостережуваним часом існування ШСЗ не перевищує 2–3 діб, що достатньо для отримання прогнозів про час життя супутників на орбіті.

Ключові слова: штучні супутники Землі, елементи орбіти, час існування супутника.

Вступ. Одним із важливих питань, що пов'язані з проблемою збурення орбіти ШСЗ, є досить надійне визначення часу його існування на орбіті.

На рух ШСЗ діє цілий ряд збурюючих факторів, найважливішими з яких є:

- 1) несферичність Землі;
- 2) опір атмосфери;
- гравітаційний вплив Місяця і Сонця;
- 4) СВІТЛОВИЙ ТИСКОВАЛЬЧУК М., ВОВЧИК Є., Стоділка М., Білінський А., Баран О., Гірняк М., Мартинюк-Лотоцький К., 2017

Однак найбільші збурення в русі супутників на висотах менше 500 км, а, отже, і в тривалості їх існування на орбіті зумовлені двома першими факторами – нецентральністю поля тяжіння Землі і збільшенням/зменшенням густини атмосфери [1].

Рівняння орбітального руху ШСЗ Збурююча дія гравітації Місяця, Сонця та світлового тиску на рух супутника на висотах менше 500 км є на 2-3 порядки менша від впливу несферичності Землі та опору атмосфери [2]. З огляду на те, цими збуреннями в першому наближенні будемо нехтувати.

Для опису руху ШСЗ в нецентральному полі земного тяжіння за наявності опору атмосфери скористаємося диференціальними рівняннями Лагранжа. Приведемо ці рівняння для елементів орбіти, а саме для довготи висхідного вузла Ω , для нахилу орбіти *i*, для аргументу перицентра ω , для параметра *p*, для ексцентриситету *e* та моменту проходження ШСЗ через перицентр τ на певний момент часу *t* [3]:

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{\sqrt{\mu p}} \frac{\partial R}{\sin i} \frac{\partial R}{\partial i}$$

$$\frac{di}{dt} = -\frac{1}{\sqrt{\mu p}} \frac{\partial R}{\sin i} \frac{\partial R}{\partial \Omega} + \frac{\cos i}{\sqrt{\mu p} \cdot \sin i} \frac{\partial R}{\partial \omega}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{\cos i}{\sqrt{\mu p} \cdot \sin i} \frac{\partial R}{\partial i} - \frac{2\sqrt{p}}{\sqrt{\mu}} \frac{\partial R}{\partial p} + \frac{1 - e^2}{e\sqrt{\mu p}} \frac{\partial R}{\partial e}$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{2\sqrt{p}}{\sqrt{\mu}} \frac{\partial R}{\partial \omega}$$

$$\frac{de}{dt} = -\frac{1 - e^2}{e\sqrt{\mu p}} \frac{\partial R}{\partial \omega} - \frac{p}{\mu e} \frac{\partial R}{\partial \tau}$$

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{p}{\mu e} \frac{\partial R}{\partial e}$$
(1)

У цих формулах через часткові похідні збурюючої (пертурбаційної) функції *R* по елементах орбіти виражені проекції збурюючого прискорення на радіус- вектор *r*, на перпендикуляр до нього в площині еліпса і на перпендикуляр до площини еліпса; µ – маса Землі. Для нашого випадку ця збурююча функція складається із збурюючої функції *R*₁, що описує проекції збурюючого прискорення за рахунок несферичності Землі, та збурюючої функції *R*₂, що описує проекції збурюючого прискорення, що створює сила опору атмосфери:

$$\boldsymbol{R} = \boldsymbol{R}_1 + \boldsymbol{R}_2, \qquad (2)$$

де
$$R_1 = \frac{f\mu}{r} - \frac{\varepsilon}{3r^3} (3\sin^2\psi - 1);$$
 тут $\varepsilon = f\mu a^2 (\alpha - \frac{m}{2}); m = \frac{\upsilon^2}{g_a}a; f$ – прискорення сили земного тяжіння; ψ – геоцентрич-

на широта супутника; α – стиск: α = $\frac{a-b}{a}$, *a* і *b* – екваторіальний і полярний радіуси Землі; υ – кутова швидкість

обертання Землі, g_a – прискорення сили земного тяжіння на екваторі; m – маса супутника.

Рівняння орбіти супутника має вигляд:

$$r = \frac{p}{1 + e \cdot \cos \vartheta} \,, \tag{3}$$

де ϑ – істинна аномалія. Звідси випливає, що мінімальне значення радіус-вектора *r* досягається при $\vartheta = 0$. Тоді відповідна точка орбіти – перицентр – називається перигеєм h_p . Максимальне значення *r* досягається при $\vartheta = \pi$, ця точка називається апогеєм h_p .

Далі приведемо формули для збурюючої функції *R*₂, що описує проекції збурюючого прискорення, що створює сила опору атмосфери:

$$R_2 = \frac{C_D \cdot S}{m} \cdot \frac{\rho V^2}{2} = B \cdot \frac{\rho V^2}{2}, \qquad (4)$$

де *m* – маса супутника (як і в *R*₁), *V* – швидкість руху супутника по орбіті, *C*_D – коефіцієнт аеродинамічного опору, *S* – площа перерізу ШСЗ, поперечного до вектора швидкості *V*, *B* – так званий балістичний коефіцієнт, ρ – густина атмосфери на певній висоті [4].

Для того, щоб система рівнянь (1), що описує рух супутника, була замкнутою, вводиться додаткове диференціальне рівняння, що визначає залежність істинної аномалії від часу *t* [5]:

$$r^{2}\left(\frac{d\Theta}{dt} + \frac{d\omega}{dt} + \cos i\frac{d\Omega}{dt}\right) = \sqrt{pf\mu} , \qquad (5)$$

де похідні $\frac{d\omega}{dt}$ і $\frac{d\Omega}{dt}$ визначаються відповідними рівняннями з системи (1). На основі співвідношення (5) маємо

$$\frac{dt}{d\Theta} = \frac{1}{\sqrt{\frac{pf\mu}{r^2} - \frac{d\omega}{dt} - \cos i}}$$
(6)

Система рівнянь (1) і (6) повністю визначає рух супутника. Вона є системою диференціальних рівнянь відносно елементів орбіти Ω, i, ω, p, e і часу t. Момент часу t і момент проходження ШСЗ через перицентр τ зв'язані з істинною аномалією ϑ рівнянням

$$t - \tau = \frac{p^{3/2}}{\sqrt{f\mu}} \int_{0}^{9} \frac{d9}{(1 + e\cos 9)^2}$$
(7)

При безпосередньому інтегруванні системи рівнянь (1) і (6) числовими методами може накопичитися велика похибка у визначенні шуканих параметрів, оскільки за весь час життя ШСЗ може здійснити навколо Землі тисячі обертів *N*, а крок інтегрування – обмежений. У такому випадку вигідно ввести нову незалежну змінну – аргумент широти

и; цей аргумент зв'язаний кількістю обертів *N* таким співвідношенням: $N = \frac{u}{2\pi}$, а з елементами орбіти – істинною

аномалією ϑ і кутовою відстанню ω від висхідного вузла Ω [5]:

$$u = 9 + \omega \,. \tag{8}$$

Слід зазначити, що інтегрування рівнянь по змінній и є дуже вигідним для розрахунків, оскільки інтегрування по и

проводиться від 0 до 2 π. Для інтегрування був вибраний крок Δ9 = 6°, для рівняння орбіти (3) – крок Δ*p* = 5 км.

Постановка задачі. У даній роботі досліджено зв'язок між елементами орбіти ШСЗ на певний момент часу *t* та подальшою тривалістю існування супутника. Розроблена методика дає можливість швидко і надійно визначити час існування ШСЗ на орбіті.

Спостережуваний матеріал. Вхідні дані, необхідні для розрахунків рівнянь руху 15-ти супутників в елементах орбіти, взяті з бази даних USSTRATCOM [6]. На певний момент часу *t* вони наведені в табл. 1.

У роботі [7] розраховані балістичні параметри $q \sim \frac{1}{B}$, якими ми скористалися для досліджуваних нами супутників.

Оцінка часу існування супутника на орбіті Формули (3) і (7) дають можливість обчислити кількість обертів *N* супутника на орбіті від певного моменту часу *t*:

$$N = 2 \frac{p^2}{r^2} \int_0^9 \frac{\cos \vartheta d\vartheta}{\left(1 + e \cdot \cos \vartheta\right)^3} \tag{9}$$

Таблиця 1

| N⁰ | Nº _{шc3} | Дата на момент <i>t</i> | і, град | Ω , град | е | ω, град | ϑ , град | $n_0^{}$, витків за добу |
|----|-------------------|-------------------------|---------|-----------------|-------|---------|--------------------|---------------------------|
| 1 | 12908 | 02.09.05 | 26.19 | 160.13 | .0551 | 207.60 | 149.40 | 14.92 |
| 2 | 13578 | 02.08.05 | 98.88 | 140.32 | .0021 | 226.30 | 133.70 | 15.28 |
| 3 | 14491 | 16.05.05 | 29.08 | 170.19 | .0059 | 036.40 | 324.00 | 15.51 |
| 4 | 14814 | 01.08.05 | 73.99 | 036.82 | .0007 | 162.45 | 199.87 | 15.65 |
| 5 | 20299 | 02.12.05 | 34.02 | 081.92 | .0772 | 165.10 | 197.39 | 14.49 |
| 6 | 26873 | 02.09.05 | 82.46 | 344.22 | .0006 | 231.08 | 129.01 | 15.85 |
| 7 | 27250 | 02.12.05 | 97.66 | 032.90 | .0014 | 149.05 | 211.20 | 15.41 |
| 8 | 28505 | 02.01.06 | 82.55 | 262.48 | .0120 | 089.41 | 270.60 | 15.79 |
| 9 | 28728 | 01.07.05 | 63.73 | 042.94 | .0406 | 133.10 | 230.44 | 15.16 |
| 10 | 28743 | 16.08.05 | 63.71 | 250.36 | .0331 | 120.96 | 242.52 | 15.27 |
| 11 | 28762 | 08.07.05 | 63.43 | 019.23 | .0408 | 115.19 | 249.21 | 15.10 |
| 12 | 28771 | 02.10.05 | 63.61 | 097.67 | .0351 | 124.50 | 238.91 | 15.21 |
| 13 | 28861 | 08.09.05 | 62.94 | 172.29 | .0328 | 145.96 | 216.33 | 15.15 |
| 14 | 28873 | 27.09.05 | 96.34 | 097.51 | .0020 | 199.59 | 160.46 | 15.88 |
| 15 | 28880 | 13.10.05 | 42.40 | 025.49 | .0108 | 135.33 | 225.37 | 16.03 |

Елементи орбіт ШСЗ

Примітка: колонки: 2 – номер ШСЗ в каталозі USSTRATCOM [6]; 3 – дата на певний момент *t* (число, місяць, останні цифри року); 4 – нахил орбіти *i*; 5 – довгота висхідного вузла Ω; 6 – ексцентриситет *e*; 7 – аргумент перицентра ω; 8 – істинна аномалія 9; 9 – кількість орбітальних обертів супутника за добу *n*₀.

ISSN 1728-3817

Таблиця 2

| Nº | Nº _{шсз} | Дата на момент <i>t</i> | $h_p^{}$, км | $h_a^{}$, км | ∨ [5], м ³ /кг · с ² | <i>q</i> [7], кг∙с²/м³ | Ν | n _{calc} , діб | n _{obs} , діб | Δ_{o-c} , діб |
|----|-------------------|----------------------------|---------------|---------------|---|---------------------------|------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1 | 12908 | 02.09.05 | 306 | 891 | 1446 | 1.035 | 1397 | 93 | 94 | +1 |
| 2 | 13578 | 02.08.05 | 468 | 497 | 1571 | 1.017 | 1545 | 103 | 102 | -1 |
| 3 | 14491 | 16.05.05 | 436 | 517 | 1779 | 1.163 | 1530 | 100 | 102 | +2 |
| 4 | 14814 | 01.08.05 | 472 | 482 | 1787 | 0.642 | 1147 | 75 | 76 | +1 |
| 5 | 20299 | 02.12.05 | 256 | 1531 | 1106 | 1.013 | 1092 | 78 | 80 | +2 |
| 6 | 26873 | 02.09.05 | 429 | 518 | 1708 | 0.866 | 1469 | 93 | 96 | +3 |
| 7 | 27250 | 02.12.05 | 440 | 454 | 1482 | 1.163 | 1275 | 83 | 85 | +2 |
| 8 | 28505 | 02.01.06 | 350 | 500 | 1805 | 0.839 | 1607 | 102 | 104 | +2 |
| 9 | 28728 | 01.07.05 | 262 | 815 | 537 | 1.074 | 500 | 33 | 32 | -1 |
| 10 | 28743 | 16.08.05 | 298 | 731 | 1040 | 1.430 | 727 | 81 | 80 | -1 |
| 11 | 28762 | 08.07.05 | 243 | 800 | 317 | 1.116 | 286 | 19 | 19 | 0 |
| 12 | 28771 | 02.10.05 | 322 | 771 | 886 | 0.694 | 1277 | 84 | 87 | +3 |
| 13 | 28861 | 08.09.05 | 288 | 700 | 1045 | 1.197 | 894 | 59 | 57 | -2 |
| 14 | 28873 | 27.09.05 | 365 | 392 | 444 | 1.040 | 427 | 27 | 29 | +2 |
| 15 | 28880 | 13.10.05 | 307 | 387 | 245 | 1.096 | 224 | 14 | 13 | –1 |

Розраховані і спостережувані терміни існування ШСЗ на орбіті

Примітка: колонки: 2 – номер ШСЗ в каталозі USSTRATCOM [6]; 3 – дата на певний момент t (число, місяць, останні цифри року); 4 і 5 – розраховані висоти перигею h_p і апогею h_a ; 6 – відповідний до них множник v [5]; 7 – балістичний параметр q [7]; 8 – розрахована кількість обертів N від моменту часу t; 9 – розрахований термін існування супутника в добах n_{calc} від моменту t; 10 – спостережуваний час існування ШСЗ в добах n_{obs} від моменту t до дати згорання (дата моменту згорання взята з [8]); 11 – різниця між спостережуваним і розрахованим часом існування ШСЗ в добах Δ_{o-c} .

Для оцінки часу існування супутника перейдемо до інтегрування по змінній и (співвідношення (8)) та скористаємося деякими цілком прийнятними допущеннями: 1) опір атмосфери не викликає збурень довготи вузла Ω , тобто похідна $\frac{d\Omega}{du} = 0$; 2) при малих значеннях ексцентриситету е внаслідок значних змін *r* похідна $\frac{d\Theta}{dt} = 0$; 3) протягом одного оберту зміни параметра р, ексцентриситету е і віддалі перигею від вузла о можна вважати постійними, більше того $\Delta \omega = 0$. Оскільки за один оберт елементи орбіти p і е змінюються дуже мало, можна з високою точністю прийняти, що вказані зміни цих величин за один оберт дорівнюють похідним від цих елементів за кількістю обертів супутника $N: \frac{dp}{dN}$ і $\frac{de}{dN}$, де N пов'язане з u. У свою чергу похідні $\frac{dp}{du}$ і $\frac{de}{du}$ містять постійний множник – балістичний параметр q, який входить до пертурбаційної функції R₂ (4). Цей параметр q пов'язаний з кількістю обертів N супутника на орбіті множником v [3]:

$$N=rac{\mathsf{v}}{q}$$
.

У роботі [5] подані затабульовані величини v у строгій залежності від початкових значень висоти перигею h і висоти апогею h_a.

Отримані результати. Розрахунки часу існування в обертах N досліджуваних ШСЗ на орбіті від певного моменту часу t наведені в табл. 2. Там також міститься перерахунок цього часу на термін існування супутника в добах n_{calc}. Для порівняння наведено спостережувані терміни існування n_{obs} супутників на орбіті, що дало змогу провести тестування розробленої методики розрахунку.

Висновки. Отримані результати показують, що розроблена в даній роботі методика розрахунку часу життя ШСЗ залежно від елементів орбіти на певний момент часу є обґрунтованою, що підтвердили обчислення моментів падіння супутників на спостережуваному інтервалі часу. Різниця між розрахованим і спостережуваним часом існування ШСЗ не перевищує $\Delta_{o-c} = \pm 2 \div 3$ діб. Отже, точність викладеної методики є достатньою для отримання прогнозів про час існування супутників на орбіті. Для подальшого підвищення точності потрібно враховувати динамічну атмосферу та реальний вплив сонячної активності.

Список використаних джерел

^{1.} Duboshin G.N. Celestial mechanics (In Russian: Дубошин Г.Н. Небесная механіка). – М., 1983.

Dubosnin G.N. Celestian mechanics (in rudsian: дробали и rudsian, дробали и rudsian, dr., rudsian, d чное руководство по небесной механике и астродинамике). - М., 1976.

4. Picone J.M., Hedin A.E., Dro D.P., Aikin A.C. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues // J. Geophys. Res. – 2002. – V.107, Issue A12. – P. SIA 15–1– SIA 15–16.
 5. Ohotzimsky D.E., Eneev T.M., Taratinova G.P. Determination the lifetime of an artificial Earth satellite and investigation of the secular disturbations of its

orbit (In Russian: Охоцимский Д.Е., Энеев Т.М., Таратинова Г.П. Определение времени существования искусственного спутника Земли и исследование вековых возмущений его орбиты) // УФН. – 1957. – Т.63, Вып.1. – С. 33–50. 6. USSTRATCOM Satellite Orbits Catalogs [Electronic resource]. – [Cited 2017, 28 Feb.]. – Available from: http://www.space-track.org/

7. Britavsky N.E., Koshkin N.N., Shakun L.S. Prognosys of lifetime of low-orbit cosmic objects (In Russian: Бритаеский Н.Э., Кошкин Н.Н., Шакун Л.С. Прогноз времени существования низкоорбитальных космических объектов) // "Изучение объектов околоземного пространства и малых тел Солнеч-

ной системы" : материалы международной научной конференции. – Николаев: Атолл, 2007. – С. 142–147. 8. Heavens-Above GmbH ("Heavens-Above") hosted by DLR/GSOC [Electronic resource]. – [Cited 2017, 28 Feb.]. – Available from: http://www.heavensabove.com

Надійшла до редколегії 13.03.17

М. Ковальчук, канд. физ.-мат. наук,

Е. Вовчик, канд. техн. наук,

М. Стодилка, д-р физ.-мат. наук,

А. Билинский, инж.,

А. Баран, канд. физ.-мат. наук,

М. Гирняк, инж., К. Мартынюк-Лотоцкий, инж.,

Астрономическая обсерватория Львовского национального университета имени Ивана Франко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СУШЕСТВОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТЫ

Для описания движения искусственных спутников Земли (ИСЗ) в нецентральном поле земного тяготения при наличии сопротивления атмосферы используются дифференциальные уравнения Лагранжа для элементов орбиты. Исследована связь между элементами орбиты ИСЗ на определенный момент времени и дальнейшей продолжительностью существования спутника. Описана методика, дающая возможность быстро и надежно определить время существования ИСЗ на орбите. Для сравнения приведены наблюдаемые сроки существования спутников на орбите, что позволило протестировать предложеной методики расчета. Разница между рассчитанным и наблюдаемым временем существования ИСЗ не превышает 2–3 суток, что достаточно для получения прогнозов времени жизни спутников на орбите.

Ключевые слова: искусственные спутники Земли, элементы орбит, время существования спутника.

M. Koval'chuk, Ph. D., Ye. Vovchyk, Ph. D., M. Stodilka, Dr.Sc., A. Bilinsky, eng., O. Baran, Ph.D., M. Hirnyak, eng., K. Martynyuk-Lototskyy, eng., Astronomical Observatory of Ivan Franko National University of L'viv, L'viv

DETERMINATION OF THE LIFETIME OF ARTIFICIAL SATELLITES OF THE EARTH DEPENDING ON THEIR ELEMENTS OF ORBIT

Lagrange equations for the elements of orbit are used for description of the motion of artificial satellites of the Earth in noncentral Earth's gravity field at the presence of atmospheric drag. Relation between the elements of orbit of satellites at a certain time and further duration of the existence of satellites is investigated. We described the method that enables to define quickly and reliably the lifetime of satellites on an orbit. For comparison, the actual lifetimes of the selected satellites are brought, it gave an opportunity to test the presented calculation method. The error of the calculated and observed times of an existence of satellites does not exceed 2-3 days, so it is sufficiently for predictions of the lifetime of satellites on an orbit.

Key words: artificial satellites of the Earth, elements of an orbit, lifetime of a satellite.

УДК 521.16; 550.34

А. Казанцев, канд. фіз.-мат. наук, Л. Казанцева, канд. фіз.-мат. наук, Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

ПОШУК МОЖЛИВИХ ЗВ'ЯЗКІВ ГРАВІТАЦІЙНОГО ВПЛИВУ СОНЦЯ Й МІСЯЦЯ ІЗ ЗЕМЛЕТРУСАМИ

Якщо існує вплив Місяця й Сонця на виникнення землетрусів, то фізична природа такого впливу може бути лише гравітаційною. Можливий гравітаційний вплив викликає рівнодійна припливних сил цих тіл, а не їх окрема дія. Виконано розрахунки припливних сил Місяця й Сонця та їх рівнодійної для різних моментів часу і координат гіпоцентрів. Наведено попередні висновки про можливий вплив цих двох космічних тіл на виникнення землетрусів для різних точок земної поверхні та різних глибин.

Ключові слова: землетрус, припливна сила, Місяць, Сонце.

Вступ. Вплив Сонця й Місяця на землетруси вивчається вже понад століття. В останні роки кількість публікацій на цю тему зростає. В них гравітаційний вплив космічних тіл цілком логічно розглядається не як причина виникнення землетрусів, а як спусковий механізм, що в окремих випадках приводить до вивільнення енергії, накопиченої в надрах Землі самими ж підземними процесами. У переважній більшості публікацій на цю тему шукаються кореляційні зв'язки між кількістю та потужністю сейсмічних подій із фазами Місяця [3, 5, 6], відстанню Місяця від Землі [4], із періодом доби [5, 6].

Зрозуміло, що спусковий механізм дії Місяця й Сонця на виникнення землетрусів може бути лише гравітаційної природи. Зміщення порід в окремих гіпоцентрах відбувається під дією припливних сил. Припливна сила від окремого тіла (*F*t) є векторною різницею між силою тяжіння з боку даного тіла в точці гіпоцентра *F*h і силою тяжіння в центрі Землі Fc: Ft = Fb – Fc. Якщо точно, то слід казати про дію припливного прискорення, оскільки сила тяжіння зовнішнього тіла в центрі Землі та в гіпоцентрі прикладена до мас істотно різної величини. Оскільки термін "припливна сила" широко вживаний, то і ми також будемо його використовувати.

Зрозуміло, що зміщення порід відбувається під дією та в напрямку рівнодійної припливних сил з боку Місяця (*F*_{tM}) та збоку Сонця (*F*_{tS}). Рівнодійна визначається як векторна сума припливних сил: *F*_{tR} = *F*_{tM} + *F*_{tS}. Саме векторна величина *F*_{tR} має розглядатися як спусковий механізм з боку Місяця та Сонця, що може приводити до виникнення землетрусів. Тому для з'ясування можливого впливу цих космічних тіл на землетруси слід шукати зв'язки характеристик землетрусів (частота, магнітуда, глибина та ін.) із величиною та напрямком *F*_{tR} на моменти виникнення сейсмічних подій. Пошук зв'язків з іншими параметрами (фази Місяця, положення на орбіті та відстані тіл від Землі, час доби та ін.) може лише ускладнити та заплутати дослідження даної проблеми. Особливо сумнівним є пошук кореляцій характеристик землетрусів з періодом доби. Зрозуміло, що кореляція з періодом доби означає кореляцію з положенням Сонця відносно горизонту. А це, у свою чергу, прив'язує виникнення землетрусів до напрямку та величини припливної сили з боку Сонця, що з погляду фізики помилково.

Обчислення та характеристики припливних сил та їх рівнодійної. Припливна сила, як і будь-яка сила є векторною величиною. Для визначення компонент припливних сил з боку Місяця використовувалися аналітичні формули обчислення небесних координат та геоцентричних відстаней Місяця, наведені в [2]. Відмінності відстаней, отриманих за цими формулами із відповідними значеннями, вирахуваними за сучасною програмою DE406/LE406 не перевищують 0.5 %. Компоненти припливних сил з боку Сонця обчислювались за геоцентричними координатами Сонця, отриманими методом чисельного інтегрування рівнянь руху всіх планет Сонячної системи, описаному в [1].

Напрямок припливної сили в певній точці поверхні Землі (чи під нею) має характерну залежність від висоти тіла, яке спричиняє цю силу, відносно горизонту. Така залежність добре відома для Місяця на прикладі припливів та відпливів (рис. 1). Припливна сила направлена в зеніт, якщо Місяця знаходиться як у зеніті, так і в надирі. Тоді спостерігаються припливи. Якщо Місяць знаходиться поблизу горизонту (*hM* = –0.5°), то припливна сила направлена в вертикально вниз (в надир). При цьому відбуваються відпливи. Оскільки нас цікавлять припливні зміщення не в океані, а в тілі Землі, то напрямок припливної сили вказує на розтягування та стиснення кори чи нижніх земних шарів.

Зазвичай вважається, що припливна сила з боку Місяця приблизно в два рази перевищує припливну силу з боку Сонця. Однак це лише усереднене в часі співвідношення. Інколи величина **F**_{tM} у 5 разів перевищує величину **F**_{ts}, а іноді ці сили майже зрівнюються (рис. 2).





Рис. 2. Зміна із часом відношення припливних сил Місяця та Сонця протягом 15 діб

JD

7540.0

7544.0

7548.0

На рис. 2 по осі абсцис відкладені юліанські дні, зменшені на 2450000, що відповідає датам від 22.05.2016 р. до 06.06.2016.р. Наведена залежність зайвий раз свідчить про безпідставність пошуків зв'язків землетрусів із окремими параметрами Місяця чи Сонця. Величина рівнодійної припливних сил також помітно залежить від висоти напрямку вектора *F*_{tR} відносно горизонту, *h* (рис. 3). Залежність *F*_{tR}(*h*) обчислена на інтервалі часу однин рік і покриває весь можливий діапазон змін.

Із рис. З видно, що величина рівнодійної, направленої вертикально вниз ($h = -90^{\circ}$) приблизно в два рази менше величини цієї сили, направленої вертикаль вгору ($h = +90^{\circ}$). Отже, припливна сила стиснення земної кори приблизно в два рази менша сили розтягування. Така особливість припливної сили також може заслуговувати на увагу при пошуках зв'язків із землетрусами. Діапазон змін величини F_{tR} істотно різний для різних широт. При невеликих широтах ($-25^{\circ} < \phi < 25^{\circ}$) максимальне значення рівнодійної в одному пункті на поверхні Землі може перевищувати мінімальне в 40 разів, поблизу полюсів ($85^{\circ} < \phi$ та $\phi < -85^{\circ}$) – менше ніж у два рази (рис. 4). Найбільших значень величина F_{MS} досягає в зоні широт $\pm 30^{\circ}$.

Отримані й інші особливості сили **F**_R для різних широт та глибин. Зокрема, на високих широтах (80° < φ та φ < –80°) рівнодійна постійно направлена під землю. Зрозуміло, що припливні сили, як і їх рівнодійна зменшуються з глибиною. На глибинах 700 км рівнодійна на 12 % менша, ніж на поверхні. Можна зробити припущення, що вплив Місяця й Сонця буде сильніше впливати на виникнення землетрусів на відносно менших глибинах та поза межами полярних зон Землі.



Рис. 3. Залежність величини рівнодійної припливних сил від її напрямку відносно горизонту

Відносно менша кількість землетрусів на великих широтах підтверджується наявними даними. В нашому розпорядженні є база даних понад 50000 сейсмічних подій за 2001–2011 р., отриманих від філіалу Головного центру спеціального контролю національного космічного агентства України (Макарів 1). За цими даними кількість землетрусів (на одиницю площі поверхні) на високих широтах (70° < φ та φ < –70°) щонайменше в двічі менше, ніж в екваторіальних та середніх широтах, де й розташовані головні сейсмічно активні зони Землі. Таке розташування сейсмічно активних зон не варто пояснювати сильнішим сучасним впливом Місяці й Сонця. Однак, зрозуміло, що різниця припливних космічних тіл для різних широт Землі діє протягом сотень мільйонів років. Тому така відмінність за тривалий час могла сприяти більш швидкому затуханню тектонічних процесів на великих широтах порівняно з меншими широтами.



Рис. 4. Зміна величини *F*_{tR} протягом року для широти 25° (а) та для широти 85° (b)

Оскільки гравітаційний вплив Місяця й Сонця, як спускового механізму у вогнищі землетрусу має визначатися величиною та напрямком сили *F*_{tR}, то зрозуміло, що однакові значення цієї сили будуть по різному діяти в кожному гіпоцентрі. Адже в кожному гіпоцентрі для вивільнення накопиченої енергії землетрусу потрібно задіяти різний за напрямком та величиною спусковий механізм. Отже, реальний фізичний вплив Місяця й Сонця на землетруси слід аналізувати для окремих гіпоцентрів чи близько розташованих зон.

Висновки. Якщо існує вплив Місяця й Сонця на виникнення землетрусів, то фізична природа такого впливу може бути лише гравітаційною. Можливий гравітаційний вплив викликає рівнодійна припливних сил Місяця й Сонця, а не їх окрема дія. Вплив Місяця й Сонця буде сильніше впливати на виникнення землетрусів на відносно менших глибинах та поза межами полярних зон Землі.

Вплив Місяця й Сонця на землетруси слід аналізувати для окремих гіпоцентрів чи близько розташованих зон. Для цього потрібно мати якомога повніший масив даних землетрусів у гіпоцентрі та точні розрахунки рівнодійної припливних сил.

Список використаних джерел

1. Kazantsev A. M. The simple numerical method of near-Earth asteroids orbits calculations / A. M. Kazantsev (in rus.: Казанцев А. М. Простой метод численных расчетов эволюции орбит околоземных астероидов) // Astron. Vestnik, 2002. – Vol. 36. – № 1. – Р. 48–54.

Reference guide on celestial mechanics and astrodynamics; Eds. G. N. Duboshina (in rus.: Справочное руководство по Небесной механике и астродинамике; под ред. Г. Н. Дубошина). – Moscow : Nauka, 1978. – 852 р.
 Chen L. Correlations between solid tides and worldwide earthquakes M_S ≥ 7.0 since 1900 / L. Chen, J. G. Chen, Q. H. Xu // Natural Hazards and Earth

 Chen L. Correlations between solid tides and worldwide earthquakes M_S ≥ 7.0 since 1900 / L. Chen, J. G. Chen, Q. H. Xu // Natural Hazards and Earth System Sci., 2012. – Vol. 12, Is. 3. – P. 587–590.

Knopoff L. Correlation of Earthquakes with Lunar Orbital Motions / L. Knopoff // The Moon, 1970. – Vol. 2, Is. 2. – P. 140–143.
 Sadeh Dror S. Search for sidereal periodicity in earthquake occurrences / Dror S. Sadeh, Meir Meidav // J. of Geophysical Research, 1973. – Vol. 78, Is. 32. – P. 7709–7716.

 Weems Robert E. Strong correlation of major earthquakes with solid-earth tides in part of the eastern United States / Robert E. Weems, H. Jr. Perry William // Geology, 1989. – Vol. 17, Is. 7. – P. 661.

Надійшла до редколегії 12.07.16

А. Казанцев канд. физ.-мат. наук, Л. Казанцева, канд. физ.-мат. наук, Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Киев

ПОИСК ВОЗМОЖНЫХ СВЯЗЕЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ СОЛНЦА И ЛУНЫ С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Если существует влияние Луны и Солнца на возникновение землетрясений, то физическая природа такого влияния может быть лишь гравитационной. Возможное гравитационное влияние вызывает равнодействующая приливных сил этих тел, а не их отдельное действие. Выполнены расчеты приливных сил Луны и Солнца и их равнодействующей для различных моментов времени и координат гипоцентров. Сделаны предварительные выводы о возможном влиянии этих двух космических тел на возникновение землетросений для разных точек земной поверхности и глубин гипоцентров.

Ключевые слова: землетрясение, приливная сила, Луна, Солнце.

A. Kazantsev, Ph. D., L. Kazantseva, Ph. D.

Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

A SEARCH FOR POSSIBLE CONNECTIONS OF GRAVITATIONAL INFLUENCE OF THE SUN AND THE MOON WITH EARTHQUAKES

If there is an influence of the Moon and Sun on occurrence of earthquakes, the physical nature of such influence can only be the gravitational. A possible gravitational influence is caused by the resultant tidal forces of those bodies, but not by their separate actions. There were calculated tidal forces of the Moon and the Sun and their resultant force for different time moments and hypocenter coordinates. Previous conclusions about a possible influence of those two cosmic bodies on occurrence of the earthquakes in different coordinates and depths of the hypocenters were made. Key words: earthquake, tidal force. Moon, Sun.

УДК 524.8

С. Парновський, д-р фіз.-мат. наук, Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

ВЕЛИКОМАСШТАБНІ РУХИ ГАЛАКТИК: ПЕРЕВІРКА МОДЕЛІ DIPOLE REPELLER ЗА ДАНИМИ ПРО RFGC ГАЛАКТИКИ

Показано, що дані про колективні рухи галактик каталогу RFGC не підтверджують і не суперечать гіпотезі про існування двох атракторів, які домінують у полі колективних швидкостей нехабблівських рухів галактик, один з яких є відштовхувачем. Відхилення спостережувальних даних від тих, що передбачає мультипольна модель з додатковим атрактором, істотно не зменшуються порівняно з мультипольною моделлю без атрактора.

Вступ. Причиною великомасштабних рухів галактик є неоднорідності у густині матерії, разом з темною, у різних ділянках Всесвіту. На масштабах менших за 200–300 h⁻¹ Мпк він достатньо неоднорідний. Є місця зі збільшеною густиною матерії, наприклад надскупчення галактик, є пустоти або войди, де густина матерії значно менша за середню фонову густину *ρ*_b. Контраст густини δ характеризує відхилення густини у певному місці *ρ*(*r*) від середньої та дорівнює

$$\delta(\vec{r}) = \frac{\rho(r)}{\rho_b} - 1.$$
⁽¹⁾

Зрозуміло, що ця величина може бути від'ємною у областях з меншою густиною, але $\delta > -1$. У надскупченнях ця величина натомість може бути досить великою. Утворення надскупчень є результатом росту початкових флуктуацій густини на більших масштабах, ніж утворення маломасштабних флуктуацій маси. У лінійній теорії збурень вони пов'язані співвідношенням

$$\delta_c = b_c \delta , \qquad (2)$$

де δ_c – це контраст густини у кластерах (скупченнях), δ – це контраст густини для галактик, а b_c – так званий параметр байсінгу. Разом із відсотком середньої густини матерії від критичної густини ρ_{cr} , який позначають $\Omega_m = \rho / \rho_{cr}$, він входить у формули, які описують нехабблівський великомасштабний колективний рух галактик [7]:

$$\vec{v}(\vec{r}) = \frac{\beta}{4\pi} \int \delta(\vec{r}') \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{\left|\vec{r} - \vec{r}'\right|^3} d^3 \vec{r}', \ \beta \approx \frac{\Omega_m^{0.6}}{b_c}.$$
 (3)

За спостережними даними $\beta \approx 0.2$.

За астрономічними спостереженнями ми можемо визначити тільки радіальну складову швидкості колективного руху галактик. Тому ми маємо справу зі спостережним полем радіальної складової швидкості колективного руху галактик. В наших роботах ми зазвичай моделюємо її за допомогою мультипольної моделі колективних великомасштабних рухів галактик, яка докладно описана у статтях [4, 5].

У 2017 р. вийшла робота [1], в якій стверджується, що за даними проекту Cosmicflows-2 у полі нехабблівських швидкостей на масштабах до 100 h⁻¹ Мпс домінують два атрактора. Один з них це концентрація Шеплі, розташована у області з супергалактичними координатами SGX=–123 h⁻¹ Мпс, SGY=74 h⁻¹ Мпс та SGZ=–3 h⁻¹ Мпс. Другий це не атрактор, а репеллер (відштовхувач), тобто войд. Він розташований у області з супергалактичними координатами SGX=100 h⁻¹ Мпс. Обидва атрактори розташовано далеко за межами області відстаней до 100 h⁻¹ Мпс від нас.

Метою даної роботи є перевірка гіпотези про ці два атрактора, висунутої у [1], за даними про променеві швидкості, ширини ліній випромінювання HI та інші параметри галактик каталогу RFGC.

Мультипольна модель колективних рухів галактик. Зазвичай ми застосовуємо мультипольну модель, описану у [4, 5]. Вона існує у декількох варіантах. Простіша D-модель є сумою хабблівського розширення та bulk motion або однорідного руху (дипольна компонента). DQ-модель додає квадрупольну компоненту, яка описується 5 параметрами, а DQO-модель ще 10 компонентів, які описують октупольну компоненту руху. Окрім того, спеціально для цієї роботи ми застосуємо хабблівську модель без нехабблівських рухів у вигляді

$$V = R = (C_1 + C_2 B + C_3 BT + C_4 U) \frac{W}{a} + C_5 \left(\frac{W}{a}\right)^2 + C_6 \frac{1}{a}.$$
 (4)

Тут V – радіальна складова швидкості, W – ширина лінії випромінювання HI, *a* – кутовий розмір галактики на ESO/SERC репродукції, а *T* та *U* описано в [4, 5]. До цієї величини додаються мультипольні компоненти, утворюючи відповідну модель руху.

Включення окремих атракторів. На тлі поля швидкостей мультипольної моделі колективного руху можна розглядати вплив окремих атракторів. Це розглядалося у роботі [6]. Ситуація спрощується через те, що атрактори у Концентрації Шеплі та репеллер розташовані за границею області відстаней до 100 h⁻¹ Мпк, де знаходяться галактики вибірки, тому їх внесок у поле швидкостей не залежить від профілю густини, а згідно з (3) тільки від загальної надлишкової маси. Для *j*-ї галактики внесок у радіальну швидкість, спричинений впливом і-го атрактора, дорівнює [6]

$$\Delta v_{j} = \beta \sum_{i=1}^{N} \frac{\mu_{i}}{r_{ij}^{2}} \cos(\theta_{ij}), \quad r_{ij}^{2} = (x_{i} - x_{j})^{2} + (y_{i} - y_{j})^{2} + (z_{i} - z_{j})^{2}, \quad \cos(\theta_{ij}) = \frac{x_{j}(x_{i} - x_{j}) + y_{j}(y_{i} - y_{j}) + z_{j}(z_{i} - z_{j})}{r_{ij}\sqrt{(x_{j}^{2} + y_{j}^{2} + z_{j}^{2})}}, \quad (5)$$

де *N* – кількість атракторів (в нашому випадку два) з надлишковими масами µ_i, використано вирази для відстаней між галактикою та атрактором *r_{ij}* та косинусом кута між напрямками від спостерігача до галактики та від галактики до атрактора, відповідно.

| Модель | Без атракторів | | Відношення RSS | | |
|-------------|----------------|---------|--|---|--------|
| | σ, км/с | σ, км/с | µ₁βН ^² ·10 ⁻¹⁰ , (км/с) ³ | μ ₂ βH ² ·10 ⁻¹⁰ , (км/с) ³ | A |
| Хабблівська | 1169.3 | 1159.4 | 4,4±1.1 | 2,2±3.3 | 1.0185 |
| D | 1158.7 | 1155.4 | -0,9±1.6 | -5,4±1.9 | 1.007 |
| DQ | 1151.3 | 1151.7 | 0,8±2.6 | -3,3±3.3 | 1.0008 |
| DQO | 1137.7 | 1133.6 | 14,1±4.5 | -7,9±5.7 | 1.009 |

Порівняння застосування мультипольних моделей з атракторами та без них до RFGC галактик

Вибірка та результати її опрацювання. Ми використовуємо вибірку галактик каталогу RFGC [2,3], для яких є дані про їх червоні зміщення та ширини ліній випромінювання, точніше її підвибірку, обмежену за відстанями R<100h⁻¹ Мпк, яка містить дані 1459 галактик. Деталі дивись у роботі [4] та посиланнях там. Результати її опрацювання в рамках D-, DQ- та DQO-моделей наведено у [4]. Додаємо до них ще суто хабблівську модель. Крім того розглядаємо моделі, де на тлі рухів, які описуються всіма цими моделями додано два атрактори у точках (SGX=–123, SGY=74, SGZ=–3) h⁻¹ Мпс та (SGX=110, SGY=–60, SGZ=100) h⁻¹ Мпс, в яких знаходяться два домінуючих атрактора згідно з роботою [1]. У табл. 1 наведено значення та похибки надлишкових мас атракторів а також середньоквадратичні похибки розглянутих моделей о. При розрахунках о ми вважаємо, що кожний з двох атракторів має одну ступінь вільності, що відповідає зміні µ, незважаючи на те, що його координати отримано у [1] при опрацюванні даних про колективні рухи галактик, бо опрацьовувались дані зовсім інших вибірок та зовсім іншим методом, а саме фільтром Вінера. В останній колонці дано відновидення RSS для 1459 RFGC галактик для мультипольних моделей без атракторів до RSS моделей з атракторами. Літерою *H* позначено сталу Хаббла. Для отримання коефіцієнтів та їх похибок застосовують метод найменших квадратів, причому це вимагає ітераційної процедури.

Висновки. За даними табл. 1 можна зробити наступні висновки. Включення до моделі двох додаткових атракторів зменшує залишкове квадратичне відхилення RSS, але незначно. Відношення А для мультипольних моделей слабо відрізняється від одиниці. Але за рахунок значного об'єму вибірки відповідні коефіцієнти Фішера відповідають статистичній значущості включення пари атракторів. Виключенням є DQ-модель, де коефіцієнт Фішера малий та значення о збільшується через зменшення кількості ступенів вільності. У всіх випадках додавання наступного мультиполя поля швидкостей є ефективнішим, ніж додавання пари атракторів. Величини µі є нестабільними і часто їх значення є меншим або на рівні похибок. Через спробу відтворити складне поле полем двох атракторів змінюється не тільки величина, але й знак µі.

Загалом гіпотеза про два атрактора, що домінують у полі швидкостей, не суперечить даним про колективні рухи галактик каталогу RFGC, але не підтверджується ними. Оцінки надлишкової маси цих атракторів є ненадійними.

Таблиия 1

Список використаних джерел

1. The Dipole Repeller / Y. Hoffman, D. Pomarède, R. B. Tully, H. Courtois // Nature Astronomy, 2017.- Vol. 1, article 36.

2. Karachentsev I. D. Flat Galaxy Catalogue / I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, S. L. Parnovsky // Astronom. Nachrichten, 1993 - Vol. 314 - P. 97-222.

Revised Flat Galaxy Catalogue / I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, Yu. N. Kudrya et al. // Bull. SAO, 1999 – Vol. 47 – P. 5–185.
 Parnovsky S. Large-scale collective motion of RFGC galaxies in curved space-time / S. Parnovsky, A. Parnovski // Astrophysics and Space Sci., 2011.

4. Parnovsky S. Large-scale collective motion of RFGC galaxies in curved space-time / S. Parnovsky, A. Parnovski // Astrophysics and Space Sci., 2011. – Vol. 331. – P. 429–440.

5. Parnovsky S. Investigation of large-scale motions based on RFGC catalogue / S. Parnovsky (in ukr.: Дослідження великомасштабних колективних рухів галактик на основі каталогу RFGC) // Bull. Kyiv National Taras Shevchenko University. Astronomy, 2010. – № 46. – Р. 26–29.

6. Parnovsky S. An impact of nearby attractors on the collective peculiar motion on galaxies / S. Parnovsky (in ukr.: Вплив близьких атракторів на на великомасштабні пекулярні рухи галактик) // Bull, Kyiv National Taras Shevchenko University. Astronomy, 2016. – № 2(54). – Р. 38–41.

7. Peebles P. J. E. The Large Scale Structure of the Universe / P. J. E. Peebles // – Princeton: Princeton Univ. Press, 1980.

Надійшла до редколегії 15.02.17

Parnovsky S. L.

LARGE-SCALE GALACTIC MOTIONS: TEST OF THE DIPOLE REPELLER MODEL WITH THE RFGC GALAXIES DATA

The paper "The Dipole Repeller" in Nature Astronomy by Hoffman et al. state that the local large-scale galactic flow is dominated by a single attractor – associated with the Shapley Concentration – and a single previously unidentified repeller. We check this hypothesis using the data for 1459 galaxies from RFGC catalogue with distances up to 100 h^{-1} Mpc. We compared the models with multipole velocity field for pure Hubble expansion and dipole, quadrupole and octopole motion with the models with two attractors in the regions indicated by Hoffman et al with the multipole velocity field background. The results do not support the hypothesis, but does not contradict it. In any case, the inclusion of the following multipole is more effective than the addition of two attractors. Estimations of excess mass of attractors vary greatly, even changing their sign depending on the highest multipole used in model.

Парновский С.

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ГАЛАКТИК: ПРОВЕРКА МОДЕЛИ DIPOLE REPELLER ПО ДАННЫМ О RFGC ГАЛАКТИКАХ

Показано, что данные про коллективные движения галактик каталога RFGC не подтверждают и не противоречат гипотезе о существовании двух атракторов, доминирующих в поле скоростей нехаббловских движений галактик, один из которых является отталкивателем.

УДК 526.3; 523.68; 523.683

П. Козак, канд. фіз.-мат. наук, Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

ДОТИЧНІ ДО ЗЕМНОЇ АТМОСФЕРИ МЕТЕОРИ

Запропоновано огляд описаних у літературі дотичних до земної атмосфери метеорів, які спостерігалися оптичними методами. Описано результати спостережень такого метеора, зареєстрованого в Києві 23 вересня 2003 р. за допомогою телевізійних камер типу супер-ізокон. Наведено кінематичні параметри траєкторії метеора в земній атмосфері та елементи його геліоцентричної орбіти. Проведено порівняльний аналіз інших метеорних каталогів щодо наявності в них та кількості таких аномальних метеорів.

Ключові слова: метеори дотичні до земної атмосфери; фізика метеорів; відео спостереження метеорів.

Вступ. Класичний розвиток метеора в атмосфері планети передбачає ряд послідовних процесів: нагрівання метеорного тіла, плавлення, та випаровування. Паралельно зі згаданими термодинамічними процесами метеор також гальмується. На практиці процес плавлення метеора як окрема складова його розвитку в атмосфері ігнорується через його швидкоплинність по відношенню до двох інших процесів. Таким чином розглядається спочатку процес нагрівання метеороїда до температури кипіння (випаровування) – абляції, де в якості питомої теплоємності частинки приймається сумарна енергія необхідна для нагрівання та плавлення одного грама речовини. Якщо частинка мала та випаровується досить швидко – за час менше однієї секунди – гальмуванням також нехтується. Також для маломасових метеороїдів можна прийняти що тіло ізотермічне по всьому об'єму, тобто прогрівається одночасно, і використовувати спрощені рівняння нагрівання та випаровування тіла як рідкої краплі, розробленої в [1, 2], а також описаної в [3].

Швидкість абляції метеора, а відтак і форма кривої блиску яка спостерігається, залежить як від внутрішніх характеристик тіла – в першу чергу густини та так званої пористості – так і від початкових кінематичних параметрів метеора – маси, швидкості та кута входження в атмосферу (зенітної відстані радіанта). Очевидно, що при визначених масі та швидкості метеороїда швидкість абляції буде пропорційна швидкості зростання густини атмосфери. Тобто вона буде максимальна для тіла, що входить в атмосферу вертикально, і мінімальна для тіл, які летять майже горизонтально. При цьому легко уявити, що такі горизонтальні, або дотичні до атмосфери метеори при деяких умовах, а саме при великій висоті перигею, можуть і не досягти температури випаровування, і пролетіти через верхні шари атмосфери лише злегка загальмувавшись та нагрівшись. Такі частинки з перигеями на висотах більше ~130–140 км не спостерігаються як метеори. Маломасові (10⁴ ÷ 1 г) частинки з дещо нижчими перигеями на висотах ~100–120 км можуть або перетворитись на метеор, або ні – залежно від маси та швидкості. Очевидно, в ряді випадків частинки, які перетворилися на метеор можуть пролетіти через перигей і далі досягти знову розріджених шарів атмосфери зберігши частину своєї маси. Такі частинки летять далі в космічний простір змінивши свою масу, а в деяких випадках і швидкість, дещо міняючи таким чином елементи своєї геліоцентричної орбіти. Очевидно, метеороїди з великими масами, та особливо з малими швидкостями, можуть пролетіти через перигей і на набагато менших висотах. Тим не менш, не дивлячись на очевидність існування таких аномальних метеорів кількість офіційно зареєстрованих та описаних в літературі дотичних метеороїдів на сьогодні дуже мала.

Найбільш відомий болід, зареєстрований багатьма випадковими свідками візуально та за допомогою побутових фотоапаратів пролетів в денний час над територією західної частини США та Канадою 10 серпня 1972 р. Болід був дуже яскравим – порядку -15^m ÷ -18^m і мав масу, за розрахунками [4] порядку 10⁵ ÷ 10⁶ кг, тобто 100–1000 тон. Мінімальне зближення з Землею – перигейна відстань – була ~58 км, довжина траєкторії що супроводжувалася світінням – близько 1500 км, швидкість метеороїда – близько 15 км/с (протягом руху в атмосфері зменшилася до 14.2 км/с). За розрахунками [4] зустріч космічного тіла з Землею змінила його астероїдну групу з Амура на Аполлона.

Інший випадок реєстрації дотичного до атмосфери тіла описаний у [5]. Болід -6^m пролетів 13 жовтня 1990 р. над територією Чехії та Польщі, та був зареєстрований Європейською Болідною Мережею. Космічне тіло пролетіло за 9.6 с шлях 409 км, при цьому мало початкову швидкість 41.7 км/с. Початкова маса тіла була оцінена в 44 кг, з яких випарувалось лише 0.35 кг. Перигейна відстань склала приблизно 98.7 км.

Ще один випадок є менш достовірним та був представлений лише на конференції [6]. Від описує реєстрацію боліда -8^m за допомогою Японської любительської відео-мережі метеорних спостережень SonotaCo [7], який пролітав близько 30 с (порядку 1000 км) над територією Японії 29 березня 2006 р. Цей болід було зареєстровано також за допомогою спектральних приладів.

Останній випадок реєстрації дотичного метеора було наведено в [8]. Яскравий метеор приблизно -4^m було зареєстровано над Іспанією 10 червня 2012 р. Протягом ~17 с метеор спостерігався з кількох спостережних станцій Іспанської Метеорної Мережі, та пролетів близько 510 км з швидкістю ~29 км/с. Його висота в перигеї була оцінена як ~98 км, а втрачена маса склала ~260 г.

У даній роботі приводиться п'ятий випадок спостереження [9] дотичного, досить слабкого метеора, зареєстрованого на спостережних станціях Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка за допомогою надчутливих телевізійних спостережних систем типу супер-ізокон.

Результати спостережень. Спостереження, в яких був зареєстрований даний метеор, проводилися 19–24 вересня 2003 року, в рамках програми пошуку слабких метеорних потоків. Метеор було зареєстровано в обох пунктах спостережень 23 вересня 2003 р., UT = 20:55:52. Для спостережень використовувалися телевізійні установки, оснащені високочутливими передаючими трубками типу суперізокон Лі-804 та фотографічними об'єктивами Юпітер-3 (F = 50 мм, F / 1.5, поле зору 23.5° × 19°). Розгортка черезстрокова PAL/SECAM, часова роздільна здатність 0.04 с (25 кадрів за секунду, 720 × 576 пікселів, 8 біт/піксель, розмір пікселя приблизно 2′) при роботі з повними кадрами та 0.02 с (50 півкадрів за секунду, 360 × 288 пікселів, 8 біт/піксель, розмір пікселя 4′) при використанні парних або непарних полів кадру. Оскільки розгортка черезстрокова, а метеор є динамічним об'єктом обробка зображень відбувається в парних та непарних полях кадру. Установки були розміщені на спостережних станціях Лісники: пункт А, (N50°17′49.5804″, E30°31′49.4192″, 130.7900 м у Балтійській системі висот) та Пилиповичі, пункт В, (N50°35′18.2200″, E29°55′17.7700″, 139.7250 м) Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка, на відстані 54 км одна від одної.

Для повної кінематичної та фотометричної обробки використовувалося програмне забезпечення "Falling Star" [10]. Для астрометричної обробки програма передбачає використання різних редукційних моделей: поліноміальні моделі 6, 10, 12 постійних та метод Дейча (8 постійних) для довільно вибраного оптичного центра; різних вибірок опорних зірок: від використання глобальної вибірки для всього кадру до локальних вибірок зір розміщених навколо об'єкта. У [11] було показано, що загалом для даного типу апаратури оптимальним є використання лінійних поліноміальних редукційних моделей 6 постійних, де в якості вибірки опорних зір вибирається невелика зона навколо об'єкта з достатньою їх кількістю. Якщо зір недостатньо – зона збільшується. Кількість зір, їх конфігурація та симетрія розміщення навколо об'єкта досліджувались емпірично по зорях, та описана в [11]. Для розрахунку параметрів траєкторії метеора в атмосфері Землі, та елементів його геліоцентричної орбіти використовувався векторний метод [12]. Параметри траєкторії метеора, визначені за результатами спостережень в обох пунктах А і В, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри видимої атмосферної траєкторії метеора для обох спостережних пунктів

| | $H_{\scriptscriptstyle b}$, км | Н _е , км | Z _{<i>Rb</i>} , град | $Z_{_{\!\!Re}}$, град | Δt , c | ΔL , км | υ , км/с |
|---|---------------------------------|---------------------|-------------------------------|------------------------|----------------|--------------------|-------------------|
| А | 116.484 ± 0.093 | 117.911±0.098 | 93.813 ± 0.405 | 93.998 ± 0.406 | 0.331 | 20.937 ± 0.071 | 63.312±0.115 |
| В | 115.564 ± 0.175 | 117.751±0.083 | 93.689 ± 0.406 | 93.977±0.405 | 0.550 | 32.703 ± 0.165 | 63.075±0.180 |

У табл. 1 прийняті наступні позначення: H_b , H_e — висоти початку та кінця видимого шляху метеора; Z_{Rb} , Z_{Re} — зенітна відстань радіанта в першій та останній видимих точках відповідно; Δt — час прольоту метеора через поле зору; ΔL — довжина видимого шляху; υ — видима (топоцентрична) швидкість метеора. Як видно з табл. 1 метеор спочатку влетів в поле зору камери пункту В на висоті 115.564 км, а завершив свій видимий шлях покинувши поле зору камери А на висоті 117.911 км, тобто збільшив свою висоту більше ніж на 2 км. Зенітна відстань радіанта при цьому була, як і повинно бути більше 90°: 93.689° та 93.998° відповідно. Значення зенітних відстаней радіанта відповідають напряму топоцентричного вектора швидкості метеора, тому мають бути скориговані за добову аберацію. Після корекції вектора швидкості за добове обертання Землі отримали координати радіанта $\alpha_{\infty} = 78.658^{\circ} \pm 0.403^{\circ}$, $\delta_{\infty} = -3.465^{\circ} \pm 0.207^{\circ}$ та модуль швидкості $\upsilon_{\infty} = 62.866 \pm 0.099$ км/с. Значення зенітної відстані скоригованої за добове обертання радіанта метеора змінилися мало і склали 93.711° та 94.020°.

Корекція за гравітаційний вплив Землі, тобто визначення геоцентричних координат радіанта та модуля швидкості метеороїда проводилася вважаючи, що метеор рухається відносно Землі по гіперболі [9]. Розрахувавши її параметри можна знайти, що відстань від перигею до першої видимої точки була 426.118 км, а до останньої 461.123 км. Видима довжина траєкторії метеора склала відповідно ~35 км. Відстань від перицентра *q*_P = 6467.355 км, висота пери-

гею над рівнем моря $H_{\rm P}$ = 101.679 км.

Оскільки метеороїд залишив у атмосфері лише частину маси і продовжив рух у космічний простір, то надалі визначалися параметри вектора швидкості (координати радіанта та модуль швидкості) та елементи геліоцентричної орбіти як до, так і після зустрічі частинки із Землею. У табл. 2 наведені екваторіальні координати геоцентричних та геліоцентричних радіантів та модулі швидкості метеороїда до та після зближення із Землею.

Таблиця 2

| | lpha , град | δ , град | ບ , км/с | lpha , град | δ , град | ບ , км/с |
|-------|--------------|------------------|------------------|------------------|-------------|-----------------|
| | Геоцентричні | | | Геліоцентричні | | |
| До | 79.28±0.41 | -4.20 ± 0.21 | 61.88 ± 0.10 | 70.02±0.67 | -24.71±0.40 | 39.11±0.09 |
| Після | 78.11±0.40 | -2.82±0.21 | 61.88±0.10 | 68.04 ± 0.66 | -22.51±0.40 | 38.79±0.09 |

Екваторіальні координати геоцентричних і геліоцентричних радіантів та модулі швидкості метеороїда до й після зближення із Землею

Як видно з табл. 2 модуль вектора геоцентричної швидкості до та після зустрічі з Землею має одне і те ж значення, оскільки гальмуванням тіла в атмосфері, через великі висоти руху метеора, ми знехтували. Аналогічно, елементи геліоцентричної орбіти метеороїда до та після зближення наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Елементи геліоцентричної орбіти метеороїда до та після зближення з Землею

| | q , A.O. | Q , A.O. | a , A.O . | е | і, град | ω , град | Ω , град $	imes$ 10 $^{-6}$ | f , град |
|-------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|------------|------------------------------------|-------------|
| До | 0.89 ± 0.04 | 6.71±0.20 | 3.80 ± 0.11 | 0.765 ± 0.008 | 130.43 ± 0.31 | 42.29±1.33 | 0.173336±8 | 317.71±1.33 |
| Після | 0.86 ± 0.04 | 6.00 ± 0.18 | 3.43 ± 0.10 | 0.748 ± 0.009 | 132.43 ± 0.32 | 47.98±1.29 | 0.173283±8 | 312.02±1.29 |

Позначення в табл. З прийняті стандартні: q, Q – афелійна та перигелійна відстані відповідно; a, e – велика піввісь орбіти та ексцентриситет; i, ω , Ω , f – нахил, аргумент перигелію, довгота висхідного вузла та істинна аномалія відповідно. Усі кутові елементи задані для епохи J2000.0. На основі розрахунків елементів геліоцентричної орбіти метеора було зроблено висновок, що метеор не належить до будь-якого з відомих метеорних потоків.

Абсолютна зоряна величина метеора в полі зору коливалася в межах +2.9^m ÷ +4.1^m. За час перебування в полях зору камер метеор втратив масу 5.4 ± 1.6 × 10⁻³ г, що, імовірно, є незначною частиною його початкової маси. Враховуючи той факт, що метеор був зареєстрований на висотах, де абляція мала б стати незначною та згодом припинитися, з великою імовірністю можна стверджувати, що метеороїд залишив земну атмосферу зберігши частину своєї маси.

Обговорення та висновки. Розглянутий метеор є одним з 98 метеорів [13], які були зареєстровані протягом вересневих спостережень в околі осіннього рівнодення: 18 зареєстрованих у 2001 р. [14], та 80 – у 2003 р. [15]. Після пошуку серед них інших метеорів з достатньо великою зенітною відстанню було знайдено метеор дуже схожий за кінематичними параметрами, який спостерігався 21 вересня 2001 р., UT = 21:57:26, тобто на два роки раніше. Метеор був зареєстрований в діапазоні висот $\Delta H \approx 109.1 \div 107.8$ км, зенітна відстань радіанта в зоні видимості була $Z_R \approx 87.3^\circ \div 87.5^\circ$. Метеор пролетів в межах видимості камер відстань ~29 км, на перигейній відстані $L_P = 316.6 \div 287.4$ км. Висота перигею склала $H_P = 101.5$ км. Метеор був дуже схожий за блиском, та мав подібні екваторіальні координати та елементи орбіти.

Як уже йшлося, кількість зареєстрованих нами вересневих метеорів слала 98, і формально серед них кількість дотичних метеорів складає 1 %. Для порівняння ми переглянули найбільшу базу даних відео спостережень метеорів SonotaCo [7] за 2007–2013 роки, і знайшли там 15 метеорів з близько 140 тисяч які мали Δ*H* < 0, і відповідно $Z_{e} > 90^{\circ}$. Це становить близько 0.01 %, тобто на два порядки менше, ніж в нашому випадку спостереження верес-

невих метеорів. Діапазон їх абсолютних зоряних величин складав приблизно -1^m ÷ +3^m, тобто йдеться також про відносно слабкі метеори. Слід завважити, що зенітна відстань радіантів метеорів коливалася від мінімальних, близьких до 90° значень, і аж до 98° ÷ 100°. Якщо ці значення є достовірними ми маємо припустити, що такі метеори спостерігалися досить далеко від перигею, і відповідно мали пролетіти через достатньо густі шари атмосфери.

Порівнюючи відсоток метеорів, які спостерігалися після перигею бачимо, що їх кількість відрізняється на два порядки. Можна було б припустити, що вибірка з 98 метеорів, зареєстрованих камерами супер-ізокон не репрезентативною, а один дотичний метеор – випадковість, і відтак вважати 0.01 % більш коректним значенням. Однак наявність іншого, майже дотичного метеора ($Z_R \approx 87.3^\circ \div 87.5^\circ$) піддає сумніву такий висновок. Перевірити правильність припущень про реальну кількість дотичних метеорів, які мали б спостерігатися різною за чутливістю апаратурою, можна провівши теоретичне моделювання руху маломасових частинок в атмосфері використовуючи, наприклад, модель рідкої краплі [1, 2]. Дану теоретичну роботу планується провести найближчим часом.

Список використаних джерел

1. Whipple F. L. The theory of micro-meteorites. Part I. In an isothermal atmosphere / F. L. Whipple // Proc. Nat. Acad. Sci. Amer., 1950. – Vol. 36, № 12. - P 686_695

2. Whipple F. L. The theory of micro-meteorites. Part II. In heterothermal atmospheres / F. L. Whipple // Proc. Nat. Acad. Sci. Amer., 1951. – Vol. 37, Nº 1. - P. 19- 29.

3. Levin B. Ju. Physical theory of meteors and meteoric matter in the Solar System / В. Ju. Levin (in rus.: Левин Б. Ю. Физическая теория метеоров и метеорное вещество в Солнечной системе). – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – 296 р.
 4. *Ceplecha Z.* Earth-grazing daylight fireball of August 10, 1972 / Z. Ceplecha // Astron. Astrophys., 1994. – Vol. 283.– Р. 287–288

5. Borovicka J. Earth-grazing fireball of October 13, 1990 / J. Borovicka, Z. Ceplecha // Astron. Astrophys., 1992. - Vol. 257. - P. 323-328.

6. Meteor Network Team in Japan / S. Abe, J. Borovicka, P. Spurny, Koten P., Ceplecha Z., Tamagawa T. // Earth-grazing fireball on March 29, 2006. European Planetary Sci. Congress 2006, Berlin, Germany, 18–22 September 2006. – P. 486.
 7. SonotaCo. Meteor database site / SonotaCo. – URL: http://sonotaco.jp/doc/SNM/index.html.

8. An Earth-grazing fireball from the Daytime ζ-Perseid shower observed over Spain on 2012 June 10 / J. M. Madiedo, F. Espartero, A. J. Castro-Tirado, et al. // Mon. Not. R. Astron. Soc., 2016. – Vol. 460. – P. 917.

9. Kozak P. M. Upward-moving low-light meteor - I. Observation results / P. M. Kozak, J. Watanabe // Mon. Not. R. Astron. Soc., 2017. - Vol. 467, N 1. - P. 793-801

10. Kozak P. "Falling Star": software for processing of double-station TV meteor observations / / P. Kozak // Earth, Moon, and Planets, 2008. - Vol. 102, № 1-4. - P. 277-283.

11. Kozak P. N. Analysis of the methods and precision of determination of the equatorial coordinates in digital reducing of TV observations of meteors / P. N. Коzak (in rus.: Козак П. Н. Анализ методов и точность определения экваториальных координат при цифровой обработке телевизионных на-блюдений метеоров) // KFNT, 2002. – Vol. 18, № 5. – Р. 471–480.

12. Kozak P. N. A vector method for the determination of trajectory parameters and heliocentric orbit elements of a meteor in TV observations / P. N. Kozak (in rus.: Козак П. Н. Векторный метод определения параметров траектории и элементов гелиоцентрической орбиты метеора для телевизионных наблюдений) // KFNT, 2003. – Vol. 19, № 1. – Р. 62–76.

13. Kozak P. M. Trajectory parameters and orbital elements of 98 September meteors from double station TV observations in 2001 and 2003 / P. M. Kozak, O. O. Rozhilo, Y. G. Taranukha // Int. Conf. "Asteroids, Comets, Meteors", May 16–20, 2012, Niigata, Japan. – 2012. – № 6451.
 14. Kozak P. Kinematical parameters of the meteors from the results of the basic television observations during the period of the autumn solstice 2001

/ Р. Козак, О. Rozhilo, Ju. Taranukha (in ukr.: Козак П. М., Рожило О. О., Тарануха Ю. Г. Кнематичні параметри метеорів за результатами базисних телеві-зійних спостережень в період осіннього рівнодення 2001 року) // Bull. Kyiv National Taras Shevchenko University. Astronomy, 2012. – Vol. 49. – Р. 19–24.

15. Kinematical characteristics of meteors from the basis TV obsevartions during September 2003 / P. Kozak, O. Rozhilo, Ju. Taranukha, V. G. Kruchinenko (in ukr.: Козак П. М., Рожило О. О., Тарануха Ю. Г., Кручиненко В. Г. Кінематичні характеристики вересневих метеорів за базисними телевізійними спостереженнями 2003 року) // Cosmic science and technology, 2011. – Vol. 17, № 4. – Р. 51–62.

Надійшла до редколегії 15.02.17

P. Kozak, Ph. D.

Astronomical Observatory of National Taras Shevchenko University of Kyiv, Kyiv

EARTH ATMOSPHERE GRAZING METEORS

An overview of described in literature earth atmosphere grazing meteors observed with optic methods is proposed. Results of observations of such a meteor detected in Kyiv on 23 September 2003 with super-isocon TV cameras are described. Kinematic parameters of the meteor trajectory in earth atmosphere and its heliocentric orbit elements are given. The comparative analysis of other meteor catalogues for presence in them and a number of such anomalous meteors is carried out.

Key words: earth atmosphere grazing meteors; meteor physics; video observations of meteors.

П. Козак, канд. физ.-мат. наук,

Астрономическая обсерватория

Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Киев

КАСАТЕЛЬНЫЕ К ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ МЕТЕОРЫ

Предложен обзор описанных в литературе метеоров касательных к земной атмосфере, которые наблюдались оптическими методами. Описаны результаты наблюдений такого метеора зарегистрированного в Киеве 23 сентября 2003 года при помощи телевизионных камер типа супер-изокон. Приведены кинематические параметры траектории метеора в земной атмосфере и элементы его гелиоцентрической орбиты. Проведен сравнительный анализ других метеорных каталогов на предмет наличия в них и количества таких аномальных метеоров.

Ключевые слова: метеоры касательные к земной атмосфере; физика метеоров; видео наблюдения метеоров.

УДК 523.985

В. Лозицький, д-р фіз.-мат. наук, Н. Лозицька, канд. фіз.-мат. наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

МАГНІТНІ ПОЛЯ В ПРОТОННОМУ СОНЯЧНОМУ СПАЛАХУ БАЛУ Х17.2/4В ЗА ДАНИМИ ОДНОЧАСНИХ ВИМІРЮВАНЬ У КІЛЬКОХ СПЕКТРАЛЬНИХ ЛІНІЯХ

Порівнюються спектрально-поляризаційні вимірювання магнітного поля у сонячному спалаху 28 жовтня 2003 р. балу X17.2/4В, виконані на ешельному спектрографі АО КНУ в 6 лініях Fel a також лінії Ηα. Отримані дані стосуються максимальної фази спалаху і ділянки фотосфери за межами плям, де ефективне (усереднене) магнітне поле по лінії Fel 6302.5 було близько 100 Гс і мало S полярність. Виміряне розщеплення емісійних піків в ядрах сильних ліній 15-го мультиплету Fel відповідає значно сильнішим полям – у межах 550–700 Гс, причому також S полярності. Виявлено помі-тне розщеплення емісійних піків (11–20 мÅ) також в лінії 5434.527 з ефективним фактором Ланде g_{eff} = –0.014. Величина вказаного розщеплення, а також його знак, вказує на існування особливо сильного магнітного поля напруженістю 25–50 кГс, яка мала протилежну полярність (N) і негативні променеві швидкості (підйом плазми) величиною 1.7–2.2 км/с. Магнітне поле по лінії Нα близько 300 Гс, полярність – Ν. Отримані дані вказують на суттєву неоднорідність магнітного поля в області спалаху, яка включає як протилежні магнітні полярності вздовж променя зору, так і значний діапазон ефективних магнітних полів.

Ключові слова: Сонце, сонячні магнітні поля, сонячні спалахи, протонний спалах балу X17.2/4В, ешельні зеєманспектрограми, розщеплення емісійних піків, напруженості у фотосфері, зоні температурного мінімуму і хромосфері.

Вступ. Відомо, що основна енергія сонячних спалахів виділяється у хромосфері і короні Сонця [19]. Саме тому спостережні дані про магнітні поля у цих шарах атмосфери є найбільш інформативними для розуміння фізичної суті процесів, які відбуваються безпосередньо в місцях інтенсивної емісії спалахів. Отримати такі дані непросто – адже сонячні спалахи (особливо потужні) виникають нечасто, несподівано, тривають відносно короткий час і далеко не завжди дають достатньо інтенсивну емісію в ядрах фраунгоферових ліній, щоб по ній можна було впевнено виміряти магнітне поле в зоні температурного мінімуму і хромосфері. Щодо ж рівня сонячної корони, то там, фактично, надійно виміряти магнітні поля можна лише в лімбових спалахах [5, 15], спектри яких зафіксувати ще менш імовірно, ніж спектри спалахів на диску.

Для вивчення магнітних полів у спалахах особливо цінними є ешельні спектри, які одночасно фіксують тисячі спектральних ліній, що мають різну висоту формування в атмосфері Сонця, температурну і магнітну чутливість. В принципі, для цієї мети є цінними також стокс-метричні вимірювання в обмеженій кількості спеціально підібраних ліній, наприклад, у тих дев'яти лініях Fel, Mgl, Nal і Til, які використовуються при спостереженнях на космічній обсерваторії Hinode [20]. Однак слід зауважити, що дані Hinode дозволяють вивчати спектральні ефекти у відносно вузькому околі вибраних магніточутливих ліній, оскільки там спектральним монохроматором є еталон Фабрі-Перо. Для спектральних ліній Fel 6301.5 і Fel 6302.5 це ділянка протяжністю близько 2.4 Å. Для подальшої розробки деяких проблем, наприклад проблеми екстремально сильних магнітних полів у спалахах (10⁴–10⁵ Гс [10, 11, 16]), необхідно мати дані про більш широкі спектральні інтервали, де можуть бути зафіксовані дуже великі зеєманівські розщеплення від вказаних вище особливо сильних магнітних полів. Наприклад, для лінії Fel 5250.2 з ефективним фактором Ланде $q_{eff} = 3.0$, при магнітному полі B = 50 кГс величина зеєманівського розщеплення $\Delta \lambda_{H}$ дорівнює 1.93 Å [11]. Це означає, що загальна протяжність реєстровного інтервалу має бути у цьому випадку близько 2∆д_н, тобто 4 Å. Однак при значному допплерівському зсуві вказана величина має бути відповідно збільшена. Наприклад, при променевих швидкостях 20 км/с, які згідно з [21] існують у тонкоструктурних елементах півтіні плям, допплерівське зміщення в червоній області спектра (λ = 6300 Å) дорівнює 0.42 Å, і тоді загальна протяжність доступного для аналізу спектрального інтервалу має бути близько 4.5 Å. Однак саме такі і навіть набагато більші (до ≈100 Å) спектральні інтервали цілком доступні для аналізу при спостереженнях на ешельному спектрографі, основним диспергуючим елементом якого є дифракційна гратка.

Сформулюємо деякі наукові проблеми, які виникли у зв'язку з вивченням магнітних полів у спалахах по емісійних спектрах хромосфери й корони. Передусім, це проблема верхньої межі межа напруженостей магнітного поля у спалахах. На сьогодні немає повної ясності в питанні, якою конкретно є ця верхня межа. Прямі вимірювання зеєманівського розщеплення по профілях $I \pm V$ ліній з факторами Ланде g_{eff} в інтервалі 1.0–1.7 показали, що в області інтенсивної емісії в лініях металів (а це область діапазону від верхньої фотосфери до нижньої хромосфери) напруженість магнітного поля доходить до 3–4 кГс [14]. Однак, якби дійсні напруженості магнітного поля у спалахах не перевищували 3–4 кГс, емісійні піки у лініях типу Fel 5434.5 з винятково низькою магнітною чутливістю ($g_{eff} = -0.014$) спостерігались би нерозщепленими при тому рівні "шуму" (1-2 %), який є типовим при фотографічних спостереженнях. Насправді ж, в таких лініях іноді спостерігається чітке розщеплення, яке досягає 40 мÅ і по величині відповідає магнітним полям майже 100 кГс [11, 16]. На можливе існування ще більш сильних полів у сонячних спалахах вказує те, що бісектори профілів $I \pm V$ лінії Fel 5434.5 іноді достовірно розщеплюються на досить великій відстані від центра цієї лінії (100–200 мÅ), тоді як у неспалахових областях таке розщеплення бісекторів відсутнє.

Ще однією цікавою проблемою є проблема висотного розподілу магнітного поля в області спалаху. У незбуреній атмосфері напруженість магнітного поля має монотонно спадати з висотою внаслідок спадання газового тиску. Якщо силова трубка магнітного поля є однорідною і нескрученою, то верхня межа напруженості B_{max} в трубці знаходиться з простої умови рівності магнітного тиску $B^2/8\pi$ всередині трубки і газового тиску P = nkT зовні трубки. Для незбуреної атмосфери $P \sim 10^4$ дин/см² [4] у верхній фотосфері – там, де формуються емісійні піки ліній Fel у спалахах [14]. Однак при такому тиску має бути $B_{max} \approx 500$ Гс. Насправді ж, як зазначалося вище, згідно з вимірюваннями тут іноді буває $B_{max} = 3-4$ кГс. Це означає, що в області спалаху виникають якісь особливі топологічні особливості магнітного поля у спалахах може бути немонотонним, з висотним піком в області верхньої атмосфери і в зоні температурного мінімуму. В інших спалахах такої немонотонності не відмічено [1–3]. Можливою причиною розбіжності цих результатів є те, що характер висотного розподілу магнітного поля в області спалаху залежить від фази цього спалаху. Наприклад, автори роботи [6] знайшли немонотонний розподіл магнітного поля в області спалаху залежить від фази цього спалаху. Наприклад, автори роботи [6] знайшли немонотонний розподіл магнітного поля в області спалаху залежить від фази цього спалаху.

Метою цієї роботи є прямі вимірювання магнітного поля в області особливо потужного сонячного спалаху балу X17.2/4В по лініях фотосфери і хромосфери. Зважаючи на потужність цього спалаху і названі вище переваги ешельних спектрально-поляризаційних спостережень, можна сподіватися, що відповідні дані можуть прояснити деякі з тих питань, які окреслені вище.

Матеріал спостережень отриманий на ешельному спектрографі горизонтального сонячного телескопа АО КНУ [9]. Досліджений спалах виник 28 жовтня 2003 р. в активній області NOAA 0486 і мав бал X17.2/4В. Названа активна область була відносно недалеко від центра диска, косинус μ її геліоцентричного кута був 0.91. Максимум оптичної емісії спалаху зафіксований в інтервалі часу 11^h00^m –11^h10^m UT [8]. На ГСТ АО КНУ спектри спалаху фотографувалися в період з 10^h07^m по 11^h22^m UT; всього було отримано 18 зеєман-спектрограм. У цій роботі вивчається в основному спектрограма за 11^h06^m UT, яка відповідає максимальній фазі спалаху.

Згідно з даними вимірювань космічних детекторів GOES, цей спалах по величині максимального рентгенівського потоку на λ = 1–8 Å займає в рейтингу третю позицію за весь час з 1975 р., тобто більш ніж за чотири останні десятиліття (http://www.spaceweather.com/solarflares/topflares.html). Слід також зауважити, що саме активна область NOAA 0486 дала найпотужніший (за вказаний період) спалах балу X28+, який виник на західному лімбі Сонця через тиждень, 4 листопада 2003 р. Менш ніж через добу (через ≈18 год) після спалаху 28 жовтня 2003 р. на Землі виник-

ла 9-бальна магнітна буря. Різке зростання потоку високоенергійних протонів з енергіями понад 100 МеВ розпочалось ще під час спалаху, причому впродовж наступної доби потік протонів перевищив рівень 10² часток см⁻² с⁻¹ стер⁻¹ для протонів з енергіями ≥ 100Мев, 10³ часток см⁻² с⁻¹ стер⁻¹ для протонів з енергіями ≥ 50 Мев, і 10⁴ часток см⁻² с⁻¹ стер⁻¹ для протонів з енергіями ≥ 10Мев. Слід нагадати, що для спокійного Сонця типовий потік протонів

зріс на 3–5 порядків. Названий спалах вже попередньо вивчався в інших роботах [3, 10], але для інших моментів часу і, в основному, по інших спектральних лініях. У роботах [3, 10] цей спалах вивчався на момент 11^h13^m UT, тобто вже після максимальної його фази.

близько 10⁻¹ часток см⁻² с⁻¹ стер⁻¹ для всіх трьох енергетичних діапазонів, тобто потік протонів після цього спалаху

Вибрані спектральні лінії та особливості їх профілів. Для аналізу були вибрані сім спектральних ліній (табл. 1). У цій таблиці розшифровка хімічного елементу, довжина хвилі λ (Å), еквівалетнтна ширина лінії у спектрі спокійного Сонця W (mÅ) і потенціал збудження нижнього терма ЕР (eB) наведені згідно з монографією [17]. Ефективні фактори Ланде g_{eff} ліній Fel відповідають лабораторним величинам згідно з [22].

| | | - | | | |
|-------|-----------------|---------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| № п/п | Елемент | Довжина хвилі | Еквівалентна шири- | Потенціал збудження ЕР | Ефективний фактор |
| | і номер мульти- | λ (Å) | на W (mÅ) | (eB) | Ланде g _{eff} |
| | плету | | | | |
| 1 | Fel – 15 | 5269.541 | 478 | 0.86 | 1.208 |
| 2 | Fel – 15 | 5429.699 | 285 | 0.96 | 1.374 |
| 3 | Fel – 15 | 5434.527 | 184 | 1.01 | -0.014 |
| 4 | Fel – 15 | 5446.924 | 238 | 0.99 | 1.249 |
| 5 | Fel – 816 | 6301.515 | 127 | 3.65 | 1.669 |
| 6 | Fel – 816 | 6302.507 | 83 | 3.69 | 2.487 |
| 7 | HI – 1 (Hα) | 6562.808 | 4020 | 10.20 | 1.05 |

Деякі параметри вибраних спектральних ліній

Аналізувалось найяскравіше в Hα місце спалаху (фотометричний розріз № –15), де центральна інтенсивність в цій лінії перевищувала інтенсивність найближчого спектрального континууму у 2 рази. У цьому місці всі вказані в таблиці лінії Fel, за винятком ліній № 5 і 6, мали добре видимі емісійні піки в їх ядрах (рис. 1). По розщепленню цих піків знаходилося магнітне поле в області інтенсивної емісії спалаху, яке для ліній Fel в основному стосується верхньої фотосфери і зони температурного мінімуму. Щодо ліній № 5 і 6, то вони мали у спалаху суто фраунгоферові профілі, без будь-яких ознак дискретної емісії в їх ядрах. Вимірювання по цих лініях дозволяли визначити величину магнітного поля в середній фотосфері. Нарешті, особливості розщеплення профілів лінії Нα давали можливість визначити магнітне поле у хромосфері.

Величина магнітного поля визначалась по зміщенню "центрів ваги" профілів *I* + *V* відносно *I* − *V*. Це дає змогу знайти ефективне магнітне поле *B*_{eff}, яке, по суті є усередненим магнітним полем по всій площі аналізованої ділянки на Сонці. Площа цієї ділянки визначається в основному дрижанням зображення при спостереженнях на телескопі і в даному випадку дорівнює ≈ 3 Mm². При відносно невеликих магнітних розщепленнях, коли видима величина зеєманівського розщеплення (Δλ_H)_{obs} значно менша за півширину лінії Δλ_{1/2}, таким чином знаходиться усереднена величина поздовжньої компоненти магнітного поля, тобто < *B*_{||}>. Таким чином, у даній роботі акцентується увага на найбільш сильних і очевидних ефектах у профілях ліній – на відміну від, наприклад, роботи [12], де аналізувались тонкі особливості розщеплення бісекторів профілів *I* ± *V*.



Рис. 1. Розщеплені емісійні піки в профілях *I* ± *V* ліній Fel 5269.541 та Fel 5429.699 у спалаху. Для кращого порівняння цих профілів, дійсний профіль для лінії Fel 5429.699 штучно зміщений вниз по осі ординат на 0.2

Таблиия 1

Результати та їх обговорення. Досліджене місце спалаху стосувалось ділянки фотосфери за межами сонячних плям і пор. У цьому місці виміряне магнітне поле було 110 Гс по лінії Fel 6302.5 і 85 Гс по лінії Fel 6301.5, полярність – S. Враховуючи величину похибок вимірювань по цих лініях (30–50 Гс), можна вважати, що обидві лінії вказують на магнітне поле з абсолютною величиною близько 100 Гс. Таким чином, в середній фотосфері реєструвалось відносно слабке ефективне магнітне поле *B*_{eff}, типове для рівня фотосфери за межами плям і спалахів.

Однак величина B_{eff} у більш високих шарах, у верхній фотосфері і в зоні температурного мінімуму (на висоті приблизно 500 км над рівнем $\tau_5 = 1$) знайдена у кілька разів більшою. Розщеплення емісійних піків в лінії Fel 5269.541 відповідає магнітному полю 545 Гс, в лінії Fel 5429.699 – 665 Гс, а в лінії Fel 5446.924 – 680 Гс. У всіх трьох випадках магнітна полярність *S*, типові похибки вимірювань ± (70–100) Гс. Таким чином, отримані дані свідчать про те, що в дослідженому спалаху при переході від середньої фотосфери до зони температурного мінімуму величина B_{eff} достовірно зростала по абсолютній величині приблизно у 5–7 разів.

Виявилось також, що розщеплення дуже сильних емісійних піків в лінії $H\alpha$ відповідає магнітному полю B_{eff} = 300±200 Гс, його полярність N, тобто протилежна по відношенню до ліній Fel. У даному випадку, враховуючи величину похибок вимірювань, можна з впевненістю говорити лише про те, що при переході від зони температурного мінімуму до хромосфери величина B_{eff} помітно зменшувалась. Про те, чи при цьому також змінювалась на протилежну магнітна полярність, у даному випадку з впевненістю говорити не можна – це слід з'ясувати на основі додаткового детального аналізу. В цілому ж, висновок зі співставлення всіх наведених даних може бути такий: величина ефективного магнітного поля B_{eff} змінювалась у спалаху не монотонно з висотою – спершу зростала з висотою, а потім зменшувалась – подібно до того, як це було знайдено раніше у інших спалахах [6, 7, 14]. Стосовно променевих швидкостей, то вони во вказаних лініях Fel і по лінії H α були близькі до нуля (± 0.3 км / с).

У лінії Fel 5434.527 в момент 11^h06^m UT виявлено досить слабке, але достовірне розщеплення емісійних піків поблизу її ядра (рис. 2). Тут наведено співставлення фотометричних профілів для трьох сусідніх місць на Сонці, які віддалені один від одного в картинній площині на 1 Мм. Видно, що якщо оптимально сумістити фраунгоферові ділянки профілів / ± V, то тоді в емісійних піках виникає невелике відносне зміщення, близько 11 mÅ. Щоб краще показати цей ефект, на рис. 2 вертикальними прямими відрізками вказані положення "центрів ваги" емісійних піків поблизу ядра лінії. Видно, що:

(а) вказане відносне зміщення емісійних піків має систематичний характер у цих трьох фотометричних розрізах, тобто на ділянці протяжністю 3 Мм на Сонці;

(б) у всіх трьох фотометрични розрізах напрям зміщення емісійних піків при переході від профілів *I* + *V* до профілів *I* – *V* є однаковим (піки, проведені штриховими лініями, у всіх трьох місцях зміщені в цілому вправо відносно піків, вказаних суцільними лініями);

(в) емісійні піки мають негативний ("фіолетовий") допплерівський зсув величиною близько 40 mÅ відносно крил фраунгоферових профілів.



Рис. 2. Спостережені профілі / ± V лінії Fel 5434.527 у дослідженому спалаху для трьох сусідніх місць на Сонці (фотометричні розрізи № –13, –15 і –17), положення яких в горизонтальній площині змінюється з кроком 1 Мм. Для кращого порівняння цих даних, профілі для розрізу № –15 є оригінальними, тоді як профілі для розрізів № –13 і –17 штучно зміщені по осі ординат відповідно на –0.2 і +0.2

Якщо це розщеплення емісійних піків в лінії Fel 5434.527 трактувати як прояви Зеєман-ефекту, то тоді величині 11 mÅ (як 2Δλ_H) відповідає дуже сильне магнітне поле – напруженістю в 28.5 ± 5 кГс. Його полярність має бути *N*, тобто протилежна до полярності по інших лініях Fel, але така ж, як по лінії Hα. "Фіолетовому" зсуву у 40 mÅ відповідають негативні швидкості (підйом плазми вгору) величиною 2.2 км/с.

Виявилось, що аналогічні особливості профілів лінії Fe I 5434.527 були також в інші моменти часу, зокрема в 11^h13^m UT та 11^h14^m UT (рис. 3). Причому у деяких місцях спалаху розщеплення емісійних піків в ядрі цієї лінії було тоді навіть більшим, ніж о 11^h06^m UT. Зокрема, в моменти 11^h13^m UT та 11^h14^m UT розщеплення цих піків досягало

19–20 mÅ. Вважаючи цю величину рівною 2Δλ_H, отримуємо напруженість магнітного поля *B* = 49–52 кГс. З урахуванням ймовірних похибок вимірювань, цей результат можна записати так: *B* = 50 ± 5 кГс. В ці два останні моменти також існував "фіолетовий" зсув емісійних піків, його величина була 30 mÅ, що відповідає променевій швидкості – 1.66 км/с (також підйом плазми). Слід також зауважити, що на рис. З наведено близький до максимального ефект вздовж напрямку вхідної щілини спектрографа; в інших місцях спалаху розщеплення емісійних піків в лінії Fe I 5434.527 було меншим.



Рис. 3. Те саме, що й на рис. 2, але для моменту 11:13:10 UT (фотометричний розріз № –9) і 11:14:10 UT (фотометричний розріз № –13).

Для кращого порівняння цих даних, профілі для першого моменту є оригінальними, тоді як для другого моменту вони штучно зміщені по осі ординат на +0.1 (вказане вертикальними штрихами розщеплення емісійних піків відповідає магнітному полю близько 50 кГс)

Отримані результати стосовно лінії Fel 5434.527 в цілому добре узгоджуються з аналогічними даними по інших спалахах. Як вже відзначалось вище, подібні вказівки на магнітні поля рівня 10⁴ – 10⁵ Гс були виявлені раніше і в інших спалахах [10, 11, 12]. Щодо магнітної полярності цих особливо сильних полів, то були відзначені випадки як однакової, так і протилежної полярності відносно більш слабких полів (див. напр., рис. 8 у роботі [16]).

Значний інтерес представляє також "фіолетове" зміщення емісійних піків величиною близько 2 км/с. Воно вказує на те, що плазма, зосереджена в об'ємах з особливо сильним магнітним полем рівня 10⁴ Гс, піднімалася вгору, а не опускалася, як це типово, наприклад, для границь супергрануляційних комірок у спокійних областях. Аналогічний ефект – підйом плазми з швидкостями від 1.7 до 3.1 км / с – виявлений в місцях присутності магнітних полів напруженістю близько 8 кГс у тіні великих сонячних плям [9, 13].

Такий підйом плазми дещо прояснює питання, звідки взагалі взялися такі екстремально сильні магнітні поля у спалаху. Дійсно, дуже малоймовірно, щоб вони якось утворились на тій самій висоті, де й спостерігались. Адже, як було сказано у вступі, у верхній фотосфері газовий тиск може утримувати магнітне поле напруженістю максимум 500 Гс. Але газовий тиск у підфотосферних шарах швидко наростає з глибиною, і у певному діапазоні глибин він має бути достатнім для концентрації полів рівня 10⁴ – 10⁵ Гс. Це наводить на думку, що на поверхню Сонця піднімаються вже остаточно сформовані магнітні структури [12]. Аналогічну гіпотезу щодо неспалахових ділянок активних областей висловлював раніше Піддінгтон [18]. Він припускав, що на певній глибині Сонця формуються своєрідні магнітні "дерева" з багатьох сотень і тисяч скручених магнітних волоконець, напруженість магнітного поля у кожному з яких близько 4 кГс. Підйом цих магнітних "дерев" на поверхню і дає спостережені активні області. Як бачимо, представлені вище дані узгоджуються з цією гіпотезою, за винятком того, що дійсні напруженості у скручених магнітних волоконцях можуть бути насправді на порядок вищі, ніж припускав Піддінгтон [18].

Висновки. Із порівняння спектрально-поляризаційних вимірювань магнітного поля у протонному сонячному спалаху 28 жовтня 2003 р. балу X17.2/4B, виконаних в лініях Fel а також лінії Hα, можна зробити такі висновки: (а) ефективне магнітне поле *B*_{eff} змінювалась з висотою немонотонно – від ≈ 100 Гс в середній фотосфері до максимального значення 550–700 Гс у верхній фотосфері і зоні температурного мінімуму і до ≈ 300 Гс в хромосфері, (б) у цьому ж місці в картинній площині ймовірно існували субтелескопічні структури з особливо сильним полем (ОСП) у 25–50 кГс, що видно по слабкому розщепленню емісійних піків (11–20 мÅ) в лінії Fel 5434.527 з дуже низьким фактором Ланде, g_{eff} = −0.014, (в) магнітна полярність ОСП була *N*, тобто протилежна до полярності S по інших фотосферних лініях з більшими факторами Ланде (g_{eff} = 1.2–2.5), (г) в ділянках ОСП спостерігався підйом плазми з швидкостями близько 2 км/с; такого підйому в областях зі слабшими полями не було. Отримані результати є непрямим свідченням того, що структури ОСП сформувались у підфотосферних шарах, що якісно узгоджується з гіпотезою Піддінгтона [18]. Можна припустити, що наявність в площі аналізованої ділянки (≈ 3 Мм²) помірних і особливо сильних магнітних полів протилежної полярності могла обумовити спалахове енерговиділення внаслідок магнітного пересполучення силових ліній. Список використаних джерел

1. Abramenko V. I. Flare-related changes in the profiles of six photospheric spectral lines / V. I. Abramenko, E. A. Baranovsky // Solar Phys., 2004. - Vol. 220, Iss. 1. - P. 81-91.

2. Photosphere model of 2N/2M solar flare: July 18, 2000 / E. S. Andriets, N. N. Kondrashova, E. V. Kurochka, V. G. Lozitsky // Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory, 2012. – Vol. 108, Iss. 1. – P. 1–3. 3. Baranovsky E. A. Modelling of photosphere and chromosphere of two powerful flares / E. A. Baranovsky, V. G. Lozitsky, V. P. Tarashchuk (28 Oct. 2003

and 1 Sept. 1990) (in rus.: Моделирование фотосферы и хромосферы двух мощных вспышек (28 окт. 2003 г. и 1 сент. 1990 г.)) // Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 2009. - Vol. 25, No. 5. - P. 373-384.

4. Holweger H. The photospheric barium spectrum: solar abundance and collision of Ball lines by hydrogen / H. Holweger, E. H. Müller // Solar Phys., 1974. - Vol. 39, N 1. - P. 19-30.

5. Magnetic Fields in a Limb Flare on July 19, 2012 / E. A. Kirichek, A. A. Solov'ev, N. I. Lozitskaya, V. G. Lozitskii // Geomagnetism and Aeronomy, 2013. – Vol. 53, N 7. – P. 831–834.

6. Kurochka E. N. Temporary changes of physical conditions in photospheric layers of solar flare / E. N. Kurochka, V. G. Lozitsky, O. B. Osyka (in rus.: Временные изменения физических условий в фотосферных слоях солнечной вспышки) // Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 2008. Vol. 24, N 4. – P. 308–320.

7. Kurochka E. V. Magnetic fields and thermodynamical conditions in the M6.4/3N solar flare on July 19, 2000 / E. V. Kurochka, V. G. Lozitsky

// Kinematics and Physics of Celestial Bodies, Suppl., 2005, № 5. – Р. 143–145. 8. Laba I. S. Proton flare 4B/X17.2 on the Sun of 28 October 2003. Results of phtotometry / I. S. Laba (in ukr.: Протонний спалах 4B/X17.2 на Сонці 28 жовтня 2003 р. Результати фотометрії) // Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 2007. – Vol. 23, N 1. – Р. 51–60.

9. Lozitsky V. G. Indications of 8-kilogauss magnetic field existence in the sunspot umbra / V. G. Lozitsky // Advances in Space Research. - 2016. - Vol. 57 - P 398-407

10. Lozitsky V. G. Magnetic fields and Fel line profiles in the major solar flare on October 28, 2003 / V. G. Lozitsky // Astronomy Letter. - 2009. - Vol. 35, N 2.- P. 136-142.

11. Lozitsky V. G. Observational evidences to the 10⁵ G magnetic fields in active regions on the Sun / V. G. Lozitsky (in ukr.: Спостережні свідчення магнітних полів напруженістю 10⁵ Гс в активних областях Сонця) // J. of Phys. Studies, 2009. – Vol. 13, N 2. – P. 2903-1-2903-8. 12. Lozitsky V. G. Small-scale magnetic field diagnostics in solar flares using bisectors of I ± V profiles / V. G. Lozitsky // Advances in Space Research,

2015. - Vol. 55, Iss. 3. - P. 958-967

13. Lozitsky V. G. Spectral manifestations of extremely strong magnetic fields in the sunspot umbra / V. G. Lozitsky // Advances in Space Research, 2017. - Vol. 59. - P. 1416-1424. 14. Observations of magnetic field evolution in a solar flare / V. G. Lozitsky, E. A.Baranovsky, N. I.Lozitska, U. M. Leiko // Solar Phys. - 2000. - Vol. 191,

N 1. - P. 171-183.

15. Lozitsky V. G. Magnetic fields in limb solar flares / V. G. Lozitsky, N. I. Lozitska, O. A. Botygina (in rus.: Магнитные поля в лимбовых солнечных вспышках) // Astron. Tsirkular, 2013. – № 1594. – Р. 1–6. 16. Lozitsky V. G. Observational evidences for extremely strong magnetic fields in solar flares / V. G. Lozitsky // Intern. Journ. of Astron. And Astrophys. -

2011. - V. 1, No. P. 147-154. 17. Moore Ch. E. The spectrum 2935 Å to 8770 Å. Second revision of Rowland's Table of solar spectrum wave lengths / Ch. E. Moore, M. G. J. Minnaert,

J. Houtgast // National Bureau of Standards Monograph 61, Iss. Dec. 1966, Printed with financ. assist. from UNESCO, under the auspices of IAU. – 349 p. 18. Piddington J. H. The flux-rope-fibre theory of solar magnetic fields / J. H. Piddington // Astrophysics and Space Sci., 1978. – Vol. 55, N 2. – P. 401–425.

Priest E. R. The magnetic nature of solar flares / E. R. Priest, T. G. Forbes // The Astronomy and Astrophysics Rev., 2002. – Iss. 4. – P. 313–377.
 The Solar Optical Telescope for the Hinode Mission: An Overview / S. Tsuneta, K. Ichimoto, Y. Tatsukawa et al. // Solar Phys., 2008. – Vol. 249, № 2.

– P. 167–196.

21. Peripheral Downflows in Sunspot Penumbrae / M. Van Noort, A. Lagg, S. K. Tiwari, S. K. Solanki // Astron. Astrophys., 2013. - Vol. 557, id. A24. - 14 p. 22. Zemanek E. N. Splitting of some spectral lines of FeI in magnetic field / E. N. Zemanek, A. P. Stefanov // Vestnik Kiev Univ., Seria Astronomii, 1976. - Vol. 18. - P. 20-36.

Надійшла до редколегії 17.03.17

В. Лозицкий, д-р физ.-мат. наук,

Н. Лозицкая, канд. физ.-мат. наук,

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В ПРОТОННОЙ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКЕ БАЛЛА X17.2/4В ПО ДАННЫМ ОДНОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В НЕСКОЛЬКИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЯХ

Сравниваются спектрально-поляризационные измерения магнитного поля в солнечной вспышке 28 октября 2003 г. балла X17.2/4B, полученные на эшельном спектрографе АО КНУ в 6 линиях Fel, а также линии Нα. Представленные данные относятся к максимальной фазе вспышки и участку фотосферы за пределами пятен, где эффективное (усредненное) магнитное поле по линии Fel 6302.5 было около 100 Гс и имело S-полярность. Измеренное расщепление эмиссионных пиков в ядрах сильных линий 15-го мультиплета Fel соответствует значительно более сильным полям – в пределах 550–700 Гс, притом также S-полярности. Обнаружено за-метное расщепление эмиссионных пиков (11–20 мА) также в линии Fe I 5434.527 с эффективным фактором Ланде g_{eff} = –0.014. Величина указанного расщепления и его знак указывает на существование особо сильного поля напряженностью 25–50 кГс, которое имело противоположную полярность (N) і отрицательные лучевые скорости (подъем плазмы) величиной 1.7–2.2 км/с. Магнитное поле в линии Нα около 300 Гс, полярность – N. Полученные данные указывают на существенную неоднородность магнитного поля в обла-сти вспышки, которая включает как противоположные полярности вдоль луча зрения, так и значительный диапазон эффективных магнитных полей.

Ключевые слова: Солнце, солнечные магнитные поля, солнечные вспышки, протонная вспышка балла Х17.2/4В, эшельные зееманспектрограммы, расщепление эмиссионных пиков, напряженности в фотосфере, зоне температурного минимума и хромосфере.

V. Lozitsky, Dr. Sci., N. Lozitska, Ph. D.,

Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

MAGNETIC FIELDS IN PROTON SOLAR FLARE OF X17.2/4B CLASS ACCORDING TO DATA OF SIMULTANEOUS MEASUREMENTS IN A FEW SPECTRAL LINES

Spectral-polarized magnetic field measurements in solar flare of 28 October 2003 of X17.2/4B class are compared in six Fel lines and in Ha line. Observations were carried out on Echelle spectrograph of horizontal solar telescope of Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Presented data relate to peak phase of flare and a place of photosphere outside sunspots where effective (average) magnetic field in Fel 6302.5 line was about 100 G and had S polarity. Measured splitting of emissive peaks in cores of strong Fel lines of 15th multiplet correspond to stronger fields, in range 550–700 G and S polarity too. Noticeablre splitting of emissive peaks (11–20 mÅ) were found also in Fe I 5434.527 line with effective Lande factor get = -0.014. Value of this splitting and its sign indicate the existence of extremely strong fields of 25–50 kG of opposite (N) polarity which had negative Doppler velocities (lifting of plasma) on level of 1.7–2.2 km/sec. Magnetic field according to Hα line was 300 G and N polarity. Presented results indicate the essential inhomogeneity of magnetic field in flare volume which include the opposite polarities along the line of sight and wide range of effective magnetic fields.

Key words: Sun, solar magnetic fields, solar flares, proton flare of X17.2/4B class, Echelle Zeeman spectrograms, splitting of emissive peaks, magnetic field strengths in photosphere, temperature minimum zone and chromosphere.

В. Єфіменко, канд. фіз.-мат. наук, Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА У 2016 р.

Наведено інформацію про роботу Астрономічної обсерваторії за 2016 рік. Висвітлено найважливіші події в житті обсерваторії та результати наукових досліджень.

Інформація про роботу Астрономічної обсерваторії за 2015 р. була подана у Віснику Київського університету [1]. Тут висвітлено результати наукових досліджень та найважливіші події у житті обсерваторії за 2016 р.

Структура та склад. На початку 2016 р. було оголошено результати конкурсу наукових тем, які отримали фінансування за рахунок бюджетного фінансування. Із трьох поданих співробітниками обсерваторії тем – дві отримали необхідну кількість балів (наукові керівники – проф. В. І. Жданов і проф. К. І. Чурюмов) і були включені до тематичного плану науково-дослідних робіт університету на 2016–2018 р. Відповідно виконавці цих тем були зараховані до штату обсерваторії. Одна тема не набрала необхідної кількості балів (науковий керівник доктор фіз.-мат. наук В.Н. Криводубський). Частина виконавців цієї теми була працевлаштована на вакантні посади.

На початок 2016 р. у штаті Астрономічної обсерваторії працювало 52 особи, з них співробітників, які беруть участь у виконанні НДР – 28, у т. ч. докторів – 6, кандидатів наук – 17; інженерно-технічних працівників – 7; обслуговуючий персонал – 23; музей – 1. В науковій роботі брали участь викладачі, аспіранти та студенти кафедри астрономії та фізики космосу фізичного факультету університету.

У 2016 р. відбулися зміни у структурі обсерваторії – на початок року до її складу входили сектор астрометрії та малих тіл сонячної системи (зав. сектору канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб. В. В. Клещонок), відділ астрофізики (зав. відділу д-р фіз.-мат. наук, проф. В.І. Жданов), а також дві спостережні станції (с. Лісники Києво-Святошинського р-ну і с. Пилиповичі Бородянського р-ну Київської обл.).

Обсяг бюджетного фінансування у 2016 р. склав 3221.3 тис. грн, договірного – 307.0 тис. грн.

За результатами роботи працівниками обсерваторії у 2016 р. опубліковано 2 монографії, 1 навчальний посібник, 48 наукових статей, з них 19 у закордонних виданнях, проведено 2 наукові конференції, зроблено 78 доповідей на 12 конференціях.

Колективна монографія "Dark Energy and Dark Matter in the Universe" (ред. Шульга В.М.) в 3-х томах у 2016 р. отримала відзнаку Міжнародної академії астронавтики. Нагороджені співробітники відділу астрофізики Жданов В.І., Гнатик Б.І., Александров О.М. Співробітник сектору астрометрії та малих тіл сонячної системи Пономаренко В.О. за успішну наукову роботу отримав стипендію Кабінету Міністрів України для молодих вчених.

У 2016 р. Спецрадою ГАО НАН України прийнята до захисту кандидатська дисертація Гнатика Р.Б. "Енергетичний спектр та хімічний вміст космічних променів найвищих енергій" (н.к. Жданов В.І.).

15 жовтня 2016 р. раптово помер доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент НАН України, головний науковий співробітник Астрономічної обсерваторії Чурюмов Клим Іванович. Співчуття з приводу тяжкої втрати висловили багато науковців та громадських діячів. Некролог опубліковано у попередньому випуску Вісника Київського університету [2].

Тематика наукових досліджень. Впродовж року виконувались бюджетні теми: "Фундаментальна фізика та моделі високоенергетичних астрофізичних явищ", науковий керівник Жданов В.І., доктор фіз.-мат. наук, професор, зав. відділом (об'єм фінансування 1859.5 тис. грн); "Космічні чинники земних катаклізмів. Спостереження, аналіз, інформатизація", науковий керівник Чурюмов К.І., доктор фіз.-мат. наук, член-кор. НАН України, з 16.10.2016 р. в.о. керівника теми Клещонок В.В., кандидат фіз.-мат. наук, с.н.с. (1341.8 тис. грн). Договірні теми: "Темна енергія та темна матерія в астрофізичних об'єктах та космології" з Державним фондом фундаментальних досліджень, науковий керівник Парновський С.Л., доктор фіз.-мат. наук, професор, п.н.с. (199.0 тис. грн); "Просторово-часовий розподіл забруднення атмосфери дрібнодисперсним аерозолем у Східноєвропейському регіоні за даними одночасних фотометричних і лідарних вимірювань та моделювання" з Державним фондом фундаментальних досліджень, науковий керівник Міліневський Г.П., доктор фіз.-мат. наук, с.н.с., відповідальний виконавець Данилевський В.О., кандидат фіз.-мат. наук, с.н.с. (108.0 тис. грн).

Результати наукових досліджень.

Астрофізика. Розроблено нові моделі генерації та прискорення космічних променів надвисоких енергій (КПНЕ) в галактичних та позагалактичних джерелах, які грунтуються на формуванні релятивістських струменів при припливному руйнуванні зір в околі надмасивних чорних дір в ядрах галактик та на прискоренні КПНЕ новонародженими мілісекундними пульсарами (Б. Гнатик, Р. Гнатик). Досліджено метрику простору-часу, яка є аналогом однорідної моделі типу IX за Біанки, і має часоподібну сингулярність. Результат є важливим для пошуку таких сингулярностей у компактних астрономічних об'єктах (С. Парновський). Знайдено умови відповідності між гідродинамічною космологічною моделлю та моделлю з мінімально зв'язаним скалярним полем, що дозволяє визначити зв'язок між найбільш поширеними моделями еволюції Всесвіту (В. Жданов). Розроблено якісну класифікацію розв'язків в гідродинамічній моделі однорідного ізотропного Всесвіту з загальним гладким баротропним рівнянням стану (В. Жданов).

Отримано уточнені формули порівняно з попередниками, для часової затримки критичних зображень точкового джерела поблизу каспової точки каустики гравітаційно-лінзової системи: поправку першого порядку для загального потенціалу та, у спеціальному випадку, поправку другого порядку (О. Александров). З урахуванням новітніх даних космічних місій проведено первинну редукцію даних рентгенівських спостережень пекулярних АЯГ та моделювання даних для трьох галактик Сейферта RBS 2014, NGC 4748, RXJ 1355.2+5612 із вузькими емісійними лініями. Для галактики NGC 4748 на кривій блиску XMM-Newton/EPIC вперше виявлено швидкоплинну змінність, що дало змогу оцінити масу чорної діри (О. Федорова). Отримано оцінки параметрів випромінювання галактик з активним зореут-

🗢 58 🗢 🔰 В I С Н И К Київського національного університету імені Тараса Шевченка 🔰 ISSN 1728-3817

воренням в радіо- та ультрафіолетовому діапазонах і в лінії На. Проведено перехресне ототожнення об'єктів вибірки компактних галактик з активним зореутворенням, створеної на основі даних цифрового огляду неба Sloan Digital Sky Survey (SDSS), який включає дані оглядів DR7–DR12. Визначено параметри апроксимації поточної та початкової функцій світності log-нормаль¬ним розподілом та функцією Сандерса та показано, що ці функції краще, ніж функція Шехтера, відтворюють розподіл світності галактик у емісійній лінії На, та в ультрафіолетовому континуумі (С. Парновський, І. Ізотова). На основі каталогу RFGC складені вибірки дискових надтонких галактик (ДНГ) та проведено їх порівняння з об'єктами всього каталогу RFGC. Показано, що використання точної Ks-фотометрії ДНГ дозволяє значно зменшити похибку визначення відстані за методом Таллі-Фішера порівняно з оглядом 2MASS. Вперше побудовано для ДНГ баріонну залежність Таллі-Фішера. Тут отримано оцінки орбітальних мас ДНГ (за рухом їх супутників), які заперечують відому в літературі гіпотезу про нестандартну будову гало темної матерії у ДНГ (Ю. Кудря).

В рамках досліджень взаємодії КПНЕ з атмосферою та регулярного моніторингу її прозорості проведено вимірювання спектральної оптичної товщі аерозолів у всьому стовпі атмосфери над Києвом та її інтегральної товщі у широкому діапазоні оптичного спектра, а також зміни з часом цих характеристик. Вимірювання спектральної оптичної товщини аерозольного шару у стовпі атмосфери над Києвом проведено з найвищою точністю – з усіх сучасних дистанційних методів вимірювань. Ці результати впроваджено у Міжнародну мережу AERONET (В. Данилевський).

Астрометрія та малі тіла сонячної системи. На основі фотометричних і спектроскопічних спостережень комети 29P/Schwassmann-Wachmann 1 встановлено, що кометний континуум має значний червоний надлишок; виявлено численні лінії СО⁺, а також N₂⁺(0,0), що вказує на те, що комета сформувалася в умовах низької температури (близько 25 К), що також підтверджується значенням [N2+]/[CO+] = 0,01 (І. Лук'яник). Розташування джетів на фотоплатівках комети 67P/Чурюмова-Герасименко, які отримані під час першої появи 1969–1970 р., відповідають координатам полюсу обертання RA = 353°± 10°, Dec = –17°±10°, що відрізняється від сучасного значення приблизно на 99° (В. Клещонок, А. Мозгова). Запропоновано метод реєстрації речовин-люмінофорів в оптичних спектрах комет на основі ефекту температурного згасання люмінофора. Згасання люмінесцентного кометного континууму на малих відстанях від Сонця також може бути пояснено цим ефектом (В. Пономаренко). За даними поверхневої фотометрії запропоновано визначати напрямок обертання ядра комети. З урахуванням цього показано, що ядро комети С/2009 Р1 (Garradd) обертається проти годинникової стрілки в картинній площині (І. Лук'яник, Ф. Кравцов).

Запропоновано нову фізичну модель руху метеорної частинки дотичної до верхніх шарів атмосфери, яка включає абляцію та плавлення метеорного тіла (П. Козак). Розроблено концепцію створення багатофункціонального мобільного автоматизованого комплексу для спостережень метеорів в оптичному та суміжних діапазонах. Спостережний комплекс має бути оснащений панорамними відео камерами оптичного та інфрачервоного діапазону (за необхідності – ультрафіолетового); передоб'єктивною граткою, суміщеною з відеокамерою, для реєстрації метеорних спектрів; мікрофонами для запису звуку від можливих електрофонних болідів (П. Козак). Розроблено web-орієнтований інтерфейс, що суттєво розширює можливості доступу до Київського інтернет-телескопа зовнішніх користувачів (В. Клещонок, І. Лук'яник).

Ведуться патрульні спостереження малих тіл Сонячної системи. Точність позиційних вимірів відповідає сучасним вимогам до визначення координат для рівнинних обсерваторій (І. Лук'яник, Ф. Кравцов, В. Пономаренко).

Фізика Сонця, сонячно-земні зв'язки. Велись спектрополяриметричні спостереження на ГСТ АО КНУ для дослідження сонячних магнітних полів у спорадичних сонячних утвореннях з різним темпом енерговиділення, сформовано нові масиви даних із залученням спостережень інших (наземних та космічних) обсерваторій. Сформований масив фотометричних даних для великої сонячної плями групи NOAA 10488 містить 20 тис. значень інтенсивностей профілів ліній. Отримано втричі більш точну, ніж було відомо раніше, оцінку діаметра тонких силових трубок магнітного поля на Сонці. Отримана оцінка діаметра силових трубок відповідає сучасним даним і базується на інтерпретації спектрополяриметричних вимірювань міжнародної космічної обсерваторії Ніпоde, які мають найкраще на даний час поєднання високого просторового і спектрального розділення (В. Лозицький, Н. Лозицька). Досліджено показник інтегрального розподілу еквівалентних діаметрів сонячних активних областей. Показано, що показник інтегрального розподілу, визначений на ділянці 50–90 Мм, змінюється в межах від 3.5 до 10. Виявлено достовірні свідчення, що у змінах цього показника існує подвійний цикл Хейла (близько 44 років) (В. Єфіменко, В. Лозицький).

Список використаних джерел

1. Efimenko V. Astronomical observatory of National Taras Shevchenko University of Kyiv in 2015 / V. Efimenko (in ukr.: Єфіменко В. М. Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка у 2015 р. // Bull. Kyiv National Taras Shevchenko University. Astronomy, 2016. – Vol. 1(53). – P. 55–57.

2. Efimenko V. Chiuriumov Klym I / V. Efimenko (In ukr.: Єфіменко В.М. Чурюмов Клим Іванович) // Bull. Kyiv National Taras Shevchenko University. Astronomy, 2016. – Vol. 2(54). – Р. 59–60.

Надійшла до редколегії 20.02.17

В. Ефименко, канд. фіз.-мат. наук, Астрономическая обсерватория

Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Киев

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ КИЕВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ ТАРАСА ШЕВЧЕНКО В 2016 Г.

Представлена информация о работе Астрономической обсерватории за 2016 г. Приведены наиболее важные события в жизни обсерватории и результаты научных исследований.

V. Efimenko, Ph. D.,

Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF TARAS SHEVCHENKO NATIONAL UNIVERSITY OF KYIV IN 2016

The information on work of the Astronomical observatory for 2016. The basic results of scientific researches for 2016 are stated.

А. Казанцев, канд. фіз.-мат. наук, Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

ПАМ'ЯТІ ЛІДІЇ МАТВІЇВНИ ШЕРБАУМ



7 листопада 2016 р. завершився життєвий шлях Лідії Матвіївни Шербаум, багаторічного наукового працівника Астрономічної обсерваторії, кандидата фізикоматематичних наук.

Лідія Матвіївна народилася 27 березня 1932 р. у Києві. Отримала астрономічну освіту на фізичному факультеті Київського державного університету. До роботи в Обсерваторії вона приступила в 1957 р., коли в усьому світі проходив Міжнародний геофізичний рік. У тому самому році в Обсерваторії розпочалися регулярні фотографічні спостереження метеорів. Лідія Матвіївна разом з колегами займалась впровадженням методики спостережень та їх обробки. За цією методикою велися спостереження метеорів та розраховувалися елементи їх орбіт протягом наступних трьох десятиліть. Але головний науковий інтерес для Лідії Матвіївни становило дослідження еволюції орбіт метеорів, астероїдів та комет шляхом чисельного інтегрування.

На превеликий жаль у колі київських астрономів небесно-механічний набрям досліджень не отримав широкого й систематичного характеру. Не була створена школа небесної механіки, де б могли готуватися фахівці з цієї важливої галузі астрономії. Потягом десятиліть окремі науковці займалися такими питаннями й отримували

певні наукові результати. Залишаючи науку, вони не залишали по собі послідовників, які б продовжували їхні дослідження. Звичайно, в університетському курсі вивчення астрономії студенти отримували певні початкові знання з небесної механіки. Детального ознайомлення з аналітичними та чисельними методами еволюції орбіт тіл Сонячної системи не проводилось. То ж Лідія Матвіївна також мала самостійно входити в цю важливу наукову проблему. Розпочавши в 60-х роках знайомство з теорією чисельних методів інтегрування, вона вже в 1973 р. успішно захистила кандидатську дисертацію на тему "Еволюція метеорних роїв".

У ті роки розрахунки виконувались на електронно-обчислювальних машинах, кожна з яких займала кілька кімнат в головному (червоному) корпусі Університету. а їх потужність була помітно нижчою, ніж в сучасних персональних EOM. Дані в EOM вводились через перфокарти, сумарна маса яких для окремих великих програм вимірювалась в кілограмах. То ж Лідії Матвіївні, як і іншим співробітникам, котрі вели свої обчислення, доводилось кілька разів на тиждень нести від Обсерваторії до червоного корпусу кілограми даних та повертатись назад з тими ж даними та ще й з кілограмами паперу, на якому містились результати обчислень.

Дещо пізніше Лідія Матвіївна розпочала дослідження еволюції орбіт астероїдів, в яких головна увага відводилась вивченню люків Кірквуда в головному поясі. Спільно з колегами були отримані результати, які досить детально пояснювали механізм утворення люків. І по сьогоднішній день ці результати не втрачають своєї актуальності.

Ряд робіт Лідії Матвіївни з її колегами присвячений взаємозв'язку астероїдів з коротко-періодичними кометами. В тих публікаціях ще в 80-ті роки минулого століття було вказано на можливий генетичний зв'язок між цими тілами. Подібна точка зору на сьогодні набрала помітно ширшого обговорення, а існування таких тіл, як комети головного поясу вже може розглядатися як певний спостережний аргумент на її користь.

У 1992 р. Лідія Матвіївна пішла на пенсію. Та зв'язків з Обсерваторією й колегами вона не розірвала. Навіть до останніх тижнів свого життя Лідія Матвіївна, хоча і в телефонному режимі, обговорювала з колегами ті ж наукові проблеми, яким присвятила 35 років своєї роботи в Обсерваторії.

Похована Лідія Матвіївна Шербаум в Києві на Берковецькому кладовищі (ділянка № 25). Під час поховання, яке проходило за іудейським ритуалом, труну не відкривали. Такий ритуал існує для того, щоб присутні при похованні зберегли в пам'яті образ померлої людини таким, яким вони знали його при житті. То ж і ми будемо пам'ятати Лідію Матвіївну саме такою, життєрадісною й енергійною. А її наукові результати ще стануть в нагоді наступним поколінням науковців у поясненні нерозкритих таємниць Сонячної системи.

Наукове видання



ВІСНИК

КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

АСТРОНОМІЯ

Випуск 1(55)

Оригінал-макет виготовлено ВПЦ "Київський університет"

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали. Рукописи не повертаються.



Формат 60×84^{1/8}. Ум. друк. арк. 7. Наклад 300. Зам. № 217-8223. Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № А1. Підписано до друку 12.06.17