

**МЕТЕОРИ З АНОМАЛЬНИМИ ВИСОТАМИ ПОЯВИ  
ЗА ТЕЛЕВІЗІЙНИМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯМИ В КИЄВІ**

*На основі додаткового перегляду й уточненого опрацювання відеозаписів базисних телевізійних спостережень метеорів в Астрономічній обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка проведено селекцію метеорів за аномальними фотометричними та кінематичними характеристиками. Особливу увагу приділено реєстрації метеорів на надвеликих висотах – більше 130 км. На відміну від практично встановлених нині фактів про появу швидких яскравих болідів що створюються масивними тілами, які належать потокам Леонід, Персеїд, Орїонід на висотах вище 130–135 км, аж до висот 160–195 км, отримано підтвердження появи на аномальних висотах слабких метеорів із малою масою порядку  $\sim 10^{-3}$  г. У 1993 р. при спостереженнях метеорного потоку Персеїд нами було вперше зареєстровано поточний метеор із висотою появи  $136.84 \pm 0.12$  км. У 2001 і 2003 рр. під час вересневих спостережень спорадичних метеорів зареєстровано лише один метеор із 98 на висоті більше 135 км. При спостереженнях метеорного шторму Леонід у 2002 р. було зареєстровано п'ять відносно слабких метеорів, що належать потоку, із висотами появи більше 135–140 км і масами  $\sim 10^{-3}$  г.*

*Ключові слова: метеори; відео спостереження метеорів; аномальні метеори; надвеликі висоти появи метеорів.*

**Вступ.** Нині відомо, що метеорні частинки мають в основному кометне походження. За результатами аналізу метеоритів можна стверджувати, що більшість метеороїдів є кам'яними тілами, незначна частина – залізні, і зовсім мала частка – залізно-кам'яні. Дотепер дискутується питання про метеори з пористою структурою та малою густиною (пилові заморожені кулі). Швидкість входу метеорних тіл в атмосферу варіюється від другої космічної швидкості  $\sim 11.2$  км/с до третьої космічної швидкості  $\sim 72$  км/с. Висоти появи метеорів лежать приблизно в межах 130–90 км, а висоти зникнення – 110–80 км. Знання про дані характеристики метеорів були сформовані в епоху фотографічних спостережень. Для їхньої інтерпретації було розроблено модель метеорного тіла [1–5], яка в середньому задовільно описує поведінку більшості метеорів, і називається, натепер, класичною. Однак із розвитком телевізійних та відео спостережень, які дозволяють реєструвати слабші метеори (до  $+5^m - +6^m$ ) аніж фотографічні (до  $+1^m - +2^m$ ) почала з'являтися інформація про окремі метеори, характеристики яких виходять за межі відомих раніше меж. Однією з таких аномалій є метеори зареєстровані на висотах вище 130 км.

Уперше метеор із висотами появи був зареєстрований, очевидно нами, в Астрономічній обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка під час спостережень метеорного потоку Персеїди 1993 р. Хоча через те, що результати обробки спостережень були опубліковані лише в 1997 р. [6], першою офіційною публікацією про аномальні висоти появи слід вважати роботу [7]. Зареєстрований нами метеор із потоку Персеїд мав висоту появи  $H_B = 136.84 \pm 0.12$  км. Висота зникнення метеора була  $H_E = 105.55$  км, а максимуму блиску  $H_{MAX} = 126.80$  км. Унаслідок аналізу даних виникла дискусія про відсутність помилок в обчисленнях, оскільки класична теорія не передбачає появи таких висот. Після багатьох перевірок метеор був залишений у каталозі [6]. Розглянемо детальніше теорію появи метеорів малих мас в атмосфері Землі.

**Висоти появи маломасових метеорів відповідно до класичної теорії руху метеороїда в атмосфері.** Загалом висота появи метеора відповідно до класичної метеорної фізики залежить як від порогу чутливості телевізійної системи, так і від фактичної появи випромінювання частинки. Останню у класичній моделі пов'язують із висотою початку інтенсивного руйнування метеороїда. У загальному випадку висота початку плавлення та випаровування (руйнування) тіла в атмосфері залежить від таких характеристик метеорного тіла як його густина, форма, маса, швидкість і кут входження в атмосферу (зенітний кут радіанта метеора). Варто зауважити, що рівняння теплового балансу, яке описує нагрівання метеороїда через зіткнення з молекулами повітря, може набувати різної форми залежно від розміру (маси) тіла. Так, малі тіла, які прогриваються наскрізь, супроводжуються одними фізичними процесами, у той час як крупні тіла, у яких в основному прогривається лише тонкий поверхневий шар – іншими.

Теорія нагрівання маломасових метеорних частинок із урахуванням їхнього гальмування, яке в цьому випадку може відігравати важливу роль, була розглянута в роботах [8–9] і пізніше в роботі [10]. Відомо [2], що малі частинки, які мають розміри менші  $x_0$ , прогриваються наскрізь до однієї й тієї самої температури ( $x_0$  – так звана глибина прогріву – глибина, на якій температура в  $e$  разів менша, ніж на поверхні тіла). Зміну з часом  $t$  температури таких частинок із урахуванням затрати енергії на нагрівання й температурне випромінювання можна записати таким рівнянням:

$$S_{M0}Edt = m_0cdT + \beta\sigma(T^4 - T_0^4)S_{F0}dt \quad (1)$$

де  $S_{M0} = const$  – площа поперечного перерізу частинки (мідель),  $m_0 = const$  – маса частинки,  $c$  – питома теплоємність,  $\sigma$  – стала Стефана–Больцмана,  $T$  – температура частинки,  $T_0$  – початкова температура частинки, що дорівнює рівноважній в полі сонячної радіації на відстані 1 а.о.,  $\beta \leq 1$  – коефіцієнт теплового випромінювання метеороїда, що характеризує відхилення від випромінювання абсолютно чорного тіла,  $S_{F0} = const$  – площа повної поверхні частинки,  $E = \Delta\rho_A v^3/2$  – енергія, яка надходить до одиниці поверхні частинки за одиницю часу у процесі зіткнень з атмосферними молекулами,  $\Delta$  – безрозмірний коефіцієнт теплопередачі,  $v$  – швидкість частинки,  $\rho_A$  – густина атмосфери. Тут і надалі відповідно до традицій метеорної фізики користуватимемося одиницями в системі СГС.

Перший член у правій частині рівняння (1) відповідає за нагрівання частинки, другий – за теплове випромінювання. Оскільки в перший член входить маса тіла, то у випадку її достатньо малого значення  $m_0 < m_{cr}$  членом, що формально відповідає за нагрівання тіла, можна знехтувати. Тоді з (1) отримаємо

$$\rho_A = \frac{2\beta\sigma S_{F0}}{S_{M0}\Lambda v^3} (T^4 - T_0^4). \quad (2)$$

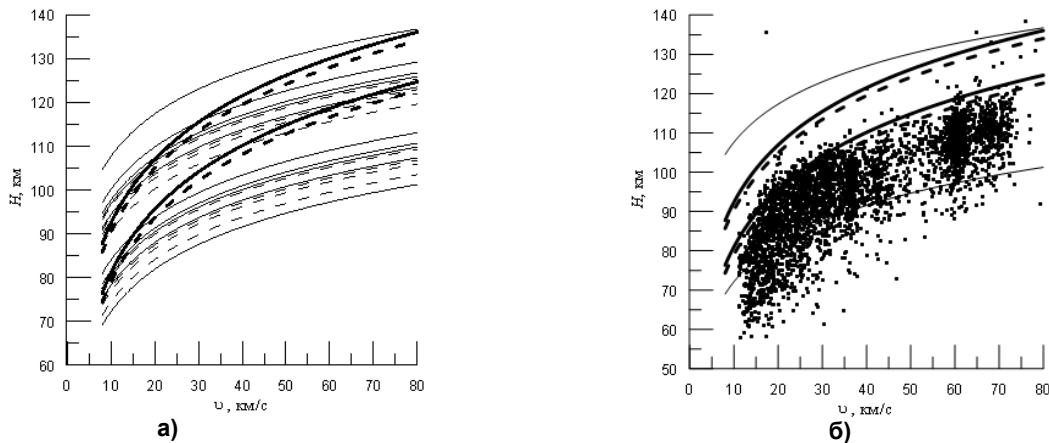
Якщо  $m_0 > m_{cr}$ , тоді навпаки, можна знехтувати випромінюванням і припустити, що вся енергія тратиться на нагрівання (але при цьому все ще вважаємо повний прогрів тіла). Тоді з (1)

$$\rho_A dt = \frac{2m_0 c}{\Lambda S_{M0} v^3} dT. \quad (3)$$

Переходячи від інтегрування по часу до інтегрування по висоті за допомогою формули  $dH = -v \cos z_R dt$  де  $z_R$  – зенітна відстань радіанта метеора, і користуючись барометричною формулою  $\rho_A(H) = \rho_A(0) \exp(-H/H^*)$ , де  $H^* \approx 7 \cdot 10^5$  см – шкала висот (висота однорідної атмосфери),  $H$  – висота,  $\rho_A(0) \approx 1.6 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup> – густина атмосфери на рівні моря, після інтегрування (3) отримаємо

$$\rho_A = \frac{2m_0 c \cos z_R}{S_{M0} \Lambda H^2 v^2} (T - T_0). \quad (4)$$

Якщо порівняти між собою (2) і (4), отримаємо критичну масу метеороїда  $m_{cr} = \frac{\beta\sigma S_F H^* (T^4 - T_0^4)}{c v \cos z_R (T - T_0)}$ . Глибина прогріву  $x_0$ , відповідно до роботи [2], із посиланням на [1], складає ~0.5 мм для кам'яного тіла, і ~2 мм для залізного. Відповідні їм маси:  $m_{cr} \approx 10^{-5}$  г (0.01 см) для граничного значення, та  $10^{-2}$  г для глибини прогріву 1 мм (0.1 см).



**Рис. 1. Залежність висоти появи слабого метеора від його основних характеристик**

а) – теоретичні криві. Модель відповідно до рівняння (5) – жирні криві, до рівняння (6) – звичайні. Кам'яні тіла ( $\Lambda = 1$ ;  $\rho_M = 3$  г/см<sup>3</sup>;  $c = 10^7$  ерг/(г·гр)) – суцільні криві; залізні ( $\Lambda = 0.75$ ;  $\rho_M = 7.6$  г/см<sup>3</sup>;  $c = 7 \cdot 10^6$  (ерг/(г·гр))) – пунктир.

Верхня крива – пористе легкоплавке тіло,  $T_{melt} = 1600$  К,  $m_0 = 10^{-5}$  г;  $\rho_M = 1$  г/см<sup>3</sup>; нижня крива – тугоплавке залізне тіло  $T_{melt} = 3200$  К,  $m_0 = 10^{-2}$  г;  $\rho_M = 7.6$  г/см<sup>3</sup>. Усі інші криві побудовані для проміжних значень маси, температури плавлення та кута входження в атмосферу. б) – вибрані теоретичні криві доповнені результатами фотографічних спостережень із Метеорної Бази Даних MAC [13].

Якщо в першому наближенні знехтувати гальмуванням метеороїда ( $v \equiv v_0$ ), і скористатися для побудови теоретичної залежності висоти появи метеора від його швидкості рівняннями (2) і (4), із урахуванням барометричної формули, і виразивши площі поверхні та міделя через густину й масу для сферичного тіла, отримаємо для частинок з масами  $m < m_{cr}$  та  $m > m_{cr}$  такі формули

$$H = H^* \ln \left[ \frac{\Lambda \rho_A(0) v_0^3}{8\beta\sigma (T_{melt}^4 - T_0^4)} \right] \quad (5)$$

$$H = H^* \ln \left[ \frac{\Lambda \rho_A(0) H^* v_0^2 \pi \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{2/3}}{2cm_0^{1/3} \rho_M^{2/3} \cos z_R (T_{melt} - T_0)} \right] \quad (6)$$

Відповідні до обох рівнянь (5) і (6) криві приведені на рис. 1 (зліва). На рис. 1 (праворуч) наведено результати фотографічних спостережень 4581-го метеора що входять до Метеорної Бази Даних MAC [11–14].

Як бачимо з рис. 1. розглянуті формули класичної метеорної фізики загалом добре узгоджуються з фотографічними спостережними даними. Щодо метеорів із висотами появи, то видно, що це можуть бути, відповідно до класичної моделі, лише швидкі маломасові легкоплавкі частинки. Тим не менш, як бачимо з рис. 1 (праворуч) метеори типу пилових куль ( $\rho_M \approx 1 \text{ г/см}^3$ ) малих мас  $m \approx 10^{-5} \text{ г}$  ( $R \approx 10^{-2} \text{ см}$ ) – верхня крива на рис. 1 (праворуч) – практично відсутні, імовірно через малу чутливість фотографічної апаратури, яка обмежувалася величиною  $+3^m$ .

**Відео спостереження метеорів з аномальними висотами появи.** Телевізійні та відео системи для спостережень метеорів мають більшу чутливість завдяки електронним підсилювачам яскравості й можуть реєструвати метеори до  $+5^m - +6^m$ , а отже можуть реєструвати слабкіші метеори (або, що те саме – яскраві, але на більших висотах). У 1995–1996 рр. японські спостерігачі [7] під час спостережень метеорного потоку Леонід зареєстрували, за допомогою фотографічної та телевізійної техніки одночасно два боліди. Висоти появи болідів на фотографічних камерах склали близько 130 км, у той час, як телевізійні камери з підсилювачем яскравості дали значення початку появи біля 160 км. Обидва метеори належали потоку Леонід, перевищували 160 км, при тому що автори декларували похибку визначення висоти на рівні 600 м. Боліди мали зоряні величини  $-7^m$  та  $-4^m$  відповідно для 1995 і 1996 рр. Швидкості типові для Леонід: 72.1 км/с і 71.3 км/с відповідно. Автори пояснюють видимість боліда на ТВ системі, і відсутність зображення на фото однією з двох причин: або різною інтегральною чутливістю спостережних систем ( $+6^m - +8^m$  для відео порівняно з  $0^m - +1^m$  для фотографії; або тим що спектральна чутливість відео зміщена в інфрачервону сторону відносно фото.

Під час передбаченого багатьма дослідниками шторму Леонід у 1998 р. була організована спільна німецько-китайська експедиція до Китаю для фотографічних спостережень потоку [15]. Із 75 метеорів потоку Леонід було зареєстровано 2 боліди  $-14^m$  і  $-13^m$ , але лише другий із них (і єдиний з усіх 75 метеорів) мав висоту появи більше 134 км, а саме 134.8 км, при швидкості 71.8 км/с. Паралельно з фотографічними спостереженнями в Китаї проводилися також відеоспостереження. В одному з пунктів спостереження було встановлено відеокамеру з підсилювачем яскравості, з об'єктивом "риб'яче око", її чутливість за зорями складала  $+4^m$ . Після перегляду найбільш яскравих 12-ти метеорів потоку Леоніди було відмічено той факт, що на відеокамері ті самі метеори з'являються раніше, ніж на фотографії. Для всіх 12-ти яскравих метеорів були отримані аномально надвеликі висоти появи [16], які лежали в діапазоні 146–199 км.

Базисні відео спостереження метеорного шторму Леоніди в 1998 р. також проводилися канадськими дослідниками [17] у Монголії. Спостереження проводилися 15–18 листопада 1998 р. Використовувалися десять відеокамер із підсилювачами попереднього сигналу 2-го та 3-го покоління (в останніх чутливість простягається в червоний бік спектру до 870 нм). Було опрацьовано загалом 79 метеорів потоку Леоніди. Середня висота появи метеорів лежала в діапазоні 90–120 км. Однак було також зареєстровано три метеори з висотами появи більше 130 км:  $H_B = 137.96$ ,  $H_B = 144.43$ ,  $H_B = 130.91$ . Найвищий метеор із висотою появи 144.43 км був зареєстрований камерою з підсилювачем 3-го покоління, у той час як камера з підсилювачем 2-го покоління (крива чутливості близька до візуальної) зареєструвала метеор починаючи з висоти 138.75 км. Як можливе пояснення автори пропонують відому модель пилової кулі.

Під час спостережень метеорів у 1999 і 2000 рр. [18] за допомогою як фотографічної, так і телевізійної техніки в Чехії було зареєстровано 1 метеор із потоку Лірид (136.8 км), 2 із потоку  $\eta$ -Акваріід (150.2 км і 133.8 км) і 1 метеор із потоку Персеїд (149.0). Спостереження проводилися відео системами з попереднім підсиленням. Крива чутливості телевізійної системи простягається в далеку червону область до 900 нм. Лише один із цих метеорів створив невеликий болід  $-3^m$ , і саме він був зареєстрований паралельно фотографічною камерою на нижчій висоті порядку 103 км. Усі інші метеори мали зоряну величину порядку  $+3^m - +4^m$ . Зважаючи на факт відносно низької швидкості потоку Лірид ( $\sim 45$  км/с), і невисокий блиск більшості згаданих метеорів автори дійшли висновку, що аномально великі висоти появи метеорів не пов'язані, швидше за все, із їхніми кінематичними параметрами, а з внутрішніми властивостями чи структурою метеороїдів.

Існує ще ряд спостережень метеорів зареєстрованих на аномальних висотах, в основному – яскравих болідів. Та на завершення для узагальнення порівняємо дані чеських дослідників [18] і Японської метеорної спостережної мережі аматорів SonotaCo [19]. У роботі [18] проводиться узагальнення результатів власних спостережень авторів метеорів із надвеликими висотами появи, зареєстрованими відео камерами під час спостережень метеорних потоків, починаючи з 1998 р. Загалом було зареєстровано 164 метеори з висотами більше 130 км. Переважна більшість із них – 145 метеорів – належали метеорному потоку Леоніди ( $\sim 90\%$ ), 9 Персеїд, 2  $\eta$ -Акварііди, 1 Лірид і 4 спорадичні метеори. Автори роблять висновок про те, що випромінювання метеора вище 130 км не може бути пояснене абляцією, навіть для моделі "пилових куль". Замість цього обговорюється механізм розпилення, який раніше вважали незначним. Вважають, що для великих початкових швидкостей, і для невеликих мас розпилення може складати біля 80 % випромінювання (найчастіше не більше 10 %). Нижче 130 км починає відбуватися абляція метеорного тіла, тобто починається фаза звичайного випромінювання. Японська спостережна мережа функціонує починаючи з 2007 р. [19] і налічує більше 100 на 25 спостережних станціях. Із 2007 по 2013 р. зареєстровано більше 140 тисяч метеорів. Із них з висотами, що перевищують 130 км було зареєстровано біля 100 метеорів (0.1 %); із висотами більше 160 км – 26 (0.02 %). Якщо подивитись на залежність  $H_B = H_B(v_0)$  аналогічну наведеній на рис. 1, то можна також побачити, що метеори з аномальними висотами появи розкидані відносно рівномірно по швидкостях, а не концентруються лише на великих швидкостях, як про це говорилось у роботах чеських учених [18].

**Аномальні висоти появи за телевізійними спостереженнями з камерами супер-ізококон у Києві.** Для спостережень метеорів в Астрономічній Обсерваторії університету імені Тараса Шевченка використовуються дві телевізійні установки, оснащені високочутливими передаючими трубками типу суперізококон Лі-804 і фотографічними об'єктивами, зазвичай Геліос-40 ( $F = 85$  мм,  $F/1.5$ ) або Юпітер-3 ( $F = 50$  мм,  $F/1.5$ ). Установки розміщені на

спостережних станціях Лісники (N50°17'49".5804, E30°31'49".4192, 130.7900 м у Балтійській системі висот) і Пилиповичі (N50°35'18".2200, E29°55'17".7700, 139.7250 м) Астрономічної Обсерваторії на відстані 54 км одна від одної. Протягом багатьох років спостережень було зареєстровано кілька метеорів із надвеликими висотами появи. Перший із них, як згадувалося, належав потоку Персеїд. Загалом із 57 метеорів, які було зареєстровано в 1991–1993 рр. [6] лише 46 починалися в кадрі, що надавало змогу обчислити їх висоту появи. Лише один метеор із потоку Персеїд суттєво виділяється на тлі інших великою висотою появи  $H_B = 136.84 \pm 0.12$  км. Варто зауважити, що цей метеор є одним із найяскравіших серед інших – його абсолютна зоряна величина складала  $M = -3.5^m$ , а маса 0.35 г. За всіма іншими ознаками це звичайний метеор потоку Персеїд: косинус зенітної відстані  $z_R = 0.715$ , початкова швидкість  $v_0 = 63.77$  км/с, висоти зникнення й максимуму блиску відповідно  $H_E = 105.55$  км,  $H_{MAX} = 126.80$  км. У межах програми пошуку нових метеорних потоків, і підтвердження вже існуючих проводилися телевізійні спостереження спорадичних метеорів під час осіннього рівнодення 2001 і 2003 рр. До каталогу за спостереженнями 2001 р. увійшло 18 метеорів [20], а за результатами 2003 р. – 80 [21]. Практично всі метеори були досить слабкими. Метеор, що перевищував 130 км (136.3 км) був зареєстрований лише один. При спостереженнях передбаченого метеорного шторму Леонід у 2002 р. було зареєстровано 38 базисних метеорів, із яких 28 увійшли до каталогу [22]. Умови спостережень були вкрай несприятливими – був яскравий місяць вище 30° над горизонтом, радіант був у полі зору однієї з камер – тому обробка зводилася в основному до визначення радіанту й елементів орбіти метеороїдного згустку. Тим не менш, було зареєстровано кілька метеорів із висотами появи понад 130 км. Останнім часом, за допомогою уточненого методу обробки та відповідного програмного забезпечення нами були проведено повторні виміри метеорів із висотами появи понад 128 км, що привело до збільшення кількості метеорів з аномальними висотами появи. Усі метеори з висотами появи більше 130 км, зареєстровані нами в Києві, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Кінематичні параметри метеорів з аномально великими висотами появи, зареєстровані в Києві

Рік	Потік	$H_b$ (A), км	$H_b$ (B), км	$H_e$ (A), км	$H_e$ (B), км	$v_\infty$ , км/с	$Z_R$ , гр	$m_{abs}$	$M$ , г
1993	Персеїд	-	$136.84 \pm 0.12$	-	105.55	63.77	44.36	-3.5	0.35
2001	спорадича	$131.4 \pm 0.2$	$136.3 \pm 0.1$	$87.7 \pm 0.2$	$119.4 \pm 0.1$	$69.7 \pm 1.9$	$21.71 \pm 0.06$	-	-
2002	Леонід	$> 123.77 \pm 0.16$	$142.90 \pm 0.42$	$97.16 \pm 0.06$	$97.00 \pm 0.08$	$71.3 \pm 0.3$	$43.18 \pm 0.12$	+1.73	$2.2 \times 10^{-3}$
2002	Леонід	$131.20 \pm 0.13$	$134.49 \pm 0.24$	$92.14 \pm 0.10$	$91.31 \pm 0.04$	$75.1 \pm 0.2$	$28.71 \pm 0.04$	+1.57	$2.2 \times 10^{-3}$
2002	Леонід	$127.02 \pm 0.04$	$144.33 \pm 0.10$	$< 98.34 \pm 0.60$	$< 104.18 \pm 0.20$	$72.8 \pm 0.2$	$29.32 \pm 0.03$	+1.44	$2.4 \times 10^{-3}$
2002	Леонід	$131.17 \pm 0.15$	$140.28 \pm 0.14$	$92.62 \pm 0.57$	$90.45 \pm 0.03$	$71.9 \pm 0.3$	$28.24 \pm 0.01$	+1.80	$1.7 \times 10^{-3}$
2002	Леонід	$127.80 \pm 0.06$	$137.85 \pm 0.04$	$< 94.87 \pm 0.04$	$< 100.33 \pm 0.04$	$73.5 \pm 0.1$	$28.16 \pm 0.01$	+1.46	$2.4 \times 10^{-3}$

Якщо проаналізувати дані метеорів із потоку Леонід, і порівняти їх із попередніми відносно грубими вимірами – можна побачити, що висота лише трохи зростає для пункту А, де використовувався об'єктив Юпітер-3 (практично додалася лише одна початкова точка), у той час як для пункту В, де був об'єктив із ширшою апертурою – Геліос-40 – додалося 2–3, а іноді 4 початкові кадри – тобто висота появи зростає суттєво. Аналізуючи дані табл. 1 можна побачити що і для спорадичного метеора висота його в пункті В дещо більша ніж в А, хоча тоді в обох випадках використовувалися однакові об'єктиви Юпітер-3. Цей факт можна пояснити дещо більшою чутливістю передаючої телевізійної трубки в пункті В (по зорях) – систематично більші початкові висоти характерні практично для всіх випадків, включаючи метеори та з нормальними висотами появи. Також з табл. 1 видно, що типовим для всіх метеорів із надвеликими початковими висотами є великі швидкості. Особливістю в цьому випадку є той факт, що метеори потоку Леонід мають малі маси порядку  $10^{-3}$  г.

**Висновки.** Підсумовуючи результати спостережень зарубіжних дослідників і власні, можна дійти висновку щодо надвеликих висот появи метеорів у кількох аспектах. Так, можна точно стверджувати однозначно що, у певних межах висот, реєстрація метеора пропорційна чутливості апаратури, причому мається на увазі інтегральна чутливість, обумовлена, наприклад, площею діафрагми, або коефіцієнтом електронного підсилення. Щодо більшої інтенсивності випромінювання метеора за рахунок його випромінювання в області близької до інфрачервоної – питання дещо складніше: його пропагували (а правильніше передбачали) японські [7] і канадські [17] дослідники – але однозначного підтвердження немає. Складніше з швидкісним потоком Леонід, і реєстрацією яскравих болідів: лише чеські дослідники наполягають на їх висотах появи, майже регулярно [16], до 200 км, причому інші автори дають такі, справді надвеликі, висоти лише епізодично та з великими похибками. Знову ж таки є дивним той факт, що чутливість камери в чеських спостерігачів "риб'яче око" обмежувалася лише  $+4^m$ . З іншого боку, вони ж пропонують нову модель "розпилення атомів" із поверхні частинки (англ. "sputtering"), на відміну від найближчої адекватної натеper моделі "льодових пилових куль", яку відстоюють канадські вчені [17]. Коефіцієнт перетворення втраченої кінетичної енергії при "sputtering" може сягати, за припущенням чеських дослідників, 80 % (!), із середнім значенням 10 %, у той час як класичний коефіцієнт при абляції метеороїда складає лише 0.2 %. Загальним висновком нині є необхідність продовження метеорних відео спостережень із підняттям чутливості апаратури, з одного боку, і розробки чи вдосконалення моделі руху швидкісної частинки в атмосфері з іншого, хоча останнє, на жаль, нині неможливо перевірити в лабораторних умовах.

#### Список використаних джерел

1. Opik E. J. Physics of Meteor Flight in the Atmosphere / E. J. Opik. – New York : Interscience Publ. – 1958.
2. Левин Б. Ю. Физическая теория метеоров и метеорное вещество в Солнечной системе / Б. Ю. Левин. – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – 296 с.
3. Бронштэн В. А. Физика метеорных явлений / В. А. Бронштэн. – М. : Главная ред. физ.-мат. лит., 1981. – 416 с.

4. Волощук Ю. И., Кащеев Б. Л., Кручиненко В. Г. Метеоры и метеорное вещество / Ю. И. Волощук, Б. Л. Кащеев, В. Г. Кручиненко. – Киев : Наук. думка, 1989. – 294 с.
5. Кручиненко В. Г. Математико-фізичний аналіз метеорного явища / В. Г. Кручиненко. – К. : Наук. думка, 2012. – 294 с.
6. Kruchinenko V. G., Kazantsev A. M., Taranukha Yu. G. et al. Catalogue of Perseid shower meteors on TV observations in Kyiv during 1991–1993 / V. G. Kruchinenko, A. M. Kazantsev, Yu. G. Taranukha, P. M. Kozak, S. S. Yeryomin, O. O. Rozhlyo, L. M. Smertyuk // Visn. Kiev Univ. Astronomy. – 1997. – № 34. – P. 94–117.
7. Fujiwara Y., Ueda M., Shiba Y. et al. Meteor luminosity at 160 km altitude from TV observations for bright Leonid meteors / Y. Fujiwara, M. Ueda, Y. Shiba, M. Sugimoto, M. Kinoshita, C. Shimoda, T. Nakamura // Geophysical Research Letters. – 1998. – 25. – 8. – P. 285–288.
8. Whipple F. L. The theory of micro-meteorites. Part I. In an isothermal atmosphere / F. L. Whipple // Proc. Nat. Acad. Sci. Amer. – 1950. – 36, № 12. – P. 686–695.
9. Whipple F. L. The theory of micro-meteorites. Part II. In heterothermal atmospheres / F. L. Whipple // Proc. Nat. Acad. Sci. Amer. – 1951. – 37, № 1. – P. 19–29.
10. Фесенков В. Г. К вопросу о микрометеоритах / В. Г. Фесенков // Метеоритика. – 1955. – 12. – С. 3–14.
11. Lindblad B. A. The IAU meteor data center / B. A. Lindblad. – Proc. Int. Conf. Meteoroids 2001 (ed. B. Warmbein), Kiruna (Sweden). – 2001. – P. 71–72.
12. Lindblad B. A., Neslusan L., Svoren J., Porubcan V. The updated version of the IAU MDC database of photographic meteor orbits / B. A. Lindblad, L. Neslusan, J. Svoren, V. Porubcan. – Proc. Int. Conf. Meteoroids 2001 (ed. B. Warmbein), Kiruna (Sweden). – 2001. – P. 73–75.
13. Jopek T. J., Kanuchova Z. Current status of the IAU MDC Meteor Showers Database / T. J. Jopek, Z. Kanuchova. – Proc. Astron. Conf. Meteoroids 2013, Eds.: T. J. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams., Poznan (Poland) – A. M. Univ. Press. – 2014. – P. 353–364.
14. IAU Meteor Data Center: [www.astro.amu.edu.pl/~jopek/MDC2007/](http://www.astro.amu.edu.pl/~jopek/MDC2007/).
15. Betlem H., Jenniskens P., Leven J. et al. Very precise orbits of 1998 Leonid meteors / H. Betlem, P. Jenniskens, J. Leven, C. Kuile, C. Johannink, H. Zhao, C. Lei, G. Li, J. Zhu, S. Evans, P. Spurny // Meteoritics and Planetary Science. – 1999. – 34. – P. 979–986.
16. Spurny P., Betlem H., Leven J. V., Jenniskens P. Atmospheric behavior and extreme beginning heights of the thirteen brightest photographic Leonid meteors from the ground based expedition to China / P. Spurny, H. Betlem, J. V. Leven, P. Jenniskens // Meteoritics and Planetary Science. – 2000. – 35. – P. 243–249.
17. Campbell M. D., Brown P. G., LeBlanc A. G. et al. Image-intensified video result from the 1998 Leonid shower: I. Atmospheric trajectories and physical structure / M. D. Campbell, P. G. Brown, A. G. LeBlanc, R. Hawkes, J. Jones, S. Worden, R. Correll // Meteoritics and Planetary Science. – 2000. – 35. – P. 1259–1267.
18. Koten P., Spurny P., Borovicka J. et al. The beginning heights and light curves of high-altitude meteors / P. Koten, P. Spurny, J. Borovicka, S. Evans, A. Elliott, H. Betlem, R. Stork, C. Jobse // Meteoritics and Planetary Science. – 2006. – 41, Nr. 9. – P. 1305–1320.
19. Sonota Co A meteor shower catalog based on video observations in 2007–2008 // WGN, the Journal of the IMO. – 2009. – 37:2. – P. 55–62.
20. Козак П. М., Рожило О. О., Тарануха Ю. Г. Кінематичні параметри метеорів за результатами базисних телевізійних спостережень в період осіннього рівнодення 2001 року / П. М. Козак, О. О. Рожило, Ю. Г. Тарануха // Вісн. Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Астрономія. – 2012. – Вип. 49. – С. 19–24.
21. Козак П. М., Рожило О. О., Тарануха Ю. Г., Кручиненко В. Г. Кінематичні характеристики вересневих метеорів за базисними телевізійними спостереженнями 2003 року / П. М. Козак, О. О. Рожило, Ю. Г. Тарануха, В. Г. Кручиненко // Космічна наука і технологія. – 2011. – Т. 17, № 4. – С. 51–62.
22. Kozak P., Rozhilo O., Kruchynenko V., Kazantsev A., Taranukha A. Results of processing of Leonids-2002 meteor storm TV observations in Kyiv / P. Kozak, O. Rozhilo, V. Kruchynenko, A. Kazantsev, A. Taranukha // Advances in Space Research. – 2007. – 39. – 4. – P. 619–623.

Надійшла до редколегії 01.08.17

П. Козак, канд. фіз.-мат. наук  
Астрономическая обсерватория  
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

## МЕТЕОРЫ С АНОМАЛЬНЫМИ ВЫСОТАМИ ПОЯВЛЕНИЯ ПО ТЕЛЕВИЗИОННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ В КИЕВЕ

На основании дополнительного пересмотра и уточненной обработки видеозаписей базисных телевизионных наблюдений метеоров в Астрономической обсерватории Киевского национального университета имени Тараса Шевченко проведена селекция метеоров с аномальными фотометрическими и кинематическими характеристиками. Особенное внимание уделено регистрации метеоров на сверхбольших высотах – более 130 км. В отличие от практически установленных на данный момент фактов о появлении быстрых ярких болидов, создаваемых массивными телами, принадлежащих потокам Леонид, Персеид, Орионид на высотах свыше 130–135 км, вплоть до высот 160–195 км, получено подтверждение появления на аномальных высотах слабых метеоров малой массы порядка  $\sim 10^{-3}$  г. В 1993 г. при наблюдениях метеорного потока Персеид нами был впервые зарегистрирован поточный метеор с высотой появления  $136.84 \pm 0.12$  км и массой около 0.35 г. В 2001 и 2003 гг. во время сентябрьских наблюдений спорадических метеоров зарегистрирован лишь один метеор из 98 на высоте превышающей 135 км. При наблюдениях метеорного шторма Леониды в 2002 г. было зарегистрировано пять относительно слабых метеоров, принадлежащих потоку с высотами появления более 135–140 км и массами  $\sim 10^{-3}$  г.

Ключевые слова: метеоры; видеонаблюдения метеоров; аномальные метеоры; сверхбольшие высоты появления метеоров.

P. Kozak, Ph.D.  
Astronomical Observatory  
Taras Shevchenko National University of Kyiv

## METEORS WITH ANOMALOUS APPARENT HEIGHTS FROM TV OBSERVATIONS IN KYIV

Basing on additional studying and précised processing of video-records of double-station meteor TV observations in Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv the selection of meteors with anomalous photometrical and kinematical characteristics has been carried out. A special attention was paid to the registration of meteors on extreme heights exceeding 130 km. In opposite to practically proved at the moment facts about appearance of fast bright bolides created by massive bodies belonging to Leonids, Perseids and Orionids streams on heights over 130–135 km, and up to even 160–195 km we obtained the confirmation of appearance on the anomalous heights of low-light meteors of masses  $\sim 10^{-3}$  g. In 1993 during observations of Perseid meteor shower we registered for the first time the shower meteor with apparent height of  $136.84 \pm 0.12$  km. In 2001 and 2003 during September observations of sporadic meteors we registered only one meteor from 98 on the height over 135 km. During observations of Leonids meteor storm in 2002 we registered five relatively low-light meteors belonging to the shower with apparent heights exceeding 135–140 km with masses  $\sim 10^{-3}$  g.

Key words: meteors; video observations of meteors; extremely high apparent heights of meteors.

УДК 524.7

Ю. Кудря, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.  
Астрономічна обсерваторія  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка

## БАРИОННА ЗАЛЕЖНІСТЬ ТАЛЛІ – ФІШЕРА ДЛЯ ГАЛАКТИК ІЗ КАТАЛОГУ 2MFGC

Представлено баріонні та зоряні (масові) залежності Таллі – Фішера (ТФ), що прокалібровані на вибірках галактик із каталогу 2MFGC, які мають оцінки водневих мас. Прокалібровано залежності як на основі вихідної вибірки галактик об'ємом  $N=2988$ , сформованої за даними НурелЛЕДА та каталогу 2MFGC, так і залежності на основі певним чином почищених підвбірок. Двопараметрична баріонна залежність ТФ для почищеної вибірки об'ємом  $N = 2831$  і відповідна

© Кудря Ю., 2017