

**КРИВІ БЛИСКУ, ПОКАЗНИКИ КОЛЬОРУ,
ФАЗОВІ ЗАЛЕЖНОСТІ БЛИСКУ АСТЕРОЇДІВ 433 ЕРОС ТА 1627 ІВАР**

Наведені результати фотометричних спостережень астероїдів 433 Ерос та 1627 Івар, які наближаються до Землі. Спостереження проведені на 70-см рефлекторі Чугуївської спостережної станції НДІ астрономії Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна з використанням ПЗЗ камер у BVRI стандартних спектральних смугах. Вони виконані в опозиції Ероса у 2009 р. та Івара у 1997, 2005, 2008 і 2010 рр.

Photometry of the Earth approaching asteroids 433 Eros and 1627 Ivar are presented. Observations were carried out at the 70-cm reflector of Chuguev Observation Station of Astronomical Institute of Kharkiv Karazin National University that was equipped by CCD cameras and BVRI filters of standard spectral bands. They were performed during the opposition of Eros in 2009 and in 1997, 2005, 2008 and 2010 of Ivars' oppositions.

Астероїди 433 Ерос та 1627 Івар належать до об'єктів, що наближаються до Землі (АНЗ), є представниками групи Амура, класифікуються як композиційний S-тип та характеризуються майже однаковим альбедо поверхні 0.23 і 0.26 відповідно. Їх розміри є одного порядку величини: еквівалентний діаметр Ероса – 24 км; Івара – 9 км. Відомо, що астероїди мають неправильну витягнуту форму, яка разом з орієнтацією осі обертання визначає широкий діапазон амплітуд кривих блиску, що спостерігаються з Землі: 0.04^m–1.50^m у Ероса [13] і 0.27^m–1.55^m у Івара [3,8]. Геоцентрична екліптична широта координат полюсу Ероса ($\beta_0 = 16^\circ$ [4]) суттєво менша, ніж Івара ($\beta_0 = 43^\circ$ [11]). Періоди обертання астероїдів навколо своєї осі складають 5.270^h [14] і 4.795^h [11] відповідно. Зазначимо, що 433 Ерос був детально досліджений з орбіти штучного супутника астероїда в межах американської програми NEAR [4], а астероїд 1627 Івар розглядається як кандидат для дослідження у китайській програмі [5].

Спостереження. Нові фотометричні спостереження астероїдів 433 Ерос і 1627 Івар були проведені на 70-см телескопі АЗТ-8 Чугуївської спостережної станції НДІ астрономії ХНУ ім. В.Н. Каразіна з використанням ПЗЗ-камер ST-6UV, IMG 1024S, FLI 47-10, ML09000-65 та близьких до стандартних BVRI фільтрів [1]. Ерос спостерігався в серпні 2009 р., а Івар – у січні і лютому 1997 р., травні 2005 р., листопаді 2008 р. та березні 2010 р. Редукція одержаних ПЗЗ-зображень астероїдів, зірок поля і фотометричних стандартів, а також їх апертурна фотометрія виконані за допомогою пакета програм ASTPHOT [15]. Аспектні дані астероїдів та результати визначення їх блиску зібрані у Таблиці 1, яка містить дату та середній момент спостережень в UT, геліо- та геоцентричні відстані астероїдів r і Δ , екліптичні геоцентричні координати λ і β на епоху 2000.0, фазовий кут α , зоряну величину астероїдів $V_0(1,\alpha)$ в максимумі кривої блиску, яка приведена до одиничних відстаней від Землі і Сонця.

Криві блиску і показники кольору. Крива блиску астероїда 433 Ерос в опозицію 2009 р. була виміряна при фазовому куті близько 9° (рис.1). Амплітуда кривої блиску у фільтрі V складає 0.21^m. Варіації кольору V-R по поверхні астероїда не перевищують похибок вимірювань (0.015^m).

Крива блиску астероїда 1627 Івар в опозицію 1997 р. була виміряна при аспекті $\zeta \approx 130^\circ$ (кут між напрямками на спостерігача і на полюс астероїда) і має амплітуду 0.27^m. Як видно з Таблиці 1 спостереження в опозицію 1997 р. були виконані при мінімальному фазовому куті 0.57°. Це дало можливість одержати фотометрію астероїда в області опозиційного ефекту фазової залежності його блиску, що є досить рідкісним для АНЗ (на сьогодні опубліковані спостереження тільки трьох АНЗ при малих фазових кутах [9, 13,16]).

Таблиця 1. Аспектні та фотометричні дані астероїдів

Дата, UT	r (а.о.)	Δ (а.о.)	λ_{2000} (град)	β_{2000} (град)	α (град)	$V_0(1,\alpha)$ (зор. вел.)
1627 ІВАР						
1997 січень 17.8	2.598	1.628	130.0	- 1.9	4.65	13.01
26.9	2.593	1.608	127.0	- 1.5	0.57	12.66
27.8	2.592	1.608	126.7	- 1.5	0.71	12.67
30.8	2.590	1.608	125.7	- 1.3	2.05	12.84
2005 травень 4.9	1.982	1.469	149.3	8.2	24.49	13.77
13.9	1.940	1.532	150.5	8.1	31.13	13.78
14.8	1.935	1.539	150.6	8.0	31.26	13.82
2008 листопад 9.9	1.783	0.817	49.3	-18.6	10.25	13.26
2010 березень 23.9	2.280	1.432	142.3	5.9	16.65	-
433 ЕРОС						
2009 серпень 30.8	1.691	0.696	339.0	15.0	8.99	11.02

Амплітуда кривої блиску Івара 9 листопада 2008 р. складає 1.00^m при фазовому куті $\alpha = 10.25^\circ$ і аспекті $\zeta = 87^\circ$. Аналізуючи параметри кривої блиску астероїда за 2008 і 1990 рр. [3] можна відмітити, що її амплітуда суттєво більша, ніж при спостереженнях у 1985 р. [8] і обумовлена аспектом Івара. У першому випадку він був близьким до екваторіального, а у другому – аспект ($\zeta \approx 35^\circ$) давав можливість спостерігати в основному північну частину поверхні астероїда.

На рис. 2 показана крива блиску астероїда 1627 Івар, що виміряна в опозицію 2008 р. Варіації кольору V-R по поверхні астероїда складають не більше, ніж 0.03^m. В Таблиці 2 зібрані відомі з літератури і одержані нами (д.р.) показники кольору астероїдів Ерос та Івар. Для кожного астероїда ці значення відрізняються один від одного значно більше, ніж їх похибки, що добре пояснюється ефектом почервоніння з фазовим кутом характерним для S-типу астероїдів [8]. Значення кольору V-R, яке повідомляється в роботі [1], має велику похибку, суттєво відрізняється від решти відомих визначень для Івара і більш за все є помилковим.

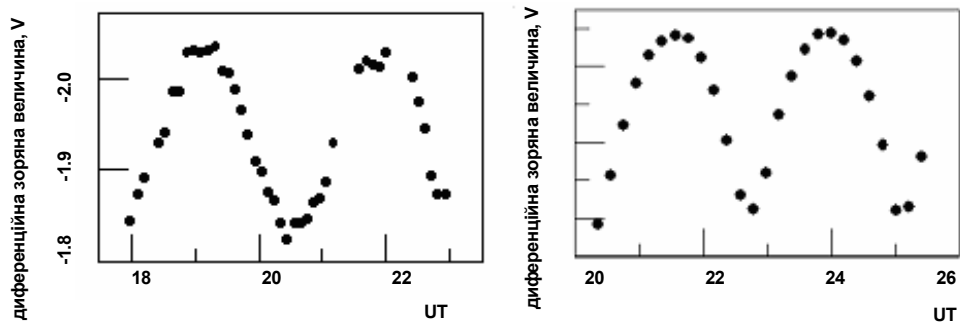


Рис. 1. Крива блиску Ероса за 30 серпня 2009 р. Рис. 2. Крива блиску Івара за 9 листопада 2008 р.

Фазові залежності блиску. Використовуючи літературні дані за 2000 р. [11], а також той факт, що наша фотометрія за 1997 р. і 2005 р. була виконана майже при однаковій геометрії спостережень (аспект $\zeta \approx 130^\circ$, видима в основному піденна частина поверхні астероїда), була побудована фазова залежність блиску Івара у стандартній спектральній смузі V (див. рис.3). Параметри фазової залежності характеризуються, зокрема, $V_{\infty}(1,0)=12.94^m$ та лінійним фазовим коефіцієнтом $\beta_v = 0.026 \pm 0.003$ зор.вел./град. Значення β_v майже співпадає з $\beta_v = 0.024 \pm 0.002$ зор.вел./град для екваторіальної геометрії спостережень [3] і дещо відрізняється від $\beta_v = 0.022 \pm 0.001$ зор.вел./град, для більш північного аспекту спостережень [8]. З рис. 3 добре видно, що нахил лінійної частини фазової залежності блиску (параметр β_v) різний при порівнянні північної і південної геометрій спостереження астероїда. Виходячи з цього можна зробити висновок, що фотометричні властивості поверхні Івара різні між собою на північ і на південь від екватору.

Таблиця 2. Показники кольору астероїдів

α (град)	B-V (зор. вел.)	V-R (зор. вел.)	R-I (зор. вел.)	Посил.
1627 ІВАР				
5	0.86 ± 0.01	—	—	[18]
10	0.80 ± 0.02	0.45 ± 0.01	0.34 ± 0.01	д.р.
30	—	0.58 ± 0.05	—	[1]
43	0.89 ± 0.01	0.48 ± 0.01	0.37 ± 0.01	[8]
53	0.91 ± 0.01	—	—	[2]
433 ЕРОС				
9	0.85 ± 0.02	0.48 ± 0.01	0.39 ± 0.01	д.р.
18	0.92 ± 0.02	—	—	[7]
30	0.88 ± 0.01	—	—	[19]
55	0.90 ± 0.01	—	—	[17]

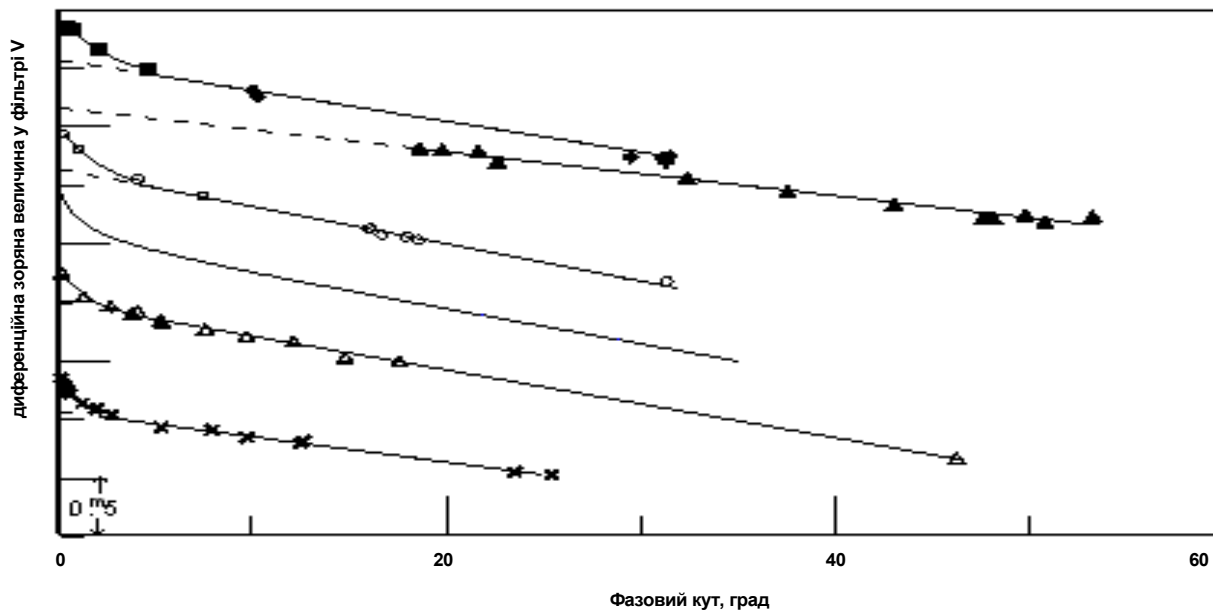


Рис.3. Фазові залежності блиску АНЗ у стандартній спектральній смузі V. Символи (•, +, ■, ♦) – астероїд 1627 Івар в опозиції 1997, 2000, 2005 і 2008 рр.; (▲) – 1627 Івар в опозицію 1985 р. [8]; (○) – астероїд 433 Ерос в опозицію 1993 р. [13]; крива без символів – середня фазова залежність АГП S-типу; (Δ) – середньоальбедний Q-типу астероїд 1862 Аполлон [9]; (X) – високоальбедний астероїд E-типу 6489 Голєвка [16]

Таблиця 3. Параметри фазових залежностей блиску АНЗ у спектральній смузі V

Астероїд	Тип	$V_0(1,0)$ (зор. вел.)	β_v (зор.вел./град)	ξ	HWHM (град)	Посил.
1627 Івар	S	12.61	0.026	1.53	1.73	д.р.
1627 Івар	S	-	0.024	-	-	[3]
1627 Івар	S	13.24	0.022	-	-	[8]
433 Ерос	S	-	0.025	-	-	[6]
433 Ерос	S	10.40	0.031	1.60	2.09	[13]
АГП	S	-	0.032	1.60	1.70	д.р.
1862 Аполлон	Q	16.26	0.028	1.20	1.40	[9]
6489 Голєвка	E	18.96	0.022	1.36	0.76	[16]
33342 (1998 WT24)	E	18.69	0.021	-	-	[12]

Фазова залежність Івара має чітке опозиційне зростання блиску починаючи, приблизно, з $\alpha=5^\circ$. Параметри, які описують фазові залежності блиску Ероса та Івара і ті, що відомі на сьогодні для інших АНЗ при невеликих фазових кутах наведені у Таблиці 3. Крім назви астероїда і його композиційного типу у таблиці даються: блиск астероїда $V_0(1,0)$, вимірний у максимумі кривої блиску і віднесений до $r=\Delta=1$ а.о. та $\alpha=0^\circ$; нахил лінійної частини фазової залежності β_v ; параметр посилення світла в опозиційному піку інтенсивності ξ і його кута напівширина HWHM [10]; посилання на літературні джерела з даними для обчислень вказаних вище параметрів.

Висновки. Для порівняння на рис.3 наведені відомі фазові залежності блиску в області опозиційного ефекту для АНЗ. Добре видно, що фазова залежність астероїдів S-типу 1627 Івар (верхня крива, найбільш південний аспект), 433 Ерос і середня фазова залежність для астероїдів головного поясу (АГП) аналогічного композиційного типу добре співпадають по формі і по значенням параметрів (Таблиця 3). В той же час, з рис. 3 і Таблиці 3 видно, що фазові залежності АНЗ з середнім альбедо Q-типу 1862 Аполлон і високоальбедного E-типу 6489 Голєвка суттєво відрізняються від залежностей Ероса та Івара. У випадку Аполлона вони відрізняються в області опозиційного ефекту, а у випадку Голєвки – як на лінійній частині, так і в області опозиційного ефекту. Однак, цікаво зазначити, що лінійна частина фазової залежності середньоальбедного Івара при найбільш північному аспекті спостереження (опозиція 1985 р.) має значення параметра β_v , яке співпадає з тими, що відомо для високоальбедних АНЗ 6489 Голєвка та 33342 (1998 WT24) [12]. Чи є це вказівкою на те, що суттєва за площею частина поверхні Івара на північ від його екватору має більш високе альбедо, чи таке співпадіння є результатом дії інших чинників, що визначають фотометричні властивості поверхні, поки що важко визначити.

1. Круглий Ю.М. Фотометрія астероїдів, що наближаються до Землі: Автореф. дис. ... канд. фіз.-мат. наук. – К., 2004. 2. Лупишко Д.Ф., Величко Ф.П., Шевченко В.Г. Астероїд 1627 Івар. UVB фотометрія, період и направление вращения // Кинематика и физика небес. тел. – 1986. – Т.2. – С.39-43. 3. Chernova, G.P., Kiselev, N.N., Krugly, Yu.N., et al. Photometry of Amor asteroids 1036 Ganymede and 1627 Ivar // Astron. J. – 1995. – Vol. 110. – P.1875-1878. 4. Clark B.E., Helfenstein P. NEAR lightcurves of asteroid 433 Eros // Icarus. – 2000. – Vol. 145. – P. 641-644. 5. Cui Pingyuan, Li Li Tao, Cui Hu Tao, et al. Ivar asteroid rendezvous mission. System scenario and trajectory // Journal of Harbin Institute of Technology. – 2003. – Vol. 10, № 3. 6. Dunlap J.L. Lightcurves and axis of rotation of 433 Eros // Icarus. – 1976. – Vol. 28. – P. 69-78. 7. Erikson A., Mottola S., Lagerros J.S.V., et al. The near-Earth objects follow-up program. III. 32 lightcurves for 12 objects from 1992 and 1995 // Icarus. – 2000. – Vol.147. – P. 487-497. 8. Hahn, G., Magnusson, P., Harris, A.W., et al. Physical studies of Apollo-Amor asteroids: UBVR photometry of 1036 Ganymede and 1627 Ivar // Icarus. – 1989. – Vol. 78. – P. 363-381. 9. Harris A.W., Young, J. W., Goguen, J., et al. Photoelectric lightcurves of the asteroid 1862 Apollo // Icarus. – 1987. – Vol. 70. – P. 246-256. 10. Kaasalainen S., Piironen J., Kaasalainen M., et al. Asteroid photometric and polarimetric phase curve: Empirical interpretation // Icarus. – 2003. – Vol. 161. – P. 34-46. 11. Kaasalainen, M., Pravec, P., Krugly, Yu.N., et al. Photometry and models of eight near-Earth asteroids // Icarus. – 2004. – Vol. 167. – P. 178-196. 12. Kiselev, N.N., Rosenbush V.K., Jockers K., et al. Polarimetry of near-Earth asteroid 33342 (1998 WT24). Synthetic phase angle dependence of polarization for the E-type asteroids // Proc. conf. ACM'02. Berlin, Germany. – 2002. – P. 887-890. 13. Krugly Yu.N., Shevchenko V.G. Magnitude phase dependence of asteroid 433 Eros // LPSC 30-th. – 1999. № 1595. 14. Li J., A'Hearn M.F., McFadden L.A. Photometric analysis of Eros from NEAR data // Icarus. – 2004. – Vol. 172. – P. 415-431. 15. Mottola, S., De Angelis, G., Di Martino, M., et al. The near-Earth objects follow-up program: First results // Icarus. – 1995. – Vol. 117. – P. 62-70. 16. Mottola S., Erikson A., Harris A.W., et al. Physical model of near-Earth asteroid 6489 Golevka (1991 JX) from optical and infrared observations // Astron. J. – 1997. – Vol. 114, № 3. – P. 1234-1245. 17. Tedesco E.F. UBVR lightcurves of asteroid 433 Eros // Icarus. – 1976. – Vol. 28. – P. 21-28. 18. Zellner B., Anderson L., Gradie J. UBVR-photometry of small distant asteroids // Icarus. – 1977. – Vol. 31. – P. 447-455. 19. Zellner B., Wisniewski W.Z., Anderson L., Bowel E. Minor planet and related objects. XVIII. UBVR-photometry and surface // Astron. J. – 1975. – Vol. 80, № 11. – P. 986-995.

Надійшла до редколегії 25.06.10

УДК 521.182; 523.44

А. Казанцев, К. Францева

ОЦІНКА КІЛЬКОСТІ БІЛЯЗЕМНИХ АСТЕРОЇДІВ РІЗНИХ РОЗМІРІВ

Побудовано залежність числа існуючих астероїдів, що наближаються до Землі (АНЗ) від абсолютної зоряної величини. Із залежності $\lg N(H)$ випливає, що на сьогодні можна вважати відкритими всі АНЗ з $H \leq 16^m$ ($D \geq 2.5$ км). Середня кількість існуючих АНЗ з $D \geq 1$ км становить біля 1900, з $D > 100$ м – біля 800 тисяч.

The dependence for existing numbering of near-Earth asteroids (NEAs) with absolute magnitude was created. It follows from the dependence $\lg N(H)$, that all NEAs with $H \leq 16^m$ ($D \geq 2.5$ km) may consider as discovered by today. The average number of existing NEAs with $D \geq 1$ km is about 1900, with $D \geq 100$ m – about 800 thousands.

Вступ. Біляземні астероїди, або, як ще їх називають, астероїди, що наближаються до Землі (АНЗ) ($q < 1.3$ а.о.) викликають особливий інтерес з боку дослідників. По-перше, ці астероїди можуть становити потенційну небезпеку для Землі. По-друге, на близьких відстанях від Землі із спостережень можна отримувати більш детальні фізичні та орбітальні характеристики таких тіл. Тому важливо знати, яка кількість АНЗ різних розмірів реально існує. В США в середині 90 – х років минулого століття прийнято програму по виявленню 90 – 95% всіх існуючих АНЗ з розмірами $D > 1$ км протягом 20 років. На сьогодні таких тіл відкрито біля 900. Скільки їх має бути взагалі – поки що точно не встановлено. За останні десять років таких оцінок зроблено немало, і їх діапазон лежить в межах від 700 [5] до 1300 [6]. В нашій попередній публікації з цього питання [1] було отримано число АНЗ з розмірами $D > 1$ км в межах 1800 – 2000. При цьому було прийнято, що вже відкриті всі АНЗ з $D \geq 3$ км, а максимальний розмір астероїдів