

МАССА АСТЕРОИДА (7348), ОПРЕДЕЛЁННАЯ ДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ



В.Б.КУЗНЕЦОВ, Ю.А.ЧЕРНЕТЕНКО
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ АСТРОНОМИИ РАН
VB.KUZNETSOV@IAARAS.RU, CYA@IAARAS.RU



Всероссийская астрономическая конференция «ВАК-2021» 23-28 августа 2021 года

1. Введение

Динамический (астрометрический) метод определения массы астероида основан на использовании гравитационных возмущений, которые более массивное тело оказывает на менее массивное тело или тела (тестовые частицы, тестовые тела). В настоящее время большое число значений масс астероидов получено этим методом и число их постоянно возрастает. В этой работе мы приводим результаты определения массы астероида (7348) 1993 FJ22 по наблюдениям астероида (7562) Kagiroido-Oka. В 2000 г. в рамках программы поиска сближений между астероидами было найдено сближение между астероидами (7348) и (7562): 26 марта 1993 года они прошли на расстоянии $(7.41 \pm 3.05) 10^{-6}$ а.е., ~ 1100 км [1]. При этом сближению сопутствовало два фактора:

- 1) оно пришлось на оппозицию, фазовый угол $\phi = 2.2^\circ$;
- 2) имеется наблюдение, сделанное в Южной Европейской обсерватории (La Silla) через несколько часов после сближения, на котором присутствуют оба астероида, которых отделяет друг от друга менее $35''$ (рис.1). Интересно отметить, что значение MOID (минимальное расстояние между орбитами) практически совпадает с минимальным расстоянием между астероидами. Однако вряд ли можно говорить о возможной физической связи этих тел, т.к. астероиды имеют разные физические и динамические характеристики. Согласно данным LCDB [2], астероид (7348) имеет диаметр 9.91 км, альbedo 0.08, абсолютную звездную величину 12.93-13.38^m. Этот темный астероид С-типа является членом семейства (24) Фемиды. Астероид (7562) имеет диаметр 6.89 км, альbedo 0.283, абсолютную звездную величину 13.0^m.

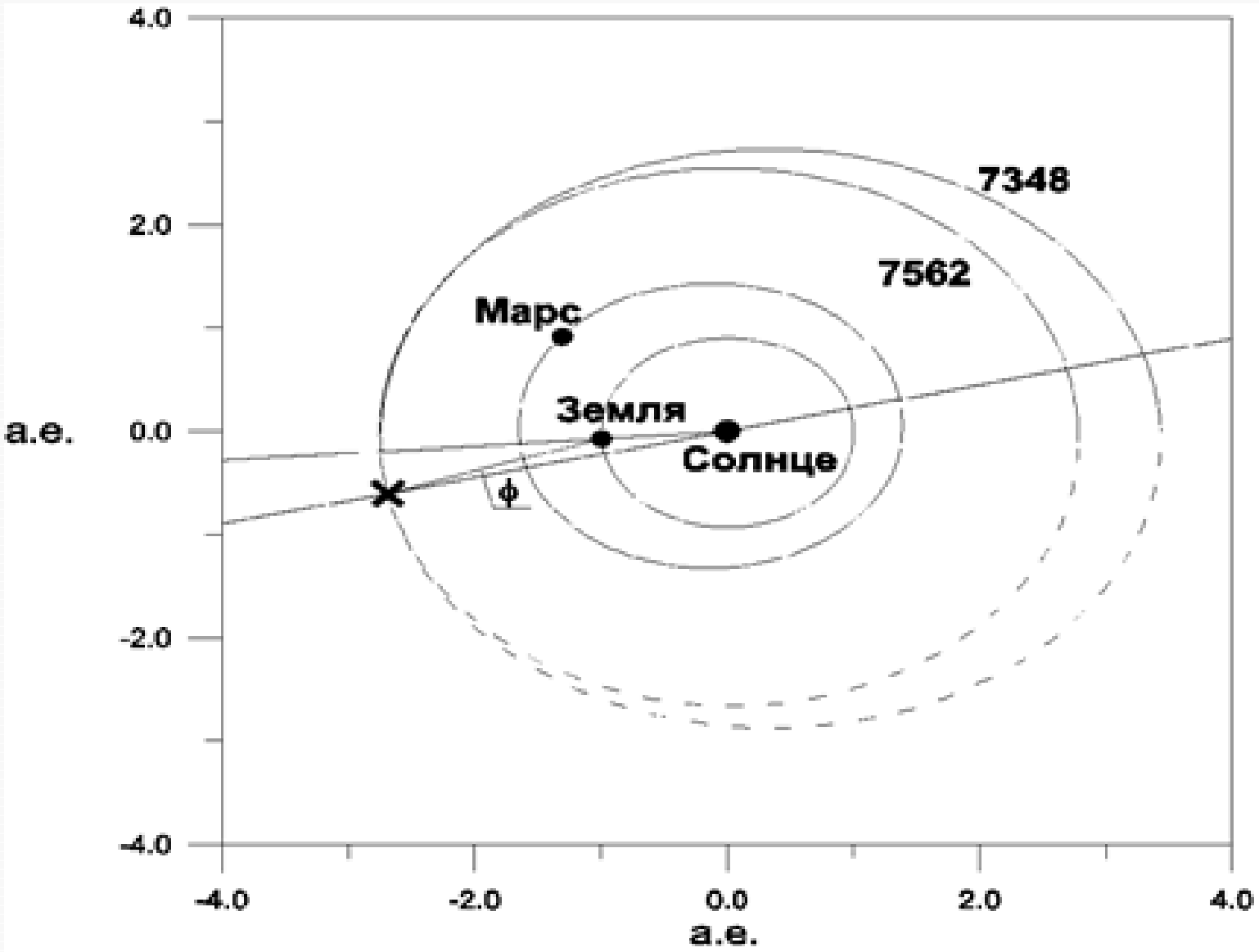


Рис. 1 Сближение астероидов (7348) и (7562)

На эти два необычных астероида также обратили внимание авторы [3]. По их оценкам, минимальное расстояние между астероидами в 1993 г. составило всего 200 км. Однако авторы посчитали, что недостаточное число наблюдений (7562) делает это сближение непригодным для уточнения массы (7348). В 2005 г. Mike Kretlow [4] оценил массу (7348) в $(8 \pm 46) 10^{-16} M_\odot$. Сейчас число наблюдений (7562) выросло, в том числе и за счёт наблюдений космического аппарата Gaia, которые доступны в рамках DR2 [5].

2. Метод исследования

Интегрирование уравнений движения и уравнений в вариациях выполнялось методом Эверхарта [6]. В качестве возмущающих составляющих в уравнения движения включены возмущения от всех больших планет, карликовых планет Плутона, Цереры, Паллады и Весты и 340 астероидов, включенных в эфемериду DE440 [7]. В уравнениях движения учтены релятивистские возмущения от Солнца.

Информация об используемых наблюдениях приводится в табл.1. Позиционные наблюдения были взяты из каталога наблюдений Международного планетного центра [8, 9] по состоянию на 25.06.2021, а наблюдения Gaia - из каталога [5].

Таблица 1. Информация о наблюдениях

№	Интервал наблюдений	Число набл.	Число оппози.	О-С (")	rms (")
Позиционные наблюдения					
7348	1933-03-23 – 2021-05-13	2466	27	0.3201	0.3083
7562	1986-11-30 – 2021-05-31	3033	36	0.2681	0.2608
Наблюдения Gaia DR2					
7348	2014-12-28 – 2016-05-05	77	3	0.1045	0.1045
7562	2014-10-17 – 2016-05-17	90	3	0.0934	0.0934

Приведение позиционных наблюдений на систему одного каталога стала возможна в соответствии с рекомендациями работы [10], в которой были вычислены систематические поправки для ряда звездных каталогов относительно каталога 2MASS [11]. Предоставленные таблицы поправок уменьшили систематические ошибки наблюдений и улучшили точность вычисляемых орбит. Авторы [12] уточнили таблицы поправок, включив влияние собственных движений звезд. Кроме того, было рассмотрено большее по сравнению с работой [10] количество каталогов. В своей работе мы основывались на результатах работы [12]. Необходимо отметить, что эти поправки возможно учитывать для наблюдений, выполненных после середины 2001 г. Наблюдения Gaia использовались в процедуре улучшения в соответствии с описанием каталога наблюдений и рекомендациями работы [13].

3. Минимальные расстояния между астероидами

При уточнении орбитальных элементов рассматриваемых астероидов была принята следующая схема назначения весов позиционным наблюдениям: наблюдениям 1901—1950 гг. назначался вес 1/9, наблюдениям 1951—1995 гг. назначался вес 1/4, наблюдениям с 1996 г. назначался вес 1. Результаты уточнения орбитальных параметров приводятся в последних колонках табл. 1. На основании этих уточненных элементов были получены минимальные расстояния между рассматриваемыми астероидами и другими астероидами, с ними сближающимися (Табл.2). В этот список не вошли астероиды из числа 340, включенных в эфемериду DE440. На основании данных табл. 2 в уравнения движения астероида (7348) были включены также возмущения от астероидов (656) и (1027) с массами $8.66 \cdot 10^{-14} M_\odot$ и $4.06 \cdot 10^{-14} M_\odot$, соответственно. Вычисления показали, что их влияние на определяемое значение массы (7348) незначимо.

Минимальное расстояние между астероидами (7348) и (7562) на 26.03.1993, после уточнения их орбит, составило $6.72 \cdot 10^{-6}$ а.е. (~ 1060 км).

Таблица 2. Тесные сближения астероидов (7348) и (7562) с другими астероидами

(7348)			(7562)		
№	D (км)	Дата	Дата	Δr (а.е.)	Δr (а.е.)
656	34.0	1993-02-12.97	1993-03-15.32	0.01020	0.01423
1027	38.6	1991-02-21.21		0.09823	
16616	6.2		1990-10-24.40		0.00022
16877	6.5	2004-11-22.23		0.04916	
55860	3.4	2014-02-20.68		0.03984	
85008	3.7	1968-07-29.87		0.00314	
198316	1.4	1998-07-01.34		0.00045	
274668	2.0		1991-12-29.48		0.00090

На рис. 2 приводится график изменения расстояний между астероидами (7348) и (7562). Так как эти астероиды находятся в соизмеримости средних движений 5:4, то сближения повторяются. Сближение в 1993 г. является самым тесным на исследуемом интервале времени.

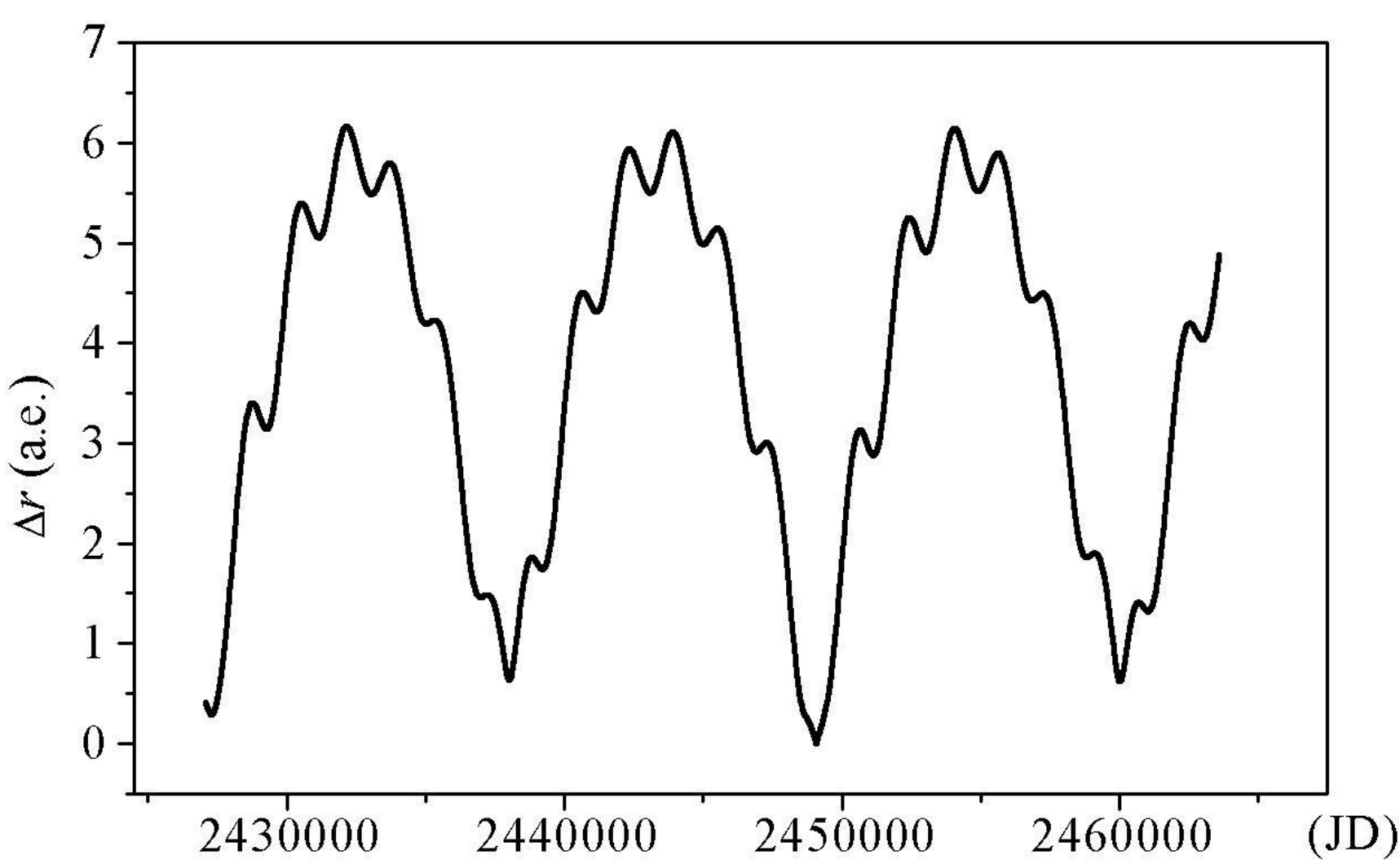


Рис. 2 Расстояние между астероидами (7348) и (7562)

4. Определение массы астероида (7348)

Отдельного рассмотрения требует вопрос о совместном использовании позиционных наблюдений и наблюдений Gaia в процессе уточнения орбитальных параметров. Как видно из табл. 1, эти две группы наблюдений существенно различаются

как количеством, так и интервалами наблюдений. Если исходить только из оценок точности [13], то можно сказать, что наблюдения Gaia примерно в 100 раз точнее, чем позиционные наблюдения, и в соответствии с этой оценкой им должен быть назначен вес при решении системы условных уравнений. С практической точки зрения, наиболее удобным оказалось использование для каждого наблюдения весовой матрицы (2×2) **W**, которая является обратной к матрице ковариации **G**, и приводится для каждого наблюдения Gaia в каталоге наблюдений [5]. Результаты уточнения орбитальных параметров с раздельным использованием этих групп наблюдений показаны в двух последних столбцах табл. 1. Результаты определения массы астероида (7348) приводятся в табл. 3. Видно, что оба варианта дают близкие результаты.

Таблица 3. Масса астероида (7348) по наблюдениям астероида (7562)

№ наблюдения	Используемые наблюдения	$M_{(7348)}$ (в $10^{-14} M_\odot$)	$\sigma(M_{7348})$	орбита (7562)	
				О-С (")	rms (")
1	Позиционные наблюдения (MPC)	0.864 ± 0.245	3.527	0.2671	0.2603
2	+ наблюдения Gaia	0.867 ± 0.243	3.562	0.2634	0.2549

5. Выводы

Получена динамическим методом, по наблюдениям возмущаемого астероида (7562), статистически значимая оценка массы астероида (7348), равная $(0.867 \pm 0.243) 10^{-14} M_\odot$, самая малая из всех определенных до сих пор таким способом. Это определение оказалось возможным благодаря очень тесному сближению астероидов (7348) и (7562) в 1993 г., при этом минимальное расстояние между телами составило ~ 1060 км. Кроме того, имеется большое количество наблюдений возмущаемого астероида (7562) по обе стороны от сближения. Вычисления выполнены с использованием позиционных наблюдений и наблюдений Gaia, представленных в каталоге Gaia DR2 [5]. Включение этих последних не привело к существенному повышению точности определяемого значения массы (7348). Частично это связано с их относительно малым количеством и тем фактом, что они находятся по одну сторону от тесного сближения. Также была предпринята попытка определения массы астероида (7562) по наблюдениям астероида (7348). Ошибка массы (7562) составила $\pm 0.116 \cdot 10^{-14} M_\odot$, однако само значение массы оказалось нереальным.

6. Материалы

1. Кузнецов В.Б. Тезисы докладов конференции "Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века". Санкт-Петербург, 19-23 июня 2000г., 302-303.
2. Warner B., Pravec P., Harris A.P. Asteroid Light curve Database (LCDB) v2.0 NASA Planetary Data System, urn:nasa:pds:ast-lightcurve-database::2.0Pub Date: Sept. 2018.
3. A. Galad and B. Gray. A&A 391, 1115-1122 (2002).
4. Mike Kretlow. Kleinplanetentagung. Heppenheim, 2005. <https://astro.kretlow.de/userfiles/downloads/MKR-KPT2005-MassDetermination.pdf>
5. <https://gea.esac.esa.int/archive/>
6. Everhart, E. A. Bull. Am. Astron. Soc. 1973. Vol. 5. P. 389.
7. Ryan S. Park, Williams M. Folkner, James G. Williams, and Dale H. Boggs The Astronomical Journal, 161:105(15pp), 2021 March
8. https://minorplanetcenter.net/db_search/show_object?utf8=%E2%9C%93&object_id=7348
9. https://minorplanetcenter.net/db_search/show_object?utf8=%E2%9C%93&object_id=7562
10. Chesley, S.R., Baer, J., Monet, D.G., 2010. Icarus 210, 158-181.
11. Skrutskie, M., Cutri, R., Stiening, et al., 2006. The Astronomical Journal 131, 1163.
12. Farnocchia, D., Chesley, S., Chamberlin, A., Tholen, D., 2015. Icarus 245, 94-111.
13. Spoto et al., Astron. & Astroph. manuscript no. DR2-SSO с ESO 2018 April 26, 2018.