

У момент повного покриття (затемнення) зорі астероїдом (рис. 4) положення його на небесній сфері точно відповідатиме координатному положенню зорі. Із використанням високоточного каталогу положень GAIA, для суттєвого уточнення параметрів орбіти астероїда необхідна точна реєстрація моментів початку й закінчення покриття зорі астероїдом. У нашому методі передбачена точна реєстрація моментів початку й закінчення сканування через GPS-прив'язку. У такому методі використовується двоступенева прив'язка до всесвітнього часу. При такому способі, коли відбувається запис зображень, час фіксується за допомогою системного часу комп'ютера. Інша програма GPSwatch [3] на весь період спостережень веде протокол поправок системного часу комп'ютера до всесвітнього за допомогою сигналів GPS-приймача. Ця програма працює у фоновому режимі й не заважає основній роботі програми запису зображень. Результуючі моменти покриття отримуються під час обробки спостережень із залученням протоколів обох програм.

Список використаних джерел

1. <https://occultations.org>.
2. Kleshchonok V. V., Buromsky M. I. Observations of stars occultations by the Moon with the "Spalakh" television system / V. V. Kleshchonok, M. I. Buromsky // Кинематика и физика небесных тел. – 2005. – Т. 21, № 5-додаток. – С. 405–408.
3. Kleshchonok V. V., Buromskii N. I., Khat'ko I. V. The Kyiv electronic database of television observations of star occultations by the moon / V. V. Kleshchonok, N. I. Buromskii, I. V. Khat'ko // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. – 2008. – Vol. 24, Iss. 2. – P. 114–118.

Надійшла до редколегії 25.09.17

В. Карбовский, инженер,
Главная астрономическая обсерватория НАН Украины
В. Клещенок, канд. физ.-мат. наук,
М. Буromский, инженер,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

ПРОГРАММНЫЙ И АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЗВЕЗД АСТЕРОИДАМИ

В 2016 г. начата подготовка к программе наблюдения покрытия звезд астероидами на телескопе AZT-2. Был предложен и разработан новый метод регистрации покрытия с помощью ПЗС-камеры в режиме синхронного переноса. Написанная специальная программа для управления ПЗС камерой и записи изображений во время таких наблюдений. Скорость переноса изображения может меняться в широких пределах, что дает возможность проводить наблюдения в широком диапазоне звездных величин. Используется телескоп AZT-2, который имеет наибольший диаметр зеркала в Киеве ($D = 0.7$ м. $F = 10.5$ м.). Был изготовлен 3-х кратный оптический редуктор, обеспечивающий поле зрения с ПЗС-камерой Apogee Alta U47 10 угловых минут и эквивалентное фокусное расстояние телескопа 3.2 метра. Приведены результаты тестовых наблюдений. Программа выполняется совместно Главной астрономической обсерваторией НАН Украины и Астрономической обсерваторией Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. С помощью данного комплекса планируются регулярные наблюдения покрытий звезд астероидами.

Ключевые слова: астероиды, покрытие звезд, быстрая фотометрия.

V. Karbovsky, engineer, Main astronomical observatory NAS of Ukraine, Kyiv
V. Kleshchonok, Ph. D.,
M. Buromsky, engineer,
Taras Shevchenko National University of Kyiv

SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR OBSERVATION OF STAR OCCULTATIONS BY ASTEROIDS

The preparation to the program for observation of star occultations by asteroids on the AZT-2 telescope was started in 2016. A new method for registration of occultation with a CCD camera in the synchronous transfer mode was proposed and developed. The special program was written to control the CCD camera and record images during such observations. The speed of image transfer can vary within wide limits, which makes it possible to carry out observations in a wide range of stellar magnitudes. The telescope AZT-2 is used, which has the largest mirror diameter in Kiev ($D = 0.7$ m. $F = 10.5$ m). A 3-fold optical reducer was produced, which providing a field of view with a CCD camera Apogee Alta U47 10 arcminutes and the equivalent focal length of the telescope 3.2 meters. The results of test observations are presented. The program is implemented jointly by the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine and the Astronomical Observatory of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Regular observations of star occultation by asteroids are planned with the help of this complex.

Key words: asteroids, star occultation, speed photometry.

УДК 523.682.2-355

А. Мозгова, инж. I кат.
В. Клещенок, канд. физ.-мат. наук
Киевський національний університет імені Тараса Шевченка,
А. Голубаєв, канд. физ.-мат. наук НДІ астрономії Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
І. Боровічка, д-р наук, Астрономічний інститут Академії наук Чеської Республіки

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗБУДЖЕННЯ АТОМІВ FeI У МЕТЕОРНІЙ КОМІ ЗА СПЕКТРОМ СПОРАДИЧНОГО МЕТЕОРА, ОТРИМАНОГО 2 СЕРПНЯ 2011 РОКУ В ЧЕХІЇ

Представлено результати визначення температури збудження атомів FeI за даними досліджень метеорного спектра, отриманого 2 серпня 2011 р. у місті Ондржейов на спостережувальній станції Астрономічної обсерваторії Астрономічного інституту Академії наук Чеської Республіки.

Ключові слова: температура збудження атомів, метеор, спектр, спектральні лінії, інтенсивності спектральних ліній.

Вступ. Дослідження метеорних явищ тривалий час є окремим напрямом в астрономії. Спочатку метеори спостерігали візуально. Із появою фотографії розвитку набули фотографічні спостереження метеорних явищ. Останнім часом переважають відео спостереження. Головними особливостями метеорів є їхня короткотривалість і непередбачуваність місця прольоту на небі.

Спостерігаючи метеори фотографічно в інтегральному світлі, радіолокаційними, фотоелектричними або телевізійними методами ми можемо отримати інформацію про кінематичні характеристики метеорного тіла: його орбіту, тривалість і швидкість польоту, висоту початку й кінця явища, а також інтенсивність випромінювання та її зміну з висотою, спостерігати наявність або відсутність спалахів тощо. Проте безпосереднє дослідження саме метеорних спектрів може відповісти на питання про природу випромінювання метеорного явища. Цей напрям у метеорній астрономії бере свій початок із 1864 р., коли вперше візуально спостерігався спектр метеора. Дослідження метеорних спектрів дає нам інформацію про якісний і кількісний хімічний склад метеорного тіла, температуру, процеси абляції, фізико-хімічні процеси, що відбуваються під час метеорних явищ в атмосфері Землі та маси метеороїдів, механізм випромінювання метеорів, причини і протікання спалахів. Досліджуючи метеорні спектри, ми вивчаємо фізичне явище, яке у фізичних експериментальних лабораторіях відтворити повністю поки неможливо. Подібний дослід провести дуже складно. Відомі спроби проведення експериментів із відтворення метеорних явищ [1-4], однак результатів таких експериментів не вистачає для побудови теорії випромінювання метеора, яка цілком не завершена.

Метеорна спектроскопія традиційний, але все ще перспективний метод вивчення хімічного складу й інших властивостей метеороїдів та їхніх батьківських тіл (астероїдів, комет). Багато теоретичних робіт і результатів спостережень потребують використання всіх переваг цього методу досліджень. Тому дослідження метеорних спектрів є актуальним науковим завданням.

Спектр метеора 2 серпня 2011 р. Представлений у роботі метеорний спектр (Рис. 1) отримано 2 серпня 2011 р. о 21:56:11 UT у місті Одржейов на спостережувальній станції Астрономічної обсерваторії Астрономічного інституту Академії наук Чеської Республіки. Координати проекції початку й кінця метеора на земну поверхню на рівні моря: $\lambda_n=15^{\circ},76993E$, $\phi_n=49^{\circ},38140N$ та $\lambda_k=15^{\circ},61661E$, $\phi_k=49^{\circ},13797N$ відповідно.

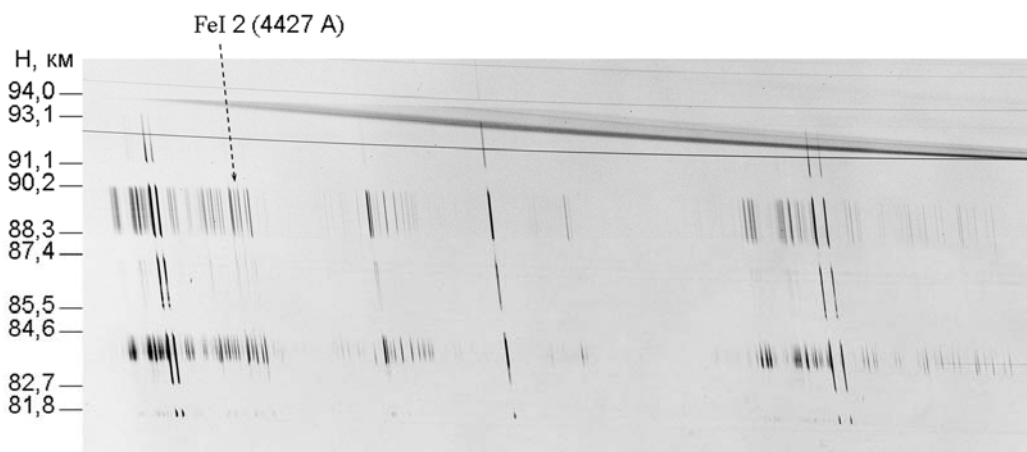


Рис. 1. Спектр метеора 2 серпня 2011 року. Напрямок польоту – згори донизу. Спектр поділено на фрагменти через перекриття сліду метеора об'єктивом. Ліворуч – перший спектральний порядок, посередині – частина другого спектрального порядку. Горизонтальні смуги – зображення нульових спектральних порядків зір. У центрі знімка зоря α Ori (Orion – Змієносець)

Висота появи та згасання метеора 115,712 км і 80,628 км відповідно. Середня швидкість руху метеорного тіла в атмосфері Землі становила 48 км/с. Це був спорадичний метеор, що мав дуже ексцентричну орбіту з перигелійною відстанню 0,969 а.о. і кутом нахилу $79,7^{\circ}$ [5].

Спектр отримано за допомогою фіксованої ширококутної камери Tessar (1:4,5; $f=360$ мм), оснащеної дифракційною ґраткою 600 штр./мм. Початок і кінець експозиції – 20:10:06 UT 2011-08-02 і 2:00:26 UT 2011-08-03 відповідно. Метеорний спектр зафіксовано на скляній пластинці розміром 24×18 см із використанням емульсії FOMAPAN 200. Зображення метеора поділено на 5 фрагментів за допомогою об'єктива з частотою обертання 15 с^{-1} , що розташовувався перед об'єктивом фотокамери (Рис. 1). На знімку спостерігаються місця підвищеної інтенсивності спектральних ліній. Чітко видно лінії першого та другого спектрального порядку. Спостерігаються ледь помітні лінії CaII третього спектрального порядку. Дисперсія у першому спектральному порядку становить 45 Å/мм. Охоплено спектральний діапазон 3500–7000 Å.

Детально методику та результати спектروفотометричної обробки спектра метеора й аналіз якісного складу метеорного тіла наведено у [5]. У цій роботі представлено результати визначення температури збудження атомів заліза в метеорній комі. Спектри метеорів – це переважно спектри випромінювання атомів, із яких складається метеорне тіло. У метеорних спектрах спостерігається велика кількість спектральних ліній атомів різних хімічних елементів, проте не всіх. У представленому спектрі метеора було виявлено 125 емісійних спектральних ліній, що належать атомам CrI, FeI, MgI, SiI, AlI, MnI, CaI, TiI, NaI і FeII, CaII, MgII, TiII, SiII.

Результати визначення температури збудження атомів FeI методом емісійних кривих росту. Одним із завдань кількісного аналізу метеорних спектрів є визначення температури збудження атомів у метеорній комі. Головною проблемою цього завдання є те, що метеорна плазма не перебуває у стані термодинамічної рівноваги [6, 7]. Більш того, кожна лінія певного елемента має різну оптичну товщину. У кількісному дослідженні цих ліній необхідно враховувати ефект самопоглинання у спектральних лініях. Дослідники розвивали й застосовували різні методи кількісного аналізу. Найбільш відомим і розвиненим є метод емісійних кривих росту (ЕКР), який ґрунтується на припущенні локальної термодинамічної рівноваги в об'ємі випромінювання і враховує ефект самопоглинання у спектральних лініях [7, 8, 9]. Метод ЕКР полягає в тому, що для випромінюючого об'єму припускається локальна

термодинамічна рівновага й Больцманівський розподіл по рівнях. Визначаються інтенсивності окремих спектральних ліній. Отримується рівняння прямої, що виражає Больцманівський розподіл. Будується графік, із якого за кутом нахилу прямої до осі абсцис визначаємо значення температури збудження елемента.

Використовуючи метод емісійних кривих росту, було визначено температуру збудження атомів FeI, ліній якого спостерігається найбільше в дослідженому спектрі метеора. Для покращення точності та достовірності результатів взято 57 окремих спектральних ліній FeI. Визначалася також зміна температури збудження атомів FeI із висотою. Зміна температури збудження атомів FeI у метеорній комі з висотою представлена в табл. 1 і на рис. 2. На рис. 2 відображено також крива блиску спектральної лінії FeI (2) ($\lambda=4427 \text{ \AA}$).

Увагу привертає те, що під час різких спалахів яскравості метеора на висотах 89.5 і 83.9 км у точці максимуму інтенсивності температура збудження атомів заліза має найменше значення. До того ж, температура збудження змінюється відносно повільніше, ніж інтенсивність. На таку закономірність неодноразово вказували й інші дослідники, наприклад у публікаціях [10, 11]. Зокрема в роботі [10] відзначається, що для метеорів без спалахів блиску залежність температури збудження від висоти має регулярний характер і повторює криву блиску, а для метеорів зі спалахом ця залежність змінюється стрибкоподібно. Причому, температура збудження атомів FeI, MgII, CaII падає при збільшенні блиску метеора, тобто при посиленні випаровування. Це ж показує й розрахована концентрація іонів CaII уздовж шляху метеора: вона має мінімальне значення на ділянці кривої блиску, де випаровування і блиск досягає максимуму. Із посиланням на [6] автор [10] пояснює це явище тим, що з посиленням випаровування відносно холодні пари не встигають прогріватися за рахунок взаємодії з молекулами повітря, що набігає. За аналогією можна думати, що при цьому слабшає і процес іонізації, або ж розширення пару призводить до зменшення концентрації іонів в одиниці об'єму. Подібний ефект спостерігається на рис. 2, де помітно, що більшому спалаху (більшому викиду речовини) відповідає менше значення температури, порівняно з попереднім менш інтенсивним спалахом. Фізичний механізм, що приводить до різких спалахів яскравості метеорів, дотепер погано вивчений і вимагає накопичення спостережних даних. Деякі основні з імовірних механізмів розглянуті в монографії [6].

Таблиця 1

Результати визначення температури збудження атомів FeI за спектром метеора 2 серпня 2011 р.

Висота, км	Температура, К
91,6–91,1	4600± 440
90,2–89,7	3870± 250
89,7–89,2	3770± 230
89,2–88,7	3830± 240
88,7–88,2	4080± 320
87,4–86,9	4300± 380
86,9–86,4	4160± 400
86,4–85,9	4170± 380
85,9–85,4	4470± 410
84,6–84,1	3930± 190
84,1–83,6	3480± 150
83,6–83,1	3710± 260
83,1–82,6	4460± 450
81,8–81,3	4090± 290

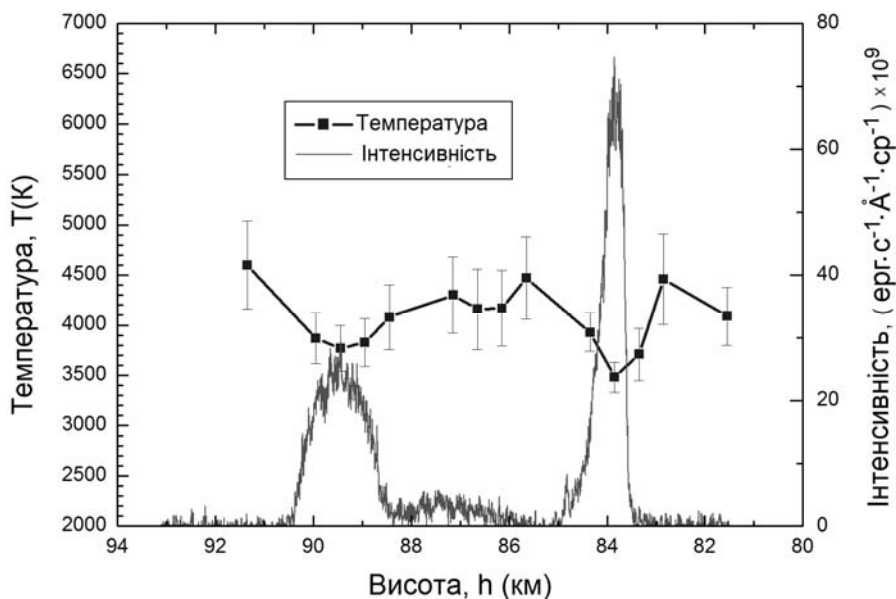


Рис. 2. Зміна температури збудження атомів FeI у метеорній комі з висотою та крива блиску спектральної лінії FeI (2) ($\lambda=4427 \text{ \AA}$)

Висновки. Виявлено нерівномірну зміну температури збудження атомів FeI із висотою за даними досліджень метеорного спектра 2 серпня 2011 р. Спостерігається підвищення температури збудження атомів FeI перед і одразу після спалахів і її зниження безпосередньо під час спалахів. Можливо, під час спалахів відбувалося суттєве руйнування метеорного тіла з подальшими викидами метеорної речовини й розсіюванням її у просторі навколо метеороїда. Унаслідок активного руйнування відкривалися менш нагріті ділянки метеорного тіла, що призводило до зниження температури. Температура збудження розраховувалася в наближенні термодинамічної рівноваги, яка не встигає встановитися під час прольоту метеорного тіла. Необхідно подальше дослідження для кращого вивчення процесів збудження та світіння ліній у спектрі метеорного явища.

Список використаних джерел

1. *Смирнов В. А.* Спектры кратковременных световых явлений: Метеоры / В. А. Смирнов. – М.: Физматлит, 1994. – 208 с.
2. *Jones W.* Theoretical and observational determinations of the ionization coefficient of meteors / W. Jones // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1997. – V. 288. – № 4. – P. 995–1003.
3. *Saidov K. H.* Luminous efficiency coefficient from simultaneous meteor observations / K. H. Saidov, M. Simek // Astronomical Institutes of Czechoslovakia, Bulletin (ISSN 0004-6248). – 1989. – V. 40. – № 5. – P. 330–332.
4. *Smirnov V. A.* Coefficient of Meteor Plasma Radiation / V. A. Smirnov // Proceedings of the International Meteor Conference, Frasso Sabino, Italy, 23–26 September 1999, Editor: Arlt, R., International Meteor Organization. – 2000. – P. 47–58.
5. *Mozgova A.M.* Identification of emission lines in a meteor spectrum obtained on August 2, 2011 / A. M. Mozgova, J. Borovicka, P. Spurny, K. I. Churyumov // Odessa Astronomical Publications. – 2015. – 28/2. – С. 289–291.
6. *Бронштэн В. А.* Физика метеорных явлений / В. А. Бронштэн. – М.: Наука, Главная редакция физ.-мат. литературы, 1981. – 416 с.
7. *Ceplecha Z.* Study of a bright meteor flare by means of emission curve of growth / Z. Ceplecha // VAC. – 1964. – Vol. 15. – № 3. – P. 102–112.
8. *Millman P. M.* Analysis of meteor spectra / P. M. Millman // Ann. Harvard Coll. Obs. – 1937. – V. 82. – № 7. – P. 149–177.
9. *Ceplecha Z.* Study of a bright meteor flare by means of emission curve of growth / Z. Ceplecha // VAC. – 1964. – V. 15. – № 3. – P. 102–112.
10. *Кохирова Г. И.* Количественный анализ спектров метеоров / Г. И. Кохирова // Астрономический Вестник. – 1993. – Т. 27. – № 3. – С. 100–112.
11. *Borovicka J.* A fireball spectrum analysis / J. Borovicka // Astron. Astrophys. – 1993. – V. 279. – P. 627–645.

Надійшла до редколегії 15.09.17

А. Мозговая, инж. I cat.
В. Клещонок, канд. физ.-мат. наук,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
А. Голубаев, канд. физ.-мат. наук, НДИ астрономии Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,
И. Боровичка, д-р наук, Астрономический институт Академии наук Чешской Республики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ АТОМОВ FeI В МЕТЕОРНОЙ КОМЕ ПО СПЕКТРУ СПОРАДИЧЕСКОГО МЕТЕОРА, ПОЛУЧЕННОГО 2 АВГУСТА 2011 ГОДА В ЧЕХИИ

Представлены результаты определения температуры возбуждения атомов FeI по данным исследований метеорного спектра, полученного 2 августа 2011 г. в городе Ондрейов на наблюдательной станции Астрономической обсерватории Астрономического института Академии наук Чешской Республики.

Ключевые слова: температура возбуждения атомов, метеор, спектр, спектральные линии, интенсивности спектральных линий.

А. Mozgova, eng. I cat.
V. Kleshchonok, Ph. D.,
Taras Shevchenko National University of Kyiv
А. Golubaev, Ph. D. Institute of Astronomy, V. N. Karazin KhNU
J. Borovicka, Dr. Sc., Astronomical Institute, Ondrejov Observatory

THE EXCITATION TEMPERATURE DETERMINATION OF THE FeI ATOMS ACCORDING TO THE SPORADIC METEOR SPECTRA DATA OBTAINED ON AUGUST 2, 2011 IN CZECH

This paper presents the results of the determination of the excitation temperature of the FeI atoms according to the data of the meteor spectra obtained on August 2, 2011 in Ondrejov, at the observation station of the Astronomical Institute Observatory of the Academy of Sciences of the Czech Republic.

Keywords: atomic excitation temperature, meteor, spectrum, spectral lines, intensity of spectral lines.

УДК 523.985

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

ПОРІВНЯННЯ ХРОМОСФЕРНИХ І ФОТОСФЕРНИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ У ДВОХ СОНЯЧНИХ СПАЛАХАХ БАЛІВ X1.1/4N І X17.2/4B

Із порівняння спектрально-поляризаційних вимірювань магнітного поля у двох потужних сонячних спалахах (28 жовтня 2003 р. балу X17.2/4B і 17 липня 2004 р. балу X1.1/2N), виконаних у лініях FeI і D1 NaI, впливає, що ефективне магнітне поле B_{eff} було сильнішим у хромосфері, ніж в фотосфері. Найсильніше магнітне поле (4600 Гс) зафіксовано на хромосферному рівні більш слабого спалаху, причому це поле виявилось у 1.6 рази сильнішим, ніж магнітне поле в найближчій до спалаху сонячній плямі. Порівнюючи отримані результати з подібними даними роботи Лозицької та ін. [8] для спалахів 1981 і 1989 рр. (тобто циклів активності №№ 21 і 22), бачимо суттєву відмінність. В обох досліджених у цій роботі спалахах, які стосуються 23-го циклу, маємо для розщеплення емісійних піків $B_{\text{eff}}(\text{FeI}) < B_{\text{eff}}(\text{D1})$, тоді як у спалахах циклів №№ 21 і 22 виявлено обернену нерівність $B_{\text{eff}}(\text{FeI}) > B_{\text{eff}}(\text{D1})$. Цей результат поки що не має пояснення та вимагає додаткової перевірки на новому спостережному матеріалі.

© Лозицький В., Лозицька Н., 2017