

# LXXVII Московская астрономическая олимпиада (2023 г.)

Теоретический тур. Решения и критерии оценивания

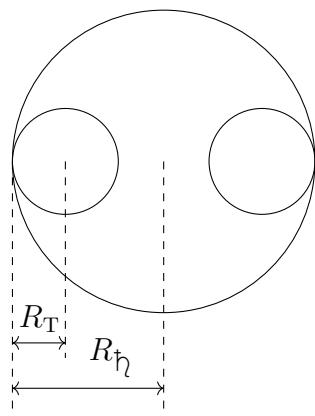
6 класс

## Задача 1

Станция управления полётами, расположенная на Земле, наблюдает за спутником Сатурна Титаном. В момент захода Титана за диск Сатурна космический аппарат на орбите Титана отправляет световой сигнал на Землю. Определите с точностью до нескольких минут, с какой временной задержкой должен быть отправлен ответ от станции управления полётами, чтобы спутник получил ответ сразу после того, как выйдет из-за диска планеты.

Орбиты Земли, Сатурна и Титана считать круговыми и лежащими в одной плоскости. Сатурн в момент наблюдений находится в противостоянии.

**Решение.** Найдём время, которое Титан находится за Сатурном. Поскольку диаметр Сатурна более чем в 10 раз меньше радиуса орбиты Титана, будем считать, что участок орбиты Титана за Сатурном прямолинейный. Минимальное время будет между моментами, когда весь Титан скрылся за Сатурном, и первым появлением Титана из-за планеты.



$$t = \frac{2(R_{\text{Т}} - R_T)}{V_T},$$

где скорость Титана

$$V_T = \frac{2\pi a_T}{T_T}.$$

Тогда время покрытия:

$$t = \frac{R_{\text{Т}} - R_T}{\pi a_T} T_T = \frac{60\,270 \text{ км} - 2580 \text{ км}}{\pi \times 1\,220\,000 \text{ км}} \times 16 \text{ сут} \approx 0.24 \text{ сут} \approx 20\,800 \text{ с}.$$

Теперь найдём время, за которое сигнал долетит до Земли от Титана. Поскольку по условию задачи Сатурн находится в противостоянии, то расстояние между Сатурном и Землёй  $r = a_{\text{Т}} - a_{\oplus} = 8.6 \text{ а.е.}$ , а расстояние между Сатурном и Титаном, который располагается за Сатурном,  $r_T = a_T$ , тогда время, через которое придёт сигнал:

$$t' = \frac{r + a_T}{c} = \frac{8.6 \text{ а.е.} \cdot 1.5 \times 10^8 \text{ км/а.е.} + 1\,220\,000 \text{ км}}{3 \times 10^5 \text{ км/с}} = 4304 \text{ с.}$$

Заметим, что сигналу нужно прилететь как от Титана к Земле, так и от Земли до Титана, то есть  $t_0 = 2t' = 8608 \text{ с.}$  Тогда на Земле могут подумать над ответом в течение:

$$\Delta t = t - t_0 = 20800 - 8608 = 12\,192 \text{ с} \approx 3.4 \text{ ч.}$$

**Критерии проверки**

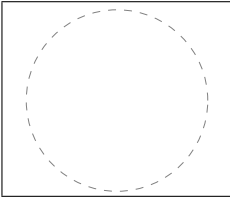
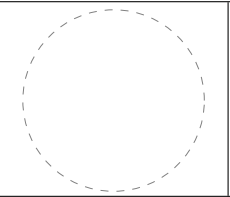
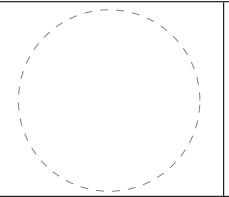
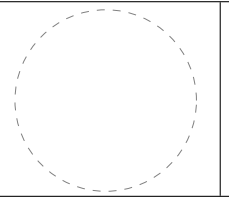
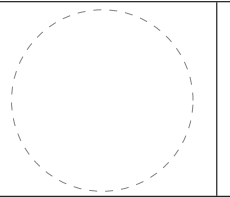
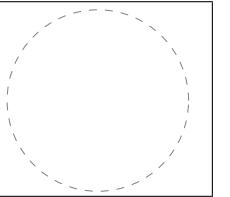
- 1. Определение времени покрытия Титана **3 балла**  
 Если не учтён размер Титана (время около 21700), оценка за этап уменьшается на 2 балла.
- 2. Определение расстояния до Сатурна в противостоянии **1 балл**
- 3. Определение времени прохождения света от КА до Земли **2 балла**  
 Не обязательно учитывать время прохождения сигналом радиуса орбиты Титана.
- 4. Учёт факта, что сигналу нужно пройти туда и обратно **1 балл**
- 5. Выражение для величины задержки времени и получение ответа **1 балл**

Максимальная оценка за задачу **8 баллов.**

*(В. Б. Игнатьев)*

**Задача 2**

На следующий день после тура, 5 февраля, будет полнолуние. Нарисуйте, как будет выглядеть Луна в указанные даты текущего года для наблюдателя в России. Поясните свой выбор. Неосвещённую часть Луны закрасьте, освещённую оставьте незакрашенной. Если Луна полностью освещена, просто обведите кружок.

					
5 февраля	13 февраля	20 февраля	7 марта	27 апреля	31 декабря

**Решение.** В полнолуние Луна находится в противоположной от Солнца стороне небесной сферы, а её диск полностью освещён. Поэтому для 5 февраля рисуем незакрашенный диск Луны.

Полнолуние, как и прочие фазы Луны, повторяется один раз за 29 или 30 суток. Через 30 суток после 5 февраля будет 7 марта, то есть снова полнолуние, а значит, в ячейке 7 марта должен быть незакрашенный кружок.

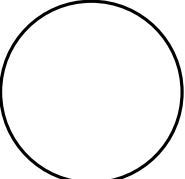
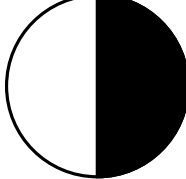
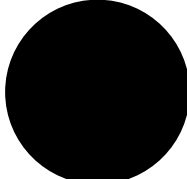
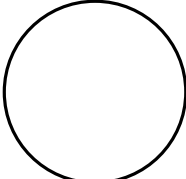
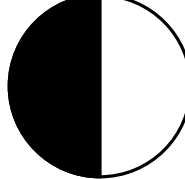
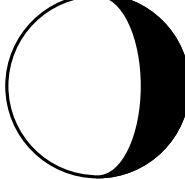
Примерно посередине между двумя полнолуниями, когда Луна сделает половину оборота относительно Солнца, она окажется на небе рядом с Солнцем и будет обращена к нам полностью неосвещённой стороной. Следовательно, для 20 февраля рисуем полностью закрашенный

кружок.

13 февраля примерно посередине между полнолунием и новолунием. В этот день будет наблюдаться третья (последняя) четверть, то есть будет видна освещённая левая (восточная) половина Луны.

Между 7 марта и 27 апреля всего 51 день, то есть месяц и примерно три недели. За это время Луна пройдёт последовательно последнюю четверть, новолуние и окажется в первой четверти, когда освещена её правая часть.

Чтобы ответить на последний вопрос задачи, заметим, что от 31 декабря 2022 года до 5 февраля 2023 года  $31 + 5 = 36$  суток. Поскольку 2023 год не високосный, то до 31 декабря  $365 - 36 = 329$  дней. Поскольку это уже довольно длинный интервал, то недостаточно использовать для длины лунного месяца интервал 29 или 30 дней. В среднем лунный месяц длится 29.5 дней, поэтому до 31 декабря остается  $329/29.5 \approx 11.15$  месяцев. Спустя 11 месяцев произойдет новое полнолуние. Следующая за ним третья четверть произойдет через 11.25 месяцев. Значит, 31 декабря будет убывающая фаза Луны примерно посередине между полнолунием и третьей четвертью.

					
5 февраля	13 февраля	20 февраля	7 марта	27 апреля	31 декабря

### Критерии проверки

Граница между светлой и тёмной частями Луны (терминатор) должна всегда проходить через две противоположные точки на краях диска. Этим фазы Луны отличаются от фаз лунного или солнечного затмений. Поэтому рисунки, на которых изображены «фазы затмений», не оцениваются.

Для определения вида лунного диска в будущем требуется провести рассуждения и/или вычисления. Поэтому за ответ без подобных пояснений выставляется не более 1 балла при правильно выполненном п.1.

1. Понимание, что в полнолуние Луна освещена полностью, **1 балл**  
или правильно нарисована фаза для 5 февраля
2. Период смены фаз — 29 или 30 дней **1 балл**
3. Правильно нарисованы фазы, кроме 5 февраля и 31 декабря **по 1 балу**
4. Правильно нарисована фаза для 31 декабря **2 бала**  
Достаточно, чтобы было явно видно, что участник изображает фазу между полнолунием и третьей четвертью.

Максимальная оценка за задачу **8 баллов**.

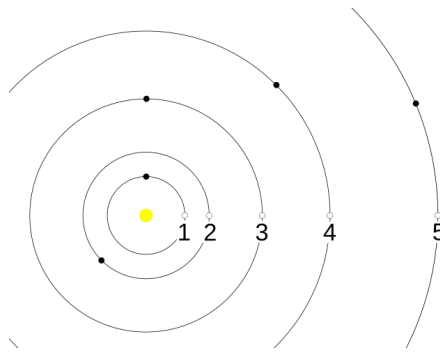
(Е. Н. Фадеев)

### Задача 3

Вокруг далёкой звезды по круговым орбитам движутся пять планет с периодами 1, 2, 5, 10 и 20 лет. На третьей от звезды планете живёт разумная цивилизация, которая основала свои базы на оставшихся четырёх планетах. Все планеты оснащены такими средствами связи, что могут общаться друг с другом недолго только в моменты максимального сближения. В некоторый момент времени все планеты выстроились в одну линию по одну сторону от звезды, но сразу после окончания сеансов связи на главной планете произошло Очень Важное Событие. Определите, в каком порядке новость будет облетать планеты и за какое время об этом Событии смогут узнать на всех планетах?

**Решение.** Планеты, внешние по отношению к третьей, движутся заметно медленнее неё. Поэтому третья планета их догонит, но произойдёт это спустя оборот, то есть больше, чем за пять лет. Внутренние же планеты завершают свой оборот вокруг звезды существенно раньше. Самая быстрая планета – первая, она и узнает новость первой.

За 5 лет третья планета совершает 1 оборот, а первая – пять. Значит, за это время первая планета обгонит пятую 4 раза. Тогда первый раз она её догонит через  $\frac{5}{4} = 1.25$  года. Сделаем рисунок, на котором укажем начальное положение планет и их положение на момент первой встречи 1-ой и 3-ей планет.



Планета 3 к этому моменту времени успевает совершить четверть оборота, планеты 4 и 5, соответственно, — в 2 и 4 раза меньшую часть своего оборота, а планета 2 — больше половины оборота ( $\frac{5}{8}$ , но это не слишком важно). Планеты 1 и 2 обмениваются новостями раз в два года, когда располагаются в тех же позициях, в которых были сначала. После этого 1-я планета догонит последовательно 5-ю, а затем и 4-ю планеты. Таким образом, получаем последовательность распространения новости: 1 – 2 – 5 – 4.

Определим, как часто оказываются на минимальном расстоянии 1-я и 4-я планеты. За 10 лет четвертая планета совершает 1 оборот, а первая – 10. Значит, за это время они встречаются 9 раз. То есть период составляет  $\frac{10}{9}$  года. Новость дойдёт до четвертой планеты после завершения второго витка первой планетой, то есть через  $2 \cdot \frac{10}{9} \approx 2.2$  года.

#### Критерии проверки

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Определение правильного порядка планет                 | 4 балла |
| 2. Правильное определение времени распространения новости | 4 балла |

Максимальная оценка за задачу **8 баллов**.

(Е. Н. Фадеев)

#### Задача 4

Путешественник объехал вокруг света за 100 дней, выехав из Москвы и посетив последовательно Дели, Пекин, Нью-Йорк и Мадрид. Какими были дата и день недели на календаре в Москве в день возвращения, если он выехал в воскресенье 1 декабря 2019 года?

**Решение.** В декабре 31 день, в январе тоже 31 день. 2020 год был високосным, поэтому в феврале 29 дней. Получаем, что спустя 100 дней будет 10 марта.

Определим теперь день недели. Разделим 100 на 7 с остатком и получим 14 с остатком 2. Значит прошло 14 полных недель и еще 2 дня. Поскольку путешественник выехал в воскресенье, вернётся он во вторник.

Судя по посещённым местам, путешественник двигался на восток. Значит, он двигался по вращению Земли и в Москве прошло на 1 день меньше. То есть путешественник вернулся в понедельник 9 марта.

#### Критерии проверки

1. Определение даты прибытия 10 марта **2 балла**  
Если участник не учёл, что 2020 год был високосным и получил 11 марта, оценка за этап снижается до 1 балла, в остальных случаях — до 0 баллов.
2. Вычисление дня недели (вторник) **3 балла**
3. Определение направления движения путешественника **1 балл**
4. Верный учёт поправки в дату и день недели **по 1 баллу**  
Ответ без решения «вторник 10 марта» оценивается 1 баллом, «понедельник 9 марта» — 2 баллами.

Максимальная оценка за задачу **8 баллов**.

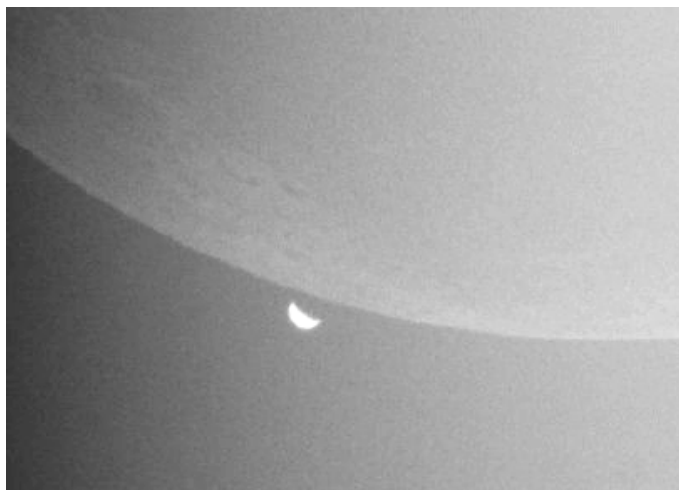
*(Е. Н. Фадеев)*

### Задача 5

На фотографии, полученной в средних широтах северного полушария, показано начало покрытия Венеры Луной. Изображение на фотографии не зеркальное, зенит сверху. С помощью этой фотографии и прилагающейся звёздной карты, где Венера отмечена символом ★ (см. следующую страницу), ответьте на следующие вопросы.

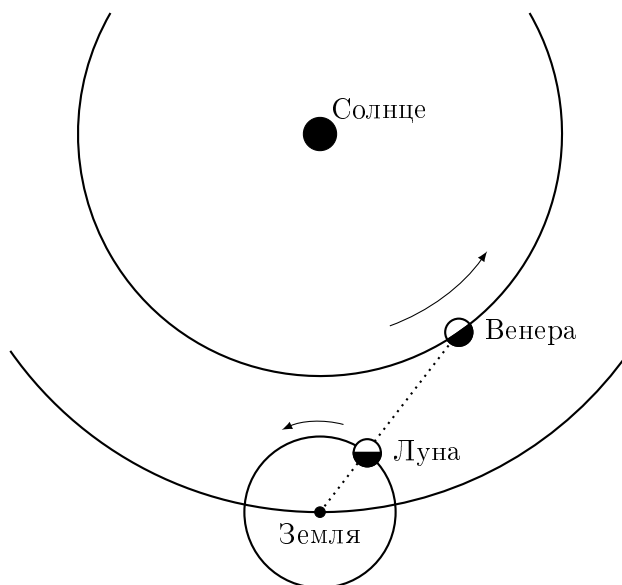
1. У Луны или Венеры доля освещённой части видимого диска больше?
2. В какое время суток были наилучшие условия видимости Венеры в те дни?
3. Подпишите созвездия, попавшие на карту целиком, в которых бывает Солнце.
4. В какое время года произошло покрытие?
5. Как изменялись видимый размер диска Венеры и доля его освещённой части в следующие несколько месяцев после покрытия?
6. Обведите на карте самую яркую звезду. Напишите названия звезды и созвездия, в котором она находится.

Обязательно поясните каждый из своих ответов.



### Решение.

1. Серп Луны более тонкий, чем серп Венеры. Удобнее всего это пояснить с помощью чертежа (см. следующую страницу). Солнце освещает как половину Венеры, так и половину Луны, однако Луна располагается гораздо ближе к линии Солнце-Земля, поэтому к нам обращена большая по сравнению с Венерой доля неосвещённой стороны.
2. Судя по расположению серпа Венеры, Солнце освещает его слева снизу, то есть Солнце находится восточнее. Тогда Венера восходит и заходит раньше Солнца, а значит, удобнее её наблюдать утром до восхода Солнца.
3. Целиком видны созвездия Скорпион, Змееносец, Стрелец и Козерог. Немного не поместился уголок созвездия Водолея. На краях карты видны Рыбы, Весы и Дева. На карте для ясности проведена линия эклиптики, вдоль которой перемещается Солнце в течение года (от участников не требовалось).
4. Венера никогда не удаляется от Солнца дальше  $46^\circ$ . На максимальном удалении у Венеры видна только половина освещённого диска. На фотографии мы видим чуть менее половины диска Венеры. Можем сделать вывод, что Солнце находится либо в Козероге, либо, скорее, в Водолее. В обоих этих созвездиях Солнце бывает в конце зимы.



5. Венера движется по орбите быстрее Земли. Значит, в данный момент она удаляется от Земли. В ближайшее после покрытия время её видимый размер уменьшится, но при этом мы будем видеть всё более полный диск планеты.
6. На карте можно найти звезду Вега в созвездии Лиры. Это пятая по яркости звезда на небе после Сириуса, Канопуса, альфы Центавра и Арктура, которые на карту не попали.

### Критерии проверки

1. Ответ на первый вопрос и объяснение **2 балла**
2. Указание времени суток и объяснение **1 балл**
3. Правильно указаны на карте все 4 созвездия, видимые целиком **2 балла**  
Правильно указаны 3 или 2 созвездия — 1 балл. Верные или неверные лишние созвездия снижают оценку за этот пункт на 1 балл каждое. Исключение: Водолей, Рыбы, Весы и Дева, если они отмечены правильно.  
Если созвездия не указаны на карте, а только перечислены в бланке ответов, ответ не засчитывается.
4. Указание времени года и объяснение **2 балла**
5. Правильное описание изменения видимого размера и фазы Венеры **по 1 баллу**
6. Правильная отметка на карте, название ячайшей звезды и её созвездия **по 1 баллу**  
Ответы на вопросы 1, 2, 4, 5 без объяснений не засчитываются.

Максимальная оценка за задачу **12 баллов**.

(Е. Н. Фадеев)

