

**XXXI Всероссийская олимпиада по астрономии**  
**Заключительный этап — 2024 г.**  
**Практический тур**  
**Решения и критерии**

**9.7. БЛЕСК ЛИНЫ**

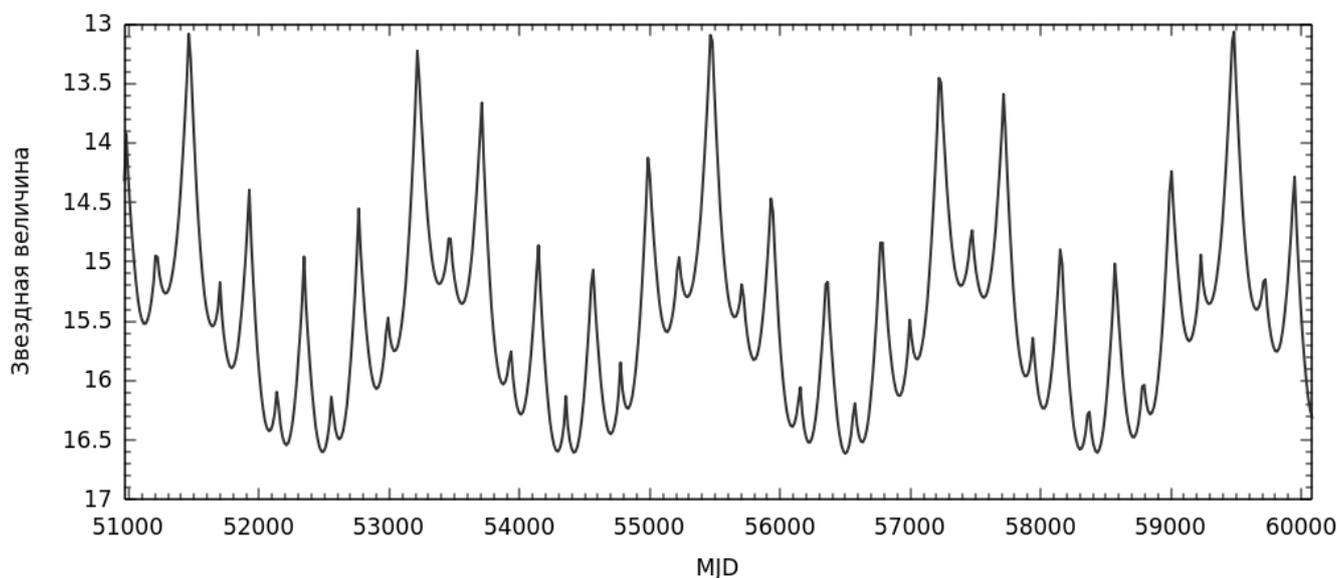
*(М. В. Силантьев, Е. Н. Фадеев)*



**Условие.** На графике показано изменение блеска астероида главного пояса на протяжении 25 лет. Наблюдения проводились с интервалом 15 дней. По горизонтальной оси откладывается модифицированная юлианская дата (юлианская дата, уменьшенная на 2400000.5).

1. Объясните причину возникновения больших и маленьких узких пиков.
2. Определите период обращения астероида вокруг Солнца, большую полуось и эксцентриситет его орбиты.

Орбиту Земли считайте круговой. Орбита астероида лежит в плоскости эклиптики. На графике отметьте все измеренные размеры. Используйте максимально точные методы.



**Решение.** Изменение блеска астероида может быть вызвано двумя эффектами. Во-первых, изменяются расстояние между Землей и астероидом, а также между астероидом и Солнцем. Во-вторых, изменяется угол Солнце-астероид-Земля. Видимая освещенная площадь дисков астероидов, находящихся за орбитой Марса, почти не меняется из-за фазового эффекта. Большее значение имеет тот факт, что при малых фазовых углах, то есть в соединении и противостоянии, поверхность астероидов отражает больше света.

Таким образом, большие пики возникают главным образом потому, что астероид в эти моменты находится ближе к наблюдателю. В моменты, когда наблюдаются малые пики, астероид, наоборот, находится за Солнцем, но благодаря фазовому эффекту отражает несколько больше света в сторону наблюдателя, чем до или после соединения.

Долгопериодические модуляции возникают из-за изменения расстояния астероида от Солнца. Их период равен периоду обращения астероида. Таким образом, можно попытаться измерить этот период напрямую, но сделать это точно довольно затруднительно. Поэтому выберем другой метод.

По определению, синодический период — это время, прошедшее между последовательными одноименными конфигурациями планеты. Однако, из-за эллиптичности орбиты астероида время, прошедшее между соседними максимумами, не одинаковое. Для измерения синодического периода с максимальной точностью необходимо измерить время между максимально удаленными друг от друга максимумами. Главными или вторичными — не имеет значения, важно, чтобы одинаковыми. Получаем, что 19 синодических периодов завершаются за 8500 дней. Тогда синодический период Лины равен  $P \approx 447$  суток  $\approx 1.22$  года.

Сидерический период астероида получим из уравнения синодического движения:

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}.$$

Здесь  $T$  и  $T_0$  — сидерические периоды астероида и Земли соответственно. Тогда

$$T = \frac{PT_0}{P - T_0} = \frac{1.22 \cdot 1}{1.22 - 1} = \frac{1.22}{0.22} \approx 5.5 \text{ года.}$$

С помощью третьего закона Кеплера вычислим большую полуось орбиты:

$$a = a_0 \sqrt[3]{\left(\frac{T}{T_0}\right)^2} = \sqrt[3]{5.5^2} \approx 3.1 \text{ а. е.}$$

Мы видим, что блеск астероида меняется от противостояния к противостоянию. Это происходит из-за того, что в различных противостояниях астероид располагается на разных расстояниях от Земли и Солнца. Выберем противостояние и соединение, в которых Лина обладает максимальным блеском. Будем считать, что в эти моменты она располагается вблизи перигелия своей орбиты. Разность звездных величин составляет  $1.7^m$ . При этом, в обеих конфигурациях диск астероида освещен одинаково, он находится на одинаковом расстоянии от Солнца и изменение освещенности происходит только из-за изменения расстояния до Земли. Тогда из формулы Погсона получим

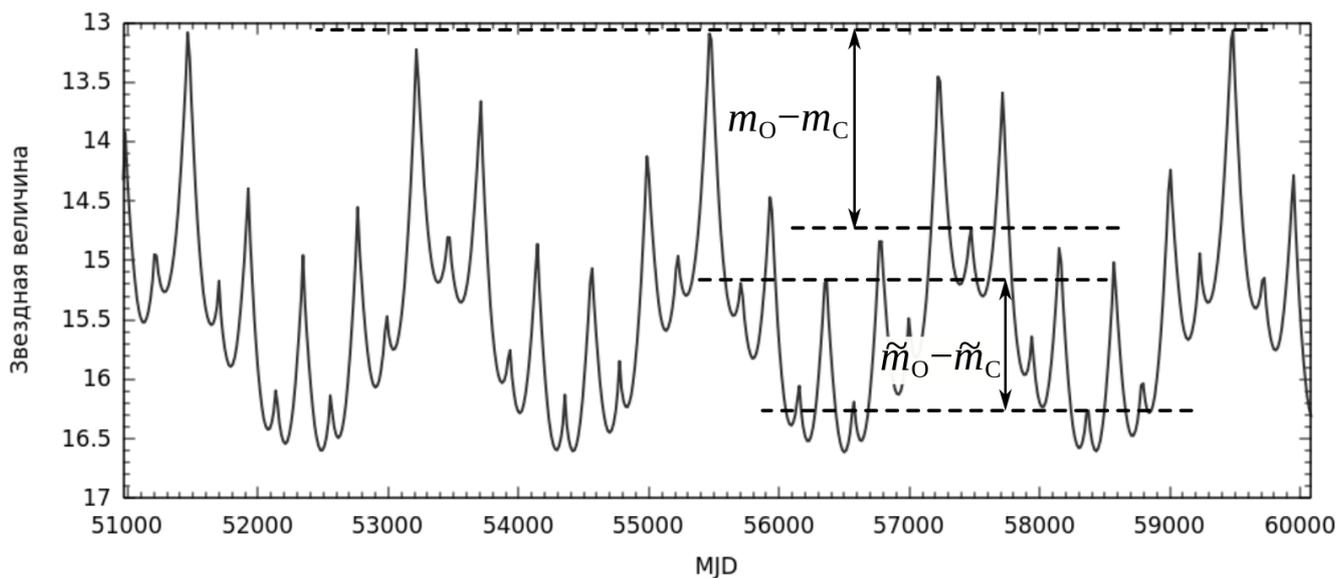
$$\frac{p+1}{p-1} = 10^{-0.2(m_o - m_c)} = A \approx 2.2.$$

Здесь  $p$  — перигелийное расстояние астероида в астрономических единицах,  $m_o$  и  $m_c$  — блеск астероида в противостоянии и соединении. Получаем

$$p = \frac{A+1}{A-1} \approx 2.7 \text{ а. е.}$$

Таким же образом получим, что разность звездных величин в максимально тусклых соединении и противостоянии составляет  $1.1^m$ . Тогда получаем расстояние афелия:

$$\frac{q+1}{q-1} = 10^{-0.2(\tilde{m}_o - \tilde{m}_c)} = B \approx 1.66, \quad \Rightarrow \quad q = \frac{B+1}{B-1} \approx 4.0 \text{ а. е.}$$



Отсюда получаем значение эксцентриситета орбиты

$$e = \frac{q - p}{q + p} = 0.20,$$

а также большую полуось орбиты

$$a = \frac{p + q}{2} = 3.4 \text{ а. е.}$$

Как видим, значение близкое, но отличное от полученного ранее. Дело в том, что при оценке минимального и максимального возможного блеска астероида мы каждый раз несколько недооценивали эти величины. Поэтому для определения большой полуоси больше подходит первый метод.

Обратим внимание, что если уже измерена величина большой полуоси, то, казалось бы, для определения эксцентриситета достаточно определить только одно дополнительное расстояние: перигелия или афелия.

$$e = 1 - \frac{p}{a} = 1 - \frac{2.7}{3.1} \approx 0.13, \quad e = \frac{q}{a} - 1 = \frac{4.0}{3.1} - 1 \approx 0.29.$$

Как видим, ответ здесь выходит менее точным и более случайным. Получается это из-за того, что значения  $p$  и  $q$  определяются из фотометрии с меньшей точностью, чем  $a$  из анализа периодов, и, главное, содержат значительную систематическую погрешность.

*Для справки.* В качестве исходных данных использовались эфемериды астероида (468) Лина. Его параметры орбиты:  $a = 3.13 \text{ а. е.}$ ,  $e = 0.196$ ,  $i = 0.43^\circ$ .

### Система оценивания

- |   |                 |
|---|-----------------|
| 1. Причина возникновения пиков                | <b>1 балл</b>   |
| 2. Определение орбитального периода астероида | <b>5 баллов</b> |

#### Вариант 1

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Определение синодического периода в пределах [435–465] суток | 3 балла |
|---|---------|

Если ответ менее точен, то при попадании в диапазон [410–490] — 2 балла, в диапазон [380–520] — 1 балл. В остальных случаях — 0 баллов и следующий пункт оценивается из 1 балла.

2. Вычисление орбитального периода 2 балла

Правильное уравнение — 1 балл, вычисление — 1 балл.

Вариант 2

1. Напрямую из графика путем анализа долгопериодических модуляций 3 балла

Вариант 3

Вычисление из определенного значения большой полуоси (п. 2.2) 3 балла

3. Определение большой полуоси орбиты **3 баллов**

Вариант 1

При вычисленном орбитальном периоде 2 балла за правильную формулу 3-го закона Кеплера, и 1 балл за верное вычисление. При подстановке неправильного значения периода последний балл не выставляется.

Вариант 2

При вычислении из известных  $p$  и  $q$  оценивается из 2 баллов.

4. Определение эксцентриситета орбиты **6 баллов**

1. Определение расстояния перигелия [2.5–2.8] а. е. и афелия [3.7–4.4] а. е. орбиты 4 балла

Работа с графиком оценивается 1 баллом, формула — 1 балл, значения — по 1 баллу. Если расстояние перигелия и афелия не попадают в ворота выше, но оказываются в диапазонах [2.4: 3.0] и [3.4: 4.5], то оценка снижается на 1 балл за каждую ошибку.

2. Вычисление эксцентриситета 2 балла

Если для вычисления эксцентриситета используется  $a$ , полученное из орбитального периода, то оценивается из 1 балла.

Максимальная оценка за задачу **15 баллов**.

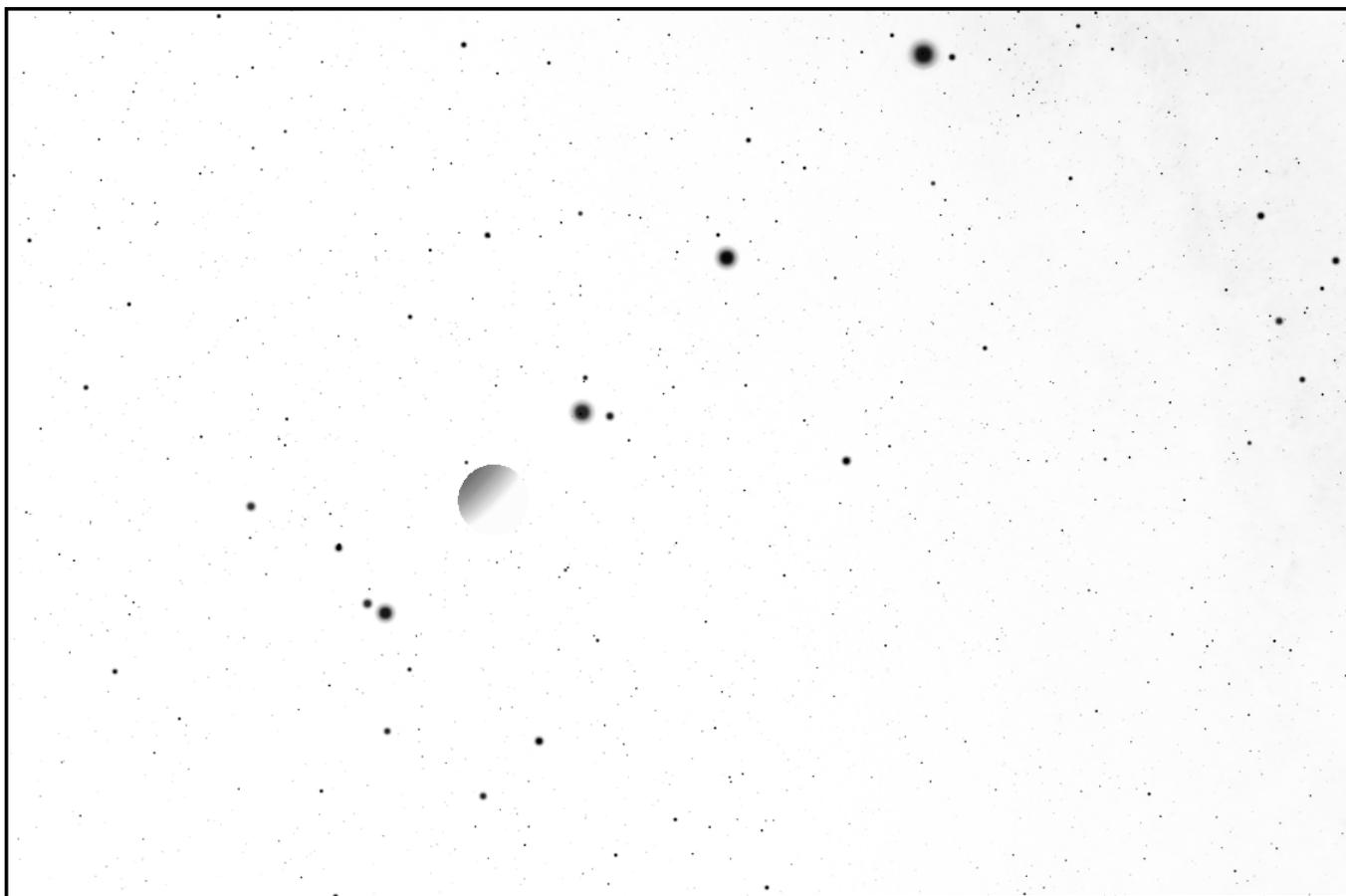
## 9.8. В МИРЕ ШЕКСПИРА

(Е. Н. Фадеев)



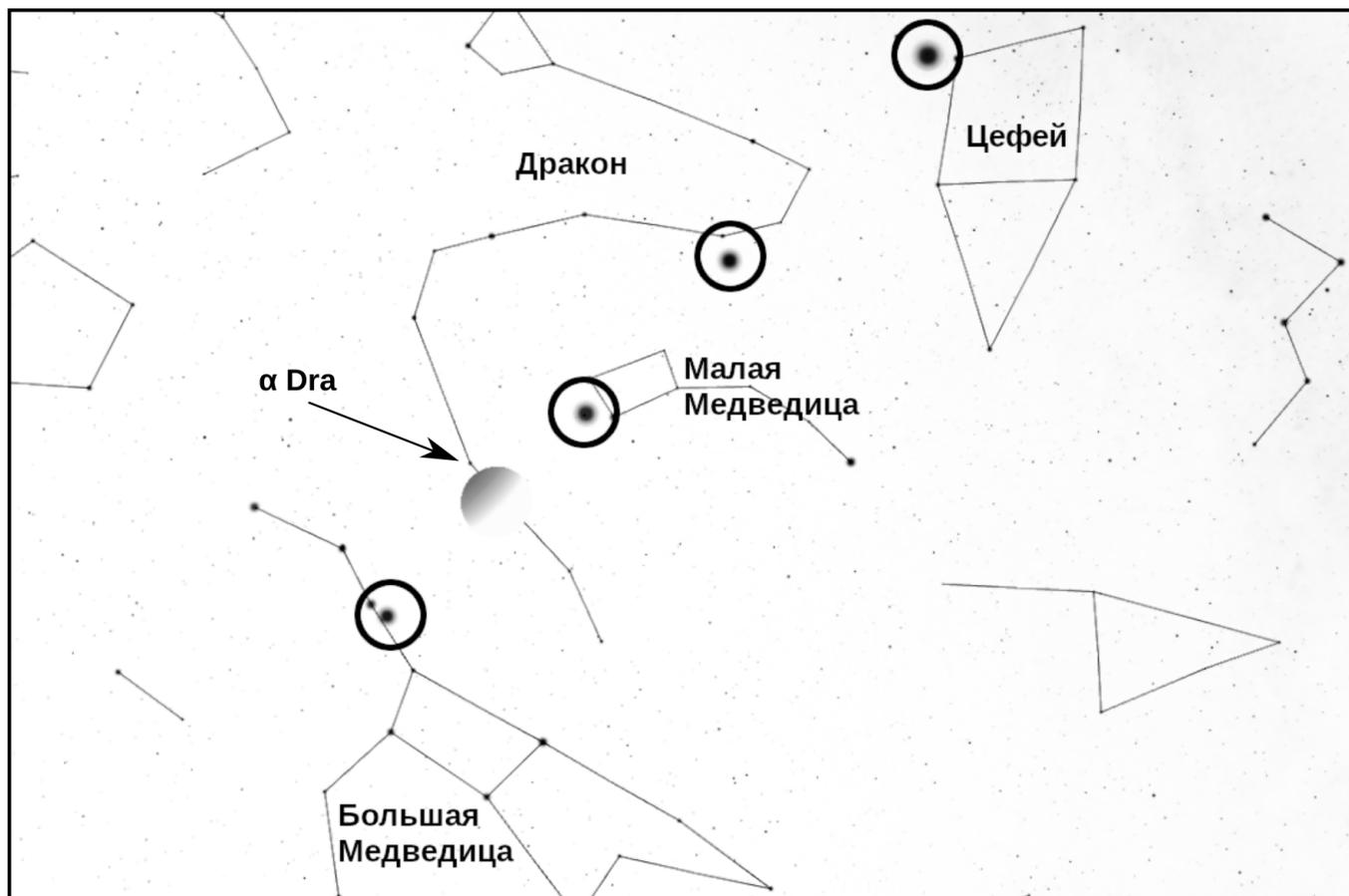
**Условие.** На рисунке показан участок неба, как он виден в некоторый момент времени со спутника Урана Оберон. С его помощью ответьте на следующие вопросы.

1. Отметьте на карте положение четырех крупных спутников Урана. Подпишите созвездия, в которых они находятся.
2. Звезда альфа какого созвездия видна ближе всего к Урану?
3. В каких созвездиях располагаются полюса мира для гипотетического наблюдателя на Уране?
4. Какая фаза Урана будет наблюдаться с Оберона спустя трое суток?
5. Чему равны угловые размеры кадра по длине и высоте?



**Решение.** Ниже Урана можно найти легко узнаваемый астеризм Большой Ковш — часть созвездия Большой Медведицы. В нем лишняя яркая звезда — спутник Миранда. Чуть выше и правее Урана также лишняя звезда — спутник Ариэль. С помощью Большого Ковша можно найти Полярную звезду, а вместе с ней и Малый Ковш — созвездие Малой Медведицы. Ариэль находится в этом созвездии. Уран находится в Драконе. Альфа Дракона видна рядом с освещенной частью диска Урана. Продолжаем движение направо вверх и находим еще два спутника: Умбриэль в Драконе и Титанию в Цефее.

Экватор Урана наклонен к плоскости эклиптики на  $98^\circ$  (см. справочные данные). Значит, полюса мира надо искать в  $8^\circ$  от эклиптики, то есть почти наверняка они попадают в созвездия, через которые проходит эклиптика.



Орбиты крупных спутников Урана, как и крупных спутников Юпитера и Сатурна, лежат почти точно в экваториальных плоскостях своих планет. Оберон, с которого ведутся наблюдения, не исключение. Поэтому выстроившиеся в ряд спутники показывают направление экватора Урана. Если продлить эту линию дальше влево вниз, то она пересечет эклиптику в созвездии Льва. Отсчитываем три зодиакальных созвездия в обе стороны от Льва и получаем созвездия Скорпиона и Тельца. Эклиптика пересекает созвездие Скорпиона в узком месте, поэтому с тем же успехом полюс мира может оказаться в созвездии Змееносца.

В действительности, полюса мира Урана находятся в Змееносце (южный полюс, выше эклиптики) и в Орионе на самой границе с Тельцом.

Мы уже выяснили, что терминатор проходит приблизительно по экватору Урана. Оберон движется в плоскости экватора, а значит, за четверть оборота спутника фаза Урана не изменится.

Из справочных данных можно узнать, что диаметр Урана равен 51 100 км, а радиус орбиты Оберона — 583 500 км. Тогда угловой диаметр Урана равен  $5^\circ$ . Используя его как линейку, получим угловые размеры кадра:  $100^\circ \times 67^\circ$ .

### Система оценивания

Все ответы оцениваются только при наличии правильного объяснения. Без объяснения даже правильные ответы не оцениваются.

1. Ответ на первый вопрос

4 балла

1. Правильно отмеченный спутник

по 0.5 балла

Неправильно отмеченный спутник — штраф 0.5 балла.

2. Правильно указанное созвездие при правильной отметке по 0.5 балла  
Общая оценка за вопрос округляется до целого в большую сторону. Оценка не может быть меньше 0.
2. Альфа Дракона **1 балл**
3. Правильно определенные положения полюсов **по 2 балла**  
Оценка выставляется при разумном обосновании. Ответы Близнецы и Стрелец оцениваются по 1 баллу.
4. Фаза не изменится **2 балла**
5. Определение угловых размеров кадра **4 балла**  
Участники могут использовать в качестве линейки известные расстояния между звездами. Например, расстояние между  $\alpha$  и  $\beta$  Большой Медведицы составляет примерно  $5.5^\circ$ , между Полярной и  $\alpha$  Большой Медведицы —  $29^\circ$  и т. д. В любом случае значения длины и высоты должны попадать в диапазоны  $[90^\circ: 110^\circ]$  и  $[60^\circ: 75^\circ]$  соответственно.
1. Вычисление углового размера Урана / правильное отождествление звезд и выбор углового расстояния между ними **2 балла**
2. Определение угловых размеров каждой стороны **по 1 баллу**  
Второй пункт оценивается только при правильном выполнении первого.

Максимальная оценка за задачу **15 баллов**.