

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: UVBRI 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. UVB lightcurves of asteroid 433 Eros // Icarus. – 1976. – Vol. 28. – P. 21-28. 18. Zellner B., Anderson L., Gradie J. UVB-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. UVB-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

для оцінки був прийнятий 10 км. В даній статті кількість АНЗ різних розмірів оцінюється за більш детальним розподілом вже безпосередньо біляземних астероїдів.

Підхід до оцінки кількості АНЗ. Оцінки існуючих і ще не відкритих астероїдів робляться на основі різних підходів. В одних публікаціях [6] такі оцінки виводяться за кількістю зареєстрованих астероїдів певної зоряної величини на певній ділянці зоряного неба. При цьому вважається, що реєструються всі тіла яскравіші за дану зоряну величину. Головна похибка такої оцінки обумовлена екстраполяцією кількості тіл з маленької ділянки на всю сферу. Розподіл астероїдів по небесній сфері дуже нерівномірний. Це обумовлено нерівномірністю розподілу числа астероїдів по окремим елементам орбіт.

Інший підхід полягає у використанні закономірності розподілу астероїдів за розмірами. Така закономірність виводиться як за теоретичними розрахунками, так і за розподілом уже відкритих тіл, а потім застосовується і до не відкритих астероїдів. Зрозуміло, що в середньому відкриті астероїди мають більші розміри, ніж не відкриті. Тому головна похибка оцінки числа існуючих астероїдів за другим підходом обумовлена похибками екстраполяції закономірності розподілу більших тіл на менші.

Зазвичай розподіл астероїдів за розмірами подається у вигляді степеневі залежності

$$dN(D) = kD^{-b}dD \quad (1) \text{де } dN(D) \text{ – число астероїдів у вузькому інтервалі розмірів } dD, k \text{ та } b \text{ – деякі постійні параметри. Після інтегрування (1) можна отримати число астероїдів в інтервалі розмірів від } D_1 \text{ до } D_2 N = k_1(D_1^{-(b-1)} - D_2^{-(b-1)}) \quad (2) \text{Для визначення параметрів } k \text{ і } b \text{ в окремому вузькому діапазоні розмірів досить розділити цей діапазон на дві ділянки і обчислити кількість астероїдів в кожній з них. Після цього можна записати два рівняння типу (2) з двома невідомими: } k \text{ і } b. \text{ Обчислені значення цих параметрів слід віднести до середини діапазону.}$$

Якщо формально прийняти максимальний розмір D_2 нескінченно великим, то отримаємо число астероїдів з розмірами більше D_1

$$N = k_1 D_1^{-(b-1)} \quad (3) \text{де } k_1 = k(b-1). \text{ Із (3) можна бачити, що, якщо } D_1 \text{ виражене в км, то } k_1 \text{ – число астероїдів з розмірами більше 1 км.}$$

Тут мається на увазі розподіл всіх існуючих, а не лише відкритих астероїдів. Однак, справедливість рівняння (1) у всьому діапазоні розмірів вже давно піддається сумніву. Так в роботі [2] наведено значення параметра b для двох діапазонів розмірів астероїдів головного поясу. В роботі [3] зазначено, що розподіл за розмірами АНЗ, описується трьома різними значеннями показника степеня.

Використовуючи дані розмірів астероїдів каталогу IRAS [4], в нашій попередній роботі [1] побудовано залежність параметра b від розмірів астероїдів головного поясу. Залежність виявилася досить складною: в інтервалі розмірів 80 – 150 км значення b приблизно постійне (2.3 – 2.5); при зменшенні D від 80 до 60 км b круто спадає до 0.5, а при подальшому зменшенні розмірів різко зростає, досягаючи значень 3.5 – 3.8 при $D = 10 – 15$ км. Крім того, в тій роботі була зроблена оцінка кількості існуючих АНЗ з розмірами більше 1 км. Для цього було використано вищеописаний підхід з використанням виразу (2) та прийнято, що вже відкрито всі АНЗ з $D \geq 3$ км.

В даній роботі для оцінки кількості АНЗ використано більш детальний аналіз розподілу за розмірами саме біляземних астероїдів. Розміри переважної більшості відкритих АНЗ становлять менше 10 км. В існуючих каталогах наведені розміри й альbedo менше 10% таких тіл. Тому замість D часто використовують абсолютну зоряну величину астероїда H . При цьому враховується наближене співвідношення між D та H

$$D(\text{км}) = 10^{0.2(18-H)} \quad (4)$$

Використовуючи врази (3) та (4), можна отримати лінійну залежність

$$\lg N = a_1 H + a_0 \quad (5)$$

N – число існуючих астероїдів з абсолютною зоряною величиною не більше H . Причому показник степені у виразі (1) $b = a_1/0.2 + 1$. Зрозуміло, що вираз (5) буде виконуватися в тому діапазоні розмірів, в якому параметр b є постійним.

Оцінка кількості АНЗ. Співвідношення (5) зручно використовувати для оцінки числа астероїдів. Для цього потрібно взяти різні значення H і визначити відповідні їм кількості вже відкритих тіл N_0 . В даній роботі був використаний каталог Міжнародного центру малих планет (MPC) на лютий 2010 р. Значення H вибиралися від 14^m до 23^m з інтервалом 0.5^m . Мінімальне значення $H = 14.0^m$ ($D \approx 6.3$ км) було вибране тому, що астероїдів з меншими H (більшими розмірами) занадто мало. Така (спостережна) залежність $\lg N_0(H)$ приведена на рис.1 (кружки).

Із (5) випливає, що теоретична залежність $\lg N_t(H)$ має відповідати лінійній ділянці спостережної залежності. Як видно із рис.1, така ділянка лежить в межах абсолютних зоряних величин $14.0^m – 16.0^m$. Відхилення спостережної залежності від теоретичної обумовлене невідкритими астероїдами з більшими значеннями H . Отримана теоретична залежність $\lg N_t(H)$ в цифровому варіанті має вигляд

$$\lg N_t = 0.54 H - 6.33 \quad (6)$$

Оскільки коефіцієнт $a_1 = 0.54$, то показник степеня b в (1) рівний 3.7 (середня квадратична похибка в становить 0.016). Це значення добре узгоджується із отриманим в [1] для всього поясу астероїдів, що зайвий раз підтверджує факт переходу АНЗ із головного поясу. Крім того, співпадіння значень b можна розглядати як свідчення точності отриманих результатів.

Із рисунка можна зробити висновок, що на сьогодні вже відкрито практично всі астероїди з $H \leq 16.0^m$ ($D \geq 2.5$ км). Кількості відкритих та існуючих АНЗ різних розмірів наведено в табл. 1. Для окремих значень H (при більших розмірах) число відкритих астероїдів навіть дещо більше, ніж число існуючих. Це пояснюється флуктуаціями спостережних даних відносно лінійної екстраполяції, адже точного співпадіння спостережних та теоретичних значень бути не може.

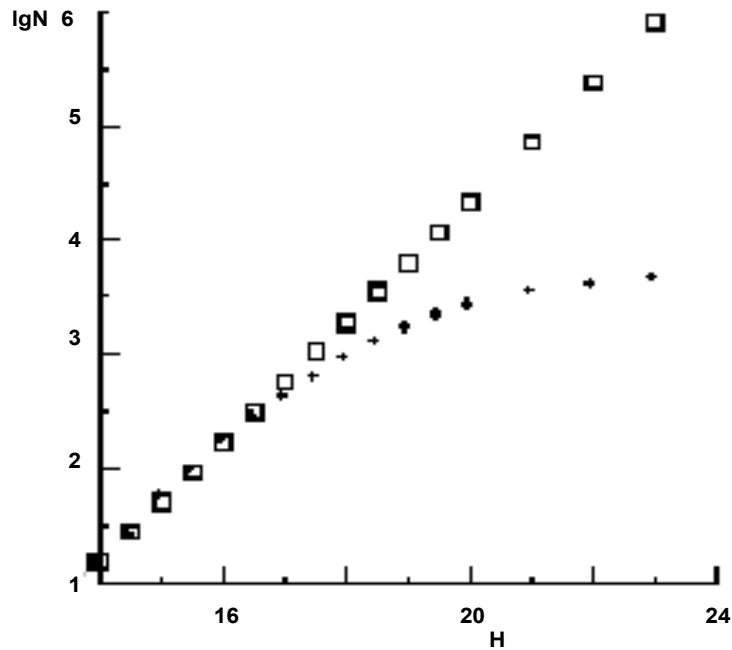


Рис. 1. Залежності $lgN(H)$ для АНЗ: спостережна (кружки) та теоретична (квадрати)

Таблиця 1. Кількості відкритих та існуючих АНЗ

H	D_i , км	N_o	N_i
14.00	6.310	15	15
14.50	5.012	26	28
15.00	3.981	57	51
15.50	3.162	96	94
16.00	2.512	171	172
16.50	1.995	284	314
17.00	1.585	423	574
17.50	1.259	625	1050
18.00	1.000	903	1920
18.50	0.794	1279	3500
19.00	0.631	1700	6400
19.50	0.501	2186	11750
20.00	0.398	2643	21500
21.00	0.251	3487	72000
22.00	0.158	4082	240000
23.00	0.100	4623	800000

За зробленими оцінками кількість існуючих астероїдів з $D \geq 1$ км має становити біля 1900. В межах однієї середньоквадратичної похибки діапазон відповідних значень становить 1700 – 2200. Це повністю узгоджується із результатами попередньої роботи, в якій такі оцінки отримані приблизно та тому ж матеріалі, але при дещо іншому підході. Стосовно більш дрібних тіл можна зазначити, що із існуючих АНЗ з розмірами більше 100 м на сьогодні відкрито трохи більше 0.5%.

Висновки. Показник степені в залежності числа тіл від розмірів типу (1) для АНЗ становить біля 3.7. Виконані обчислення показують, що на сьогодні вже відкриті практично всі АНЗ з $D \geq 2.5$ км. Кількість існуючих АНЗ з $D \geq 1$ км становить від 1700 до 2200.

1. Казанцев А.М. Уточнення розподілу астероїдів за розмірами та оцінка числа біляземних астероїдів // Вісн. Київ. ун-ту. Астрон., 2009. – Вип. 45. С. 52 – 55. 2. Hughes D.W. Asteroidal size distribution. // Mon. Not. R. Astron. Soc., 1982. – V. 199. – P. 1149-1157. 3. Rabinowitz D.L., Bowell E., Shoemaker E., Muinonen K. The population of Earth-crossing asteroids. // In: Gehrels T. (ed.) HAZARDS DUE TO COMETS & ASTEROIDS. Univ. of Arizona Press., 1994. – P. 285-312. 4. Tedesco Edward F., Noah Paul V., Noah Meg, Price Stephan D. The supplemental IRAS minor planet survey // The Astronomical Journal., 2002. – V. 123. – P. 1056 – 1085. 5. Werner, S. C.; Harris, A. W.; Neukum, G.; Ivanov, B. A. NOTE: The Near-Earth Asteroid Size-Frequency Distribution: A Snapshot of the Lunar Impactor Size-Frequency Distribution. // Icarus., 2002. – V. 156, № 1. – P. 287-290. (700 АНЗ) 6. Stuart, Joseph Scott. A Near-Earth Asteroid Population Estimate from the LINEAR Survey. // Science, 2001. – V. 294, Is. 5547. – P. 691-1693. (1300 АНЗ, по площі).