

УДК 523.44

Форма астероидов: численное моделирование

Р. А. Мохамед¹, Д. Ф. Лупишко², В. Г. Шевченко²

¹Гариунский университет Бенгази, Ливия

²Астрономическая обсерватория Харьковского госуниверситета
310022, Харьков, ул. Сумская, 35

Используя численную модель астероида, форма которого задается трехосным эллипсоидом, проведено исследование применимости данной модели к реальным объектам. Отобраны одиннадцать астероидов (15, 20, 22, 23, 28, 31, 41, 43, 130, 354 и 532), для которых есть надежные определения координат полюсов и соотношения осей аппроксимирующего эллипсоида и которые могут быть использованы в качестве тестовых при апробации новых методик определения координат полюсов. Наоборот, форма астероидов 2, 3, 7, 29, 39, 44, 87, 216, 349 и 624 плохо описывается трехосным эллипсоидом с имеющимися оценками соотношения полуосей. Координаты их полюсов необходимо переопределить другими методами, свободными от влияния формы астероида.

ФОРМА АСТЕРОЇДІВ: ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, Мохамед Р. А., Лупишко Д. Ф., Шевченко В. Г. — Використовуючи числову модель астероїда, форма якого задається тривісним еліпсоїдом, проведено дослідження відповідності цієї моделі реальним об'єктам. Відібрано одинадцять астероїдів (15, 20, 22, 23, 28, 31, 41, 43, 130, 354 та 532), для яких є надійні визначення координат полюсів та співвідношення осей апроксимуючого еліпсоїда, що можуть бути використані як тестові для апробації нових методик визначення координат полюсів. Навпаки, форма астероїдів 2, 3, 7, 29, 39, 44, 87, 216, 349 та 624 погано описується тривісним еліпсоїдом з існуючими оцінками співвідношення їх півосей. Координати їх полюсів треба перевизначити такими методами, що не залежать від форми астероїда.

THE ASTEROID SHAPE: NUMERICAL SIMULATION, by Mohamed R. A., Lupishko D. F., Shevchenko V. G. — The numerical model of an asteroid, which shape is assumed to be a triaxial ellipsoid, is applied to real asteroids. Eleven asteroids (15, 20, 22, 23, 28, 31, 41, 43, 130, 354, and 532) are selected with reliably determined pole coordinates and axes ratios of the approximating ellipsoid, which may be used as test objects for the evaluation of new methods of asteroid pole coordinate determination. Contrary, the shapes of asteroids 2, 3, 7, 29, 39, 44, 87, 216, 349, and 624 do not fit to the triaxial ellipsoids with the available axes ratios. Their pole coordinates need to be redefined by the methods free from the asteroid shape influence.

Введение. Ввиду того, что малые угловые размеры астероидов не позволяют получать их изображения из наземных наблюдений, основным источником информации о форме фигуры, ориентации оси вращения в пространстве и распределении яркости по диску являются фотометрические наблюдения изменений интегрального блеска при изменении фазы вращения астероида, угла аспекта, угла фазы и других параметров. Изменение блеска астероида, обусловленное его вращением вокруг собственной оси (кривая блеска), может быть вызвано несколькими причинами: а) неправильной формой астероида; б) фотометрической неоднородностью его поверхности (например, альбедные пятна); в) кратностью системы (например, двойной астероид). Типичная кривая блеска содержит две пары экстремумов (два максимума и два минимума) на периоде вращения. Еще в 1906 г. Рассел [8], анализируя обнаруженные короткопериодические вариации блеска астероидов, пытался объяснить их двумя причинами: наличием альбедных пятен при сферически-симметричной форме тела и/или несферичностью формы. Он пришел к выводу, что разделить их вклад в кривую блеска только из интегральных наблюдений астероидов невозможно. По мере увеличения наблюдательного материала в разных спектральных полосах стандартной *UBV*-системы, было обнаружено, что вариации показателей цвета *U–B* и *B–V* по поверхности астероидов не превышают 0.05^m , в то время как амплитуды кривых блеска достигают 2^m . Это говорит о том, что кривая блеска астероида определяется прежде всего его формой, а вклад альбедной составляющей менее значителен и во многих случаях ее можно не учитывать.

Основываясь на таком предположении, в настоящее время разработано ряд методов определения координат полюсов астероидов, использующих в качестве формы фигуры трехосный эллипсоид. Это так называемые амплитудный метод и метод амплитуда—звездная величина [6]. Этими методами получены координаты полюсов и соотношения полуосей аппроксимирующего эллипсоида более чем для 70 астероидов [7]. Они также успешно использовались при определении координат полюсов и формы астероидов 243 Ида и 951 Гаспра для наземного обеспечения данными проекта «Галилео» [3, 4], который предусматривал пролет аппарата вблизи данных астероидов. Однако фигуры реальных астероидов могут очень сильно отличаться от трехосного эллипсоида; фотографии 243 Иды и 951 Гаспры являются наглядным тому подтверждением. В настоящее время разрабатываются модели, предполагающие произвольную форму астероида [5, 9], но их применение затруднено из-за высоких требований к точности наблюдений. По этой причине модель трехосного эллипсоида пока является наиболее часто применяемой. Целью данной работы является исследование результатов применения модели трехосного эллипсоида к реальным астероидам.

Результаты моделирования. Как было отмечено выше, в настоящее время соотношения полуосей вместе с координатами полюсов известны более чем для 70 астероидов [7]. Чтобы проверить, насколько модель трехосного эллипсоида соответствует реальным формам астероидов, из этой выборки был отобран 31 астероид, координаты полюсов и соотношения полуосей которых хорошо определены и для которых имеются полные кривые блеска, полученные при различных аспектах в течение не менее трех оппозиций. Согласно рекомендациям [2] в качестве закона рассеяния света элементом поверхности использовался закон Л. А. Акимова [1]. Модельные кривые блеска были получены при тех же аспектах, что и наблюдаемые кривые блеска реальных астероидов. Кривые совмещались друг с другом так, чтобы добиться наилучшего согласия по критерию χ^2 . Для оценки того, насколько модель трехосного эллипсоида соответствует реаль-

Вычисленные значения параметра δ

Астероид	λ_0 , град	β_0 , град	a/b	b/c	δ
2 Паллада	56	-6	1.06	1.05	0.273±0.020
3 Юнона	108	34	1.18	1.00	0.418±0.068
7 Ирида	15	25	1.18	1.40	0.216±0.013
9 Метид	0	20	1.27	1.26	0.124±0.001
15 Эвномия	108	-74	1.44	1.00	0.039±0.004
16 Психея	35	-19	1.16	1.34	0.100±0.001
19 Фортуна	70	50	1.21	1.10	0.086±0.001
20 Массалия	30	49	1.27	1.00	0.050±0.013
21 Лютеция	33	9	1.25	2.70	0.073±0.001
22 Каллиопа	190	-1	1.33	1.27	0.049±0.003
23 Талия	198	72	1.18	1.45	0.044±0.001
28 Беллона	73	17	1.24	1.20	0.051±0.001
29 Амфитрита	133	-17	1.05	1.16	0.187±0.005
31 Евфросина	126	-31	1.14	1.59	0.045±0.001
39 Летиция	130	29	1.50	1.50	0.155±0.005
41 Дафна	344	-38	1.28	1.00	0.064±0.002
43 Ариадна	258	-28	1.64	1.16	0.055±0.001
44 Низа	92	47	1.44	1.13	0.191±0.001
55 Пандора	125	-35	1.36	1.48	0.087±0.001
63 Авзония	120	-30	2.06	1.04	0.083±0.001
87 Сильвия	66	67	1.44	1.50	0.237±0.007
88 Фисба	40	70	1.13	1.00	0.079±0.002
129 Антигона	38	27	1.32	1.02	0.090±0.008
130 Электра	344	-86	1.32	1.06	0.045±0.001
201 Пенелопа	85	-40	1.42	1.30	0.115±0.015
216 Клеопатра	71	19	2.71	1.30	0.244±0.013
250 Беттина	99	-16	1.33	1.30	0.095±0.001
349 Дембовска	157	30	1.29	1.11	0.167±0.188
354 Элеонора	148	35	1.21	1.11	0.051±0.001
532 Геркулина	284	34	1.13	1.05	0.063±0.001
624 Гектор	134	-15	2.70	1.43	0.297±0.006

ной форме астероида, использовалось среднее квадратичное отклонение модельной кривой от реальной:

$$\delta = \left[\sum_{i=1}^n (V_0^i - V_c^i)^2 / (n - 1) \right]^{1/2},$$

где $V_0 - V_c$ — разность измеренного блеска и вычисленного при тех же аспектных условиях (в зв. вел.); n — число точек на кривой блеска. В таблице представлены следующие данные для астероидов: эклиптические координаты их полюсов λ_0 и β_0 , соотношения полуосей a/b и b/c (взяты из [7]) и вычисленные средние квадратичные отклонения модельных кривых от реальных δ . Анализируя эти данные можно поделить все астероиды на три группы: первая группа включает 11 объектов, значения δ для которых заключены в диапазоне $0.03 \div 0.07^m$ со средним значением 0.05^m ; вторая группа содержит десять объектов и характеризуется средним $\delta = 0.09^m$, диапазоном $0.07 \div 0.13^m$; последняя группа состоит из десяти астероидов, среднее значение δ для них равно 0.24^m . На рис. 1 изображены совмещенные модельная и реальная кривые блеска для 15 Эвномии (первая группа), имеющей минимальное значение среднего квадратичного отклонения $\delta = 0.039^m$. Рис. 2 содержит подобные кривые для 3 Юноны, входящей в третью группу и имеющей максимальное значение δ по данной выборке. Астероиды первой группы достаточно хорошо удовлетворяют модели трех-

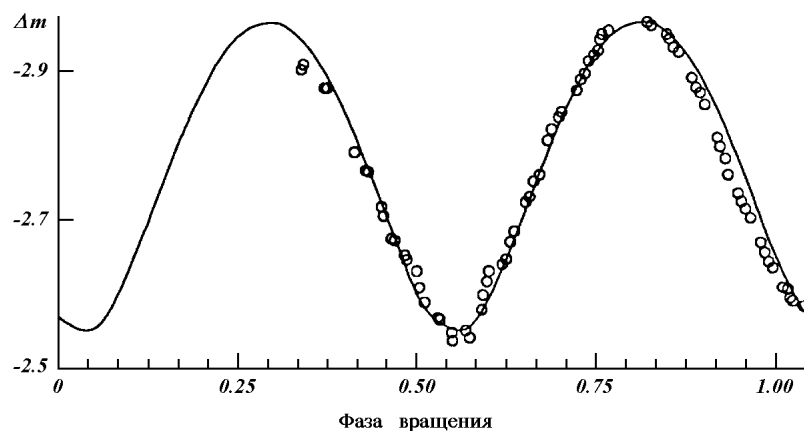


Рис. 1. Модельная (линия) и наблюдаемая (кружки) кривые блеска астероида 15 Эвномия

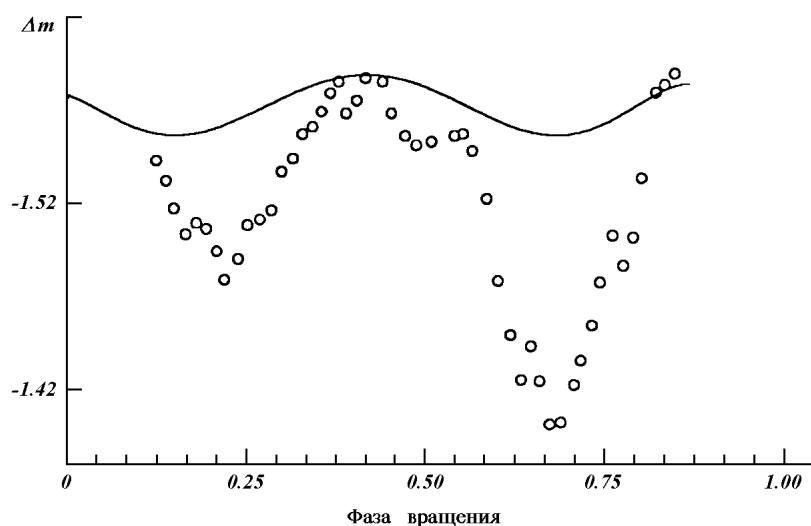


Рис. 2. Модельная (линия) и наблюдаемая (кружки) кривые блеска астероида 3 Юнона

осного эллипсоида, астероиды второй группы удовлетворяют модели трехосного эллипсоида несколько хуже. Можно считать, что объекты третьей группы данной модели не удовлетворяют.

Заключение. Таким образом, для астероидов 15 Эвномия, 20 Массалия, 22 Каллиопа, 23 Талия, 28 Беллона, 31 Евфросина, 41 Дафна, 43 Ариадна, 130 Електра, 354 Элеонора и 532 Геркулина координаты полюсов надежно определены и их форма хорошо аппроксимирована трехосным эллипсоидом с приведенными в таблице соотношениями полуосей. Эти объекты могут использоваться в качестве тестовых при проверке различных методик определения координат полюсов астероидов. С другой стороны, форма астероидов 2 Паллада, 3 Юнона, 7 Ирида, 29 Амфитрита, 39 Летиция, 44 Низа, 87 Сильвия, 216 Клеопатра, 349 Дембовска и 624 Гектор плохо описывается трехосным эллипсоидом с приведенными в таблице соотношениями полуосей. Координаты их полюсов определены ненадежно, поэтому нужно использовать другие методы, например, метод фотометрической астрометрии [10], который свободен от влияния формы астероида.

Авторы благодарят И. Н. Бельскую и Ю. Н. Круглого за обсуждение статьи. Рафа А. Мохамед выражает свою признательность посольству Ливии в Киеве за поддержку этой работы.

1. *Акимов Л. А.* Отражение света Луной // Кинематика и физика небес. тел.—1988.—4, № 1.—С. 30—36.
2. *Акимов Л. А., Лупишко Д. Ф., Шевченко В. Г.* О законе рассеяния света поверхностями астероидов. Распределение яркости по диску // Астрон. вестн.—1992.—26, № 4.—С. 62—67.
3. *Barucci M. A., Cellino A., De Sanctis C., et al.* Ground-based Gaspra modelling: comparison with the first Galileo image // *Astron. and Astrophys.*—1992.—266, №2.—P. 385—394.
4. *Binzel R. P., Slivan S. M., Magnusson P., et al.* Asteroid 243 Ida: Groundbased photometry and pre-Galileo physical model // *Icarus.*—1993.—105, N 2.—P. 310—325.
5. *Kaasalainen M., Lamberg L., Lumme K., Bowell E.* Interpretation of lightcurves of atmosphereless bodies. I. General theory and new inversion schemes // *Astron. and Astrophys.*—1992.—259, N 1.—P. 318—332.
6. *Magnusson P.* Determinations of pole orientations and shapes of asteroids // *Asteroids II* / Eds R. Binzel, T. Gehrels, M. Matthews. — Tucson: Univ. Arizona press.—1989.—P. 66—97.
7. *Magnusson P.* Pole determinations of asteroids // *Asteroids II* / Eds R. Binzel, T. Gehrels, M. Matthews. — Tucson: Univ. Arizona press.—1989.—P. 1180—1190.
8. *Russel H. N.* On the light-variations of asteroids and satellites // *Astrophys. J.*—1906.—24, N 1.—P. 1—18.
9. *Simonelli D. P., Thomas P. C., Carcich B. T., Veverka J.* The generation and use of numerical shape models for irregular solar system objects // *Icarus.*—1993.—103, N 1.—P. 41—69.
10. *Tedesco E. F., Taylor R. C.* Pole orientation of 16 Psyche by two independent methods // *Icarus.*—1985.—61, N 2.—P. 241—251.

Поступила в редакцию 19.09.95