

УДК 523.68; 520.34; 520.37; 520.373; 521.31; 521.95  
DOI: <https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2025.71.39-43>

Павло КОЗАК, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.

ORCID ID: 0000-0001-8357-8446

e-mail: [kpm@knu.ua](mailto:kpm@knu.ua)

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

**Олександр РОЖИЛО**, провід. інж.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Юрій ТАРАНУХА, канд. фіз.-мат. наук, наук. співроб.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

## ОБЧИСЛЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕТЕОРІВ НА ПРИКЛАДІ КИЇВСЬКОГО АРХІВУ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕНЬ ПОТОКУ ПЕРСЕЇДИ: ПАРАМЕТРИ ТРАЕКТОРІЇ В АТМОСФЕРІ

**Вступ.** Нині майже всі спостереження метеорів проводять в автоматичному режимі, що слугує, з одного боку, швидкому накопиченню спостережного матеріалу у вигляді баз даних. З іншого боку, автоматизація спостережень вимагає повної автоматизації опрацювання результатів спостережень. Головним недоліком автоматизації математично складного процесу обробки відеозображень та обчислення параметрів траєкторії метеора є відсутність кваліфікованого контролю, що є особливо важливим у дослідженні аномальних метеорів. Отже, розроблення та використання методів, які дозволяють отримувати достовірні й надійні дані, є важливим етапом у метеорних дослідженнях.

**Методи.** Визначення похибок обчислення кожного кінематичного параметра кожного індивідуального метеора є неможливим із погляду класичних підходів через громіздкість математичних викладок і велику кількість параметрів для визначення. В цій роботі коротко описано і застосовано на практиці – для оброблення метеорів потоку Персеїди – метод статистичних випробувань, або метод Монте-Карло.

**Результати.** Метод Монте-Карло, що базується на використанні елементів теорії імовірності і математичної статистики використано для опрацювання 11 метеорів потоку Персеїди, отриманих протягом однієї ночі 2010 р. на спостережних станціях Астрономічної обсерваторії університету. Проводиться аналіз отриманих результатів траєкторних вимірів, зокрема й аналіз довірчих інтервалів параметрів метеора, які розраховуються.

**Висновки.** Вказаний метод обробки телевізійних спостережень метеорів можна вважати сучасним підходом до автоматичного опрацювання метеорних відеоспостережень, хоча нині він має деякі обмеження в застосуванні, про що зазначено в роботі.

**Ключові слова:** метеор, базисні спостереження метеорів, відеоспостереження, спостережна апаратура, статистичні методи обробки даних, автоматизація процесу спостережень.

### Вступ

Нині відеоспостереження метеорів проводять масово, і у більшості випадків автоматично. Існує достатньо багато метеорних спостережних мереж, які використовують одночасні двосторонні (базисні), а іноді й багатосторонні спостереження. Огляд таких мереж, створених і функціонуючих за участі професіоналів та аматорів (Vida et al., 2021) можна знайти, наприклад, в роботі (Голубаєв та ін., 2022). Результати обробки спостережень організовують у значні за розміром відкриті (або закриті) бази даних. Щоби встигати опрацювати значні за розміром відеоролики, програмне забезпечення має працювати в автоматичному режимі. Але за відсутності контролю за особливостями обробки даних часто може виникнути сумнів у коректності наведених похибок обчислень (якщо такі наведено), особливо, зважаючи на різноманітність методів обчислення кінематичних і фотометричних характеристик метеорів.

Передусім такі сумніви виникають за аналізу результатів спостережень оригінальних, або навіть унікальних метеорів, які зустрічаються рідко, й іноді називаються аномальними. До таких метеорів можна віднести, в першу чергу, метеори з явно вираженими гіперболічними швидкостями – адже у разі коректного опрацювання результатів спостережень і правильно оцінених довірчих інтервалів значень їхньої швидкості можна зробити висновок про їх походження з поза меж Сонячної системи (Hawkes, & Woodworth, 1997). Однак у деяких випадках такі швидкості метеороїд може отримати через збурення їхніх орбіт великими планетами. Інший тип аномальних метеорів, який для свого підтвердження вимагає підвищеної точності – метеори з надвеликими висотами появи, які перевищують 135 км і більше (Kozak, & Watanabe, 2020), можливо аж до 200 км (Spurný et al., 2000). Унікальними є зареєстровані метеори, дотичні до земної атмосфери (Borovička, & Cerplecha, 1992; Kozak, & Watanabe, 2017). Такий метеороїд може пролетіти крізь земну атмосферу і продовжити свій рух по вже зміненій орбіті. Дослідження вказаних метеорів також вимагає достовірної точності обчислень, у цьому випадку – зенітної відстані радіанта, яка наближається до 90°, а потім перевищує це значення.

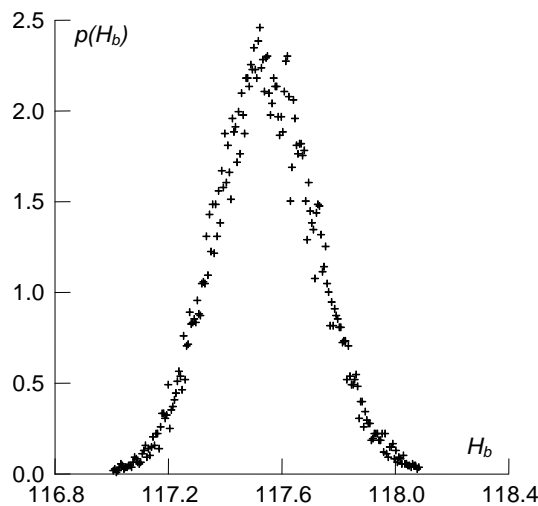
Класичні математичні підходи, які раніше використовувалися, не дозволяли отримати похибки кожного кінематичного параметра для кожного індивідуального метеора, а лише давали змогу оцінити певні усереднені величини. Сучасні методи, які для астрометричної первинної обробки використовують елементи регресійного аналізу, і відповідно отримують середні значення та дисперсії екваторіальних координат кожного положення зображення голови метеора, могли б теоретично розв'язати цю проблему. Суть такого підходу полягає в тому, що можна було б робити багатократне перенесення похибок через розклад усіх параметрів метеора в ряд Тейлора – від параметрів його атмосферної траєкторії, і аж до елементів орбіти метеороїда, які розраховуються останніми. Очевидно, що на кожному такому кроці для збереження точності, зокрема і для обчислення нелінійної функції дисперсії кожного параметра, кількість членів у ряді варто було б або збільшувати – через обмеження ряду на попередньому кроці – що наймовірно ускладнило б вигляд функцій високих похідних, або змиритися з накопиченням похибки на кожній ітерації

© Козак Павло, **Рожило Олександр**, Тарануха Юрій, 2025

при збереженні, наприклад, лише лінійних членів ряду. Тому ми використали статистичний підхід, а саме застосували метод Монте-Карло, який, із нашого погляду, дозволить лише з певними обмеженнями обчислювати і каталогізувати кожен кінематичний параметр метеора з його середньоквадратичною похибкою. Опишемо метод детальніше.

**Методи**

Ідея застосування методу Монте-Карло виникла під час астрометричної обробки первинних відеороликів із наявним у них зображенням метеора. Для обчислення тангенціальних координат положення голови метеора застосовано методи регресійного аналізу сукупно з кількома видами редуційних моделей (Kozak, Rozhilo, & Taranukha, 2001; Козак, 2002). Для цього використовували оригінальне розроблене програмне забезпечення “Falling Star” (Kozak, 2008). Далі середні значення тангенціальних координат голови метеора, та їхні дисперсії трансформувалися у відповідні значення прямого сходження та схилення –  $(\bar{\alpha}; \sigma_{\alpha})$ ,  $(\bar{\delta}; \sigma_{\delta})$ . При цьому для вибору редуційної моделі, яка давала б найкращу точність, застосовувався так званий “ковзний екзамен” за опорними зірками. Суть його полягає в тому, що послідовно кожна опорна зірка виключається з вибірки опорних зір і вважається невідомим об’єктом – для неї обчислюють екваторіальні координати та їхні похибки відповідно до описаного вище. А далі, оскільки істинні екваторіальні координати зірки  $\alpha$ ,  $\delta$  відомі з каталогу – можна порівнювати обчислені й реальні, або оптимально – побудувати нормалізований до інтервалу  $(0,1)$  статистичний розподіл шуканих координат як випадкових величин:  $\alpha_N = (\alpha - \bar{\alpha}) / \sigma_{\alpha}$ ,  $\delta_N = (\delta - \bar{\delta}) / \sigma_{\delta}$  і дослідити форму розподілу. Якщо вона виявиться такою, що описується лише двома параметрами, знайденими для кожного об’єкта (тестової зірки чи метеора) – наприклад нормальний розподіл – то це буде означати, що можна використовувати схему генерації випадкових чисел, тобто метод Монте-Карло, для кожної з координат кожного положення метеора. Генеруючи такі випадкові числа для екваторіальних координат голови метеора в кожному кадрі для обох спостережних пунктів, можна буде виконати весь ланцюжок обчислень кінематичних параметрів метеора на великій кількості кроків, і відповідно для кожного з параметрів будувати власний статистичний розподіл. Відповідний розподіл висоти появи метеора показано на рис. 1.



**Рис. 1.** Статистичний розподіл густини ймовірності обчислення висоти появи метеора: середнє значення та стандартне відхилення  $H_b \in (117.54; 0.18)$

На етапі розроблення методу (Kozak, Rozhilo, & Taranukha, 2001; Козак, 2002) нормалізовані розподіли не будувалися, а використовувалися спрощені значення перебування істинного значення в межах  $\pm 1$ -го,  $\pm 2$ -х та  $\pm 3$ -х стандартних відхилень. Результати таких порівнянь наведено в табл. 1.

**Таблиця 1**

**Імовірність P знаходження шуканих параметрів у певних межах їх статистичних розподілів**

Імовірність	$ P  \leq 1\sigma$	$ P  \leq 2\sigma$	$ P  \leq 3\sigma$
Нормальний розподіл	0.683	0.955	0.997
Розподіл $\alpha$	0.743	0.904	0.950
Розподіл $\delta$	0.726	0.898	0.948

Як видно з табл. 1, значення досить близькі до нормального розподілу, причому як для прямого сходження, так і схилення хоч і не збігаються строго. Зауважимо, що внутрішня частина розподілу в межах  $|P| \leq \pm 1\sigma$  має гостріший вигляд – 72 ÷ 74 % проти 68 % для гаусіани. Зовнішня – за межами  $\pm 3$ -х стандартних відхилень, також відрізняється суттєво – якщо для нормального розподілу вона практично рівна нулю, то тут вона порядку 5 %. В перспективі, для строгих розрахунків, варто побудувати та проаналізувати повний нормалізований розподіл. Однак для оцінювання

ефективності методу наближено приймаємо вхідні розподіли нормальними. Також варто відмітити, що внутрішня точність вимірів прямокутних координат зображень зірок і метеора відрізняється, а відтак дещо можуть відрізнятися й імовірності в табл. 1. Останній недолік – головний – полягає в тому, що такі близькі до нормальних розподіли по обох екваторіальних координатах отримано для схилення близько 40°–60°. Очевидно, що вони будуть нормальними і для менших схилень. Проте для приполюсної зони, особливо, коли полюс входить у зону розкиду генерованих точок – розподіл по прямому сходженню розміститься в межах 0°–360°, і не матиме нічого спільного з нормальним розподілом, а отже в приполюсній зоні метод, представлений у такому вигляді, застосований бути не може.

**Результати**

Розглянутий метод регулярно використовувався і використовується в Астрономічній обсерваторії університету для опрацювання результатів телевізійних і відеоспостережень метеорів. Найбільше уваги у багаторічних спостереженнях приділялося інтенсивним метеорним потокам, таким як Персеїди, Оріоніди, Леоніди. Наведемо результати, отримані із застосуванням цього методу опрацювання, для 15 метеорів потоку Персеїди, що спостерігалися протягом однієї ночі з 12 на 13 серпня 2010 р. і які не публікувалися раніше. Для спостережень метеорів використано телевізійні установки, оснащені високочутливими передавальними трубками типу суперізокон Лі-804 та фотографічними об'єктивами Юпітер-3 ( $F = 50$  мм,  $F/1.5$ , поле зору  $23.5^\circ \times 19^\circ$ ). Розгортка черезрядкова PAL/SECAM, часова роздільна здатність 0.04 с (25 кадрів за секунду,  $720 \times 576$  пікселів, 8 біт/піксель, розмір пікселя приблизно 2') за роботи з повними кадрами та 0.02 с (50 півкадрів за секунду,  $360 \times 288$  пікселів, 8 біт/піксель, розмір пікселя 4') за використання парних або непарних полів кадру. Оскільки розгортка черезрядкова, а метеор є динамічним об'єктом, оброблення зображень відбувається в парних і непарних полях кадру. Установки були розміщені на спостережних станціях Лісники: пункт А, ( $N50^\circ17'49.6''$ ,  $E30^\circ31'49.4''$ , 130.8 м у Балтійській системі висот) і Пилиповичі, пункт В, ( $N50^\circ35'18.2''$ ,  $E29^\circ55'17.8''$ , 139.7 м) Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка, на відстані 54 км одна від одної.

Загальний час спостережень у пункті А склав 3.75 год, протягом якого зареєстровано 18 метеорів. У пункті В через кращі погодні умови, кращу якість передавальної телевізійної трубки та більший час спостережень – 5.17 год – зареєстровано 74 метеори. Кількість базисних метеорів склала 15, з яких до потоку Персеїди належало 11. Параметри атмосферних траєкторій метеорів потоку Персеїди наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Параметри атмосферної траєкторії метеорів потоку Персеїди 2010 р.

№ з/п	Дата		N(A)	N(B)	t(A)	t(B)	L(A)	L(B)	v(A)	$\sigma_v(A)$	v(B)	$\sigma_v(B)$	H <sub>b</sub> (A)	H <sub>b</sub> (B)	H <sub>e</sub> (A)	H <sub>e</sub> (B)
	день.міс.рік	год:хв:с			с	с	км	км	км/с	км/с	км/с	км/с	км	км	км	км
1	12.08.2010	20:22:00	13	18	0.507	0.703	31.56	42.71	63.7	0.7	61.4	0.3	117.70	119.31	101.66	97.62
2	12.08.2010	20:23:14	8	12	0.304	0.462	16.69	26.75	58.7	1.1	60.7	0.3	110.79	112.74	102.16	98.91
3	12.08.2010	20:27:48	10	13	0.384	0.503	22.44	28.74	61.3	0.3	59.6	0.3	112.60	114.10	99.92	97.85
4	12.08.2010	22:17:24	4	9	0.141	0.342	6.82	20.18	56.7	4.7	61.4	1.0	107.18	111.93	102.27	97.40
5	12.08.2010	22:33:43	8	21	0.305	0.822	17.42	47.23	61.2	0.4	59.3	0.2	112.83	126.15	100.59	92.95
6	12.08.2010	22:50:29	15	22	0.591	0.903	42.02	49.10	68.6	2.4	59.7	0.3	127.69	127.06	96.19	90.27
7	12.08.2010	23:33:06	6	9	0.223	0.342	11.98	19.24	60.1	1.1	58.4	1.1	105.48	109.44	95.52	93.45
8	12.08.2010	23:35:23	5	7	0.182	0.262	10.01	14.87	61.8	3.1	62.4	0.9	108.15	111.00	99.84	98.65
9	13.08.2010	01:02:32	5	8	0.181	0.302	9.28	16.86	60.3	9.3	60.9	2.1	109.89	113.95	101.35	98.44
10	13.08.2010	01:08:08	5	7	0.182	0.262	9.67	15.75	59.5	7.3	62.2	2.2	109.72	111.66	100.82	97.16
11	13.08.2010	01:12:42	12	13	0.464	0.544	26.63	33.60	61.8	0.9	62.5	0.8	120.38	123.70	95.91	92.84

В табл. 2 прийнято позначення: № з/п – внутрішній номер (пропущені номери відповідають спорадичним метеорам, які до таблиці не включались); N – кількість кадрів із зображенням голови метеора; t – час прольоту метеора через поле зору спостережної системи; L – довжина траєкторії метеора за кожним із пунктів спостереження; v і  $\sigma_v$  – середнє значення швидкості та його середньоквадратичне відхилення; H<sub>b</sub> та H<sub>e</sub> – висота появи та зникнення метеора. В таблиці наведено лише похибки для швидкостей, які за кожним із пунктів спостереження А і В визначалися незалежно, після того як спільно знаходилася траєкторія (напрямок вектора швидкості) – теоретично вони мають збігатися.

Як видно з рис. 2, оброблення даних за пунктом В було суттєво точніше, імовірно знову ж таки через причини, згадані вище. Чітко прослідковується кореляція між величиною похибки визначення швидкості та часом існування метеора в кадрі (або те саме, що з кількістю кадрів, придатних для опрацювання зображення метеора), що впливає з аналізу табл. 2. Видно, що велика похибка визначення швидкості за пунктом В для всіх трьох метеорів відповідає ультракоротким метеорам, час існування яких менше 0.2 с, а відповідна кількість телевізійних кадрів становить усього 4–5. Як видно з аналізу табл. 2, довжина траєкторій метеорів варіювалася в межах 6–50 км. Похибка визначення дистанцій – відстаней до метеора від пункту спостереження, висот, довжин траєкторій варіює в межах 50–200 м, що є досить непоганим показником для такого типу спостережної апаратури.

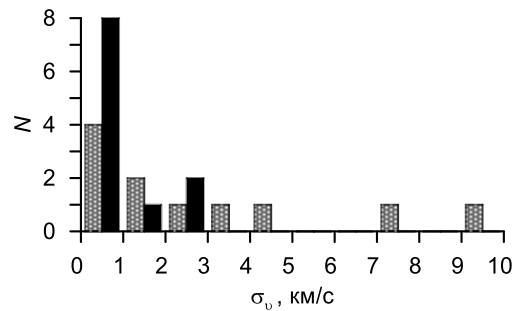


Рис. 2. Гістограма розподілу похибки швидкості за пунктами: А – сіра штриховка і В – чорна штриховка

### Дискусія і висновки

Наведені в роботі параметри траєкторій метеорів потоку Персеїди демонструють загалом клас метеорів цього потоку та якість спостережної апаратури. Довжини траєкторій до 50 км загалом не є великими і свідчать про велику чутливість телевізійних камер суперізокон, які дозволяють спостерігати досить метеороїди малої маси. Про це саме свідчить досить велика кількість спостережуваних метеорів у пункті В, де була гарна погода – більше 70 метеорів за 5 год. Висоти появи Персеїди варіюють у межах 105–127 км, що обумовлено очевидно їхньою великою швидкістю близько 60 км/с. Головним позитивним моментом є можливість отримувати розподіл похибок усіх кінематичних параметрів кожного індивідуального метеора завдяки застосованому підходу на основі теорії імовірності і статистики.

**Внесок авторів.** Павло Козак – ідея наукової розробки – забезпечення та наповнення змістом статті – опис характеристик спостережної апаратури з використанням досвіду попередніх метеорних спостережень, участь у базисних телевізійних спостереженнях метеорів потоку Персеїди 2010 р., оброблення спостережних даних; Олександр Рожило – підтримка спостережних камер, спостереження, перегляд спостережних даних на аналогових носіях та їх оцифровки; Юрій Тарануха – підтримка спостережних камер, спостереження.

**Джерела фінансування.** Роботу виконано за рахунок фінансування Міністерства освіти і науки України в межах виконання держбюджетної теми № 25БФ023-01 Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

### Список використаних джерел

- Голубаєв, О. В., Горбаньов, Ю. М., Шульга, О. В., Андрєєв, О. А., Бушуєв, Ф. І., Відьмаченко, А. П., Грудинін, Б. О., Жилиєв, Б. Є., Калюжний, М. П., Козак, П. М., Куліченко, М. О., Малиновський, Є. В., Мозгова, А. М., Савчук, С. Г., Стеклов, О. Ф., Сумарук, Ю. П., Янків-Вітковська, Л. М. (2022). Створення Української Метеорної Спостережної Мережі: інструменти, методи обробки, спостережні можливості. *Космічна наука і технологія*, 28(4), 39–70. <https://doi.org/10.15407/knit2022.04.039>
- Козак, П. Н. (2002). Анализ методов и точность определения экваториальных координат при цифровой обработке телевизионных наблюдений метеоров. *Кинематика и физика небесных тел*, 18(5), 471–480. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/149823>
- Borovička, J., & Ceplecha, Z. (1992). Earth-grazing fireball of October 13, 1990. *Astronomy and Astrophysics*, 257, 323–328. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1992A&A...257..323B>
- Hawkes, R. L., & Woodworth, S. C. (1997). Optical detection of two meteoroids from interstellar space. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 91, 218–219. <https://adsabs.harvard.edu/full/1997JRASC...91..218H>
- Kozak, P. M., Rozhilo, A. A., & Taranukha, Y. G. (2001). Some features of digital kinematic and photometrical processing of faint TV meteors. *Proceedings of Meteoroids 2001 Conference*, Swedish institute of space physics, Kiruna, Sweden, 6–10 August 2001 (ESA SP-495, November 2001), 337–342. <https://adsabs.harvard.edu/full/2001ESASP.495..337K>
- Kozak, P. (2008). "Falling Star": software for processing of double-station TV meteor observations. *Earth, Moon, and Planets*, 102(1-4), 277–283. <https://doi.org/10.1007/s11038-007-9223-x>
- Kozak, P. M., & Watanabe, J. (2017). Upward-moving low-light meteor – I. Observation results. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 467(1), 793–801. <https://doi.org/10.1093/mnras/stx008>
- Kozak, P. M., & Watanabe, J. (2020). Meteors with extreme beginning heights from observations with high-sensitivity super-isocon TV systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 497(4), 5550–5559. <https://doi.org/10.1093/mnras/staa2183>
- Spurný, P., Betlem, H., Jobse, K., Koten, P., & Leven, J.V. (2000). New type of radiation of bright Leonid meteors above 130 km. *Meteoritics and Planetary Science*, 35, 1109–1115. <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2000.tb01497.x>
- Vida, D., Segon, D., Gural, P., Brown, P., McIntyre, M., Dijkema, T.J., Pavletic, L., Kucic, P., Mazur, M., Eschman, P., Roggemans, P., Merlak, A., & Zubovic, D. (2021). The Global Meteor Network – Methodology and first results. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 506, 5046–5074. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab2008>

### References

- Golubaev, A. V., Gorbanev, Yu. M., Shulga, O. V., Andreev, M. A., Bushuev, F. I., Vidmachenko, A. P., Hrudynin, B. O., Zhilyaev, B. E., Kaliuzhnyi, M. P., Kozak, P. M., Kulichenko, M. O., Malynovskiy, Ye. V., Mozgova, A. O., Savchuk, S. G., Steklov, A. F., Sumaruk, Yu. P., Yankiv-Vitkovska, L. M. (2022). Creation of the Ukrainian meteor observation network: instruments, methods for processing, observatin possibilities. *Space Science and Technology*, 28(4), 39–70 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/knit2022.04.039>
- Borovička, J., & Ceplecha, Z. (1992). Earth-grazing fireball of October 13, 1990. *Astronomy and Astrophysics*, 257, 323–328. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1992A&A...257..323B>
- Hawkes, R. L., & Woodworth, S. C. (1997). Optical detection of two meteoroids from interstellar space. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 91, 218–219. <https://adsabs.harvard.edu/full/1997JRASC...91..218H>
- Kozak, P. M., Rozhilo, A.A., & Taranukha, Y.G. (2001). Some features of digital kinematic and photometrical processing of faint TV meteors. *Proceedings of Meteoroids 2001 Conference*, Swedish institute of space physics, Kiruna, Sweden, 6–10 August 2001 (ESA SP-495, November 2001), 337–342. <https://adsabs.harvard.edu/full/2001ESASP.495..337K>
- Kozak, P. N. (2002). Analysis of methods and precision of equatorial coordinates determination at digital processing of TV observations of meteors. *Kinematics and physics of celestial bodies*, 18(5), 471–480 [in Russian]. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/149823>
- Kozak, P. (2008). "Falling Star": software for processing of double-station TV meteor observations. *Earth, Moon, and Planets*, 102(1-4), 277–283. <https://doi.org/10.1007/s11038-007-9223-x>
- Kozak, P. M., & Watanabe, J. (2017). Upward-moving low-light meteor – I. Observation results. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 467(1), 793–801. <https://doi.org/10.1093/mnras/stx008>

Kozak, P. M., & Watanabe, J. (2020). Meteors with extreme beginning heights from observations with high-sensitivity super-isocon TV systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 497(4), 5550–5559. <https://doi.org/10.1093/mnras/staa2183>

Spurný, P., Betlem, H., Jobse, K., Koten, P., & Leven, J. V. (2000). New type of radiation of bright Leonid meteors above 130 km. *Meteoritics and Planetary Science*, 35, 1109–1115. <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2000.tb01497.x>

Vida, D., Segon, D., Gural, P., Brown, P., McIntyre, M., Dijkema, T. J., Pavletic, L., Kukic, P., Mazur, M., Eschman, P., Roggemans, P., Merlak, A., & Zubovic, D. (2021). The Global Meteor Network – Methodology and first results. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 506, 5046–5074. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab2008>

Отримано редакцією журналу / Received: 16.05.25

Прорецензовано / Revised: 03.06.25

Схвалено до друку / Accepted: 08.07.25

Pavlo KOZAK, PhD (Phys. & Math.), Senior Researcher  
ORCID ID: 0000-0001-8357-8446  
e-mail: kpm@knu.ua  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Olexander ROZHILLO, Leading Engineer  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Yuriy TARANUKHA, PhD (Phys. & Math.), Researcher  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

### CALCULATION OF KINEMATIC PARAMETERS OF METEORS BASING ON AN EXAMPLE OF THE KYIV VIDEO ARCHIVE OF PERSEIDS SHOWER: TRAJECTORY PARAMETERS IN ATMOSPHERE

**Background.** At present almost all observations of meteors are carried out in automated mode, which serves, from one hand, quick accumulation of observational material as databases. On the other hand, the automation of observations means complete automation of processing the observational results. The main imperfection of the automation of mathematically difficult process of video images treatment and meteor trajectory parameters calculation is the absence of a qualified control, which is very important for investigations of anomalous meteors. Thus, development and using methods which will allow to obtain the authentic and reliable data is an important stage in meteor investigations.

**Methods.** Determination of errors of calculation each kinematic parameter of each individual meteor is impossible from the position of classic approaches due to bulking of mathematic formulas and large amount of parameters to be calculated. In this work it is described and used in practice about processing of meteor from Perseids shower the method of statistical trials, or Monte-Carlo method.

**Results.** Monte-Carlo method which is based on using elements of theory of probability and mathematical statistics was used for processing of 11 meteors of Perseids shower, obtained during one night in 2010 at observational stations of the astronomical observatory of the university. The analysis of obtained results is carried out, in part the analysis of confidence interval of meteor parameters to be computed.

**Conclusions.** The presented method of meteor TV observations processing maybe supposed to be a modern approach for automatic processing of meteor video observations, in spite of at the moment it has some limitation what is explained in the work.

**Keywords:** meteor, meteor double-station observations, video-observations, observational devices, statistical methods of data processing, automation of observation process.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.