

УДК 523.44

Открытия двойных астероидов на телевизионном комплексе в Крымской астрофизической обсерватории

В.В. Прокофьева-Михайловская¹, Ю.В. Батраков², Л.Г. Карачкина¹

¹ НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

² Учреждение Российской академии наук Институт прикладной астрономии РАН, 191187, Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 15 октября 2008 г.

Аннотация. В начале 90-х годов XX века в НИИ “КрАО” по наблюдениям, полученным на телевизионном комплексе телескопа МТМ-500, было впервые установлено существование спутников у 4-х астероидов и определены их орбитальные периоды. О двойственности астероида 87 Сильвия публикации сделаны в 1992 г. В июне 1994 г. сообщено об открытии двойственности у трех астероидов: 87 Сильвия, 423 Диотима и 4179 Тоутатис. Был найден период небольшого спутника астероида 1620 Географ. Одновременные В, V, R наблюдения позволили обнаружить сложный состав астероида 21 Лютеция, к которому направляется КА “Розетта”.

DISCOVERY OF BINARY ASTEROIDS ON THE TELEVISION COMPLEX IN CRIMEAN ASTROPHYSICAL OBSERVATORY, by *V.V. Prokof'eva, Yu.V. Batrakov and L.G. Karachkina.*

1 Введение

Наблюдения астероидов на телевизионном комплексе КрАО были начаты в 1988 г. после обращения в конце 1987 г заместителя директора Института теоретической астрономии АН СССР проф. Ю.В. Батракова к руководителю телевизионной группы В.В. Прокофьевой с просьбой начать их фотометрические исследования (Прокофьева-Михайловская, 2002). Вторым наблюдавшимся астероидом дал материал для обнаружения спутников. У астероида 87 Сильвия впервые были определены периоды вращения компонент двойного астероида (Прокофьева и Демчик, 1992а; Прокофьева, 1992).

Ниже представлены результаты исследований нескольких астероидов. Астероиды 87 Сильвия (Sylvia), 423 Диотима (Diotima) и 21 Лютеция (Lutetia) являются крупными астероидами Главного пояса, астероиды 4179 Тоутатис (Toutatis), 1620 Географ (Geographos) и 4197 1982 TA относятся к астероидам, сближающимся с Землей (АСЗ).

2 Наблюдения и анализ фотометрических данных астероидов

Наблюдения астероидов выполнены на цифровом телевизионном комплексе полуметрового менискового телескопа МТМ-500 в КрАО (Батраков и др., 1992). Наборы светофильтров обеспечивали инструментальную фотометрическую систему, близкую к системе В и V Джонсона-Моргана и R Джонсона. В основу методики фотометрических измерений блеска астероидов по-

ложен принцип повышения надежности получаемых данных за счет одновременного использования двух методов классической фотометрии: дифференциального и фундаментального (Прокофьева и др., 1992б). Регулярная калибровка этой системы по звездам-стандартам позволила иметь надежные уравнения перехода к стандартной цветовой системе В, V, R. Для определения экстинкции земной атмосферы каждую ночь проводились наблюдения звезд-стандартов, расположенных вблизи траектории исследуемого астероида. Время экспозиции обычно составляло 1–5 мин. Точность фотометрических измерений колебалась от одного до нескольких процентов.

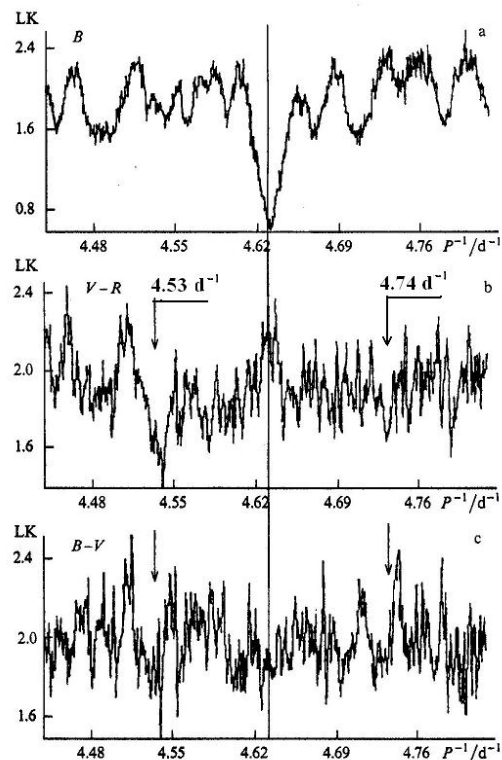


Рис. 1. Периодограмма, построенная по блеску астероида 87 Сильвия в полосе В (а), показывает минимум на частоте, соответствующей периоду $0^d.215985$, а в изменениях показателей цвета В–V (б) и V–R (в) этого периода нет. Стрелками на графике (б) отмечены положения найденных частот 4.53 с/d и 4.74 с/d

Частотный анализ фотометрических данных проводился с помощью программы Period (Прокофьева и др., 1995а). Метод позволяет производить поиск колебаний блеска несинусоидальной формы. Вычитание значений полинома из фотометрических данных удаляет колебания блеска с выбранным периодом, производя операцию отбеливания (Теребиж, 1992).

Большое значение имеет регистрация показателей цвета астероида. Частотный анализ показателей цвета дает возможность выделить периоды вращения компонентов, так как изменение показателей цвета В–V и V–R несет информацию о цветовых пятнах на поверхности астероида или его компонента. Разработанное старшим инженером обсерватории А.Н. Абраменко в начале 70-х годов XX века специальное устройство обеспечивало получение фотометрических измерений одновременно в трех областях спектра В, V, R (Абраменко и др., 1984).

Астероид 87 Сильвия. Он имеет переменную амплитуду изменения блеска в диапазоне от $0^m.30$ до $0^m.62$. Наибольший разброс амплитуд наблюдается, когда направление на наблюдателя лежит близко к экваториальной плоскости астероида и могут проявляться затменные эффекты. Наблюдения в КрАО были проведены в апреле-мае 1989 г. на телевизионном комплексе телескопа МТМ 500 КрАО именно в таких условиях. Для частотного анализа было использовано около 240 измерений блеска в полосе В и по 130 измерений показателей цвета В–V и V–R. Поиск периодов проводился по разным рядам наблюдений, что повышало вероятность обнаружения истинных периодов. Анализ блеска в полосе В показал наличие периода прецессии и известного периода вращения астероида $0^d.2159853$ (частота 4.62994 c/d). Анализ показателей цвета показал полное отсутствие известного периода вращения астероида и позволил обнаружить два периода $0^d.221$ и $0^d.211$ соответствующие частотам 4.53 c/d и 4.74 c/d и (см. рис. 1). Демчик и Прокофьева (1992, 1994) сделали заключение, что астероид является двойным.

Анализ многочисленных наблюдений позволил уточнить величину периода прецессии $31^d.7$ (Прокофьева и др., 1999). Оценки показали, что в системе астероида возможно наличие третьего тела (Карачкина и др., 1997). Такое тело было обнаружено в феврале 2001 г. с помощью адаптивной оптики (Брун и Маргот, 2001). Дополнительный частотный анализ наших фотометрических данных позволил обнаружить период прецессии, вызванный этим спутником (Прокофьева и др., 2001a). В настоящее время известно наличие двух небольших спутников.

Астероид 423 Диотима. В 1990 г. было получено 920 измерений блеска в фотометрической полосе V (Прокофьева, Карачкина, 1994, 1998; Прокофьева и др., 1995б). Частотный анализ показал наличие двух периодов $0^d.621$ ($14^h.9$) и $0^d.190$ ($4^h.56$), которые являются периодами вращения компонентов астероида. Кривые блеска приведены на рис. 2.

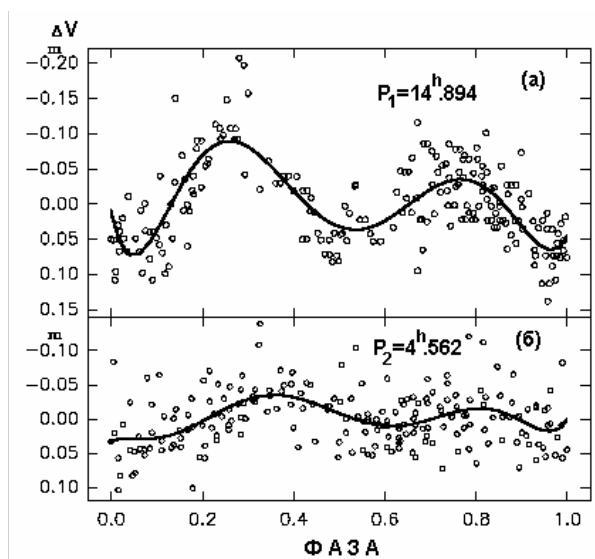


Рис. 2. Кривые блеска астероида 423 Диотима, построенные с найденными периодами: (а) $P_1 = 0^d.6206$ ($14^h.894$) и (б) $P_2 = 0^d.1901$ ($4^h.562$). По оси абсцисс отложена фаза, по осям ординат – относительный блеск астероида в полосе V. Кривые – полиномы 7 степени

Частотный анализ показателей цвета В–V и V–R, полученных по одновременным BVR-наблюдениям в течение 1993, 1998 и 1999 гг., показал присутствие периода $4^h.54 \pm 0^h.01$ ($0^d.189$), близкого периоду $4^h.56$. Анализ блеска астероида в максимумах кривых блеска $V_m(1,0)$ позволил уточнить величину периода вынужденной прецессии $P_3 = 113^d$ (или кратный 226^d).

Было сделано предположение, что прецессирует ось главного компонента, имеющего линзоподобную форму (Прокофьева и Карачкина, 2000). Регистрация минимумов, вызванных затмениями, подтвердила двойственность астероида Диотима (Прокофьева и др., 1995).

Двойственность астероида 423 Диотима и своеобразная форма главного компонента позволили предположить, что астероид участвовал в столкновениях. Выделение семейства астероида 423 Диотима (Карачкина и Прокофьева, 2003) подтверждает предположение о его участии в столкновительной эволюции.

Астероид 4179 Тоутатис. Его исследования были проведены в 1992–1993 гг. во время его приближения к Земле. Анализ фотометрических данных был проведен по объединенным Крымским и Харьковским наблюдениям. Удалось выделить три основных периода: $7^d.48$, $2^d.85$ и $1^d.66$, причем два последних, по мнению авторов (Прокофьева и др., 1994, 1995в; Прокофьева и Тарашук, 1998), являются периодами вращения компонентов. Наблюдавшийся нами момент наиболее глубокого минимума (JD 2448983^d.523) отстоит на целое число периодов от момента, когда согласно радиолокационным данным (Зайцев и др., 1993) компоненты астероида находились на луче зрения, причем более крупный был ближе к наблюдателю. В это время отсутствовал период $1^d.66$, являющийся периодом вращения меньшего по размеру компонента.

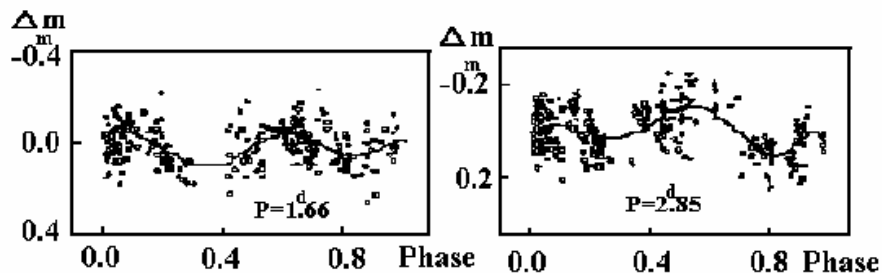


Рис. 3. Два периода, обнаруженные по фотометрическим наблюдениям астероида 4179 Тоутатис

Астероид 1620 Географ. Он имеет амплитуду изменения блеска более 2^m и является одним из самых вытянутых тел в Солнечной системе. В 1994 г. во время его сближения с Землей были проведены его многосторонние исследования. На базе собственных наблюдений и данных, полученных другими наблюдателями, был проведен частотный анализ фотометрических значений его блеска (Прокофьева и др., 1996, 1997; Карачкина и др., 1998). Результаты подтвердили монолитность сильно вытянутого тела астероида. Кроме известного периода вращения были обнаружены периоды $0^d.8$ и $2^d.8$. Последний был интерпретирован как период вынужденной прецессии, что позволило сделать предположение о наличии у астероида небольших спутников. Период одного из спутников был найден равным $0^d.224$ ($A = 0^m.1$). Связь Географа с метеорными потоками и открытие потока Географиды (Рябова, 2002) подтверждают возможность существования у него небольших спутников.

Астероид 4197 1982 TA. Его фотометрические наблюдения проводились в октябре 1996 г. Получено около 2000 измерений блеска в полосе V. Уточнен период вращения астероида, равный $P_1 = 3^h.5372 \pm 0^h.0005$, а также найдены второй и третий периоды: $P_2 = 4^h.367 \pm 0^h.001$, $P_3 = 20^h.26 \pm 0^h.05$ (Прокофьева и др., 2001б). Кривые блеска представлены на рис. 4. Высказано предположение, что астероид является двойным, и его компоненты вращаются с периодами P_1 и P_2 . Период $P_3 = 20^h.25$, по-видимому, связан с орбитальным движением компонент двойного астероида. Оценка величины радиуса орбиты дает 4.4 км. Таким образом, астероид 4197, по-видимому, состоит из двух тел.

Астероид 21 Лютеция. В 2010 г. запланировано сближение с ним космического аппарата “Rosetta”. Около 1000 измерений блеска астероида в полосах В, V и R были получены одновременно в КрАО с 3 по 11 ноября 2004 года. Анализ показателей цвета показал отсутствие известного периода $0.^d3405$ (8.172 часа) и присутствие нескольких периодов на уровне значимости 7–10 сигм. Сделан вывод, что астероид 21 Лютеция является сложной спутниковой системой (Бусарев и др., 2007а, б; Прокофьева и др., 2006; Прокофьева-Михайловская и др., 2007). Близость астероида 21 Лютеция к резонансу 1:3 с Юпитером дает основания предполагать, что его сложная структура является результатом столкновительного процесса.

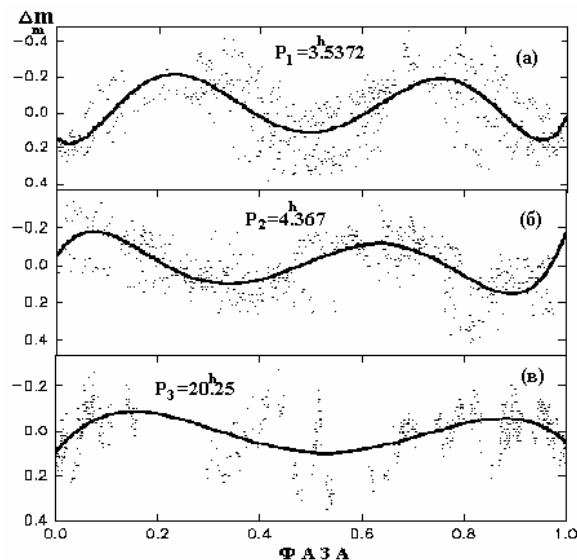


Рис. 4. Кривые блеска астероида 4197, построенные по найденным значениям периодов, указанных на каждом графике. Точками представлены результаты наблюдений Δm . За нулевую фазу везде взят момент первого наблюдения $JD2450362.^d49225$. Линии – полиномы 4–6 степени

3 Заключение

Таким образом, по наблюдениям на телевизионном комплексе в НИИ “КрАО” были впервые в мире обнаружены спутниковые системы астероидов. Парадигма же представления об астероидах как о монотелах пошатнулась лишь после получения с борта КА “Галилей” (Белтон и др., 1994) изображения спутника Дактиль астероида Ида.

Накопившиеся за последние годы результаты исследований показывают, что двойные и более сложные астероиды являются естественным продуктом динамических процессов, происходящих в Солнечной системе (Прокофьева-Михайловская и др., 2005). Исследование двойных астероидов является сейчас одной из самых актуальных задач астрофизики солнечной системы, дающей материал для решения космогонических задач. Так, двойные астероиды, сближающиеся с Землей, показали весьма низкую плотность $1.4\text{--}1.7\text{г/см}^3$, которая свидетельствует о высокой пористости этих тел. Образование двойных астероидов является важной проблемой. Н.Н. Горькавым (2007) была предложена новая модель образования спутников у астероидов. На ее основании сделан вывод, что астероиды, имеющие спутники, вращаются значительно быстрее, чем астероиды без спутников. Статистическая обработка таких данных подтвердила этот вывод (Гафтонюк и Горькавый, 2005).

Литература

- Абраменко А.Н., Агапов Е.С., Анисимов В.Ф., Галинский Н.Д., Прокофьева В.В., Синенко С.М. // Телевизионная астрономия. / Ред. Никонов В.Б. 2-е изд. М.: Наука. 1984. С. 272.
- Батраков Ю.В., Карачкина Л.Г., Павленко Е.П., Прокофьева В.В. // Труды Всесоюзного совещания “Астероидная опасность.” СПб. 1991. Т. 992. С. 134.
- Белтон и др. (Belton M.J.S., Chapman C.R., Veverka J.) // Science. 1994. 265. P. 1543.
- Броун и Маргот (Brown M.E., Margot J.L.) // IAUС. 2001. №. 7588.
- Бусарев В.В., Прокофьева-Михайловская В.В., Бочков В.В. // Успехи физ. наук. 2007а. Т. 177. №. 6. С. 663.
- Бусарев и др. (Busarev V.V., Prokof'eva V.V., Bochkov V.V.) // Lunar and Planetary Science. Conf. XXXVIII. 2007б. Abstract №. 1016.
- Гафтонюк и Горькавый (Gaftonyuk N.M. and Gorkavyi N.N.) // Kinem. and Phys. of Celest. Bodies. Suppl. Ser. 2005. №. 5. P. 483.
- Горькавый Н.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. №. 2. С. 143.
- Демчик М.И. // Конференция, посвящ. 100-летию со дня рожд. акад. М.П. Барабашова. Харьков. 1994. С. 35.
- Демчик М.И., Прокофьева В.В. // Письма в Астрон. журн. 1994. Т. 20. №. 4. С. 299.
- Зайцев А.Л., Сокольский А.Г., Ржига О.Р. и др. // Радиотехн. и электрон. 1993. №. 10. С. 1842.
- Карачкина Л.Г., Гафтонюк Н.М., Прокофьева В.В. // Компьютерные методы небесной механики. Конф. 18–21 нояб. СПб. ИТА РАН. 1997. С. 70.
- Карачкина Л.Г., Прокофьева В.В., Тарашук В.П. // Астрон. вестник. 1998. Т. 32. №. 4. С. 327.
- Карачкина Л.Г. и Прокофьева В.В. // Астрон. вестник. 2003. Т. 37. №. 5. С. 414.
- Прокофьева В.В. // Кометный цирк. 1992. №. 426. С. 13.
- Прокофьева-Михайловская В.В. // Из истории Крымской астрофизической обсерватории. Симферополь: Крым-Фарм-Трейддинг. 2002. С. 119.
- Прокофьева В.В. и Демчик М.И. // Астрон. цирк. 1992а. №. 1552. С. 27.
- Прокофьева В.В., Демчик М.И., Карачкина Л.Г., Павленко Е.П. // Астрон. вестник. 1992б. Т. 26. №. 5. С. 3.
- Прокофьева В.В., Карачкина Л.Г. // Конференция, посвящ. 100-летию со дня рожд. акад. М.П. Барабашова. Харьков. 1994. С. 103.
- Прокофьева В.В., Тарашук В.П., Круглый Ю.Н., Величко Ф.П., Черный В.Г. // Conf. devoted to centenary of ac.N.P. Varabashov. Kharkov. 1994. С. 106.
- Прокофьева В.В., Тарашук В.П., Горькавый Н.Н. // Успехи физ. наук. 1995а. Т. 165. №. 6. С. 661.
- Прокофьева и др. (Prokof'eva V.V., Demchik M.I., and Karachkina L.G.) // Astron. Astrophys. Trans. 1995б. V. 8. P. 292.
- Прокофьева В.В., Тарашук В.П., Круглый Ю.И., Величко Ф.П., Черный В.Г. // Письма в Астрон. журн. 1995в. Т. 21. №. 1. С. 66.
- Прокофьева В.В., Карачкина Л.Г., Тарашук В.П. // Международная конференция “Астероидная опасность-96”. СПб. ИТА. 1996. С. 65.
- Прокофьева В.В., Карачкина Л.Г., Тарашук В.П. // Астрон. вестник. 1997. Т. 23. №. 11. С. 870.
- Прокофьева и Карачкина (Prokof'eva V.V., Karachkina L.G.) // Astron. Astrophys. Trans. 1998. V. 15. P. 219.
- Прокофьева, Тарашук (Prokof'eva V.V., Tarashchuk V.P.) // Astron. Astrophys. Trans. 1998. V. 15. P. 225.
- Прокофьева В.В., Демчик М.И., Карачкина Л.Г., Гафтонюк Н.М. // Астрон. вестник. 1999. Т. 33. №. 3. С. 231.
- Прокофьева В.В. и Карачкина Л.Г. // Международная конференция “Космическая защита Земли-2000.” Евпатория. 2000. С. 97.

- Прокофьева В.В., Карачкина Л.Г., Гафтонюк Н.М. // Околосемная астрономия XXI века. 2001а. Звенигород. С. 252.
- Прокофьева В.В., Гафтонюк Н.М., Тарашук В.П. // Астрон. вестник. 2001б. Т. 35. №. 5. С. 422.
- Прокофьева-Михайловская В.В., Батраков Ю.В., Карачкина Л.Г. // Кинем. и физ. небесн. тел. 2005. Т. 21. №. 5. С. 323.
- Прокофьева В.В., Бочков В.В., Бусарев В.В. // Астрон. вестник. 2006. Т. 40. №. 6. С. 512.
- Прокофьева-Михайловская В.В., Батраков Ю.В., Бочков В.В., Бусарев В.В., Карачкина. Л.Г. // Астрон. вестник. 2007. Т. 41. №. 4. С. 337.
- Прокофьева В.В. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. №. 2. С. 156.
- Рябова Г.О. // Астрон. вестник. 2002. Т. 36. №. 3 С. 254.
- Теребиж В.Ю. // Анализ временных рядов в астрофизике. М.: Наука. 1992.