

Исследование орбитальной динамики астероида 2023 BU, совершившего рекордное сближение с Землей

© А.А. Мартюшева, А.В. Девяткин, В.Н. Львов, Д.Л. Горшанов, С.А. Русов

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
196140 Санкт-Петербург, Россия
e-mail: alex.mart13@gmail.com

Поступило в Редакцию 10 мая 2023 г.

В окончательной редакции 30 августа 2023 г.

Принято к публикации 30 октября 2023 г.

В рамках Пулковской программы изучения объектов, сближающихся с Землей, на телескопе МТМ-500М было выполнено более 1500 наблюдений астероида 2023 BU, открытого в самом начале 2023 г. всего за несколько дней до своего чрезвычайно тесного сближения с Землей на расстоянии около $3.5 \cdot 10^6$ м от ее поверхности. Это было одно из самых тесных сближений астероида с Землей среди когда-либо зарегистрированных, что привлекло внимание астрономов по всему миру. На основе наблюдений данного астероида было проведено уточнение его орбиты, исследована ее эволюция. Кроме того, были сделаны оценки влияния светового давления и эффекта Ярковского, что актуально в связи с проблемой астероидно-кометной опасности.

Ключевые слова: астероиды, сближающиеся с Землей, астрометрия, световое давление, эффект Ярковского.

DOI: 10.61011/JTF.2023.12.56813.f224-23

Астероид 2023 BU диаметром около 6 м был открыт 21 января 2023 г. российским астрономом Г.В. Борисовым в пгт. Научный (Крым). Примечательно, что изображение данного объекта впервые было получено за несколько дней до его тесного сближения с Землей 26 января 2023 г. Ввиду малого размера этот астероид не является потенциально опасным, однако он прошел на рекордно близком расстоянии от центра Земли, около $9.9 \cdot 10^6$ м [1], а, поскольку радиус Земли составляет примерно $6.4 \cdot 10^6$ м, это означает, что он прошел всего в $3.5 \cdot 10^6$ м от поверхности нашей планеты.

Наблюдения астероида 2023 BU были проведены на Горной астрономической станции Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН в период с 25 января по 28 января 2023 г. на телескопе МТМ-500М [2]. Было получено более 1500 наблюдений, которые были посланы в Центр малых планет (ЦМП). Наши наблюдения составляют 83% всех мировых наблюдений этого астероида. С учетом наших наблюдений в ЦМП была уточнена орбита астероида [3]. Результаты уточнения элементов орбиты астероида представлены в табл. 1.

Таблица 1. Элементы орбиты астероида 2023 BU на эпоху JD2460000.5

Средняя аномалия M	28.72773°
Аргумент перицентра ω	355.74682°
Долгота восходящего узла Ω	125.48523°
Наклонение i	3.74897°
Эксцентриситет e	0.1110826
Большая полуось a	1.1070054 AU

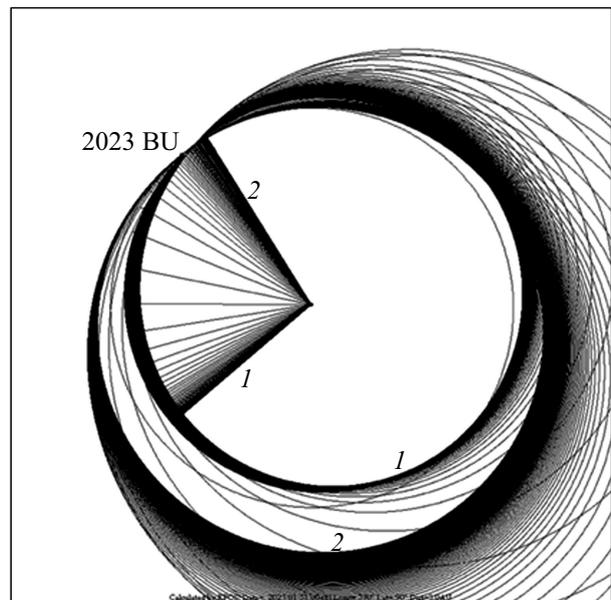


Рис. 1. Изменение орбиты астероида 2023 BU.

Это сближение с Землей стало одним из самых тесных среди когда-либо зафиксированных и повлекло за собой изменение орбиты астероида, которое иллюстрирует рис. 1. На нем показано изменение орбиты вместе с линией апсид в промежутке времени 25–31 января 2023 г. с шагом $6 \cdot 10^2$ с. Цифры 1 и 2 соответствуют начальному и конечному моментам. Изображения астероида и Земли практически сливаются. За короткий промежуток времени орбита быстро „взбухает“ и быстро „схлопывается“, но уже приобретая новые

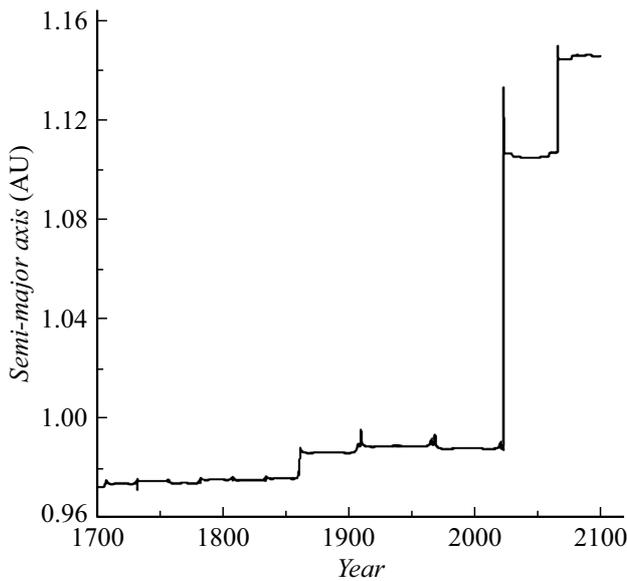


Рис. 2. Изменение большой полуоси орбиты (AU) астероида 2023 BU за 1700–2100 гг.

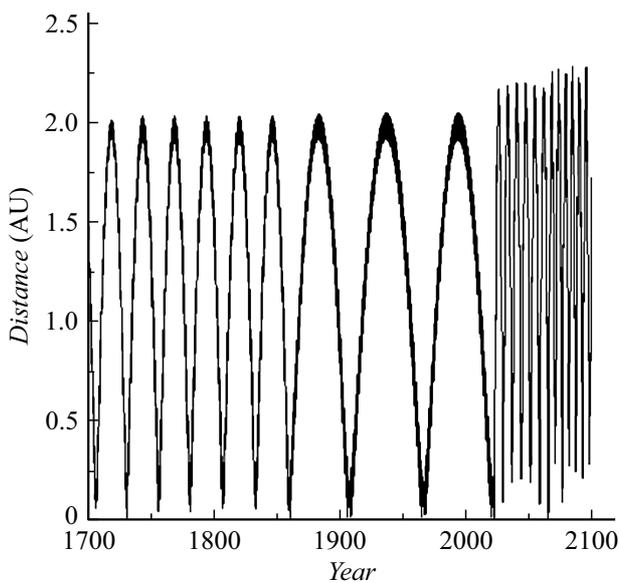


Рис. 3. Изменение расстояния (AU) астероида 2023 BU от Земли за 1700–2100 гг.

размер и форму. На рис. 2 приведен график изменения большой полуоси орбиты астероида за 1700–2100 гг. Заметны еще два менее масштабных изменения орбиты (1858–1862 гг., несколько умеренных сближений) и в 2066 г. (расстояние 0.0035 AU). На рис. 3 показано изменение расстояния астероида от Земли за тот же промежуток времени. Видно, что вполне регулярное движение астероида вследствие неоднократных сближений с Землей приобретает более хаотический характер.

В 2029 г. ожидается следующее сближение астероида на расстоянии порядка $1.3 \cdot 10^{10}$ м от Земли, а в 2066 г. — на расстояние около $5.3 \cdot 10^8$ м, что явля-

Таблица 2. Смещение орбиты астероида 2023 BU под действием светового давления через 6 лет и 43 года в зависимости от плотности астероида

Год	1380 kg/m ³	2710 kg/m ³	5320 kg/m ³
2029	$1.9 \cdot 10^3$ м	$0.9 \cdot 10^3$ м	$0.5 \cdot 10^3$ м
2066	$2.6 \cdot 10^4$ м	$1.3 \cdot 10^4$ м	$6.7 \cdot 10^3$ м

Таблица 3. Величина эффекта Ярковского $\Delta a \cdot 10^{-10}$ AU за один оборот вокруг Солнца в зависимости от угла наклона оси вращения и периода вращения P_{rot}

P_{rot} , s	0°	45°	90°	135°
$3.6 \cdot 10^3$	1.3772	0.9666	-0.0144	-0.9810
$1.8 \cdot 10^4$	0.9369	0.6553	-0.0144	-0.6697
$3.6 \cdot 10^4$	0.7371	0.5140	-0.0144	-0.5285
$5.4 \cdot 10^4$	0.6315	0.4393	-0.0144	-0.4537

ется наиболее тесным сближением из всех предстоящих в этом столетии. В связи с этим вычисления отклонений под действием светового давления проводились на двух интервалах времени, 6 лет и 43 года, что соответствует тесным сближениям 2029 и 2066 гг. Начальные данные для расчетов представлены на сайте ЦМП [3]. Поскольку плотность астероида, необходимая для оценки его массы, неизвестна, расчеты выполнялись для трех значений средней плотности основных спектральных классов астероидов (C, S, M) [4]. Альbedo астероида δ , равное 0.06, было вычислено по формуле $\lg D = 3.122 - 0.5 \lg \delta - 0.2 H_v$ [5], где D — диаметр астероида, H_v — абсолютная звездная величина астероида. Методика вычислений подробно описана в работе [6]. Результаты вычислений приведены в табл. 2. Значительные отклонения астероида обусловлены малостью его размера. Заметно, что они стремительно убывают с увеличением плотности. Астероид 2023 BU принадлежит к семейству Аполлона, которое преимущественно представляет собой объекты S-класса, а значит, отклонения с большой долей вероятности будут близки к рассчитанным для плотности, равной 2710 kg/m³.

Так же были сделаны оценки эффекта Ярковского, который представляет собой ускорение или замедление орбитального движения тела за счет появления слабого реактивного импульса в результате ассиметричного переизлучения тепловой энергии поверхностью тела.

Вследствие того, что угол наклона оси вращения и период вращения P_{rot} астероида неизвестны, вычисления эффекта Ярковского были выполнены для целого ряда модельных значений данных параметров (табл. 3). Плотность астероида, необходимая для расчетов, была принята равной 3137 kg/m³, что соответствует среднему арифметическому значению плотности основных спектральных классов астероидов. Коэффициенты эмиссии, теплопроводности и теплоемкости приняты средними:

$\varepsilon = 0.9$, $K = 10^{-2} \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, $C = 500 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Термодинамическая модель эффекта Ярковского была взята из работ [7,8]. Методика вычисления величины эффекта Ярковского взята из работы [9]. Результаты вычислений представлены в табл. 3. Положительные значения соответствуют увеличению большой полуоси, т.е. замедлению движения, отрицательные — сокращению, т.е. ускорению. Очевидно, что величины изменения большой полуоси убывают с увеличением периода вращения астероида.

В заключении стоит отметить, что полученные оценки орбитальной эволюции, а также результаты отклонений вследствие влияния негравитационных эффектов, в особенности светового давления, весьма существенны. В этой связи их стоит учитывать при дальнейших расчетах траектории движения. Следует подчеркнуть, что исследования астероидов представляют значимость в рамках проблемы астероидно-кометной опасности, и, хотя астероид 2023 BU не является опасным для Земли, он, несомненно, представляет интерес своим ранним обнаружением и столь тесным сближением с Землей.

Финансирование работы

А.А. Мартюшева выражает благодарность за финансовую поддержку выполненных работ Российскому научному фонду № 23-22-00306, <https://rscf.ru/project/23-22-00306/>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] Электронный ресурс. Режим доступа: https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons_batch.cgi?batch=1&COMMAND=%272023+BU%27&START_TIME=%272023-01-26%2021:17%27&STOP_TIME=%272023-01-27%27&STEP_SIZE=%271%20day%27&QUANTITIES=%2719,20,22,39%27
- [2] А.П. Кулиш, А.В. Девяткин, В.Б. Рафальский, Ф.М. Ибрагимов, В.В. Куприянов, И.А. Верещагина, А.В. Шумахер. Изв. ГАО, **219** (1), 192 (2009).
- [3] Электронный ресурс. Режим доступа: https://minorplanetcenter.net/db_search/show_object?utf8=%E2%9C%93&object_id=2023+BU
- [4] G.A. Krasinsky, E.V. Pitjeva, M.V. Vasilyev, E.I. Yagudina. *Icarus*, **158** (1), 98 (2002). DOI: 10.1006/icar.2002.6837
- [5] Т.А. Виноградова, Н.Б. Железнов, В.Б. Кузнецов, Ю.А. Чернетенко, В.А. Шор. Труды ИПА РАН, **9**, 43 (2003).
- [6] А.А. Мартюшева, Н.А. Петров, Е.Н. Поляхова. Вестн. СПбГУ, **60** (1), 135 (2015).
- [7] D. Vokrouhlický. *Astron. Astrophys.*, **344**, 362–366 (1999).
- [8] D. Vokrouhlický, A. Milani, S.R. Chesley. *Icarus*, **148** (1), 118 (2000). DOI: 10.1006/icar.2000.6469.
- [9] А.И. Панасенко, Ю.А. Чернетенко. Труды ИПА РАН, **31**, 59–65 (2014).