

## Исследование двойного астероида (65803) Дидим, спутник которого подвергся экспериментальному столкновению с аппаратом DART

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

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,  
196140 Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: stalkerred@yandex.ru

Поступило в Редакцию 12 мая 2023 г.

В окончательной редакции 23 июля 2023 г.

Принято к публикации 30 октября 2023 г.

На телескопе MTM-500M Пулковской обсерватории были проведены наблюдения двойного астероида (65803) Didymos после экспериментального столкновения аппарата DART (NASA) с его спутником. Эволюция орбиты рассматриваемого астероида построена при помощи программного пакета ЭПОС. Представлены результаты астрометрической и фотометрической обработки наблюдательных данных.

**Ключевые слова:** астероиды, Дидим, Диморф, астрометрия.

DOI: 10.61011/JTF.2023.12.56823.f233-23

Угроза столкновения с малыми телами Солнечной системы была актуальна для Земли всю историю ее существования. Развитие технологий за последние полвека позволило с каждым годом открывать и наблюдать все больше астероидов, сближающихся с Землей. В рамках проекта Spacewatch в обсерватории Китт-Пик (США) 11 апреля 1996 г. был открыт астероид (65803) Didymos (Дидим), принадлежащий классу Аполлонов и причисленный Центром Малых Планет (MPC) к потенциально опасным астероидам [1]. Его диаметр составляет около 780 м [2]. В 2003 г. у него был обнаружен спутник диаметром около 170 м [2], он впоследствии получил имя Dimorphos (Диморф) и был выбран целью для первого в истории эксперимента по изменению траектории движения астероида путем физического воздействия [3]. 27 сентября 2022 г. (26 сентября в 23 h 14 min по всемирному координатному времени) аппарат DART (NASA), запущенный в ноябре 2021 г., совершил столкновение с астероидом Диморф [4].

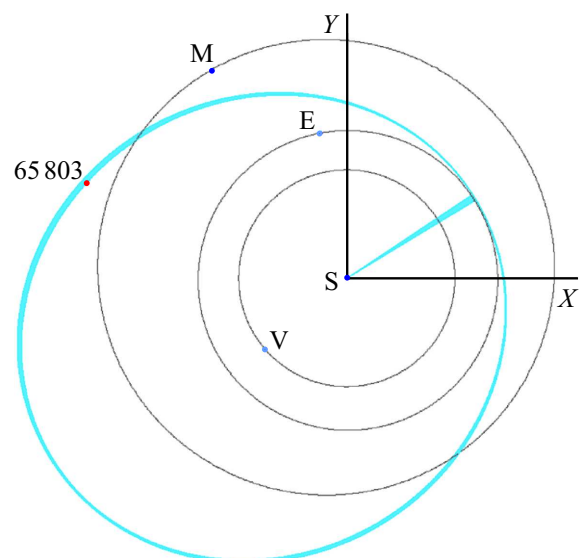
С помощью телескопа MTM-500M, установленного на Горной астрономической станции Пулковской обсерватории (ГАС ГАО, Кисловодск) [5], были проведены наблюдения двойного астероида Дидим в период 1 октября–27 декабря 2022 г. Было получено свыше 1300 ПЗС-кадров. Астрометрическая и фотометрическая обработка наблюдательных данных выполнена с помощью программных пакетов ЭПОС [6] и АПЕКС-II [7] с использованием численной эфемериды DE441 [8]. Каталог GAIA DR2 был использован в качестве опорного каталога [9].

Эволюция орбиты двойного астероида Дидим исследовалась на интервале времени  $t = 1800–2200$  уг, на рис. 1 представлен результат.

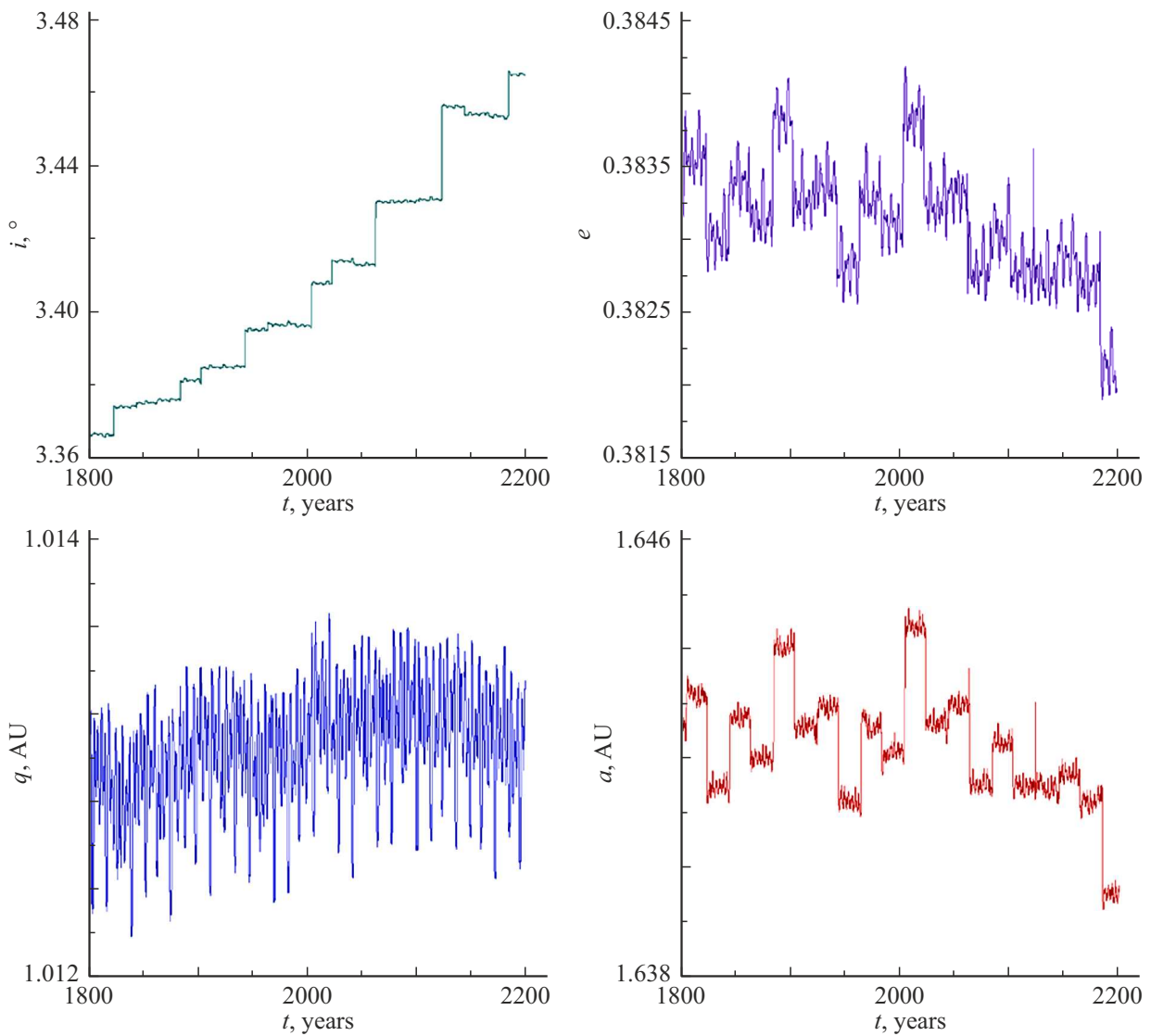
Астероид в этом промежутке времени сближается на расстояние не более  $7.4799 \cdot 10^9$  м (0.05 AU) только с Землей (2003, 2062, 2123 уг) и Марсом (1901, 1967, 2144, 2166 уг). Сверхтесных сближений не зафиксиро-

вано, поэтому изменения размеров и формы орбиты за этот период незначительны. Но они есть: орбита постепенно „схлопывается“ внутрь Солнечной системы. Несмотря на отсутствие сверхтесных сближений с планетами, орбиту астероида нельзя считать вполне регулярной. На рис. 2 представлены графики изменений параметров орбиты астероида Дидим за четыре столетия. Заметны признаки хаотического движения и мелкие „скачки“ величин, которые в будущем могут привести к значительным изменениям орбиты.

За исходные были приняты элементы орбиты астероида из каталога MPCORB [10] от 5 сентября 2022 г., полученные из 2880 мировых наблюдений и отнесенные к эпохе JD2459800.5. Для оценки качества наблюдений на ГАС ГАО была предпринята попытка улучшения орбиты



**Рис. 1.** Эволюция орбиты астероида (65803) Дидим (вместе с линией апсид) по отношению к Солнцу (S), Венере (V), Земле (E), Марсу (M) на интервале  $t = 1800–2200$  уг.



**Рис. 2.** Изменения величин наклона ( $i$ ), эксцентриситета ( $e$ ), перигелийного расстояния ( $q$ ) и большой полуоси ( $a$ ) орбиты астероида Дидим за период  $t = 1800–2200$  уг.

Улучшение элементов орбиты на эпоху JD2459800.5

| Элементы                | Начальные (MPC) | Улучшенные | $\Delta$    | RMS         |
|-------------------------|-----------------|------------|-------------|-------------|
| $M$ , ( $^\circ$ )      | 325.51990       | 325.51996  | +0.00006    | 0.000001    |
| $\omega$ , ( $^\circ$ ) | 319.31887       | 319.31900  | +0.00013    | 0.000011    |
| $\Omega$ , ( $^\circ$ ) | 73.19329        | 73.19325   | -0.00004    | 0.000008    |
| $i$ , ( $^\circ$ )      | 3.40788         | 3.40789    | +0.00001    | 0.000001    |
| $e$                     | 0.3839233       | 0.3839242  | +0.0000009  | 0.00000001  |
| $a$ , (AU)              | 1.64432410      | 1.64432672 | +0.00000262 | 0.000000030 |
| $q$ , (AU)              | 1.01302977      | 1.01302987 | +0.00000010 | 0.000001    |

в предположении, что в наличии имеются только результаты пулковских наблюдений. При улучшении была использована выборка из 779 наблюдений, полученных на телескопе МТМ-500М за период 1 октября–27 декабря 2022 г. Величина RMS (root mean square, среднее квадра-

тическое), характеризующая представление наблюдений текущим набором элементов орбиты, изменилась от начальной  $RMS = 0.331''$  до конечной  $RMS = 0.147''$ . Результаты улучшения с оценкой точности полученных величин приведены в таблице, где  $M$  — средняя

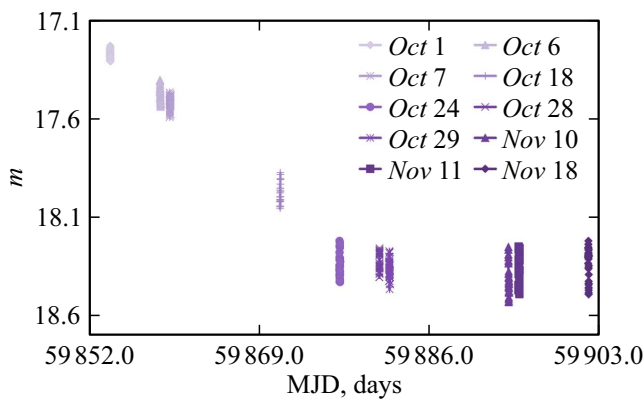


Рис. 3. Падение абсолютной звездной величины двойного астероида (65803) Дидим.

аномалия,  $\omega$  — аргумент перицентра,  $\Omega$  — долгота восходящего узла,  $i$  — наклонение,  $e$  — эксцентриситет,  $a$  — большая полуось,  $q$  — перигелийное расстояние,  $\Delta$  — поправка.

В работе, опубликованной в журнале Nature [11], в которой использованы многочисленные наблюдения различных наземных телескопов, отмечается, что сразу после столкновения блеск двойного астероида возрос на 2.3 звездной величины и вернулся к исходному значению примерно через 24 дня. Результаты фотометрической обработки полученных на телескопе MTM-500M наблюдений в интегральной полосе вполне соответствуют этим выводам (рис. 3).

Результат эксперимента NASA с астероидом Диморф [12] показал, что если пытаться изменять орбиты астероидов методом кинетического воздействия, то даже столь малые изменения орбиты могут предотвратить возможные столкновения астероидов с Землей.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### Список литературы

- [1] Электронный ресурс. Режим доступа: [https://www.minorplanetcenter.net/db\\_search/show\\_object?object\\_id=65803](https://www.minorplanetcenter.net/db_search/show_object?object_id=65803)
- [2] S.P. Naidu, L.A.M. Benner, M. Brozovic, M.C. Nolan, S.J. Ostro, J.L. Margot, J.D. Giorgini, T. Hirabayashi, D.J. Scheeres, P. Pravec, P. Scheirich, C. Magri, J.S. Jao. *Icarus*, **348**, 113777 (2020). DOI: 10.1016/j.icarus.2020.113777
- [3] P. Pravec, C.A. Thomas, A.S. Rivkin, P. Scheirich, N. Moskovitz, M.M. Knight, C. Snodgrass, J. de León, J. Licandro, M. Popescu, A. Thirouin, D. Föhring, C.O. Chandler, W.J. Oldroyd, C.A. Trujillo, E.S. Howell, S.F. Green, J. Thomas-Osip, S.S. Sheppard, T.L. Farnham, E. Mazzotta Epifani, E. Dotto, S. Ieva, M. Dall’Ora, R. Kokotanekova, B. Carry, D. Souami. *Planet. Sci. J.*, **3**, 175 (2022). DOI: 10.3847/PSJ/ac7be1
- [4] Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-confirms-dart-mission-impact-changed-asteroid-s-motion-in-space>
- [5] 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).
- [6] V.N. L’vov, S.D. Tsekmeister. *Sol. Syst. Res.*, **46** (2), 177 (2012). DOI: 10.1134/S0038094612020074
- [7] A.V. Devyatkin, D.L. Gorshanov, V.V. Kouprianov, I.A. Verestchagina. *Sol. Syst. Res.*, **44** (1), 68 (2010). DOI: 10.1134/S0038094610010090
- [8] R.S. Park, W.M. Folkner, J.G. Williams, D.H. Boggs. *Astronom. J.*, **161**, 105 (2021). DOI: 10.3847/1538-3881/abd414
- [9] A.G.A. Brown, A. Vallenari, T. Prusti, J.H.J. de Bruijne, C. Babusiaux, C.A.L. Bailer-Jones, M. Biermann, D.W. Evans, L. Eyer, F. Jansen, C. Jordi, S.A. Klioner, U. Lammers, L. Lindgren, X. Luri, F. Mignard, C. Panem, D. Pourbaix, S. Randich, P. Sartoretti, H.I. Siddiqui, C. Soubiran, F. van Leeuwen, N.A. Walton, F. Arenou, U. Bastian, M. Cropper, M.G. Lattanzi, J. Bakker, C. Cacciari, J. Castañeda, L. Chaoul, N. Cheek, F. De Angeli, C. Fabricius, R. Guerra, B. Holl, E. Masana, R. Messineo, N. Mowlavi, K. Nienartowicz, P. Panuzzo, J. Portell, M. Riello, G.M. Seabroke, P. Tanga, F. Thévenin, G. Gracia-Abril, G. Comoretto, M. Garcia-Reinaldos, D. Teyssier, M. Altmann, R. Andrae, M. Audard, I. Bellas-Velidis, K. Benson, J. Berthier, R. Blomme, P. Burgess, G. Busso, B. Carry, A. Cellino, G. Clementini, M. Clotet, O. Creevey, M. Davidson, J. De Ridder, L. Delchambre, A. Dell’Oro, C. Ducourant, J. Fernández-Hernández, M. Fouesneau, Y. Frémat, L. Galluccio, M. García-Torres, J. González-Núñez, J.J. González-Vidal, E. Gosset, L.P. Guy, J.-L. Halbwachs, N.C. Hambly, D.L. Harrison, J. Hernández, D. Hestroffer, S.T. Hodgkin, A. Hutton, G. Jasiewicz, A. Jean-Antoine-Piccolo, S. Jordan, A.J. Korn, A. Krone-Martins, A.C. Lanzafame, T. Lebzelter, W. Löffler, M. Manteiga, P.M. Marrese, J.M. Martín-Fleitas, A. Moitinho, A. Mora, K. Muinonen, J. Osinde, E. Pancino, T. Pauwels, J.-M. Petit, A. Recio-Blanco, P.J. Richards, L. Rimoldini, A.C. Robin, L.M. Sarro, C. Siopis, M. Smith, A. Sozzetti, M. Süveges, J. Torra, W. van Reeve, U. Abbas, A. Abreu Aramburu, S. Accart, C. Aerts, G. Altavilla, M.A. Álvarez, R. Alvarez, J. Alves, R.I. Anderson, A.H. Andrei, E. Anglada Varela, E. Antiche, T. Antoja, B. Arcay, T.L. Astraatmadja, N. Bach, S.G. Baker, L. Balaguer-Núñez, P. Balm, C. Barache, C. Barata, D. Barbato, F. Barblan, P.S. Barklem, D. Barrado, M. Barros, M.A. Barstow, S. Bartholomé Muñoz, J.-L. Bassilana, U. Becciani, M. Bellazzini, A. Berihuete, S. Bertone, L. Bianchi, O. Bienaymé, S. Blanco-Cuadros, 21,73, T. Boch, C. Boeche, A. Bombrun, R. Borrachero, D. Bossini, S. Bouquillon, G. Bourda, A. Bragaglia, L. Bramante, M.A. Breddels, A. Bressan, N. Brouillet, T. Brüsemeister, E. Brugaletta, B. Bucciarelli, A. Burlacu, D. Busonero, A.G. Butkevich, R. Buzzi, E. Caffau, R. Cancelliere, G. Cannizzaro, T. Cantat-Gaudin, R. Carballo, T. Carlucci, J.M. Carrasco, L. Casamiquela, M. Castellani, A. Castro-Ginard, P. Charlot, L. Chemin, A. Chiavassa, G. Cocozza, G. Costigan, S. Cowell, F. Crifo, M. Crosta, C. Crowley, J. Cuypers, C. Dafonte, Y. Damerdjji, A. Dapergolas, P. David, M. David, P. de Laverny, F. De Luise, R. De March,

- D. de Martino, R. de Souza, A. de Torres, J. Deboscher, E. del Pozo, M. Delbo, A. Delgado, H.E. Delgado, P. Di Matteo, S. Diakite, C. Diener, E. Distefano, C. Dolding, P. Drazinos, J. Durán, B. Edvardsson, H. Enke, K. Eriksson, P. Esquej, G. Eynard Bontemps, C. Fabre, M. Fabrizio, S. Faigler, A.J. Falcão, M. Farrás Casas, L. Federici, G. Fedorets, P. Fernique, F. Figueras, F. Filippi, K. Findeisen, A. Fonti, E. Fraile, M. Fraser, B. Frézouls, M. Gai, S. Galleti, D. Garabato, F. García-Sedano, A. Garofalo, N. Garralda, A. Gavel, P. Gavras, J. Gerssen, R. Geyer, P. Giacobbe, G. Gilmore, S. Girona, G. Giuffrida, F. Glass, M. Gomes, M. Granvik, A. Gueguen, A. Guerrier, J. Guiraud, R. Gutiérrez-Sánchez, R. Haigron, D. Hatzidimitriou, M. Hauser, M. Haywood, U. Heiter, A. Helmi, J. Heu, T. Hilger, D. Hobbs, W. Hofmann, G. Holland, H.E. Huckle, A. Hypki, V. Icardi, K. Janßen, G. Jevardat de Fombelle, P.G. Jonker, Á.L. Juhász, F. Julbe, A. Karampelas, A. Kewley, J. Klar, A. Kochoska, R. Kohley, K. Kolenberg, M. Kontizas, E. Kontizas, S.E. Kopolov, G. Kordopatis, Z. Kostrzewa-Rutkowska, P. Koubsky, S. Lambert, A.F. Lanza, Y. Lasne, J.-B. Lavigne, Y. Le Fustec, C. Le Poncin-Lafitte, Y. Lebreton, S. Leccia, N. Leclerc, I. Lecoeur-Taïbi, H. Lenhardt, F. Leroux, S. Liao, E. Licata, H.E.P. Lindstrøm, T.A. Lister, E. Livanou, A. Lobel, M. López, S. Managau, R.G. Mann, G. Mantelet, O. Marchal, J.M. Marchant, M. Marconi, S. Marinoni, G. Marschalkó, D.J. Marshall, M. Martino, G. Marton, N. Mary, D. Massari, G. Matijevič, T. Mazeh, P.J. McMillan, S. Messina, D. Michalik, N.R. Millar, D. Molina, R. Molinaro, L. Molnár, P. Montegriffo, R. Mor, R. Morbidelli, T. Morel, D. Morris, A.F. Mulone, T. Muraveva, I. Musella, G. Nelemans, L. Nicastro, L. Nova, W. O'Mullane, C. Ordénovic, D. Ordóñez-Blanco, P. Osborne, C. Pagani, I. Pagano, F. Pailler, H. Palacin, L. Palaversa, A. Panahi, M. Pawlak, A.M. Piersimoni, F.-X. Pineau, E. Plachy, G. Plum, E. Poggio, E. Poujoulet, A. Prša, L. Pulone, E. Racero, S. Ragaini, N. Rambaux, M. Ramos-Lerate, S. Regibo, C. Reylé, F. Riclet, V. Ripepi, A. Riva, A. Rivard, G. Rixon, T. Roegiers, M. Roelens, M. Romero-Gómez, N. Rowell, F. Royer, L. Ruiz-Dern, G. Sadowski, T. Sagristá Sellés, J. Sahlmann, J. Salgado, E. Salguero, N. Sanna, T. Santana-Ros, M. Sarasso, H. Savietto, M. Schultheis, E. Sciacca, M. Segol, J.C. Segovia, D. Ségransan, I.-C. Shih, L. Siltala, A.F. Silva, R.L. Smart, K.W. Smith, E. Solano, F. Solitro, R. Sordo, S. Soria Nieto, J. Souchay, A. Spagna, F. Spoto, U. Stampa, I.A. Steele, H. Steidelmüller, C.A. Stephenson, H. Stoev, F.F. Suess, J. Surdej, L. Szabados, E. Szegedi-Elek, D. Tapiador, F. Taris, G. Tauran, M.B. Taylor, R. Teixeira, D. Terrett, P. Teyssandier, W. Thuillot, A. Titarenko, F. Torra Clotet, C. Turon, A. Ulla, E. Utrilla, S. Uzzi, M. Vaillant, G. Valentini, V. Valette, A. van Elteren, E. Van Hemelryck, M. van Leeuwen, M. Vaschetto, A. Vecchiato, J. Veljanoski, Y. Viala, D. Vicente, S. Vogt, C. von Essen, H. Voss, V. Votruba, S. Voutsinas, G. Walmsley, M. Weiler, O. Wertz, T. Wevers, Ł. Wyrzykowski, A. Yoldas, M. Žerjal, H. Ziaeeepour, J. Zorec, S. Zschocke, S. Zucker, C. Zurbach, T. Zwitter. *A & A*, **616**, A1 (2018). DOI: 10.1051/0004-6361/201833051
- [10] Электронный ресурс. Режим доступа: <https://minorplanetcenter.net/iau/MPCORB.html>
- [11] A. Graykowski, R.A. Lambert, F. Marchis, D. Cazeneuve, P.A. Dalba, Th.M. Esposito, D. O'Conner Peluso, L.A. Sgro, G. Blaclard, A. Borot, A. Malvache, L. Marfisi, T.M. Powell, P. Huet, M. Limagne, B. Payet, C. Clarke, S. Murabana, D. Chu Owen, R. Wasilwa, K. Fukui, T. Goto, B. Guillet, P. Huth, S. Ishiyama, R. Kukita, M. Mitchell, M. Primm, J. Randolph, D.A. Rivett, M. Ryno, M. Shimizu, J.-P. Toullec, S. Will, W.-Ch. Yue, M. Camilleri, K. Graykowski, R. Janetzke, D. Janke, S. Kardel, M. Loose, J.W. Pickering, B.A. Smith, I.M. Transom. *Nature*, **616**, 461 (2023). DOI: 10.1038/s41586-023-05852-9
- [12] C.A. Thomas, Sh.P. Naidu, P. Scheirich, N.A. Moskovitz, P. Pravec, S.R. Chesley, A.S. Rivkin, D.J. Osip, T.A. Lister, L.A.M. Benner, M. Brozović, C. Contreras, N. Morrell, A. Rožek, P. Kužnirák, K. Hornoch, D. Mages, P.A. Taylor, A.D. Seymour, C. Snodgrass, U.G. Jørgensen, M. Dominik, B. Skiff, T. Polakis, M.M. Knight, T.L. Farnham, J.D. Giorgini, B. Rush, J. Bellerose, P. Salas, W.P. Armentrout, G. Watts, M.W. Busch, J. Chatelain, E. Gomez, S. Greenstreet, L. Phillips, M. Bonavita, M.J. Burgdorf, E. Khalouei, P. Longa-Peña, M. Rabus, S. Sajadian, N.L. Chabot, A.F. Cheng, W.H. Ryan, E.V. Ryan, C.E. Holt, H.F. Agrusa. *Nature*, **616**, 448 (2023). DOI: 10.1038/s41586-023-05805-2