

УДК 523.44

Н. Тунгалаг¹, В. Г. Шевченко², Д. Ф. Лупишко²

¹НИИ геофизики и астрономии АН Монголии

²Научно-исследовательский институт астрономии

Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина
61022 Харьков-22, ул. Сумская 35

Параметры вращения и форма 15 астероидов

Комбинированным методом (амплитуда — звездная величина плюс метод эпох) определены координаты полюсов, сидерический период вращения и соотношения полуосей фигуры для астероидов 22 Kalliope, 75 Eurydike, 93 Minerva, 97 Klotho, 105 Artemis, 113 Amalthea, 119 Althaea, 201 Penelope, 270 Anahita, 338 Budrosa, 487 Venetia, 674 Rachele, 776 Berbericia, 887 Alinda и 951 Gaspra. Для восьми из них (75, 97, 105, 113, 119, 338, 674 и 887) эти определения сделаны впервые. Использовалась численная фотометрическая модель астероида, которая предусматривает эллипсоидальную форму тела, однородное распределение альbedo по поверхности и закон рассеяния света Акимова.

ПАРАМЕТРИ ОБЕРТАННЯ ТА ФОРМА 15 АСТЕРОЇДІВ, Тунгалаг Н., Шевченко В. Г., Лупишко Д. Ф. — Комбінованим методом (амплітуда — зоряна величина плюс метод епох) визначено координати полюсів, сидеричний період обертання та співвідношення півосей фігури для астероїдів 22 Kalliope, 75 Eurydike, 93 Minerva, 97 Klotho, 105 Artemis, 113 Amalthea, 119 Althaea, 201 Penelope, 270 Anahita, 338 Budrosa, 487 Venetia, 674 Rachele, 776 Berbericia, 887 Alinda та 951 Gaspra. Для восьми з них (75, 97, 105, 113, 119, 338, 674 і 887) ці визначення зроблено вперше. Використовувалась чисельна фотометрична модель астероїда, що передбачає еліпсоїдальну форму тіла, однорідний розподіл альbedo по поверхні та закон розсіяння світла Акімова.

ROTATION PARAMETERS AND SHAPES OF 15 ASTEROIDS, by Tungalag N., Shevchenko V. G., Lupishko D. F. — With the use of the combined method (the amplitude and magnitude method plus the epoch method) pole coordinates, sidereal rotation periods, and axial ratios of triaxial ellipsoid figures for asteroids 22 Kalliope, 75 Eurydike, 93 Minerva, 97 Klotho, 105 Artemis, 113 Amalthea, 119 Althaea, 201 Penelope, 270 Anahita, 338 Budrosa, 487 Venetia, 674 Rachele, 776 Berbericia, 887 Alinda, and 951 Gaspra were determined. For eight of them (asteroids 75, 97, 105, 113, 119, 338, 674, and 887) these values were obtained for the first time. We used the numerical photometric asteroid model based on ellipsoidal asteroid shape, homogeneous albedo distribution over the surface, and Akimov's scattering law.

ВВЕДЕНИЕ

Осевое вращение астероида характеризуется вектором угловой скорости, модуль и направление которого описывают основные параметры вращения — скорость, направление вращения и ориентацию оси вращения в пространстве. Вращение астероидов — это та фундаментальная характеристика их состояния, которая доступна для наземных измерений и может быть использована для решения ряда важных и сложных космогонических проблем пояса астероидов, связанных с условиями роста тел в протопланетном облаке, их столкновительной эволюцией в постаккреционный период, с вероятным изменением формы астероидов в результате столкновений и др. Понимание процессов столкновительной эволюции астероидов в поясе во многом определяется нашими знаниями об ориентации их осей вращения (т. е. о распределении их полюсов) в пространстве. Поэтому определение координат полюсов отдельных астероидов является одной из наиболее важных и принципиальных задач изучения астероидов.

Есть несколько методов определения координат полюсов астероидов, однако главными считаются два метода, основанные на анализе их фотометрических кривых блеска. Первый — это метод «амплитуда — звездная величина» (АМ-метод) [13, 19] — предполагает эллипсоидальную форму астероида, вращающегося вокруг наименьшей оси, и использует зависимость амплитуды кривой блеска и звездной величины в максимуме кривой блеска от угла аспекта. Решение дает координаты полюса и отношение полуосей астероида, но не позволяет определить сидерический период и направление вращения. Второй — метод фотометрической астрометрии, или метод эпох (Е-метод) [13, 17] — основан на том, что при изменении относительного расположения Солнца, Земли и астероида происходит изменение синодического периода вращения астероида, измеряемого на различных интервалах времени. Решение не зависит от формы астероида и возможной альбедной неоднородности его поверхности и позволяет определить скорость, направление вращения и ориентацию оси вращения астероида в пространстве.

СУТЬ ИСПОЛЪЗУЕМОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПОЛЮСОВ АСТЕРОИДОВ

В данной работе мы применяем комбинированный метод (фотометрическая астрометрия плюс метод «амплитуда — звездная величина», для краткости его обозначают как ЕАМ-метод), в котором используются взаимодополняющие данные об эпохах экстремумов кривых блеска астероидов (Е-метод) и об амплитуде и звездной величине астероида в максимуме кривой блеска (АМ-метод). Такой метод позволяет определять направление вращения, сидерический период вращения, эклиптические долготу и широту северного полюса и соотношения полуосей астероида. Для АМ-метода использовалась фотометрическая модель астероида [2], форма которого задается трехосным эллипсоидом с полуосями $a > b > c$. Он вращается вокруг наименьшей оси c и дает две пары экстремумов кривой блеска на периоде вращения. С помощью модели вычислялись интегральная яркость (блеск) освещенной и видимой поверхности астероида, кривые блеска и их амплитуды.

Ввиду того, что малые угловые размеры не позволяют получать изображения астероидов из наземных наблюдений, одним из основных источников информации об их форме и ориентации осей вращения являются наблюдения интегрального блеска. 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; в) кратностью системы (например, двойной астероид). В используемой фотометрической модели астероида [2] предполагается, что его поверхность фотометрически однородна, и следовательно, кривая блеска обусловлена его формой. В этом случае освещенная и видимая часть поверхности тела будет определяться только углами падения и отражения света. Поток отраженного излучения от освещенной и одновременно видимой части поверхности будет равен

$$I(\alpha, \omega) = f(\alpha) \int_{\Omega} J(i, \varepsilon, \alpha) dS, \quad (1)$$

где $f(\alpha)$ — функция, учитывающая зависимость блеска астероида от фазового угла α , $J(i, \varepsilon, \alpha)$ — закон распределения яркости по видимому диску астероида, i и ε — углы падения и отражения света соответственно, ω — угол поворота астероида (модели), определяемый периодом осевого вращения. В шкале звездных величин уравнение (1) можно записать в виде

$$\Delta V(\alpha, \omega) = -2.5 \lg(I(\alpha, \omega)/I_{\max}), \quad (2)$$

где I_{\max} — поток излучения в максимуме кривой блеска астероида.

В качестве закона рассеяния света элементом поверхности модели использовался закон Акимова, как наиболее соответствующий рассеивающим свойствам поверхностей астероидов [1]. Фазовая функция, которая использовалась в модели, имеет вид [3]

$$V(1, \alpha) = V_0 - A/(1 + \alpha) + B \cdot \alpha, \quad (3)$$

где V_0 — звездная величина астероида при угле фазы 0° и на единичном расстоянии от Земли и Солнца, A — параметр, характеризующий амплитуду оппозиционного эффекта, B — параметр, относящийся к линейному участку фазовой зависимости.

Основная формула метода фотометрической астрометрии имеет вид [17]

$$\Delta T = P_{\text{сид}}(N \pm (\Delta L_b/360) + \Delta n). \quad (4)$$

Здесь ΔT — разность эпох между одноименными экстремумами кривой блеска, $P_{\text{сид}}$ — сидерический период вращения астероида, N — целое число синодических циклов вращения астероида на промежутке времени ΔT , Δn — коррекция к числу циклов за полные обороты астероида вокруг Солнца, ΔL_b — изменение долготы биссектрисы фазового угла астероида за время ΔT при заданных координатах полюса λ_0 и β_0 , знак «плюс» соответствует прямому вращению астероида, а знак «минус» — обратному.

Вычисление долготы биссектрисы фазового угла астероида L_b выполнялось по формулам, приведенным в работе [17].

Объединяя уравнения (2)–(4), получим систему нелинейных уравнений с шестью неизвестными:

$$F_i(P_{\text{сид}}, \lambda_0, \beta_0, a/b, b/c, V_0) = 0, \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots, k + m,$$

где k — количество уравнений, полученных на основе АМ-метода, m — количество уравнений на основе метода фотометрической астрометрии.

Данная система уравнений решается методом последовательных приближений. В качестве первого приближения можно использовать такие допущения: $P_{\text{сид}} = P_{\text{син}}$, значения λ_0 и β_0 — принять равными соответствующим координатам астероида при близполюсном аспекте с минимальной амплитудой наблюдаемой кривой блеска, а соотношения полуосей фигуры астероида — равными $a : b : c = 2 : 1.4 : 1$ (получено при лабораторном

моделировании катастрофических столкновений [6]). Алгоритм решения повторяется дважды: со знаком «плюс» для прямого вращения и «минус» — для обратного. В качестве некоторого показателя точности определения параметров может служить среднее квадратичное отклонение вычисленного значения функции F_i (т. е. ΔT , $V(1, \alpha)$ и $\Delta V(\alpha, \omega)$) от наблюдаемого:

$$\sigma = [\sum(F_o^i - F_c^i)^2 / (l - n)]^{1/2}, \quad (6)$$

где l — количество уравнений, n — число неизвестных.

Компьютерная программа, позволяющая определять параметры вращения и форму астероида, а также среднее квадратичное отклонение вычисленного значения функции F_i от наблюдаемого, написана на языке Турбо Паскаль. Для реализации комбинированного метода достаточно иметь наблюдения кривых блеска, полученные как минимум в три оппозиции при различных эклиптических долготях астероида. Однако для более точного определения искомых параметров желательно иметь наблюдаемые кривые блеска астероида для большего числа оппозиций, причем таким образом, чтобы положения астероида были равномерно распределены по долготе.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 приведены даты наблюдений и эпохи первичных максимумов кривых блеска в долях суток, исправленные за световой промежуток (первая колонка), аспектные данные (эклиптические координаты астероида λ и β на эпоху 2000.0 и фазовый угол α на момент наблюдений), а также измеренные амплитуды и звездные величины астероидов по данным [5, 8—12, 16]. Все эти данные использовались при определении параметров вращения и формы астероидов комбинированным методом.

Таблица 1. Исходные данные для определения параметров вращения и формы астероидов

Дата, UT (год, мес., день)	λ_{2000} , град	β_{2000} , град	α , град	ΔV	v
22 Kalliope					
1953 02 15.2723	152.9	20.5	7.3	0.13 ^m	6.81 ^m
1958 02 24.3325	154.2	20.6	6.9	0.13	6.92
1965 09 04.9876	304.8	-18.2	12.8	0.30	7.02
1974 06 12.8375	237.1	0.8	7.4	0.14	7.01
1976 11 27.7662	63.3	-1.1	0.8	0.16	7.06
1979 05 29.0167	242.6	0.8	1.8	0.18	6.86
1981 11 05.5125	73.3	-1.7	11.0	0.17	7.05
1982 01 09.1937	61.7	3.8	16.0	0.20	7.24
1982 12 16.5437	174.6	14.6	19.9	0.07	7.26
1983 05 22.1504	165.3	14.1	18.8	0.04	7.22
1984 04 09.4167	253.2	2.5	14.7	0.20	7.20
1984 06 10.1668	243.3	-0.6	5.2	0.17	6.87
1986 12 09.0089	70.4	2.4	2.5	0.18	6.69
1988 04 25.4054	166.8	16.6	14.9	0.03	7.11
75 Eurydike					
1978 03 11.9167	148.2	3.0	6.2	0.20	9.42
1980 10 13.9416	35.6	4.5	8.4	0.14	9.47
1980 11 03.9846	30.4	5.6	6.2	0.07	9.42
1996 03 22.1510	179.7	-0.1	0.9	0.13	9.11
93 Minerva					
1980 04 11.1694	178.2	-0.5	8.5	0.05	8.07
1981 09 19.1917	310.3	-7.7	17.2	0.11	7.85
1982 10 18.3250	65.6	8.8	12.8	0.13	7.85
1983 01 16.1418	51.9	9.4	16.7	0.07	7.86

Продолжение табл. 1

Дата, УТ (год, мес., день)	λ_{2000} , град	β_{2000} , град	α , град	ΔV	V
97 Klotho					
1949 11 04.2167	13.3	-15.2	14.7	0.05	7.72
1977 03 13.9083	171.5	3.6	1.4	0.03	7.85
1979 07 31.7082	313.2	9.1	3.8	0.12	7.84
1990 03 05.1981	162.6	1.1	0.7	0.13	7.85
1994 02 18.3011	103.7	-11.6	19.1	0.29	7.50
105 Artemis					
1977 05 16.2083	242.1	33.1	16.7	0.03	8.62
1980 01 16.3333	135.9	-29.8	13.2	0.1	8.87
1980 01 24.1684	133.8	-29.9	11.9	0.21	8.46
1996 09 29.5610	9.2	0.1	0.8	0.05	8.60
1996 11 15.3476	0.5	-5.1	17.4	0.04	8.58
1999 04 24.5552	264.5	28.3	25.4	0.06	8.75
113 Amalthea					
1970 04 12.3333	193.7	8.9	5.6	0.25	9.00
1979 11 12.2375	58.1	-7.7	4.4	0.09	8.96
1979 11 13.2500	57.8	-7.7	4.0	0.05	8.96
1979 12 09.2083	51.5	-7.0	10.0	0.06	8.98
1979 12 14.2042	50.6	-6.8	12.0	0.16	8.98
1979 12 17.2292	50.1	-6.7	13.1	0.16	8.99
1981 04 04.1229	197.4	8.9	4.3	0.08	8.98
1981 04 05.1417	197.1	8.9	4.2	0.26	8.97
119 Althaea					
1984 05 11.2680	198.3	0.8	11.30	0.23	8.50
1989 07 04.2775	294.8	9.5	6.10	0.32	8.82
1989 07 06.3778	295.0	9.4	6.50	0.26	8.76
1998 10 14.1096	30.0	-0.37	4.09	0.29	8.24
1998 12 07.9870	21.8	-2.51	19.90	0.30	8.24
201 Penelope					
1980 09 03.8167	3.40	-2.9	9.6	0.44	9.14
1980 10 27.8208	354.2	-5.1	16.5	0.56	9.16
1982 12 16.4542	188.3	1.3	17.7	0.73	9.15
1983 02 18.3833	193.8	3.1	12.9	0.55	8.98
1983 03 27.3208	187.4	4.2	1.4	0.41	8.45
1984 04 10.4792	290.0	6.0	24.1	0.17	9.16
1984 05 10.3837	296.7	6.8	22.8	0.15	9.18
1985 10 20.4570	90.5	-7.4	19.9	0.18	9.05
1986 01 17.2208	76.6	-7.5	13.4	0.15	8.80
1987 02 05.0703	165.2	-0.1	8.7	0.48	8.95
1988 04 23.0999	247.0	8.4	12.2	0.10	8.78
1989 11 19.1155	32.7	-8.5	10.2	0.19	8.83
1993 10 14.8884	326.7	-1.7	21.8	0.58	8.26
270 Anahita					
1975 10 02.9292	22.8	4.2	8.2	0.20	9.01
1978 07 27.3542	316.1	4.1	6.7	0.26	9.00
1978 07 29.3658	315.7	4.2	5.6	0.30	9.03
1978 07 31.3704	315.2	4.2	4.5	0.27	9.02
1985 11 21.0184	64.4	1.0	3.1	0.23	8.93
1987 02 27.9606	188.9	-3.6	11.4	0.37	9.25
1987 03 01.6069	188.2	-3.7	9.7	0.30	9.29
1994 08 12.3045	244.5	1.0	29.2	0.48	9.58
338 Budrosa					
1981 09 03.0979	324.8	6.1	5.8	0.11	8.90
1984 03 05.1250	152.2	-6.8	4.8	0.06	9.02
1990 05 31.1812	242.3	-6.3	3.3	0.40	9.04
1991 08 18.1233	335.3	6.4	4.3	0.07	8.68
487 Venetia					
1984 05 12.6578	213.8	14.8	7.9	0.10	8.77
1985 08 20.5684	308.5	-5.8	7.4	0.13	8.85
1986 12 09.5141	82.3	-9.7	4.2	0.07	8.50
1992 02 29.4485	148.6	9.7	5.3	0.32	9.12
1992 03 20.2314	144.9	10.0	12.3	0.35	8.40
1993 03 18.0881	244.7	11.4	18.9	0.09	8.81
1994 10 20.5073	337.1	-12.8	18.1	0.18	9.13

Окончание табл. 1

Дата, UT (год, мес., день)	λ_{2000} , град	β_{2000} , град	α , град	ΔV	v
674 Rachele					
1978 10 04.8854	31.5	-12.2	8.7	0.03	7.72
1980 04 12.7817	160.0	17.7	15.4	0.20	7.99
1981 05 30.3564	248.1	-3.3	1.0	0.20	7.90
1981 07 09.3725	241.7	-4.7	12.3	0.18	7.92
1985 03 23.1271	163.8	19.6	9.8	0.19	7.84
776 Berbericia					
1977 09 07.1617	342.0	-29.1	11.1	0.15	7.86
1981 05 30.2044	247.8	5.2	2.3	0.24	7.75
1981 06 29.0031	242.9	3.2	10.4	0.18	8.25
1982 09 15.3687	335.7	-28.7	12.2	0.16	7.86
1984 01 07.1333	105.5	12.4	4.4	0.21	8.00
1992 09 04.0222	332.4	-28.4	11.3	0.10	8.19
1992 10 01.1043	328.0	-26.8	16.8	0.18	8.35
1995 03 22.0919	182.3	25.1	7.2	0.10	8.26
887 Alinda					
1969 11 06.4271	38.4	-29.6	21.4	0.09	14.08
1970 01 30.3496	78.5	6.6	42.0	0.09	14.08
1973 11 16.4667	67.3	-33.1	27.5	0.08	14.08
1973 12 29.5125	99.5	-17.4	15.3	0.05	14.05
1974 01 16.4167	117.6	6.0	5.5	0.04	14.12
1974 02 27.1583	138.3	23.7	22.8	0.06	14.14
951 Gaspra					
1982 11 18.3069	46.9	3.2	5.0	0.12	11.55
1988 08 16.1174	270.2	4.0	22.3	0.57	12.88
1989 12 05.2586	139.8	-3.8	24.7	0.51	12.56
1990 01 01.1535	139.3	-5.1	16.1	0.52	12.33
1990 02 11.4357	129.2	-6.2	6.2	0.40	12.04
1990 03 24.0638	124.5	-5.5	21.2	0.51	12.53
1991 04 13.1271	249.0	-2.2	16.6	0.22	12.23
1991 05 04.3868	246.1	-1.9	9.0	0.19	12.07
1991 05 23.3788	241.3	-1.4	0.7	0.10	11.74
1991 06 13.1487	236.2	-0.8	10.3	0.24	12.15

Табл. 2 содержит полученные значения эклиптических координат полюса, соотношений полуосей аппроксимирующей фигуру астероида эллипсоида, сидерических периодов, направлений вращения для 15 астероидов. Астероиды 22 Kalliope, 201 Penelope и 951 Gaspra, параметры которых определялись многократно и известны с высокой точностью, использовались в качестве «тестовых объектов» для проверки нашего метода.

Из табл. 2 видно, что полученные координаты полюсов совпадают в пределах точности их определения, а значения $P_{\text{сид}}$ совпадают с имеющимися данными до пятого знака после запятой. Это свидетельствует о том, что наша версия метода работает достаточно хорошо. Для трех астероидов — 22 Kalliope, 97 Klotho и 674 Rachele — полученные значения широт полюса сопоставимы с ошибкой их определения, т. е. оси вращения лежат вблизи плоскости эклиптики. Для таких «лежащих на боку» астероидов невозможно однозначно определить направление вращения. Этот случай называется промежуточным (intermediate). Интересно отметить, что как для всей выборки астероидов в табл. 2, так и среди тех, для которых определение координат полюсов и направления вращения сделано впервые, соотношение числа астероидов с прямым и обратным вращением составляет 2:1.

Обращает на себя внимание относительно низкая точность определения $P_{\text{сид}}$ у астероида группы Амура 887 Alinda. Это можно объяснить недоста-

Таблица 2. Результаты определения параметров вращения и формы астероидов

Астероид, метод	λ_0 , град	β_0 град	a/b	b/c	$P_{\text{сид}}$ сут	Направление вращения	Литературный источник
22 Kalliope EAM	190 185±6	-16±5	1.32 1.38±0.03	1.20 1.18±0.02	0.1728415 0.1728423±0.0000005	—	[4] Данная работа
75 Eurydike EAM	253±10	30±10	1.19±0.06	1.60±0.01	0.2231746±0.0000003	прямое	Данная работа
93 Minerva EA EAM	203±10 189±8	15±6 10±10	1.07±0.05 1.12±0.02	1.10±0.40 1.00±0.05	0.249087 0.2491288±0.0000003	прямое	[15] Данная работа
97 Klotho EAM	340±15	8±6	1.33±0.03	1.10±0.02	1.4632286±0.0000005	—	Данная работа
105 Artemis EAM	192±10	68±5	1.09±0.03	1.53±0.02	0.7729158±0.0000003	прямое	Данная работа
113 Amalthea EAM	70±10	-18±6	1.45±0.13	1.17±0.05	0.4140702±0.0000008	обратное	Данная работа
119 Althaea EAM	21±5	-77±12	1.29±0.05	1.33±0.05	0.4783486±0.0000005	обратное	Данная работа
201 Penelope EAM	84 84±6	-39 -32±5	1.49 1.51±0.02	1.20 1.24±0.01	0.1561439 0.1561401±0.0000005	обратное	[15] Данная работа
270 Anahita EA EAM	300±10 285±20	65±30 53±20	1.26±0.05 1.24±0.02	1.24±0.15 1.31±0.02	0.6268967 0.6269955±0.0000005	прямое	[15] Данная работа
338 Budsona A EAM	152 172±8	24 16±10	1.5 1.54±0.04	— 1.20±0.03	— 0.1916437±0.0000005	прямое	[17] Данная работа
487 Venetia EAM EAM	268±5 259±5	-24±10 -30±20	1.07±0.10 1.28±0.08	2.01±0.20 1.60±0.09	0.555897 0.5554876±0.0000008	обратное	[15] Данная работа
674 Rachele EAM	12±15	2±10	1.93±0.05	1.09±0.05	1.2898610±0.0000008	—	Данная работа
776 Berbericia EAM EAM	7±20 8±10	23±10 23±10	1.09±0.05 1.18±0.04	1.30±0.10 1.18±0.04	0.3194588 0.3194538±0.0000002	прямое	[15] Данная работа
887 Alinda EAM	190±15	33±5	1.06±0.15	1.56±0.08	3.0760710±0.0000275	прямое	Данная работа
951 Gaspra EAM	19 20±5	21 26±7	1.90 1.58±0.01	1.10 1.23±0.05	— 0.2934170±0.0000005	прямое	[18] Данная работа

точностью исходных данных (они получены на интервале всего 4.25 года при очень большом периоде вращения — 73.8 ч).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе [14] была исследована точность определения координат полюсов каждым методом и, в частности, показано, что метод эпох более точно дает значение эклиптической широты полюса астероида и менее чувствителен к определению долготы. АМ-метод, наоборот, более точно определяет значение эклиптической долготы. Поэтому применение комбинированного метода, соединившего преимущества обоих исходных методов, позволяет не только определить одновременно параметры вращения и форму астероида, но и улучшить точность их определения.

В настоящей работе комбинированный метод получил дальнейшее усовершенствование прежде всего в том, что впервые вместо так называемого «геометрического» закона используется закон рассеяния света Л. А. Акимова, который в отличие от «геометрического» и других законов достаточно хорошо описывает рассеивающие свойства поверхностей астероидов [1]. Кроме того, впервые при определении координат полюсов используется фазовая функция В. Г. Шевченко [2], которая намного лучше, чем известная НГ-функция, аппроксимирует фазовую зависимость блеска астероидов в наблюдаемом с Земли диапазоне фазовых углов. Все это дает основание считать, что полученные оценки координат полюсов, сидерического периода вращения и соотношений полюсов аппроксимирующей фигуры эллипсоида являются достаточно надежными. Об этом, в частности, свидетельствуют и результаты определения искомых параметров тестовых объектов (22 Kalliope, 201 Penelope и 951 Gaspra), для которых эти параметры уже определены достаточно надежно другими исследователями.

1. Акимов Л. А., Лушичко Д. Ф., Шевченко В. Г. О законе рассеяния света поверхностями астероидов. Распределение яркости по диску // Астрон. вестник.—1992.—26, № 4.—С. 62—67.
2. Шевченко В. Г. Фотометрия астероидов: фазовая зависимость блеска, фотометрическая модель: Дис.: канд. физ.-мат. наук. — Харьков, 1996.—140 с.—(Машинопись).
3. Шевченко В. Г. Анализ фазовых зависимостей яркости астероидов // Астрон. вестник.—1997.—31, № 3.—С. 246—251.
4. Di Angelis G. Asteroid spin, pole and shape determinations // Planet. Space Sci.—1995.—43.—Р. 649—682.
5. Erikson A. The present distribution of asteroid spin vectors and its relevance to the origin and evolution of main belt asteroids. — Berlin, —2000.—273 p.—(Dissertation, vorgelegt von M. S. Physics).
6. Fujiwara A., Kamimoto G., Tsukamoto A. Expected shape distribution of asteroids obtained from laboratory impact experiments // Nature.—1978.—N 272.—P. 602—603.
7. Gil Hutton R., Licandro J., Gallardo T. Pole coordinates of the asteroid 338 Budrosa: implication for the asteroid family 124 // Planet. Space Sci.—1995.—43.—P. 797—800.
8. Lagerkvist C.-I., Barucci M. A., Capria M. T., et al. Asteroid Photometric Catalogue. — CNR, Istituto di Astrofizica Spaziale, Roma, 1987.—1120 p.
9. Lagerkvist C.-I., Barucci M. A., Capria M. T., et al. Asteroid Photometric Catalogue. First update. — CNR, Istituto di Astrofizica Spaziale, Roma, 1988.—370 p.
10. Lagerkvist C.-I., Barucci M. A., Capria M. T., et al. Asteroid Photometric Catalogue. Second update. — Astronomiska observatoriet, Uppsala, Sweden, 1992.—168 p.
11. Lagerkvist C.-I., Magnusson P., Belskaya I., et al. Asteroid Photometric Catalogue. Third update. — Astronomiska observatoriet, Uppsala, Sweden, 1993.—298 p.
12. Lagerkvist C.-I., Magnusson P., Belskaya I., et al. Asteroid Photometric Catalogue. Fourth update. — Astronomiska observatoriet, Uppsala, Sweden, 1996.—440 p.
13. Magnusson P. Determinations of pole orientations and shapes of asteroids // Asteroids II / Eds R. P. Binzel, T. Gehrels, M. S. Matthews. — Tucson: Univ. Arizona Press, 1989.—P. 66—97.
14. Magnusson P. Spin vectors of asteroids: Determination and cosmogonic significance //

- Observational and physical properties of small Solar system bodies / Eds A. Brahic, J.-C. Gerard, J. Surdej. — Liege (Belgium): Univ. de Liege, 1992.—P. 163—179.
15. *Michalowski T.* Pole and Shape determination for 12 asteroids // *Icarus*.—1996.—123, N 2.—P. 456—462.
 16. *Shevchenko V. G., Belskaya I. N., Krugly Yu. N., et al.* Asteroid observations at low phase angles. II. 5 Astraea, 75 Eurydike, 77 Frigga, 105 Artemis, 119 Althaea, 124 Alkeste, and 201 Penelope // *Icarus*.—2002.—155, N 2.—P. 365—374.
 17. *Taylor R. C.* Pole orientations of asteroids // *Asteroids* / Ed. by T. Gehrels. — Tucson: Univ. Arizona Press, 1979.—P. 480—493.
 18. *Thomas P. C., Veverka J., Simonelli D., et al.* The shape of Gaspra // *Icarus*.—1994.—107, N 1.—P. 23—36.
 19. *Zappala V.* A semi-analytic method for pole determination of asteroids // *Moon and Planets*.—1981.—24.—P. 319—325.

Поступила в редакцию 13.11.02