

**OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES**

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 179 – 184

UDK 523.45

A.M.Karimov, P.G.Lysenko, V.G.Teifel, V.A.Filippov,

Fessenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

**THE OBSERVATIONS OF THE JUPITER GALILEAN SATELLITES MUTUAL
OCCULTATIONS AND ECLIPSES (PHEMU-15 INTERNATIONAL PROGRAM)**

Abstract. Photometric observations of mutual occultations and eclipses of Galilean satellites of Jupiter during the period of international PHEMU-15 campaign were carried out. All observations were made on a 0.6-m telescope with a CCD camera. The data on the light curves for 20 events observed in 2014-2015 were obtained and presented to the coordinating organization. The ephemeris and observed amplitudes of the satellite brightness weakening are compared. In most cases, the measured amplitudes were greater than the calculated.

Key words: Jupiter, Galilean satellites, occultations, eclipses, photometry

УДК 523.45

А.М. Каримов, П.Г. Лысенко, В.Г. Тейфель, В.А. Филиппов

ДТОО «Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан

**НАБЛЮДЕНИЯ ВЗАИМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ЗАТМЕНИЙ
ГАЛИЛЕЕВЫХ СПУТНИКОВ ЮПИТЕРА
(МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОГРАММА PHEMU-15)**

Аннотация. Проведены фотометрические наблюдения взаимных соединений и затмений галилеевых спутников Юпитера в период международной кампании PHEMU-15. Наблюдения выполнялись на 0.6-м телескопе с ПЗС-камерой. Получены и переданы в координирующую организацию данные о кривых блеска по 20 событиям, наблюдавшимся в 2014-2015 гг. Проведено сравнение эфемеридных и наблюдаемых амплитуд ослабления блеска спутников, в большинстве случаев наблюдавшееся падение блеска оказалось больше расчетного.

Ключевые слова: Юпитер, галилеевы спутники, покрытия, затмения, фотометрия.

Введение. Движение четырех больших галилеевых спутников Юпитера подвержено влиянию гравитационных сил как со стороны планеты, так и от Солнца и взаимного притяжения самих спутников. Учитывать все эти факторы в расчетах точного положения спутников весьма затруднено из-за наличия нескольких резонансных соотношений между их периодами обращения. Существующие теории движения главных спутников Юпитера поэтому весьма сложны и должны уточняться по мере появления новых наблюдений. Такое уточнение становится особенно важным при будущем осуществлении космических полетов, направленных на изучение природы этих тел с высадкой на их поверхность. При этом наибольшую точность дают наблюдения таких относительно редких явлений, как взаимные покрытия и затмения спутников. Из-за существующего наклона экватора Юпитера и плоскости орбит галилеевых спутников к плоскости эклиптики только раз в 6 лет орбиты спутников оказываются ориентированы ребром по отношению к Земле. А эти периоды появляется возможность наблюдать или взаимное соединение двух спутников или вход одного спутника в тень другого (рисунок 1). Для наблюдений этих взаимных явлений организуются международные кампании, в которых участвует много обсерваторий мира. Программа PHEMU координируется Институтом небесной механики и Бюро долгот (Париж, Франция, J.Arlot [1,2]) и Государственным Астрономическим Институтом им.П.К.Штернберга (Москва, Н.В.Емельянов [3,4]) . В число участников

входит и обсерватория Астрофизического института. Географическое положение нашей обсерватории таково, что позволяет наблюдать те события, которые не доступны другим обсерваториям, находящимся в Европе или в Америке. Поэтому планетная лаборатория Института участвует в этих кампаниях регулярно с 1985 года [5-8]. Оказывается, не столько позиционные, сколько фотометрические наблюдения взаимных соединений и затмений спутников позволяют в конечном итоге получить необходимые данные для уточнения их движения.

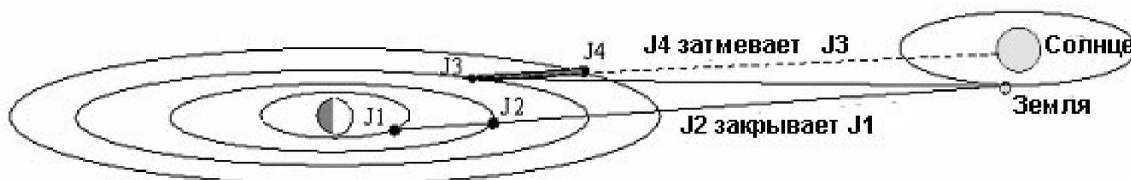


Рисунок 1 – Схема наблюдаемых с Земли взаимных затмений и покрытий в системе галилеевых спутников Юпитера

Для пунктов наблюдений Бюро Долгот в Париже заранее делает и рассылает расчеты эфемерид событий (например, [9]). Из них можно сделать выборку тех из них, которые приходятся на достаточно удобное время при заданном минимуме угловой высоты Юпитера над горизонтом и углового расстояния спутника от диска Юпитера (при близости к диску менее 4-5 радиусов Юпитера фотометрия спутников затруднена из-за неравномерности поля, подсвечиваемого ореолом от планеты).



Рисунок 2 – Примеры соединения и затмения спутников – по расчетам в программе WIN JUPOS.

С помощью компьютерной программы “WINJUPOS” можно получить имитационные изображения взаимных сближений и затмений спутников (рисунок 2), что удобно для планирования наблюдений.

Наблюдения и их обработка. Методика наблюдений относительно несложна – записываются изображения пары сходящихся спутников с помощью ПЗС-камеры, установленной на 0.6-м телескопе, с продолжительностью экспозиции 1-2 секунды в автоматическом режиме. Соответственно максимальная частота составляет до 20 фреймов в минуту. Но процесс соединения или затмения занимает по времени от нескольких минут до одного часа и более, так что количество записанных файлов изображений за один сеанс может быть от 400 до 1000 кадров.

В период наблюдений 2014-2015 гг использовалась ПЗС-камера ST-7XE, с большой скоростью считывания полного кадра изображения 765x510 пикселей, что в 7.5-метровом кассегреновском фокусе 0.6-м телескопа соответствует полю в 189x126 угловых секунд. Все поле считывается за одну секунду.

В таблице 1 даны сведения о выполненных наблюдениях взаимных явлений с ноября 2014 по апрель 2015. (О – покрытие, Е – затмение). В некоторые ночи можно было наблюдать до трех событий при определенной конфигурации спутников, например, когда вблизи видимого крайнего положения спутник прямым и обратным движением заходит за спутник, внешний по отношению к нему.

Таблица 1 - Данные о наблюдениях спутников Юпитера в 2014 - 2015 годах

| № | Дата | Событие | UT | К-во файлов |
|----|------------------|---------|---------------|-------------|
| 1 | 29-30.11.2014 | 3O1 | 19:16 - 19:36 | 400 |
| 2 | 09-10.12.2014 | 2E3 | 22:32 - 22:55 | 460 |
| 3 | 14-15.12.2014 | 3O1 - 1 | 18:12 - 19:45 | 1099 |
| 4 | | 3O1 - 2 | 20:42 - 22:11 | 1073 |
| 5 | 23-24.12.2014 | 2O1 | 18:43 - 19:32 | 956 |
| 6 | 30-31.12.2014 | 2E1 | 19:11 - 19:53 | 852 |
| 7 | | 2O1 | 21:21 - 22:05 | 871 |
| 8 | 31.01-01.02.2015 | 2E1 | 19:15 - 19:44 | 575 |
| 9 | | 2O1 | 19:44 - 20:10 | 522 |
| 10 | | 2E4 | 20:44 - 21:23 | 767 |
| 11 | 13-14.02.2015 | 2O3 | 21:44 - 22:25 | 621 |
| 12 | 04-05.03.2015 | 2O1 | 16:53 - 17:26 | 500 |
| 13 | | 2E1 | 17:52 - 18:26 | 507 |
| 14 | 18-19.03.2015 | 2O1 | 21:12 - 21:47 | 540 |
| 15 | 05-06.04.2015 | 2O1 | 14:31 - 15:00 | 434 |
| 16 | | 2E1 | 16:20 - 16:44 | 360 |
| 17 | 11-12.04.2015 | 1O3 | 17:24 - 18:15 | 470 |
| 18 | 12-13.04.2015 | 2O1 | 16:43 - 17:15 | 485 |
| 19 | | 2E1 | 18:38 - 18:54 | 235 |
| 20 | 21-22.04.2015 | 3O2 | 15:09 - 15:39 | 451 |
| 21 | 28-29.04.2015 | 3O2 | 18:19 - 18:53 | 508 |

Фотометрическая обработка файлов производилась по методике, уже применявшейся нами ранее и описанной в [10]. Удобной для обработки оказывается программа *ASTRAIMAGE*. Вокруг изображения спутников с помощью прозрачного трафарета, наложенного на экран монитора, строятся последовательно два квадрата увеличивающихся размеров. При этом либо измеряется суммарная яркость сближившихся спутников, либо в случае затмения, когда угловое расстояние между спутниками велико, измеряются отдельно яркости каждого спутника и вычисляется отношение яркости затмеваемого к затмевавшему.

Программа производит подсчет точного размера квадрата, его площади, находит интегральную яркость внутри него и среднее значение яркости на один пиксель. Все эти данные автоматически фиксируются в таблице, которая затем переносится в электронную таблицу EXCEL, где и выполняется окончательная обработка с вычислением суммарной яркости пары спутников по формуле

$$B_s = (B_1 - B_2) * S_1 * S_2 / (S_2 - S_1),$$

где B_1 – средняя яркость в меньшем квадрате, B_2 – средняя яркость в большем квадрате, S_1 и S_2 - площади квадратов.

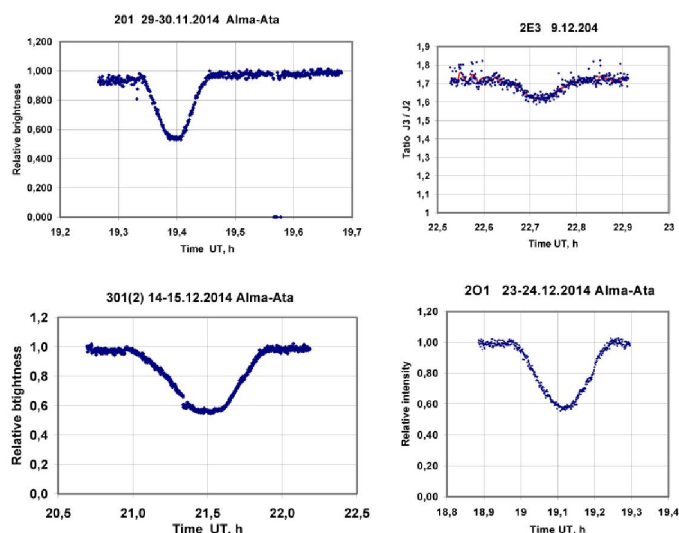


Рисунок 3 - Примеры кривых блеска спутников, полученных при длительной продолжительности событий – покрытий и затмений.

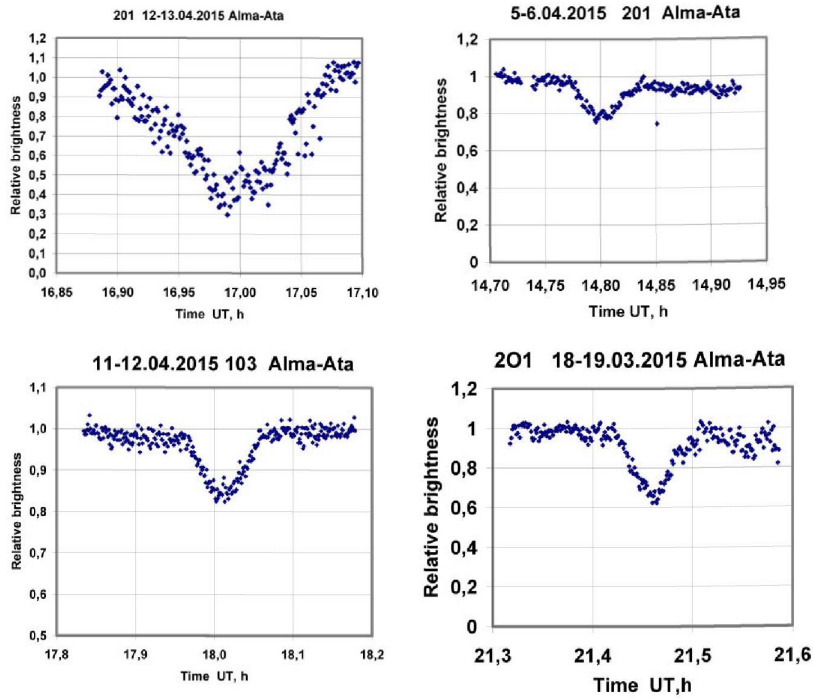


Рисунок 4 - Примеры кривых блеска спутников, полученных при наблюдениях событий с короткой продолжительностью

По полученным значениям $B_s(t)$ строятся графики изменения блеска спутников, что вместе с числовыми данными и является итогом обработки. На рисунках 3 и 4 показаны примеры полученных кривых, причем на одном представлены результаты наблюдений длительных процессов с большим числом точек, на другом – наблюдения более кратковременных по продолжительности событий. В последнем случае при одинаковой частоте съемки количество точек на графиках значительно меньше. Время на графиках указано Всемирное в часах и десятичных долях часа.

Далее уже координаторы проводят составление каталогов наблюдений разных обсерваторий, атласы кривых и последующий анализ данных уже с позиций астрометрии движения спутников (например, [11]). Итоги наблюдений, как правило, публикуются в европейском журнале *Astronomy and Astrophysics*. Отметим, что в списке литературы для этих статей не перечисляются все соавторы - участники программ РНЕМУ ввиду большого их числа (по нескольким десяткам).

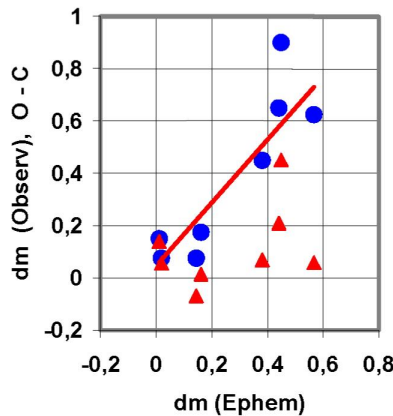


Рисунок 5 - Сравнение расчетных и наблюдавшихся амплитуд падения блеска при взаимных соединениях спутников

Заключение. В таблицах эфемерид взаимных явлений в системе спутников Юпитера приводятся расчетные значения степени перекрытия при соединении спутников и выражения в звездных величинах амплитуда падения суммарной яркости сближившихся спутников. Мы сравнили полученные из наблюдений оценки падения блеска с расчетными. На графике (рисунок 5) кружки нанесены в координатах расчетных значений падения блеска (абсцисса) и наблюдавшиеся значения (ордината). Треугольниками показаны значения разности этих величин (О-С). Как видим, эти разности почти во всех случаях положительны, т.е. наблюдавшееся уменьшение суммарной яркости спутников превосходит расчетное. Интерпретация этих различий неоднозначна. С одной стороны, это может быть следствием несколько большего перекрытия дисков спутников.

Другой же причиной может быть неучет или недостаточный учет неравномерности распределения отражательной способности по диску закрываемого спутника. Правда, скажем, значительное потемнение к краям диска должно было бы приводить к противоположному эффекту при частичном перекрытии. По всяком случае более определенные выводы можно было бы сделать при соответствующем анализе всех наблюдений, выполненных за время кампании PHEMU-15.

Итоговая статья по всей программе PHEMU-15 [12] находится в печати.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Arlot J., et al. The PHEMU97 catalogue of observations of the mutual phenomena of the Galilean satellites of Jupiter // *Astron.&Astrophysics*, 2006, V. 451, No 2, P.733-737
- [2] Arlot J., et al. The PHEMU03 catalogue of observations of the mutual phenomena of the Galilean satellites of Jupiter // *Astron.&Astrophysics*, 2009. V.453 . P.1171-1182
- [3] Емельянов Н.В. Ценный источник научных данных – взаимные события в системах спутников планет // *Астрономический календарь на 1995 год*, Физматлит, М.,1994. С.232-236
- [4] Емельянов Н.В. Специальная программа наблюдений спутников Юпитера и Сатурна в 2009 году // *Астрон. Вестник РАН*, 2008, Т. 42, № 5, С. 477-480
- [5] Тейфель В.Г., Григорьева З.Н., Егоров Ю.А., Харитонов Г.А. Наблюдение взаимных явлений в системе спутников Юпитера. I. Взаимные покрытия в июле 1985г. // *Астрон.Циркуляр АН СССР №1444*. 1986. С.1-3
- [6] Тейфель В.Г., Григорьева З.Н., Егоров Ю.А., Харитонов Г.А. Наблюдения взаимных явлений в системе спутников Юпитера. II. Взаимные затмения в сентябре- октябре 1985г. // *Астрон.Циркуляр АН СССР, №1447*.1986. С.3-5
- [7] Тейфель В.Г., Харитонов Г.А., Глушкова Е.А. Взаимные явления в системе спутников Юпитера по наблюдениям с ПЗС-камерой в 1997 г. // *Доклады Национальной Академии наук РК*. N 3, 2000. С.54-59
- [8] Тейфель В.Г., Харитонов Г.А., Глушкова Е.А. Наблюдения взаимных явлений в системе галилеевых спутников Юпитера с ПЗС-камерой в.2003 г. (Международная программа PHEMU-03) // *Известия НАН РК, Серия физико-матем.*, N 4. 2004. С.115-119.
- [9] *Satellites Galileens de Jupiter –Phenomenes et configurations pour 2009.* // *IMC.Paris*, 2009, 86 PP.
- [10] Тейфель В.Г., Синяева Н.В.. Наблюдения взаимных соединений и затмений галилеевых спутников Юпитера в международной программе PHEMU-09 // *Известия НАН РК, серия физ.-мат.*, 2010. №4, С. С.96-102
- [11] Emelyanov N.V., Gilbert R. Astrometric results of observations of mutual occultations and eclipses of the Galilean satellites of Jupiter in 2003 // *Astronomy and Astrophysics*, 2006, V. 453, P. 1141-1149/
- [12] Saquetl E.; et al.The PHEMU15 catalog and astrometric results of the Jupiter's Galilean satellite mutual occultation and eclipse observations made in 2014-2015 // *Astronomy and Astrophysics*, 2017 (in press).

REFERENCES

- [1] Arlot J., et al. The PHEMU97 catalogue of observations of the mutual phenomena of the Galilean satellites of Jupiter // *Astron.&Astrophysics*, 2006, V. 451, P.733-737
- [2] Arlot J., et al. The PHEMU03 catalogue of observations of the mutual phenomena of the Galilean satellites of Jupiter // *Astron.&Astrophysics*, 2009. V.453 . P.1171-1182
- [3] Emelyanov N.V. Tsennyiy istochnik nauchnyih dannyih – vzaimnyie so-byitiya v sistemah sputnikov planet . *Astronomicheskii kalendar na 1995 god*, Fizmatlit, M.,1994. S.232-236
- [4] Emelyanov N.V. Spetsialnaya programma nablyudeniya sputnikov Yupitera i Saturna v 2009 godu .*Astron.vestnik RAN*, 2008, T. 42, # 5, S. 477-480
- [5] Teyfel V.G., Grigoreva Z.N., Egorov Yu.A., Haritonova G.A. Na-blyudenie vzaimnyih yavleniy v sisteme sputnikov Yupitera. I. Vzaim-nyie pokryitiya v iyule 1985g. *Astron.Tsirkulyar AN SSSR #1444*. 1986. S.1-3
- [6] Teyfel V.G., Grigoreva Z.N., Egorov Yu.A., Haritonova G.A. Na-blyudeniya vzaimnyih yavleniy v sisteme sputnikov Yupitera. II. Vzaim-nyie zatmeniya v sentyabre- oktyabre 1985g. *Astron.Tsirkulyar AN SSSR, #1447*.1986. S.3-5
- [7] Teyfel V.G., Haritonova G.A., Glushkova E.A. Vzaimnyie yavleniya v sisteme sputnikov Yupitera po nablyudeniya m PZS-kameroy v 1997 g. *Dokladyi Natsio-nalnoy Akademii nauk RK*. N 3, 2000. S.54-59

[8] Teyfel V.G., Haritonova G.A., Glushkova E.A. Nablyudeniya vzaimnyih yavleniy v sisteme galileevyih sputnikov Yupitera s PZS-kameroy v.2003 g. (Mezhduna-rodnaya programma PHEMU-03) Izvestiya NAN RK, Seriya fiziko-matem., N 4. 2004. S.115-119.

[9] Satellites Galileens de Jupiter –Phenomenes et configurations pour 2009. IMC.Paris, 2009, 86 PP.

[10] Teyfel V.G., Sinyaeva N.V.. Nablyudeniya vzaimnyih soedineniy i zatmeniy galileevyih sputnikov Yupitera v mezhdunarodnoy programme PHEMU-09 Iz-vestiya NAN RK, seriya fiz.-mat., 2010. #4, S. S.96-102

[11] Emelyanov N.V., Gilbert R. Astrometric results of observations of mutual occul-tations and eclipses of the Galilean satellites of Jupiter in 2003

Astronomy and Astrophysics, 2006, V. 453, P. 1141-1149/

[12] Saquet1 E.; et al.The PHEMU15 catalog and astrometric results of the Jupiter's Galilean satellite mutual occultation and eclipse observations made in 2014-2015 Astronomy and Astrophysics, 2017 (in press)

ӘОЖ: 523.45

А.М. Каримов, П.Г. Лысенко, В.Г. Тейфель, В.А. Филиппов

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

ЮПИТЕРДІҢ ГАЛИЛЕЙЛІК СЕРІКТЕРІНДЕГІ ӨЗАРА БІРГҮЛЕРДІ ЖӘНЕ ТҰТЫЛУДЫ ЗЕРТТЕУ(ХАЛЫҚАРАЛЫҚ БАҒДАРЛАМА PHEMU-15)

Аннотация. PHEMU-15 халықаралық кампаниясы кезеңінде Юпитердің галилейлік серіктері өзара қосылулары және тұтылуларының фотометрлік бақылаулары жүргізілді. Бақылау ЗБА-камерамен 0.6-метрлік телескопта жүргізілді. 2014-2015 жылдары бақылған 20 оқиға бойынша бүгілген жарқыл бойынша мәліметтер алынды және үйлестіруші ұйымға жіберілді. Серіктердің әлсіз жарқылы эфемеридтік және бақылған амплитудалар салыстырулары жүргізілді. Көптеген жағдайларда бақылған жарқылдың төмендеуі есептелгеннен көп болды.

Түйін сөздер: Юпитер, галилейлік серіктер, жабын, тұтылу, фотометрия.