

XXX Санкт-Петербургская
астрономическая олимпиада
практический тур, решения

2023
12
марта

7–8 классы

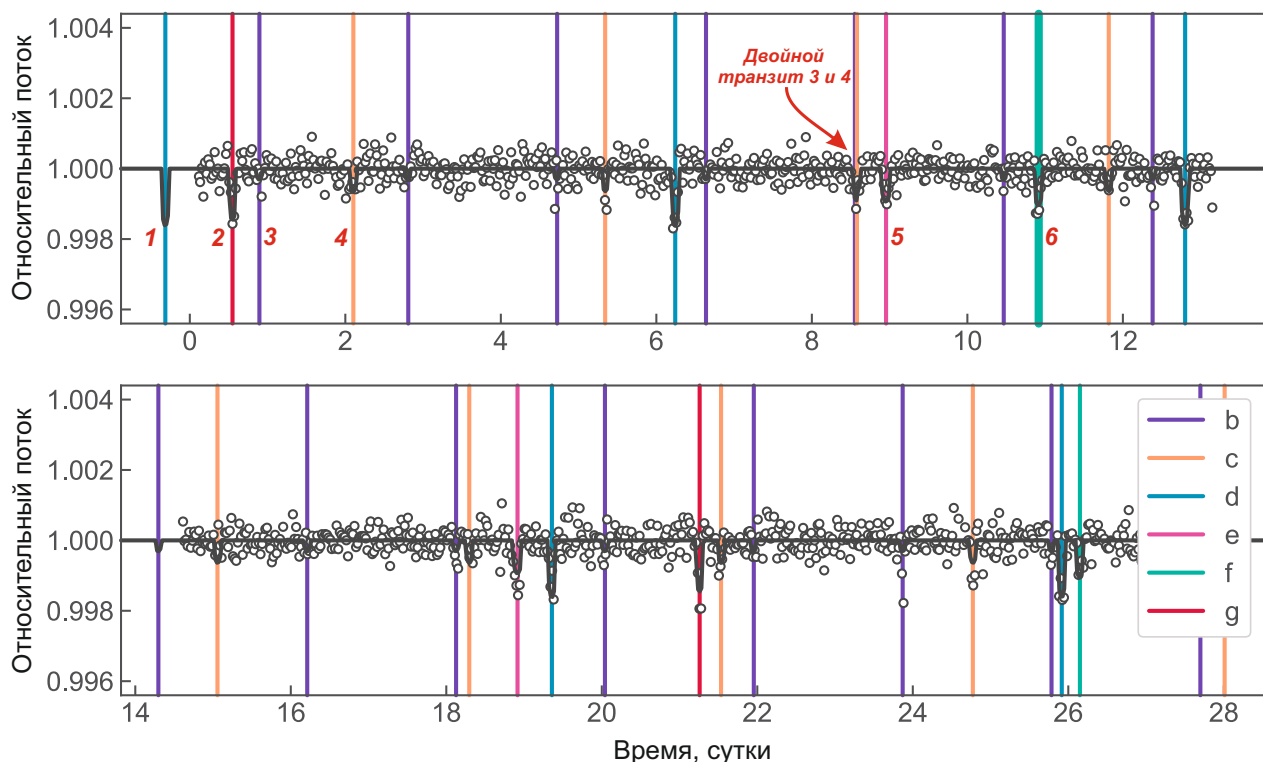
Вам на отдельном листе даны результаты наблюдений звезды — красного карлика, вокруг которой по круговым орбитам движутся несколько экзопланет. На оси абсцисс отложено время в сутках от момента начала наблюдений, по оси ординат отложен блеск (количество энергии, приходящей от объекта за единицу времени на единицу площади объектива телескопа) в долях максимального значения. Кружками обозначены результаты отдельных наблюдений, сплошной линией — полученная по ним зависимость блеска от времени.

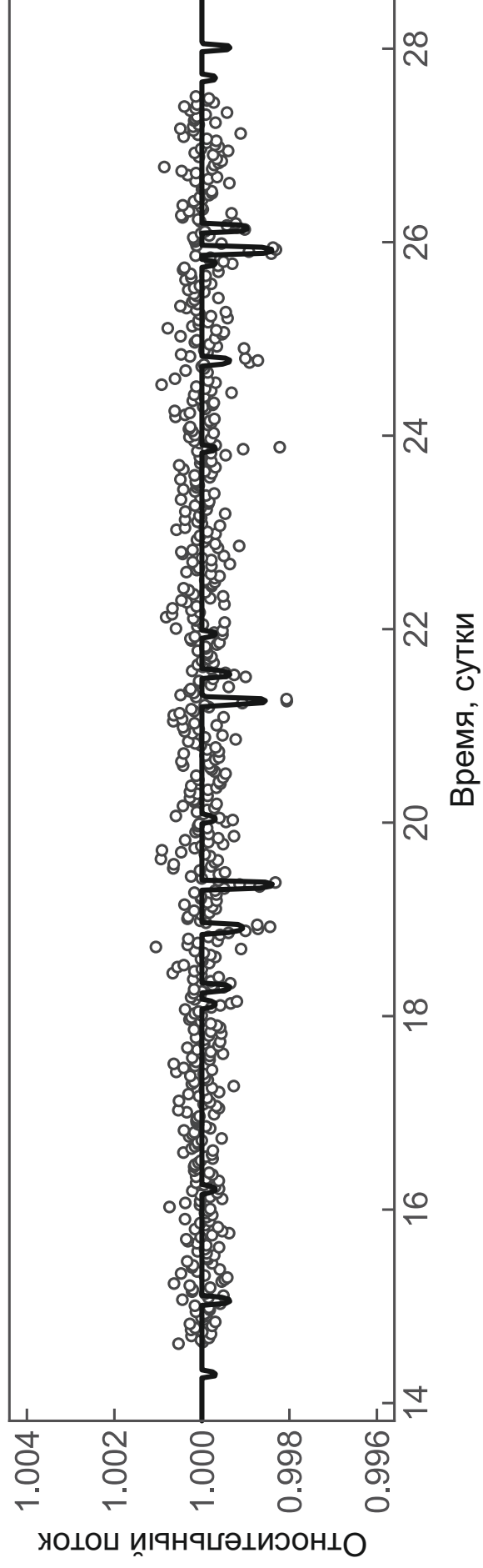
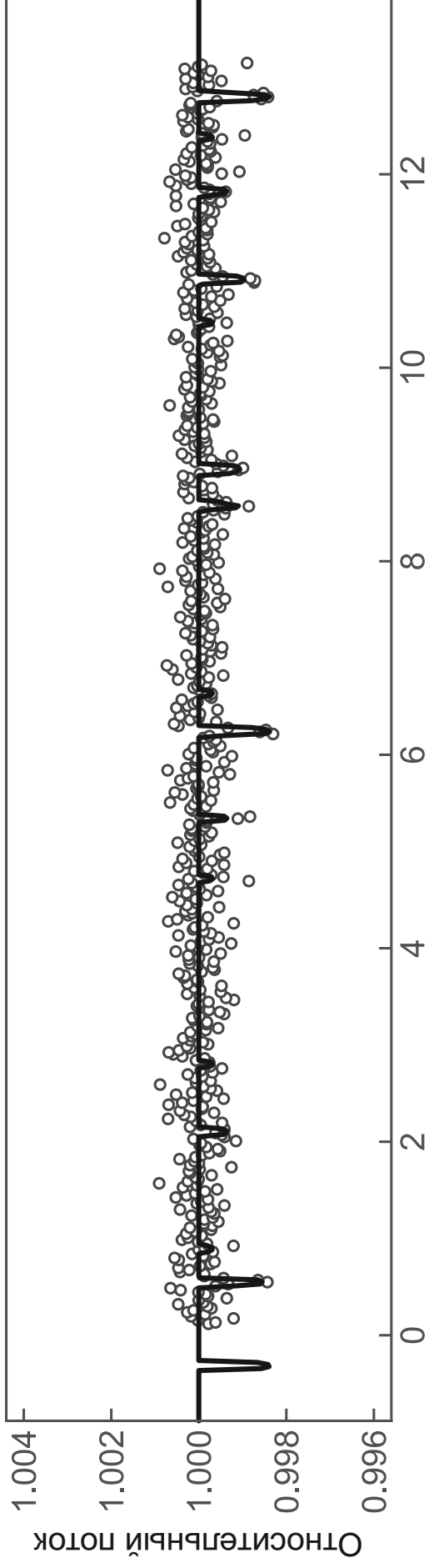
Определите число экзопланет и их периоды. Ответ оформите в виде таблицы, расположив планеты в порядке увеличения периода.

Существуют ли в данной системе резонансы первого порядка? Резонансом первого порядка называется такое расположение планет, при котором их периоды приблизительно соотносятся как $(q + 1)/q$, где q — небольшое целое число.

Решение:

На кривой блеска хорошо заметны резкие падения блеска — моменты транзитов экзопланет по диску звезды. Так как за время одного оборота вокруг звезды экзопланта не меняет своих размеров, то каждый оборот одной и той же экзопланеты обеспечивает одну и ту же глубину падения блеска. Соответственно два и более одинаковых уменьшения блеска позволяют надежно зафиксировать наличие экзопланеты, а разность моментов времени транзитов дает период обращения.





Пронумеруем транзиты экзопланет, начиная с самого раннего (левее нуля). Заметим, что такое же падение блеска, как и в первый раз, наступает примерно на шестой с чем-то день после начала наблюдений, что дает ориентировочную оценку периода этой экзопланеты: около 6.5 суток. Действительно, примерно такой же транзит замечен примерно в 13-ый день (но на самом деле он чуть раньше отметки 13). Еще два транзита этой экзопланеты обнаруживаются в моменты времени примерно $17^d.5$ и 26^d . Все такие же падения блеска стоит отметить (или вычеркнуть), чтобы они не мешали дальнейшей идентификации экзопланет (на изображении ниже отмечены синими вертикальными линиями).

Повторяем описанную выше процедуру для остальных неотмеченных транзитов. Второй транзит, расположенный на кривой в момент времени $0^d.7$, несколько менее глубокий (согласно модельной кривой), чем первый и не имеет пары в течение первых двух недель наблюдения. Однако, такой же по глубине пик обнаруживается примерно на 21^d .

Третий, самый маленький пик, виден в момент времени около 1^d и повторяется довольно часто, с периодом порядка двух дней. Интересно, что в момент времени примерно $8^d.5$ падение блеска более сильное, чем до этого. Данное обстоятельство объясняется просто: в этот момент произошел двойной транзит: экзопланеты, давшие падение блеска №3 и №4 (период примерно 3 суток), одновременно попали на диск звезды.

Пятую и шестую экзопланеты можно идентифицировать также, как и вторую. Итого получается шесть экзопланет в данной планетной системе. Для более точного определения периодов каждой необходимо посчитать число оборотов на как можно более длительном промежутке времени, а затем поделить этот промежуток времени на число оборотов. Понятно, что тогда период экзопланеты с минимальным периодом будет определен точнее, чем для остальных.

Периоды найденных экзопланет в порядке увеличения перечислены в таблице ниже. Традиционно экзопланеты обозначаются латинскими буквами, начиная с b (буква a зарезервирована для звезды).

Произведем анализ периодов на наличие резонансов. Нам подходят дроби $2/1$, $3/2$, $4/3$ и т.д. Внимательное изучение полученных результатов говорит нам, что, например, период обращения экзопланеты d примерно в два раза больше, чем период экзопланеты c, так что это резонанс $2/1$. То есть экзопланета c успевает совершить два оборота вокруг звезды, пока d делает лишь один оборот. Для планет f и e подходит резонанс $3/2$. Все остальные перечислены в таблице. Заметим, что для двух ближайших к звезде экзопланет более точно выполняется резонанс второго порядка $5/3 = (3 + 2)/3$, но его нахождение не требовалось в задаче.

Обозначение	Период, сутки	№	Резонанс
b	1.9	3	
c	3.2	4	$5/3$, b
d	6.6	1	$2/1$, c
e	10.0	5	$3/2$, d
f	15.2	6	$3/2$, e
g	20.7	2	$4/3$, f

Такая цепочка резонансов экзопланет c–g является самой длинной известной на текущий момент цепочкой резонансов. Подобные конфигурации называются цепочками Лапласа. В данном случае, пока планета g делает 3 оборота вокруг родительской звезды, планета f успевает сделать 4, при этом e — 6, d — 9 и c — 18 оборотов, что можно обозначить как $18:9:6:4:3$. В Солнечной системе самая известная цепочка резонансов состоит из спутников Юпитера: Ио, Европа и Ганимед ($4:2:1$).

Открытие данной планетной системы и анализ ее особенностей описаны в статье A. Leleu et al. (Astronomy&Astrophysics, v. 649, p. A26, 2021), откуда и взяты данные для задачи.

В.В.Григорьев