

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2021.01.071>

УДК 521.86

**В. В. Клецонок¹, В. Л. Карбовський²,
М. І. Буромський¹, М. В. Лашко²**

¹Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка,
вул. Обсерваторна, 3, м. Київ, 04053

²Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України,
вул. Академіка Заболотного 27, м. Київ, 03143
klev@observ.univ.kiev.ua, nburomsky@ukr.net,
karb1234@ukr.net, mykhaylo.lashko@gmail.com

Спостереження покриттів зір астероїдом (259) Алетея і кометою 21P/Джакобіні — Циннера

Приводяться параметри нового комплексу для спостереження покриттів зір тілами Сонячної системи. Комплекс призначено для монтування на телескопі АЗТ-2 ($D = 70$ см, $F = 10.5$ м) Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук України з оптичним редуктором фокусної відстані, але може бути встановленим і на інших телескопах. Як світлоприймач використовується ПЗЗ-камера Arophee Alta U47 у режимі синхронного переносу. Описано результати дослідження двох явищ, отриманих за допомогою цього комплексу. Під час спостережень 21 вересня 2018 р. було зареєстровано зменшення блиску зорі HD 45314 біля ефемеридного моменту покриття кометою 21P/Джакобіні — Циннер на 0.04^m . Це значення перевищує можливий рівень похибок фотометрії треку зорі. Показано, що таке зменшення блиску не можна пояснити послабленням світла в симетричній пиловій комі комети. Отримане зменшення блиску пояснено проходженням зорі через джетову структуру з різкими границями з оптичною товщиною 0.035 ± 0.012 і кутом розкриття 54.6° . Альbedo однократного відбиття пилових частинок цього джету лежить у межах $0.04 \dots 0.06$. При спостереженнях 31 березня 2019 р. зорі UCAC4-475-051755 було зареєстровано її покриття астероїдом (259) Алетея тривалістю 16.7 с. Така тривалість покриття відповідає хорді астероїда розміром 185 км при очікуваному значенні 61 км, що перевищує прийнятну величину діаметра астероїда 179 км. Це розходження пояснено тим, що астероїд (259) Алетея має еліпсоїдальну форму. Обґрунтовується оцінка відношення осей еліпсоїда для астероїда 1:1.19.

© В. В. КЛЕЦОНОК, В. Л. КАРБОВСЬКИЙ, М. І. БУРОМСЬКИЙ, М. В. ЛАШКО, 2021

Ключові слова: покриття, астероїд (259) Алетя, комета 21P/Джакобіні — Циннер.

ВСТУП

Метод покриттів є досить ефективним в астрономічних дослідженнях. Він дозволяє здобувати інформацію, яку важко отримати іншими дистанційними методами. Це стосується геометричних розмірів, поверхневого розподілу яскравості, виявлення структурних особливостей (форми і кратності об'єктів, кілець) з роздільною здатністю, недосяжною для наземних телескопів. Метод покриттів широко використовувався для визначення форми і розмірів астероїдів із наземних спостережень. Для масових визначень діаметрів астероїдів використовуються інфрачервоні спостереження та обчислення у рамках моделі STM (Standard Thermal Model) [13]. Проте метод покриттів дає прямі незалежні значення розмірів і може використовуватися для калібрування і перевірки наявних моделей, які дають непрямі оцінки. Серед цікавих результатів застосування методу покриттів є відкриття систем кілець Урана [7] та кентавра (10199) Харікло [3]. Для комет метод покриттів також може дозволити оцінити розмір ядра та фізичні параметри внутрішньої коми на відстанях у сотні і навіть десятки кілометрів [8]. Всі результати, які можна отримати за допомогою методу покриттів, дають цінну інформацію для вивчення походження, еволюції та взаємодії між різними класами тіл Сонячної системи.

Додатковий стимул у поширенні цього методу пов'язаний зі створенням космічним апаратом GAIA високоточного каталогу положень і власних рухів понад 1 млрд зірок. Точність його на 3-4 порядки перевищує точність подібних каталогів, отриманих наземними спостереженнями. Значною мірою підвищилася також точність визначення орбіт астероїдів, що привело до збільшення кількості передбачень та точності ефемерид покриттів [22]. У свою чергу це сприяло збільшенню зацікавленості в таких спостереженнях. Дані про результати спостереження акумулює аматорська Міжнародна асоціація з покриттів та часу (IOTA <https://occultations.org>). Вона також прогнозує, аналізує та публікує спостереження покриттів для астероїдів.

КОМПЛЕКС ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОКРИТТІВ

Основною метою спостережень покриттів зір є вимірювання часу настання та тривалості події. Термін «подія» означає, що зірка і будь-яке тіло у Сонячній системі перебувають на одному промені зору, внаслідок чого яскравість зорі змінюється. Якщо йдеться про дотичне покриття зорі Місяцем, то спостерігач може фіксувати кілька подій. У більшості астероїдних покриттів спостерігач фіксує дві події: зник-

нення зорі та її повторна поява. Очевидно, що точний час є важливою частиною спостережень покриттів. Часто потрібно також отримати фотометричну криву покриття, щоб мати додаткову або точнішу інформацію про тіла, які беруть участь у цій події. Як обладнання, так і методи спостереження покриттів зір астероїдами розвивалися протягом багатьох років із розвитком та появою нових швидкісних приймачів світла та застосуванням нових методів реєстрації точних моментів часу, зокрема GPS-приймачів.

У Головній астрономічній обсерваторії Національної академії наук України спільно з Астрономічною обсерваторією Київського національного університету імені Тараса Шевченка розроблено і виготовлено комплекс для спостереження явищ покриттів [1]. Він використовує метод реєстрації покриття за допомогою ПЗЗ-камери, яка працює в режимі синхронного переносу заряду (Drift scan mode). У процесі спостережень виконується запис зображень треків зірок, отриманих при зміщенні заряду у напрямку кола схилень. При цьому годинниковий механізм телескопа продовжує працювати, що дає можливість застосувати автоматичне гідкування телескопа, яке покращує точність отриманих результатів. Також режим синхронного переносу заряду дозволяє сканувати тривалі смуги. Накопичення сигналу в зображенні треку зірки обмежується часом між послідовними перенесеннями рядка ПЗЗ-камери. Тому можна підбирати оптимальну швидкість перенесення в залежності від блиску зорі, яка покривається. Рівень фону при цьому обмежується накопиченням сигналу за часом переміщення зображення через все поле зору ПЗЗ-камери.

Структурну схему комплексу показано на рис. 1. Його основні елементи: телескоп 1 з механізмом точного годинникового механізму 8; перетворювач 2 фокусної відстані телескопа з блоком *BVRI*-світлофільтрів; ПЗЗ-камера 3; керівний комп'ютер 4; GPS-приймач 5; система живлення приладів та електронних вузлів комплексу 6.

У комплексі за приймач зображення 3 використовується ПЗЗ-камера Arcee Alta U47 (1024 × 1024 пкл, розмір пікселя 13 × 13 мкм), яка дозволяє працювати в режимі синхронного переносу заряду.

У фокальну площину довгофокусного телескопа 1 поміщається перетворювач 2 фокусної відстані телескопа та блок *BVRI*-світлофільтрів, що виконує роль вхідного отвору. Перетворювач служить для збільшення поля зору на ПЗЗ-камері та зменшення розмірів зображень зірок, через те що телескопи з великою фокусною відстанню дають великі розміри точкових зоряних зображень, зумовлені, головним чином, атмосферними флуктуаціями. Даний перетворювач вкорочує фокусну відстань телескопа у 4.5 рази, тим самим значно збільшуючи світлосилу телескопа.

Перетворювач фокусної відстані телескопа з блоком *BVRI*-світлофільтрів містить три основних елементи: блок світлофільтрів *BVRI*, колектив *K*, та оптичний редуктор *P*, встановлений у фокальній пло-

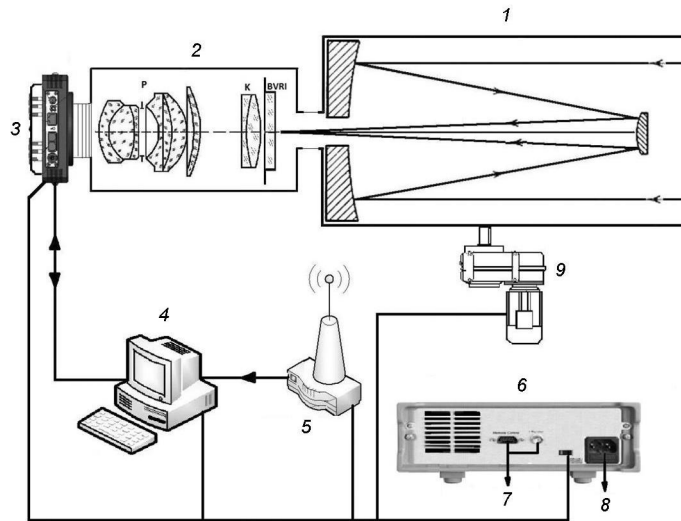


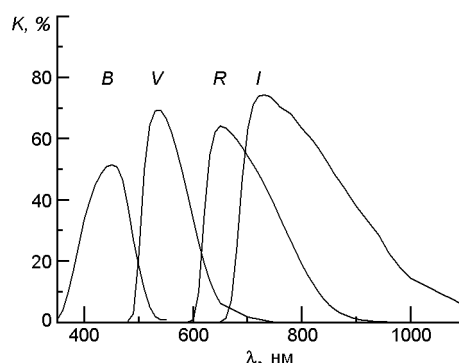
Рис. 1. Структурна схема комплексу: 1 — телескоп, 2 — перетворювач фокусної відстані, 3 — ПЗЗ-камера, 4 — комп'ютер, 5 — GPS-приймач, 6 — система живлення, 7 — роз'єм зовнішнього контролю, 8 — АС, 9 — годинниковий механізм

щині колектива K . Встановлена близько фокуса телескопа лінза поля K (колектив) зменшує розбіжність польових пучків, але не змінює їхньої апертури. Колектив дозволяє істотно зменшити діаметр лінз оптичного редуктора P . Діаметр колектива визначає лінійний поперечник поля телескопа.

У фокальній площині колективу встановлено оптичний редуктор P . Він укорочує фокусну відстань телескопа у 4.5 раз, тим самим значно збільшуючи його відносний отвір. Перед колективом K встановлено блок світлофільтрів $BVRl$. Це скляні світлофільтри з вхідним діаметром 78 мм, виготовлені за допомогою комбінацій таких сортів скла: фільтр B — ЖС10 (2 мм) + СС5 (1.5 мм) + СЗС21 (1.7 мм); фільтр V — ЖС17(2.5 мм) + СЗС21 (2.3 мм); фільтр R — ЗС7 (2.5 мм) + КС14 (3 мм); фільтр I — КС19 (3 мм) + у червоній області обмеження спектральною чутливістю ПЗЗ-камери. Смуги пропускання світлофільтрів B і V відповідають фотометричній системі Джонсона, а смуги пропускання R та I — відповідно смугам R та I фотометричної системи Козінса. На рис. 2 показано криві чутливості комплексу з урахуванням абсолютної квантової ефективності фотоприймача (<http://www.birtwhistle.org.uk/U47.pdf>). Положення колектива K і блока світлофільтрів $BVRl$ відносно фокальної площини телескопа розраховано таким чином, щоб цими оптичними елементами вносились мінімальні спотворення у світловий пучок.

Проведено кілька сеансів тестових спостережень на різних створених площадках, зокрема проведено декілька сеансів тестових спостережень з метою визначення основних параметрів астрономічного

Рис. 2. Спектральна залежність чутливості комплексу для спостережень покрить з різними світлофільтрами



комплексу та уточнення методики спостережень. Для цього були проведені спостереження скупчення NGC 6709 на телескопі АЗТ-2 ($D = 70$ см, $F = 10.5$ м) Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук України. Після обробки отримані такі результати: коефіцієнт оптичної редуції перетворювача фокусної відстані — 4.5, масштаб зображення — 1.15 /пкл, поле зору з даною ПЗЗ-камерою — 19.6 . Якість зображення відповідає розміру зображення зорі 3.2...3.5 . За 100 с експозиції реєструються зорі з граничною зоряною величиною 18.2^m . Для цієї експозиції лінійна шкала зберігається до 11^m . Шкала візуальних зоряних величин V має деяку залежність від кольору зір за даними каталогу UCAC4 [24] (див. рис. 3). Лінійна апроксимація цієї залежності, побудована за зорями скупчення NGC 6709, описується рівняннями

$$V = V_0 + m_i + a + b(B - V),$$

де m_i — інструментальна зоряна величина, $B - V$ — показник кольору зір, $a = 11.11 \pm 0.10$, $b = 0.36 \pm 0.11$.

Для проведення спостережень покрить з даним комплексом також може використовуватися телескоп «Mirage 7» з діаметром $D = 18$ см і фокусною відстанню $F = 1.8$ м, розташований на території Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Та-

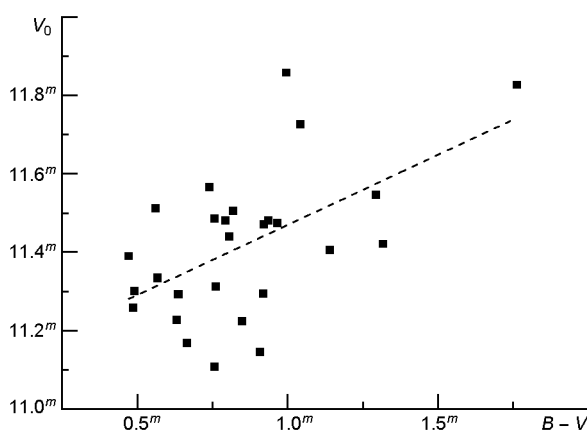


Рис. 3. Залежність сталої чутливості системи для смуги V від кольору зір

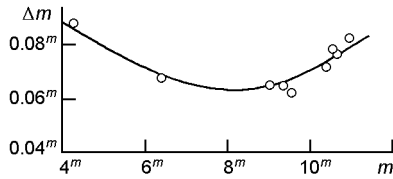


Рис. 4. Типова залежність похибки одного виміру на зоряному треку від зоряної величини для телескопа «Mirage 7»

раса Шевченка. Фотометричні дослідження сканів спостережень на телескопі «Mirage 7» показали особливості залежності точності фотометрії треків зір від зоряної величини. На рис. 4 показано типовий вигляд цієї залежності. Для яскравих зір точність зменшується через насичення зображення і відхилення від лінійної залежності величини сигналу від освітлення. Особливо цей ефект проявляється при високих рівнях фону неба. Для слабких зір точність зменшується через недостатню величину сигналу. Взагалі конкретний вигляд цієї функції залежить від рівня фону і швидкості переносу заряду.

ПОКРИТТЯ ЗОРІ HD 45314 КОМЕТОЮ 21P/ДЖАКОБІНІ — ЦИННЕР

Покриття зорі HD 45314 кометою 21P/Джакобіні — Циннер спостерігалося 21 вересня 2018 р. за допомогою комплексу для проведення спостережень покрить на телескопі «Mirage 7». Комета 21P/Джакобіні — Циннер належить до комет сімейства Юпітера. Вона породжує досить активний метеорний потік Драконіди. Зоря HD 45314 спектрального класу Ве має зоряну величину $V = 6.4^m$. Ця зоря в Генеральному каталозі змінних зір [21] має назву PZ Gem. Її нерегулярна змінність, як і більшості Ве-зір, пов'язана з оболонкою скинутої речовини. Проте наявність змінності не впливає на результати спостереження покрить, оскільки використовується відносна фотометрія цієї зорі на дуже короткому відрізку часу у кілька хвилин. Комета на час спостереження була віддалена від Сонця на 1.025 а. о., від Землі — на 0.410 а. о., фазовий кут дорівнював 75.6° . За ефемеридними даними момент покрить очікувався о 00:04:48 UT з похибкою 41 с. Максимальна тривалість покрить, отримана із оцінок діаметра ядра комети (2 км), становить 0.5 с. Смуга покрить проходила на відстані приблизно 160 км від Києва. На рис. 5 показано фрагменти кадрів з кометою до та після покрить, отримані з експозицією 10 с. Середина експозиції першого кадру відповідає моменту UT 23:54:12 20 вересня 2018 р., другого — UT 00:37:33 21 вересня 2018 р.

Для запису покрить використовувався режим сканування із 8000 кроків із затримкою 0.3 с на крок. Обробка виконувалася спеціальною програмою, яка здійснює фотометрію зоряних треків. Для зменшення рівня шуму фотометрична крива оброблялася за допомогою медіанної фільтрації з вікном 10 с. Застосування медіанного фільтра пов'язане з тим, що він не спотворює стрибкоподібні зміни рівня сигналу та не чутливий до окремих помилкових викидів сигналу. В результаті об-

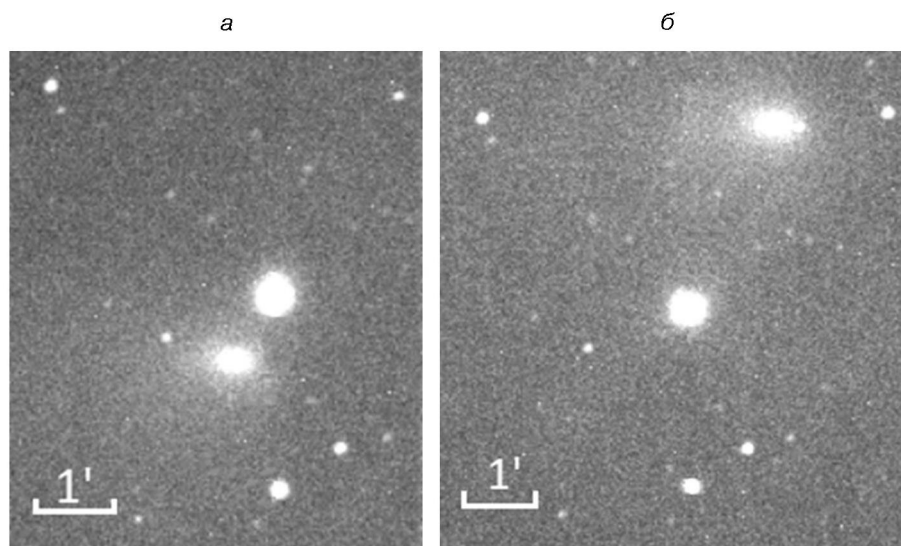


Рис. 5. Зображення комети 21P/Джакобіні — Циннер до (а) та після (б) покриття зорі HD 45314 21 вересня 2018 р.

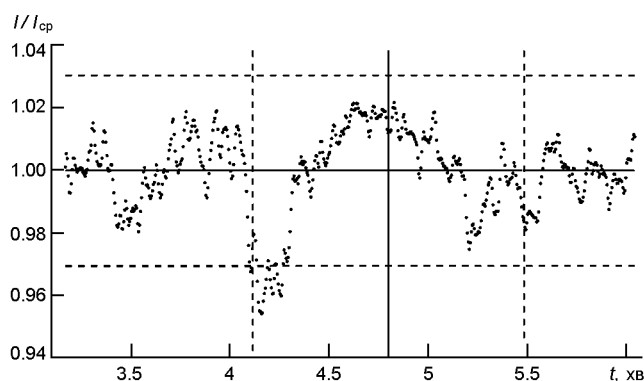


Рис. 6. Фотометрична крива покриття кометою 21P/Джакобіні — Циннер зорі HD 45314. Вертикальні штрихові лінії — допустимі межі ефемеридного моменту покриття. Горизонтальні штрихові лінії — границі випадкового рівня сигналу у межах $\pm 3\sigma$

робки отримано фотометричну криву з чітко вираженим зменшенням яскравості зорі у момент часу, який збігається з ефемеридним значенням сигналу у межах можливої точності ефемериди (рис. 6).

Дані щодо пилопродуктивності комети 21P/Джакобіні — Циннер в цей час були представлені на сайті CARA (<http://cara.uai.it>), де акумулюються дані аматорських спостережень комет. Для величини A_f помітна залежність від розміру використаної діафрагми (рис. 7). Для контролю в розрахунках ми використовували два значення: 221 см (для мінімальної помірної діафрагми $r = 833$ км) і 112 см (екстрапольоване значення для діафрагми максимального наближення до ядра $r = 160$ км).

Для інтерпретації спостережень покриття зорі кометою викорис-

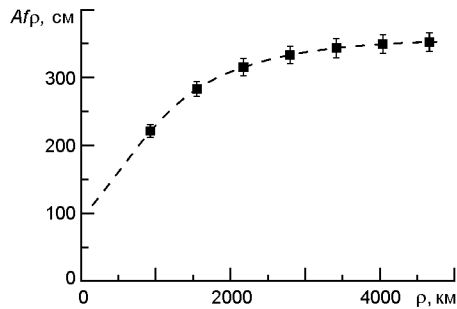


Рис. 7. Залежність пилопродуктивності Af від розміру діафрагми для комети 21P/Джакобіні — Циннер на дату спостереження за даними SARA. Квадратики — оригінальні дані, пунктир — сплайн-наближення

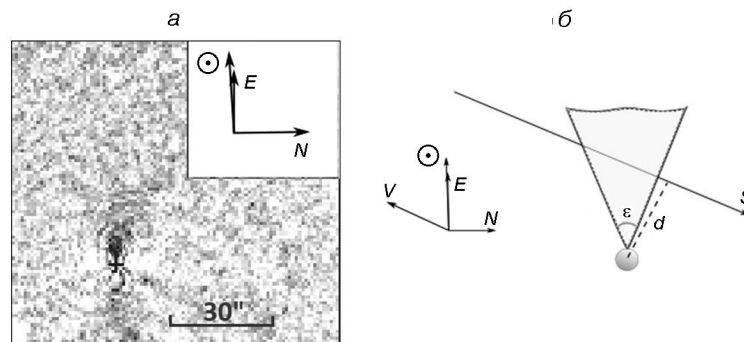


Рис. 8. Схема видимого руху зорі через кому комети під час покриття кометою 21P/Джакобіні — Циннер зорі HD 45314. Вказано напрямки на Сонце (☉), північ (N), схід (E), руху комети (V), мінімальна відстань d до ядра комети та видимий шлях S переміщення зорі

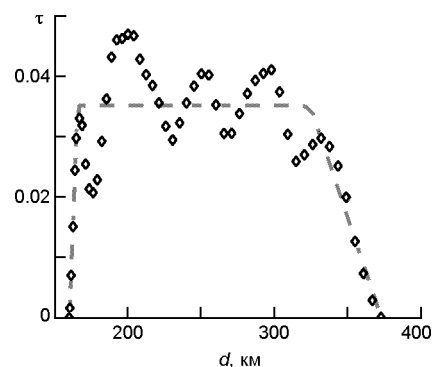
товувався типовий метод [10]. Вважалося, що кома симетрична, а її щільність змінюється за законом $1/r$, де r — відстань до ядра. Тоді альbedo A частинок пилової коми розраховується за формулою

$$A = \frac{Af}{2 \cdot ()}, \quad (1)$$

де $()$ — оптична щільність коми на промені зору. Оцінки альbedo частинок коми за цією формулою дають значення $A = 0.0002$ (для значення Af по мінімальній діафрагмі) і $A = 0.0001$ (для екстрапольованого значення Af). Очевидно, що таке мале значення альbedo не відповідає дійсності, тоді поглинання симетричною комою не може дати такої картини, яка спостерігалася при покритті зорі.

Приблизно в цей час (10—18 вересня 2018 р.) були отримані поляриметричні спостереження комети 21P/Джакобіні — Циннер [5]. В даній роботі відмічалася наявність джегової структури строго в сонячному напрямку. На спостережній станції у с. Лісники (№ 585 за списком MPC) 20 вересня 2018 р. були отримані зображення комети 21P/Джакобіні — Циннер на телескопі АЗТ-8 ($D = 70$ см, $F = 2.83$ м) у смузі R . Ці зображення були опрацьовані за допомогою цифрового фільтра обертового градієнту [11]. Отримане зображення показано на рис. 8а. Положення комети позначено хрестиком. Так само і для цієї дати спостерігається джет, напрямлений у бік Сонця. Таким чином, ми

Рис. 9. Залежність оптичної товщини кометної коми від відстані до ядра комети. Ромбики — виміряні значення, штрихова лінія — теоретична залежність у рамках простої моделі джету з двома крайовими зонами і середнім значенням всередині джету



можемо вважати, що і для нашого випадку зоря буде перетинати джет, вісь якого збігається з напрямком на Сонце. Геометрію такого випадку показано на рис. 8б.

Швидкість комети перпендикулярно до променя зору становила 21.85 км/с. Час проходження комети через джет за фотометричною кривою дорівнював 14.7 с, що дає довжину видимого шляху зорі через джет 321 км. За геометричними параметрами руху комети оцінено кут розкриття джету $= 56.4^\circ$. Оцінка безпосередньо із зображення (рис. 8а) дає значення $50 \pm 15^\circ$. Ці обидва значення у межах похибок однакові, і тому ми вважаємо, що вони передають реальні обставини покриття зорі кометою.

Для аналізу зареєстроване зменшення сигналу на фотометричній кривій було перераховано в оптичну товщину коми, і в результаті отримано залежність оптичної товщини кометної коми від відстані до ядра комети (рис. 9).

Отримана залежність оптичної товщини має майже симетричний характер відносно точки максимального зближення з крутим підйомом та спадом при наближенні до оптично щільної ділянки. У ділянці помітної оптичної щільності оптична товщина коливається навколо середнього значення 0.035. Виходячи з геометрії події, можна вважати, що видимий шлях зорі перетинає джет, який викидається з ядра комети у сонячному напрямку (рис. 9). На це вказує низька оптична товщина коми перед проходженням джету, обмежена у просторі ділянка з помітною щільністю, та різкі границі цієї ділянки. Інша можлива структура, наприклад оболонка, не може дати такого розподілу оптичної товщини з часом, оскільки вона має більші розміри. До того ж, у цей період у комети не спостерігалось інших структур, крім джета.

Наявний джет у комі має кут розкриття 56.4° . Будемо вважати, що половина пилу в кому потрапляє з джету. Також припустимо, що джет має симетричну конусоподібну форму. В такому випадку пилові часточки джету викидаються в тілесному куті $= 0.76$ стеррад. Тоді по аналогії з формулою (1) для альбеда можна записати вираз

$$A = \frac{Af}{2} \frac{4}{2} . \quad (2)$$

Розрахунки дають величину альbedo 0.0032 (для значення Af по мінімальній діафрагмі) і 0.0016 (для екстрапольованого значення Af). У роботі [10] з дослідження покриття зорі кометою C/1980 E1 Боуелл подібні значення інтерпретуються так, що пилові часточки мають пористу і дуже неправильну форму. Внаслідок цього відбиття світла від пилу відбувається двічі. Тому альbedo одиночного відбиття є коренем від отриманої величини і дорівнює 0.06 (для значення Af по мінімальній діафрагмі) і 0.04 (для екстрапольованого значення Af). Останнє значення збігається зі значенням альbedo одиночного відбиття для пилових часток у кометі C/1980 E1 Боуелл.

У роботі [9] приведено типові значення альbedo для пилового компонента комет $A = 0.025$ у діапазоні позиційних кутів $\theta = 35^\circ \dots 80^\circ$. Пиловий компонент коми комети 21P/Джакобіні — Циннер досліджувався зокрема в роботі [16]. На основі оптичних спостережень на 2.2-м телескопі на Мауна Кеа та інфрачервоних спостережень космічного телескопа Спітцера отримано значення болометричного альbedo пилових частинок $A(\theta = 22^\circ) = 0.11$. Відомий факт, при малих значеннях позиційного кута альbedo безатмосферних небесних тіл збільшується (опозиційний ефект) [18]. Типові значення позиційного кута, після якого розпочинається збільшення альbedo для кометного пилу, дорівнює 35° [9]. З іншого боку, болометричне альbedo суттєво більше від альbedo в оптичному діапазоні, оскільки пилові частинки мають власне випромінювання в далекій інфрачервоній ділянці спектру.

Дослідження поляризації [5] показали, що пилова складова комети 21P/Джакобіні — Циннер складається з двох компонентів. Перший компонент — силікатні частинки, збагачені магнієм, мають комплексний показник заломлення від $n = 1.6 + 0.01i$ до $n = 1.7 + 0.02i$. Другий — частинки з аморфного вуглецю, відомі з часів дослідження комети 1P/Галлея космічними апаратами [12] як CHON-частинки з комплексним показником заломлення $n = 2.43 + 0.59i$. Саме другий компонент забезпечує основний внесок у низьке значення альbedo для пилу комети 21P/Джакобіні — Циннер. Про CHON-частинки відомо, що вони пов'язані з джетами [6]. В нашому випадку низький контраст джета може виникати через те, що він складається переважно з таких CHON-частинок, які мало добавляють розсіяного сонячного світла порівняно з незбуреною комою. Також стає зрозумілим, чому не зафіксовано помітного поглинання світла зорі до потрапляння у джет. Саме у джеті, де збільшується кількість пилових частинок, які до того ж сильніше поглинають світло, було зареєстровано послаблення яскравості зорі і поміряна оптична товщина коми.

Таким чином, можна вважати, що при спостереженнях покриття був зареєстрований джет з різкими границями на відстані в межах 160...350 км з оптичною товщиною 0.035 ± 0.012 на позиційному куті

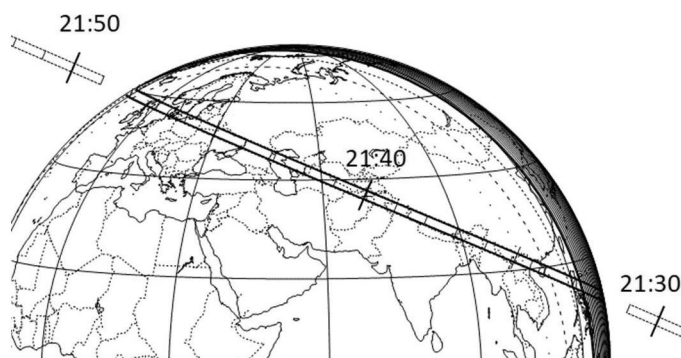


Рис. 10. Карта смуги покриття астероїдом (259) Алетея зорі UCAC4-475-051755, яке відбулося 31 березня 2019 р.

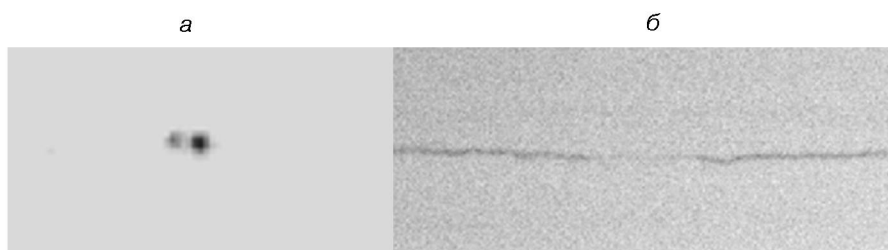


Рис. 11. Запис покриття астероїдом (259) Алетея зорі UCAC4-475-051755: *а* — фрагмент зображення перед покриттям, *б* — трек зорі з покриттям

91° і кутом розкриття 54.6° , в якому наявні пилові CHON-частинки з альбедо $A = 0.04 \dots 0.06$.

ПОКРИТТЯ АСТЕРОЇДОМ (259) АЛЕТЕЯ ЗОРІ UCAC4-475-051755

Покриття астероїдом (259) Алетея зорі UCAC4-475-051755 відбулося 31 березня 2019 р. Явище спостерігалось за допомогою комплексу для проведення спостережень покрить на телескопі «Mirage 7» з діаметром $D = 18$ см і фокусною відстанню $F = 1.8$ м, встановлений на території Астрономічної обсерваторії Київського університету. Блиск зорі $V = 11.1^m$, астероїда — $V = 12.0^m$. Свідчень змінності зорі немає. Висота зорі на момент покриття дорівнювала 41° . За ефемеридою смуга повного покриття пройшла північний схід на відстані 74 км від м. Києва (рис. 10). Падіння блиску зорі під час покриття — 1.3^m . Максимальна очікувана тривалість покриття 16.7 с. Цю тривалість покриття розраховано із оцінок діаметра астероїда 179 км. Очікувана довжина хорди для пункту спостереження 61 км, що відповідає тривалості покриття 5.7 с.

Момент покриття $21^h 44^m 56^s \pm 4^s$ UT. На рис. 11 показано моменти наближення астероїда та зареєстрований трек покриття зірки.

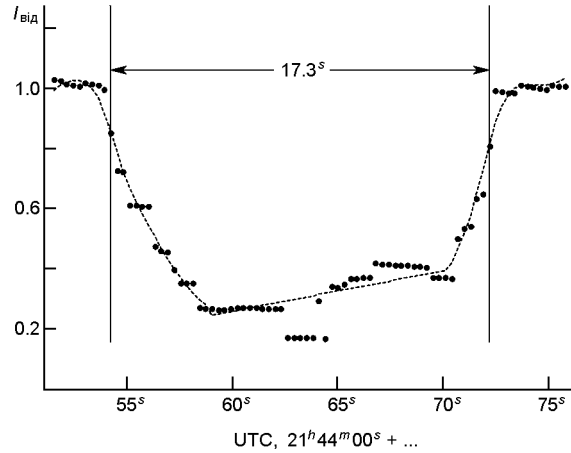


Рис. 12. Фотометрична крива покриття зорі UCAC4-475-051755 астероїдом Алетея 31 березня 2019 р.

Діаметр астероїда (259) Алетея за даними різних методів

Джерело	Діаметр, км	Похибка діаметра, км	Метод*
[23]	178.60	6.80	STM
[14]	190.50	6.00	Img
[20]	195.74	1.83	STM
[19]	198.47	14.97	NEATM
[19]	174.66	2.36	STM
[15]	182.86	3.49	NEATM

*STM: Standard Thermal Model (стандартна термічна модель),
 NEATM: Near-Earth Asteroid Thermal Model (термічна модель навколоземних астероїдів),
 Img: apparent size in disk-resolved imaging (видимий розмір диску із зображення).

Фотометрична крива покриття показана на рис. 12. Зареєстрована тривалість покриття становить 17.3 с. Це набагато перевищує очікувану за ефемеридою тривалість. При цьому довжина хорди, розрахована за тривалістю покриття, становить 185 км.

Невідповідність тривалості покриття може виникнути через три причини: а) помилковий діаметр астероїда, б) помилки в ефемериді, в) неврахування реальної форми астероїда.

Оцінки діаметра астероїда Алетея узагальнено в роботі [4] і приводяться у таблиці. Найбільш точними вважаються оцінки, отримані методом STM. Вони і лягли в основу ефемеридних розрахунків. Якщо обчислити діаметр кулі за нашими даними з урахуванням відстані до центра смуги покриття, то вона буде дорівнювати 543 км. Це значення набагато перевищує відомі оцінки діаметра. Очевидно, пояснення цих розходжень слід шукати у похибках ефемерид і відхиленнях форми астероїда від кулі.

Для оцінок будемо вважати форму астероїда еліпсоїдальною. Тоді для того, щоб отримати таку площу поверхні, як для кулі діаметром 179 км, відношення осей еліпсоїда з урахуванням можливих похибок у

відстані до центра полоси покриття буде лежати у межах від 1:1.13 до 1:1.30. Фотометричні дослідження астероїда Алетея показують змінність з амплітудою $V = 0.19^m$ [17]. Таку змінність можна пояснити еліпсоїдальністю форми з відношенням осей 1:1.19 при умові фотометричної однорідності поверхні астероїда. Ці дані не суперечать нашим оцінкам, і тому ми вважаємо, що астероїд Алетея має еліпсоїдальну форму з відношенням осей 1:1.19.

ВИСНОВКИ

У Головній астрономічній обсерваторії НАН України спільно з Астрономічною обсерваторією Київського національного університету імені Тараса Шевченка створено комплекс для спостереження явищ покриттів зір тілами Сонячної системи. Параметри комплексу дозволяють отримувати якісні спостереження покриттів з ПЗЗ-камерою в режимі синхронного переносу заряду.

При спостереженнях покриття зорі HD 45314 кометою 21P/Джакобіні — Циннер був зареєстрований джет з різкими границями на відстані 160...350 км з оптичною товщиною 0.035 ± 0.012 на позиційному куті 91° і куті розкриття 54.6° . Характер зміни оптичної товщини при проходженні зорі через кому свідчить про те, що основні поглинальні частинки зосереджені у джеті, як CHON-частинки в кометі 1P/Галей. Альbedo однократного відбиття пилових часточок цього джету лежить у межах 0.04...0.06.

При спостереженні покриття зорі UCAC4-475-051755 астероїдом (259) Алетея була зареєстрована хорда астероїда розміром 185 км, що перевищує відомі оцінки діаметра астероїда. Це свідчить про еліптичну форму астероїда із співвідношенням осей в межах від 1:1.13 до 1:1.30. З урахуванням фотометричних оцінок змінності яскравості астероїда є підстави вважати, що астероїд Алетея має еліпсоїдальну форму з відношенням осей 1:1.19.

ПОДЯКИ

Автори вдячні О. Р. Баранському за надані зображення комети 21P/Джакобіні — Циннер, які були ним отримані 20 вересня 2018 р. на спостережній станції в с. Лісники, та В. І. Шавловському за надану можливість проведення тестових спостережень комплексу на телескопі АЗТ-2.

1. Карбовський В., Клецонок В., Буромський М. Програмний та апаратний комплекс для спостереження покриття зір астероїдами. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія*. Київ, 2017. № 2 (56). С. 41—44.

2. Andrae R., Fouesneau M., Creevey O., Ordenovic Ch., Mary N., Burlacu A., Chaoul L., Jean-Antoine-Piccolo A., Kordopatis G., Korn A., Lebreton Y., Panem Ch., Pichon B., Thévenin F., Walmsley G., Bailer-Jones C. A. L. Gaia Data Release 2. First stellar parameters from Apsis. *Astron. and Astrophys.* 2018. 61. № A8., 29 p.
3. Braga-Ribas F., Sicardy B., Ortiz J. L., et al. A ring system detected around the Centaur (10199) Chariklo. *Nature*. 2014. 508. № 7494. P. 72—75.
4. Carry B. Density of asteroids. *Planetary and Space Sci.* 2012. 73. № 1, P. 98—118.
5. Chornaya E., Zubko E., Luk'yanyk I., Kochergin A., Zheltobryukhov M., Ivanova O., Kornienko G., Matkin A., Baransky A., Molotov I., Sharoshchenko V., Videen G. Imaging polarimetry and photometry of comet 21P/Giacobini-Zinner. *Icarus*. 2020. 337. № 113, P. 471.
6. Clairemidi J., Moreels G., Krasnopolsky V. A. Gaseous CN, C2, and C3 jets in the inner coma of Comet P/Halley observed from the Vega 2 spacecraft. *Icarus*. 1990. 86, 115—128.
7. Elliot J. L., Dunham E., Mink D. The rings of Uranus. *Nature*. 1977. 267. № 5609. P. 328—330.
8. Fernández Y. R., Wellnitz D. D., Buie M. W., et al. The inner coma and nucleus of comet Hale-Bopp: Results from a stellar occultation. *Icarus*. 1999. 140. № 1, P. 205—220.
9. Kolokolova L., Hanner M. S., Lvasseur-Regourd A.-C., Gustafson B. E. S. Physical properties of cometary dust from light scattering and thermal emission. *Comets II*, Eds M. Festou, H. U. Keller, H. A. Weaver (Tucson, AZ: Univ. of Arizona Press). 2005. P. 577—604.
10. Larson S. M., A'Hearn M. F. Comet Bowell (1980b) — Measurement of the optical thickness of the coma and particle albedo from a stellar occultation. *Icarus*. 1984. 58. P. 446—450.
11. Larson S. M., Sekanina Z. Coma morphology and dust-emission pattern of periodic Comet Halley. I-High-resolution images taken at Mount Wilson in 1910. *Astron. J.* 1984. 89. P. 571—578.
12. Lawler M. E., Brownlee D. E. CHON as a component of dust from comet Halley. *Nature*. 1992. 359. P. 810—812.
13. Lebofsky L. A., Spencer J. R. Radiometry and thermal modeling of asteroids. *Asteroids II*, ed. R. P. Binzel, Tucson: Univ. of Arizona Press. 1989. P. 128.
14. Marchis F., Kaasalainen M., Hom E. F. Y., Berthier J., Enriquez J., Hestroffer D., Le Mignant D., de Pater I. Shape, size and multiplicity of mainbelt asteroids. *Icarus*. 2006. 185. P. 39—63.
15. Masiero J. R., Mainzer A. K., Grav T., Bauer J. M., Cutri R. M., Dailey J., Eisenhardt P. R. M., McMillan R. S., Spahr T. B., Skrutskie M. F., Tholen D., Walker R. G., Wright E. L., DeBaun E., Elsbury D., Gautier IV T., Gomillion S., Wilkins A. Main belt asteroids with WISE/NEOWISE. I. Preliminary albedos and diameters. *Astrophys. J.* 2011. 741. № 68. 20 p.
16. Pittichova J., Woodward C. E., Kelley M. S., Reach W. T. Ground-based optical and Spitzer infrared imaging observations of comet 21P/Giacobini-Zinner. *Astron. J.* 2008. 136. P. 1127—1136.
17. Pravec P., Harris A. W., Warner B. D. Asteroid photometry opportunities. *The Minor Planet Bull.* 2002. 29. P. 19.
18. Rosenbush V. K. Opposition effects in brightness, color, and polarization of comet 1P/Halley: Comparison with atmosphereless Solar System bodies. *Solar System Res.* 2005. 39. P. 312—321.
19. Ryan E. L., Usui F., Kuroda D., Muller T. G., Hasegawa S., Ishiguro M., Ootsubo T.,

- Ishihara D., Kataza H., Takita S., Oyabu S., Ueno M., Matsuhara H., Onaka T. Asteroid Catalog Using Akari: AKARI/IRC Mid-Infrared Asteroid Survey. *Publs Astron. Soc. Jap.* 2011. 63, P. 1117—1138.
20. Ryan E. L., Woodward C. E. Rectified Asteroid Albedos and Diameters from IRAS and MSX Photometry Catalogs. *Astron. J.* 2010. 140. P. 933—943.
21. Samus' N. N., Kazarovets E. V., Durlevich O. V., Kireeva N. N., Pastukhova E. N. General catalogue of variable stars: Version GCVS 5.1. *Astron. Repts.* 2017. 61. № 1. P. 80—88.
22. Tanga P., Delbo M. Asteroid occultations today and tomorrow: toward the GAIA era. *Astron. and Astrophys.* 2007. 474. P. 1015—1022.
23. Tedesco E. F., Noah P. V., Noah M. C., Price S. D. IRAS Minor Planet Survey. *NASA Planetary Data System. IRAS-A-FPA-3-RDR-IMPS-V6.0.* 2004.
24. Zacharias N., Finch C. T., Girard T. M., Henden A., Bartlett J. L., Monet D. G., Zacharias M. I. The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4). *Astron. J.* 2013. 145, id. 44.

REFERENCES

1. Karbovsky V., Kleshchonok V., Buromsky M. (2017) Software and hardware complex for observation of star occultations by asteroids. *Bull. Nat. Taras Shevchenko Univ. Kyiv. Astron.* 2(56). 41—44.
2. Andrae R., Fouesneau M., Creevey O., Ordenovic Ch., Mary N., Burlacu A., Chaoul L., Jean-Antoine-Piccolo A., Kordopatis G., Korn A., Lebreton Y., Panem Ch., Pichon B., Thévenin F., Walmsley G., Bailer-Jones C. A. L. (2018) Gaia Data Release 2. First stellar parameters from Apsis. *Astron. and Astrophys.* 61(A8). 29.
3. Braga-Ribas F., Sicardy B., Ortiz J. L., et al. (2014) A ring system detected around the Centaur (10199) Chariklo. *Nature.* 508(7494). 72—75.
4. Carry B. (2012) Density of asteroids. *Planetary and Space Sci.* 73(1). 98—118.
5. Chornaya E., Zubko E., Luk'yanyk I., Kochergin A., Zheltobryukhov M., Ivanova O., Kornienko G., Matkin A., Baransky A., Molotov I., Sharoshchenko V., Videen G. (2020) Imaging polarimetry and photometry of comet 21P/Giacobini-Zinner. *Icarus.* 337(113). 471.
6. Clairemidi J., Moreels G., Krasnopolsky V. A. (1990) Gaseous CN, C₂, and C₃ jets in the inner coma of Comet P/Halley observed from the Vega 2 spacecraft. *Icarus.* 86, 115—128.
7. Elliot J. L., Dunham E., Mink D. (1977) The rings of Uranus. *Nature.* 267(5609). 328—330.
8. Fernández Y. R., Wellnitz D. D., Buie M. W., et al. (1999) The inner coma and nucleus of comet Hale-Bopp: Results from a stellar occultation. *Icarus.* 140(1). 205—220.
9. Kolokolova L., Hanner M. S., Lvasseur-Regourd A.-C., Gustafson B. E. S. (2005) Physical properties of cometary dust from light scattering and thermal emission. *Comets II*, Eds M. Festou, H. U. Keller, H. A. Weaver (Tucson, AZ: Univ. of Arizona Press). 577—604.
10. Larson S. M., A'Hearn M. F. (1984) Comet Bowell (1980b) — Measurement of the optical thickness of the coma and particle albedo from a stellar occultation. *Icarus.* 58. 446—450.
11. Larson S. M., Sekanina Z. (1984) Coma morphology and dust-emission pattern of periodic Comet Halley. I-High-resolution images taken at Mount Wilson in 1910. *Astron. J.* 89. 571—578.
12. Lawler M. E., Brownlee D. E. (1992) CHON as a component of dust from comet

- Halley. *Nature*. 359. 810—812.
13. Lebofsky L. A., Spencer J. R. (1989) Radiometry and thermal modeling of asteroids. *Asteroids II*, ed. R. P. Binzel, Tucson: Univ. of Arizona Press. 128.
 14. Marchis F., Kaasalainen M., Hom E. F. Y., Berthier J., Enriquez J., Hestroffer D., Le Mignant D., de Pater I. (2006) Shape, size and multiplicity of mainbelt asteroids. *Icarus*. 185. 39—63.
 15. Masiero J. R., Mainzer A. K., Grav T., Bauer J. M., Cutri R. M., Dailey J., Eisenhardt P. R. M., McMillan R. S., Spahr T. B., Skrutskie M. F., Tholen D., Walker R. G., Wright E. L., DeBaun E., Elsbury D., Gautier IV T., Gomillion S., Wilkins A. (2011) Main belt asteroids with WISE/NEOWISE. I. Preliminary albedos and diameters. *Astrophys. J.* 741(68). 20.
 16. Pittichova J., Woodward C. E., Kelley M. S., Reach W. T. (2008) Ground-based optical and Spitzer infrared imaging observations of comet 21P/Giacobini-Zinner. *Astron. J.* 136. 1127—1136.
 17. Pravec P., Harris A. W., Warner B. D. (2002) Asteroid photometry opportunities. *The Minor Planet Bull.* 29. 19.
 18. Rosenbush V. K. (2005) Opposition effects in brightness, color, and polarization of comet 1P/Halley: Comparison with atmosphereless Solar system bodies. *Solar System Res.* 39. 312—321.
 19. Ryan E. L., Usui F., Kuroda D., Muller T. G., Hasegawa S., Ishiguro M., Ootsubo T., Ishihara D., Kataza H., Takita S., Oyabu S., Ueno M., Matsuhara H., Onaka T. (2011) Asteroid catalog using AKARI: AKARI/IRC mid-infrared asteroid survey. *Publ Astron. Soc. Jap.* 63. 1117—1138.
 20. Ryan E. L., Woodward C. E. (2010) Rectified asteroid albedos and diameters from IRAS and MSX photometry catalogs. *Astron. J.* 140. 933—943.
 21. Samus' N. N., Kazarovets E. V., Durlevich O. V., Kireeva N. N., Pastukhova E. N. (2017) General catalogue of variable stars: Version GCVS 5.1. *Astron. Repts.* 61(1). 80—88.
 22. Tanga P., Delbo M. (2007) Asteroid occultations today and tomorrow: toward the GAIA era. *Astron. and Astrophys.* 474. 1015—1022.
 23. Tedesco E. F., Noah P. V., Noah M. C., Price S. D. (2004) IRAS Minor Planet Survey. *NASA Planetary Data System*. IRAS-A-FPA-3-RDR-IMPS-V6.0.
 24. Zacharias N., Finch C. T., Girard T. M., Henden A., Bartlett J. L., Monet D. G., Zacharias M. I. (2013) The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4). *Astron. J.* 145. 44.

В. В. Клещонко¹, В. Л. Карбовський², Н. І. Буромський¹, М. В. Лашко²

¹Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

²Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины, Киев, Украина

НАБЛЮДЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ЗВЕЗД АСТЕРОИДОМ (259) АЛЕТЕЯ И КОМЕТОЙ 21P/ДЖАКОБИНИ — ЦИННЕР

Приводятся параметры нового комплекса для наблюдения покрытий звезд телами Солнечной системы. Комплекс предназначен для монтировки на телескопе АЗТ-2 ($D = 70$ см, $F = 10.5$ м) ГАО НАН Украины с оптическим редуктором фокусного рас-

стояння, но может быть установлен и на другие телескопы. В качестве светоприемника комплекс использует ПЗС-камеру Apogee Alta U47, которая работает в режиме синхронного переноса. Описаны результаты исследования двух явлений, полученные с помощью этого комплекса. Во время наблюдений 21 сентября 2018 г. было зарегистрировано уменьшение блеска звезды HD 45314 вблизи эфемеридного момента покрытия кометой 21P/Джакобини — Циннер на 0.04^m . Это значение превышает возможный уровень ошибок фотометрии трека звезды. Показано, что такое уменьшение блеска нельзя объяснить ослаблением света в симметричной пылевой коме кометы. Полученное уменьшение яркости объяснено прохождением звезды через джетовую структуру с резкими границами с оптической толщиной 0.035 ± 0.012 и углом раскрытия 54.6° . Альbedo однократного отражения пылевых частиц этого джета лежит в пределах $0.04 \dots 0.06$. При наблюдениях 31 марта 2019 звезды UCAC4-475-051755 было зарегистрировано покрытие астероидом (259) Алетей продолжительностью 16.7 с. Такая продолжительность покрытия соответствует хорде астероида размером 185 км при ожидаемой 61 км, что превышает принятую величину диаметра астероида 179 км. Это различие объяснено тем, что астероид (259) Алетей имеет эллипсоидальную форму. Обосновывается оценка отношения осей эллипсоида для астероида 1: 1.19.

Ключевые слова: покрытия, астероид (259) Алетей, комета 21P/Джакобини — Циннер

V. V. Kleshchonok¹, V. L. Karbovsky², M. I. Buromsky¹, M. V. Lashko²

¹Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

²Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

THE OBSERVATION OF STARS OCCULTATION BY ASTEROID (259) ALETHEA AND COMET 21P/JACOBINI-ZINNER

The description and parameters of the complex for observing of occultations of stars by Solar system bodies are given. The results of the study of two phenomena which obtained using this complex are described. The jet with sharp boundaries with an optical thickness of 0.035 ± 0.012 and an angle of ejection in 54.6° was detected, when the occultation of star HD 45314 by the comet 21P/Jacobini-Zinner was observed. The single-scattering albedo of the dust particles of this jet lies in the range from 0.04 to 0.06, The 185 km asteroid chord was registered, when occultation of the star UCAC4-475-051755 by asteroid (259) Alethea was observed. Justifications are given that the asteroid of Alethea has an ellipsoidal shape with an axis ratio of 1:1.19. The description and parameters of the complex for observing occultations of stars by Solar system bodies are given. The complex is designed for observations with the AZT-2 telescope ($D = 700$ mm, $F = 10500$ mm) of the MAO NAS of Ukraine with an optical focal length reducer, but can also be mounted on other telescopes. The complex uses an Apogee Alta U47 CCD camera as a light detector, which operates in the drift scan mode. The results of the study of two phenomena which obtained using this complex are described. During the observations on September 21, 2018, the phenomenon of a decrease in the brightness of the star HD 45314 near the ephemeris moment of occultation by comet 21P / Giacobini-Zinner by about 0.04^m was recorded. This value exceeds the possible level of errors in the photometry of the star track. A possible explanation of this effect by attenuation of light in a comet's symmetrical dust coma is analyzed. It is shown that in this way the magnitude of the attenuation of light cannot be explained. The resulting decrease in brightness is explained by the passage of a star through a jet structure with sharp boundaries with an optical thickness of 0.035 ± 0.012 and an opening angle of 54.6° . The single-scattering albedo of the dust particles of this jet lies in the range from 0.04 to 0.06. The occultation of the star UCAC4-475-051755 by

asteroid (259) Alethea was recorded with duration of 16.7 s on March 31, 2019. This occultation duration corresponds to an asteroid chord of 185 km with the expected one 61 km, which exceeds the accepted value of the asteroid diameter of 179 km. This difference is explained by the fact that the asteroid (259) Alethea has an ellipsoidal shape. Justifications are given that the ratio of the axes of an ellipsoid for an asteroid is 1 : 1.19.

Keywords: occultations, asteroid (259) Alethea, comet 21P / Jacobini-Zinner.

Стаття надійшла до редакції 18.06.2020

Після доопрацювання 11.08.2020

Прийнята до друку 11.08.2020