

# OBSERVATION OF ASTEROID OCCULTATIONS WITH HELP OF THE METHOD OF TEMPORAL UNSQUEEZING CCD-IMAGES IN 2006

## НАБЛЮДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЗВЁЗД АСТЕРОИДАМИ МЕТОДОМ ВРЕМЕННОЙ РАЗВЁРТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В 2006 г.

F.I. Kravtsov I.V. Lukyanyk

Astronomical Observatory, Kyiv Shevchenko National University  
3 Observatorna str., Kyiv 04053 Ukraine, *iluk@observ.univ.kiev.ua*

**ABSTRACT.** Description of the method of temporal unsqueezing CCD-images is presented for observations of asteroids occultations. The method was applied for observations of 9 asteroid occultations with telescope *AZT-8* ( $D = 0.7m$ ,  $F = 2.8m$ ) and CCD *ST-8MXE* in Lisnyky observational station in 2006 year. In really distance between the centers of asteroid and star and time of asteroid occultation only for occultation star TYC 0587-00209-1U by asteroid 76 Freia are obtained on November 4, 2006. For other the minimal distances between the centers of asteroids and stars are determinated. The method lets to observe the asteroid occultations with high time resolution. Distances between the centers of asteroids and stars are obtained with high accuracy.

**Key words:** Asteroid: occultation, size; asteroid: individual: 4 Vesta, 368 Heidea, 7 Iris, 612 Veronika, 2291 Kevo, 1390 Abastumani, 3902 Ostanina, 3902 Yoritomo, 76 Freia.

### 1. Введение

Явления покрытий звезд астероидами - это довольно редкие и ценные астрономические явления. Успешные наблюдения таких покрытий на сегодняшний день дают возможность точно определять размеры астероидов и, следовательно, альбедо их поверхностей. К настоящему времени во всем мире зарегистрировано всего около 400 подобных событий.

Конечно, главным «продуктом» астероидных покрытий считаются размеры астероидов. Здесь для достижения необходимой точности нужно времен-

ное разделение в сотые секунды. В наше время для этого проще использовать ПЗС-камеры, которые работают в телевизионном режиме, т.е. регистрируют 20 - 24 кадров в секунду. Понятно, что при этом не используется одно из главных преимуществ ПЗС-камер - накопление сигнала. Поэтому покрытие слабых звезд недоступны для регистрации в таком режиме.

Если использовать накопление сигнала, то можно регистрировать более слабые объекты. Однако при этом низкое временное разделение исключает регистрацию самого явления покрытия. В данной статье используется методика наблюдений астероидных покрытий с использованием временной развертки их изображений. Такой метод разрешает вместе с накоплением сигнала достичь удовлетворительного временного разделения.

### 2. Наблюдение и результаты

Наблюдение покрытий звезд астероидами проводились в первичном фокусе ( $D=70\text{см}$ ,  $F=2800\text{см}$ ) телескопа АЗТ-8, который расположен на наблюдательной станции НДЛ «Астрономическая обсерватория» кафедры астрономии и физики космоса физического факультета Киевского университета имени Тараса Шевченко в селе Лесники ( $30^{\circ}.5247$  восточной долготы,  $50^{\circ}.2979$  северной широты). Изображение небесных объектов регистрировались с помощью ПЗС-камеры ST-8 MXE. Камера была передана ЮНЕСКО Астрономической обсерватории Киевского национального университета имени Тараса Шевченко в 2005 г. как благотворительная помощь.

Рабочее поле (чип) камеры начисляет 1600 x 1200 px, линейные размеры - 18 x 13 мм, что при наблюдении в первичном фокусе соответствует угловым размерам 16' x 12'. Для привязки по времени используется GPS приемник.

В качестве методики наблюдений астероидных покрытий использовался метод временной развертки их изображений. Суть метода заключается в следующем. Во время наблюдения быстротекущего явления телескоп нужно перемещать с постоянной угловой скоростью относительно звезд. При этом все объекты в поле зрения, будут растягиваться по приемным элементам матрицы, отображаясь в виде полос (следов), длина которых определяется скоростью перемещения объекта по матрице и временами экспозиции. Ширина каждого следа определяется блеском объекта и угловой скоростью перемещения телескопа. Непосредственно перед покрытием звезда и астероид сливаются настолько, что будут отображаться единым следом, ширина которого определяется их суммарным блеском. Если явление покрытия состоится, то ширина такого следа уменьшится к размеру, обусловленному блеском астероида. При довольно слабых астероидах на следе может образовываться разрыв. Длина разрыва определяется продолжительностью покрытия. Выполнив точный фотометрический разрез вдоль следа, можно с достаточной точностью определить длину хорды астероида вдоль линии покрытия. При этом линейное разделение вдоль следа будет одновременно и разделением явления покрытия во времени.

Перемещение телескопа относительно звезд можно осуществить двумя способами: выключить часовой механизм телескопа или (при включенном часовом ведении) воспользоваться коррекционным движением по одной из осей телескопа. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки. Преимущество первого способа заключается в том, что скорость сдвига объектов во время экспозиции постоянная. Недостатком является то, что данную скорость нельзя изменять, а она в некоторых случаях оказывается довольно большой. И, следовательно, если ошибка эфемериды по времени составляет минуту и больше, то вероятность того, что явление покрытия будет отображено на следе, небольшая. В таком случае необходимо уменьшать скорость смещения звезд по чипу. Вместо остановки телескопа можно использовать коррекционное движение по одной из его осей. При этом есть возможность уменьшить скорость сдвига объектов в поле зрения. Это преимущество данного метода. Его недостатком может оказаться неравномерность движения телескопа, обусловленная сугубо техническими причинами. Вследствие этого на следах звезд будут образовываться сужения и утолщения, которые приведут к затруднениям при обработке. При уменьшении скорости сдвига звезд по чипу умень-

Таблица 1: Обстоятельства возможных астероидных покрытий.

<i>Date, 2006</i>	<i>Asteroid</i>	<i>Star</i>
Mar., 20	4 Vesta	2 UCAC 40836920
May, 18	368 Heidea	2 UCAC 24872095
Jul., 24	7 Iris	TYC 1210-01269-1U
Aug., 6	612 Veronika	2 UCAC 35442825
Aug., 6	2291 Kevo	TYC 0473-05371-1U
Aug., 29	1390 Abastum.	TYC 2393-01361-1U
Sept., 14	3902 Ostanina	TYC 5173-02077-1U
Oct., 12	3902 Yoritomo	TYC 1712-01041-1U
Nov., 4	76 Freia	TYC 0587-00209-1U

шается также и временной масштаб следа и, следовательно, временное разрешение. При наблюдениях астероидных покрытий в 2006 году использовались оба метода. Дополнительно наблюдение поля звезд с астероидом до покрытия и после него дает возможность определять точные моменты середины покрытия и расстояние между центрами звезды и астероида. Моменты и другие параметры возможных покрытий вычислялись с помощью программы Д. Гаральда OCCULT Asteroidal Occultations v.3.6.0. В 2006 году погодные условия и расположения наблюдательной станции позволили пронаблюдать 9 возможных явлений покрытий звезд астероидами. Результат приведен в Табл. 1.

Снимки поля звезд с астероидом делалась с короткими экспозициями с часовым ведением, т.е. в режиме накопления. В зависимости от яркости астероида и звезды, которая покрывается, продолжительность экспозиции выбиралась в пределах от 0.1 сек до 20 сек. При таких условиях получалось несколько десятков изображений нужного звездного поля, как до момента покрытия, так и после. Близ момента покрытия наблюдения проводились таким образом, чтобы ПЗЗ - камера регистрировала картину временной развертки явления покрытия звезды астероидом. Если звезда, которая покрывается, имела достаточную яркость для того, чтобы ее изображение было пригодным для точной фотометрии, то развертка изображения делалась путём остановки часового механизма телескопа на время до 90 сек. В противном случае, на временное движение телескопа накладывалось коррекционное движение по часовому углу со скоростью 2 секунды дуги за секунду времени, или коррекционное движение по склонению с той же скоростью на время до 8 минут. Начало такой процедуры выбиралось таким образом, чтобы момент возможного покрытия приходился на середину временного интервала наблюдения.

Первичные редукиции проводились с использованием пакета ESO MIDAS. В дальнейшей обработке использовался собственный программный ком-

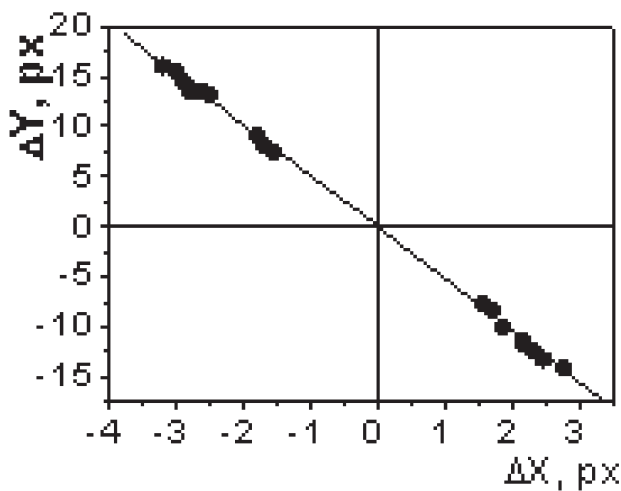


Рис. 1: Траектория движения астероида 76 Freia относительно звезды TYC 0587-00209-1U

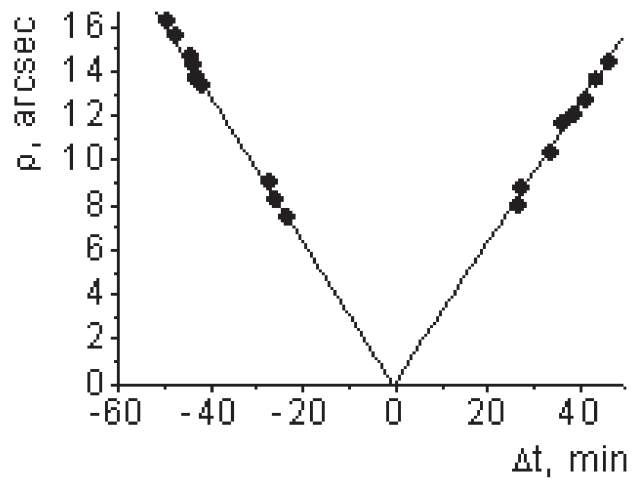


Рис. 2: График движения астероида 76 Freia относительно звезды TYC 0587-00209-1U

плекс. Так как на всех звездных полях присутствуют изображения астероида и звезды, которая им покрывается, то измерение разности координат  $\Delta x$  и  $\Delta y$  астероида относительно звезды (между средневзвешенными центрами изображений) делались в пикселах. Точность измеренных  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , в зависимости от качества изображения, колебалась в пределах от 0.02 до 0.3 px. На Рис. 1 приведена траектория движения астероида 76 Freia относительно звезды, которая покрывается. Аналогичные графики строились для всех объектов из Табл. 1.

Эти графики дали возможность методами аналитической геометрии получить наименьшее видимое расстояние  $\rho_{min}$ , на которое сблизилась звезда и астероид, сначала в пикселах, а потом и в угловой мере, Табл. 2. Для этого, по звездным полям каждой ночи наблюдений вычислялся масштаб изображений. Масштаб практически не изменялся и составил  $0.655 \pm 0.002$  секунд дуги в одном пикселе.

Наблюдение астероида 368 Heidea были прекращены через ухудшения погодных условий, а явление покрытия астероида 1390 Abastumani состоя-

лось для нашего пункта в утренних сумерках, что не дало возможность его зафиксировать.

Для вычисления  $t_{min}$ , строились графики движения астероидов относительно звезд, которые покрывались, (на Рис. 2 приведен пример для астероида 76 Freia), в угловой мере. Для тех астероидов, для которых проводились наблюдения и после возможного явления покрытия, это просто точка пересечения графиков движения астероида до момента покрытия и после него. Для тех астероидов, для которых отсутствуют подобные наблюдения, поступили таким образом. Методом наименьших квадратов определялась видимая скорость движения астероида относительно звезды, а потом по известному расстоянию  $\rho_{min}$  вычислялось время  $t_{min}$ . Сравнительная эфемеридные значения диаметров астероидов с  $\rho_{min}$  из Табл. 2 получили, что 14 сентября и 4 ноября должны были наблюдаться явления покрытия звезд соответствующими астероидами. Действительно, 4 ноября, на следе комплекса звезда-астероид четко фиксируется явление покрытия (Рис.4), в то время как на следе 14 сентября несмотря на детальную фотометрию, явление покрытия не было выявлено. Неудача, очевидно, объясняется тем, что было неудачно подобранно время начала экспозиции, и, потому явление покрытия не было зафиксировано на кадре развертки изображения.

Как уже отмечалось недостатком использования метода с включенным коррекционным движением телескопа есть неравномерность его движения, обусловленная сугубо техническими причинами. Чтобы учесть влияние неравномерности движения телескопа полученный фотометрический разрез вдоль комплекса тел «астероид-звезда» делился на аналогичный фотометрический разрез вдоль следа соседней звезды (Рис.3 для астероида 76 Freia).

Чтобы получить продолжительность отдельных

Таблица 2: Минимальное видимое расстояние  $\rho_{min}$  в момент времени  $t_{min}$ .

Asteroid	$\rho_{min}, ''$	$t_{min}, UT$
4 Vesta	$0.25 \pm 0.04$	$20^h 46^m 01.^s 0 \pm 1.^s 2$
368 Heidea	$0.41 \pm 0.09$	$23\ 40\ 43 \pm 12$
7 Iris	$0.52 \pm 0.04$	$23\ 08\ 49.3 \pm 0.2$
612 Veronika	$0.43 \pm 0.02$	$19\ 39\ 05.6 \pm 0.9$
2291 Kevo	$0.33 \pm 0.02$	$21\ 21\ 26.3 \pm 1.4$
1390 Abastum.	$0.35 \pm 0.06$	$02\ 41\ 09.9 \pm 1.8$
3902 Ostanina	$0.001 \pm 0.008$	$21\ 42\ 21.24 \pm 0.04$
3902 Yoritomo	$0.28 \pm 0.02$	$18\ 27\ 35.0 \pm 0.2$
76 Freia	$0.02 \pm 0.01$	$16\ 27\ 56.9 \pm 0.2$



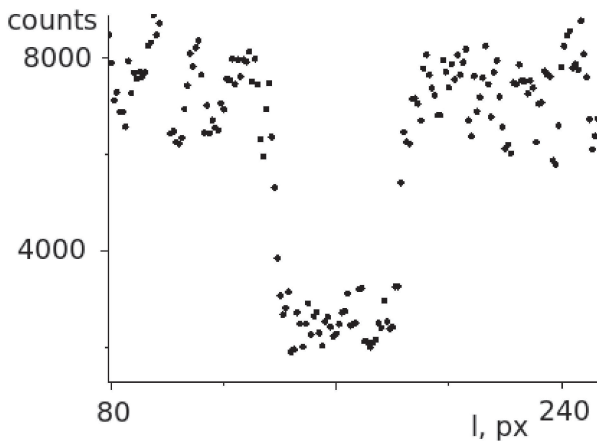


Рис. 3: Фотометрический разрез вдоль комплекса тел 76 Freia-TYC 0587-00209-1U

фаз покрытия в секундах времени, необходимо знать скорость движения звезд по чипу ПЗС-камеры. С этой целью, измерялись прямоугольные координаты начала следа и координаты середины явления покрытия на следе в пикселях. Имея моменты начала экспозиции и середины покрытия получаем среднюю скорость движения звезд по чипу, и, затем, соответствующие моменты обстоятельств покрытия. Для покрытия звезды TYC 0587-00209-1U астероидом 76 Freia 4 ноября 2006 года получаем:

$$\begin{aligned} t_1 &= 16^h 27^m 47.2^s \\ t_2 &= 16^h 27^m 48.5^s \\ t_3 &= 16^h 28^m 04.8^s \\ t_4 &= 16^h 28^m 05.7^s \end{aligned}$$

А сами продолжительности:

$$\begin{aligned} t_3 - t_1 &= t_4 - t_2 = 17.4^s \pm 0.3^s \\ t_2 - t_1 &= t_4 - t_3 = 1^s.14 \end{aligned}$$

Таким образом, учитывая скорость движения астероида в пространстве, как верхняя граница, диаметр звезды составил  $d_* = 0''.006 \pm 0''.002$ , а хорда -  $L_a = 0''.909 \pm 0''.003$ . Учитывая геоцентрическое расстояние астероида на момент покрытия и принимая, что он имеет сферически-симметричную форму, а также, учитывая минимальное расстояние между видимыми центрами звезды и астероида, вычисляем диаметр астероида  $d_a = 187$  км (эфемеридное значение 184 км). Точность определения диаметра астероида полностью определяется точностью определения  $\rho_{min}$ . Нужно отметить, что диаметр звезды может быть завышенным в несколько раз, так как светочувствительные элементы ПЗС-матрицы имеют конечные размеры, а скорость сканирования недостаточна, для получения приемлемого временного разрешения.

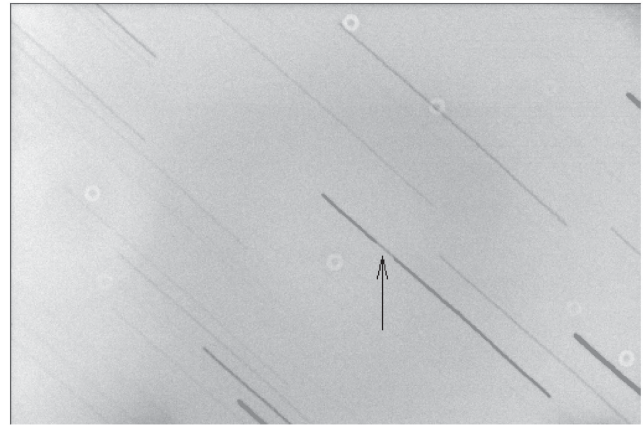


Рис. 4: Изображение комплекса тел 76 Freia-TYC 0587-00209-1U (стрелка указывает на зафиксированное явление покрытия)

## 2. Выводы.

Использование метода временной развертки изображений при наблюдении явлений покрытия звезд астероидами дает возможность определить размеры астероидов в течении нескольких часов с одного пункта наблюдения, что является недостатком при использовании телевизионных систем наблюдения. Обычно количество зафиксированных явлений в течении года небольшое, но, учитывая редкость фиксирования подобных явлений и того, что использовался стационарный телескоп предложенный метод является пригодным. Вследствие конечности размеров светочувствительных элементов ПЗС-камеры предложенным методом можно получать только верхнюю границу размера звезды, которая покрывается. Дополнительно возможно определение экваториальных координат астероида, которое даёт возможность уточнять элементы орбит астероидов.