

Тренерский штаб сборной России по астрономии и астрофизике  
Методическая комиссия олимпиады школьников по астрономии имени В. Я. Струве



# **V Олимпиада школьников по астрономии имени В. Я. Струве**

**Региональный этап**

*День первый*

---

**Задания, решения и критерии оценивания**

Москва  
2026

# Содержание

<b>Общие указания для жюри</b>	<b>2</b>
Характеристика комплекта заданий . . . . .	2
Организация работы жюри и подведение итогов . . . . .	2
Принципы оценивания олимпиадных работ . . . . .	3
<b>7 класс</b>	<b>5</b>
7.1 Остров невезения . . . . .	6
7.2 Далёкий Странник . . . . .	8
7.3 Может, чаю? . . . . .	10
7.4 Краденое Солнце . . . . .	12
7.5 Солнечный парад земной группы . . . . .	16
<b>8 класс</b>	<b>20</b>
8.1 Лунный день календаря . . . . .	21
8.2 О боже, какая частица! . . . . .	23
8.3 Краска на водной основе . . . . .	25
8.4 Встаньте, звёзды, встаньте в круг . . . . .	27
8.5 Солнечный парад земной группы . . . . .	31
<b>Справочные данные</b>	<b>36</b>

## Общие указания для жюри

### Характеристика комплекта заданий

Региональный этап олимпиады в 2026 году проводится в два письменных тура. Комплект содержит по 8 задач для участников каждого класса.

День (тур)	Задачи	За задачу	Всего
Первый (теоретический)	№ 1–5	16 баллов	80
Второй (практический)	№ 6–8	20 баллов	60
Максимальный результат			140

### Организация работы жюри и подведение итогов

1. Жюри осуществляет деятельность в соответствии с пунктом 18 Положения об олимпиаде и пунктами 23–30 Регламента организации и проведения регионального этапа олимпиады. Эти документы опубликованы на сайте олимпиады [struve.astroedu.ru](http://struve.astroedu.ru).

2. Член жюри, ответственный за проверку какой-либо задачи, для обеспечения единообразия проверки должен проверить её решение у *всех* участников соответствующего класса.

3. Каждая задача проверяется *независимо* двумя членами жюри.

Для определения окончательной оценки проверявшие задачу члены жюри проводят совместное обсуждение работ, по оценке которых возникли разногласия. Если устранить разногласия не удалось, решение принимает председатель жюри. При расхождении на 1 балл допустимо считать окончательной наибольшую из оценок без дополнительного обсуждения.

В протокол жюри вносится *одна* согласованная оценка за задачу — целое число.

4. До подведения итогов олимпиады жюри обязано провести показ работ (по запросам участников) и рассмотреть апелляции о несогласии с выставленными баллами.

Рассмотрение апелляции проводится в спокойной и доброжелательной обстановке. Изменение баллов в ходе процедуры апелляции не является «браком» в работе жюри!  
*Каждый может ошибаться.*

5. Жюри определяет победителей и призёров олимпиады в пределах квоты, установленной региональным организатором, исходя из распределения результатов участников каждого класса в отдельности.

Рекомендуется избегать ситуаций, когда граница между участниками с разным статусом проводится при небольшой разнице итоговых баллов.

При определении победителей и призёров крайне рекомендуется исходить исключительно из относительного распределения результатов участников, без оглядки на потенциально возможный максимальный результат. В частности, Положением об олимпиаде *не предусмотрены ограничения* для признания победителем или призёром олимпиады участника, набравшего менее 50 % от максимума.

## Принципы оценивания олимпиадных работ

1. Правильное решение оценивается полным баллом, при этом оно не обязано повторять авторское буквально или логически. Частично верное или совершенно неверное решение оценивается соответственно частичным баллом или нулём.

2. Решение участника разбивается на логические элементы (шаги). Каждый из шагов оценивается независимо в соответствии с критериями, приведёнными после авторского решения задачи. Оценка за задачу равна сумме оценок за каждый из критериев. За каждый из критериев выставляется *целая неотрицательная* оценка. Если критерием предусмотрен штраф, он применяется к полной оценке за критерий. Штрафы в пределах одного критерия складываются\*.

3. Каждый критерий оценивается независимо. За одну и ту же ошибку участник не может быть «наказан» дважды.

Так, если критерии подразумевают выполнение последовательности действий и участник допускает ошибку, оценка снижается только за соответствующий шаг, а последующие результаты должны пересчитываться и оцениваться так, будто промежуточный ответ был правильным.

*Исключение:* если участник получил и проигнорировал заведомо абсурдный ответ (конечный или промежуточный), оценка снижается за все связанные критерии вплоть до нуля.

---

\* Например, если критерий в 3 балла подразумевает вычисление некоторой величины (3 балла), и при этом участник допускает арифметическую ошибку (–1 балл), то итоговая оценка за этот критерий составляет 2 балла.

4. Оригинальные решения, не совпадающие с авторскими, оцениваются по аналогии, если в них возможно выделить аналогичные шаги.

Решение участника может оказаться более эффективным, чем авторское. В таком случае «выпадающие» критерии оцениваются в полном объёме.

5. Если участник совершает ошибку, не предусмотренную в критериях, член жюри самостоятельно определяет величину штрафа.

Оценка *не снижается* за плохой почерк, помарки, недостатки оформления и прочие не относящиеся к сути решения участника элементы, но может быть снижена за запись численных ответов с заведомо абсурдной точностью.

6. Для выставления справедливой оценки необходимо учесть *всю проделанную участником работу*. Некоторые правильные идеи и догадки, имеющие отношение к корректному решению задачи, могут быть оценены суммарно в 1–2 балла даже при отсутствии конкретных продвижений.

7. Не оцениваются элементы, не имеющие отношения к решению конкретной задачи: отвлечённые факты и произвольные формулы. Однако если правильное решение содержит необязательные дополнения и комментарии с грубыми физическими и астрономическими ошибками, оценка может быть снижена.

8. Члены жюри могут обратиться за консультацией в методическую комиссию олимпиады по адресу **struve@astroedu.ru**.

7 класс.  
День первый



## 7.1 Остров невезения

Вроде не бездельники, и могли бы жить.  
Им бы понедельник взять и отменить! [...]  
Ребятня и взрослые пропадают зря.  
На проклятом острове нет календаря!

*Из к/ф «Бриллиантовая рука»,  
муз. А. Зацепина, сл. Л. Дербенёва*

В известной советской песне все беды жителей некоторого острова объясняются существованием понедельников. Представим себе, что однажды на остров всё-таки попал календарь, а понедельники были отменены.

- Сколько полных недель будет в календарном году, если неделя будет состоять из 6 дней, а продолжительность года не изменится?
- Предположим, что 1 января по новому островному календарю было четвергом. Каким днём недели будет 1 января следующего года?

### Возможное решение:

а) В обычном календаре неделя состоит из 7 дней. После отмены понедельников в неделе останется 6 дней. Продолжительность календарного года при этом остаётся прежней: 365 дней для невисокосного года и 366 дней для високосного.

Чтобы определить количество полных недель в году, разделим продолжительность года на продолжительность одной недели. В случае невисокосного года получаем  $365 : 6 = 60\frac{5}{6}$ . Значит, в таком году **60 полных недель** и ещё 5 дней.

Аналогично, для високосного года  $366 : 6 = 61$ , то есть он содержит ровно **61 полную неделю**.

б) Предположим, что рассматриваемый год был високосным. Так как високосный год содержит в себе целое количество недель, то сдвига дней недели относительно дат в следующем году не произойдёт. Таким образом, 1 января следующего года снова будет **четвергом**.

Если же год был обычным, невисокосным, то 1 января следующего года наступит на 1 день «раньше» — то есть придёт **на среду**.

### Ответы:

Год	Полных 6-дневок	1 января $N$ -го года	1 января $(N + 1)$ -го года
Невисокосный	<b>60</b>	четверг	<b>среда</b>
Високосный	<b>61</b>	четверг	<b>четверг</b>

**Критерии оценивания:**

- (а) Количество полных недель ..... 8**
- а1. Продолжительность календарного года — 365 или 366 суток ..... 1 + 1
- Если в решении используется средняя продолжительность года: календарного (365.2425 сут.  $\approx$  365.25 сут.), тропического (365.2422 сут.) или сидерического (365.2563 сут.  $\approx$  365.26 сут.), баллы выставляются как за рассмотрение случая невисокосного года.
- а2. Невисокосный год: расчёт + ответ ..... 2 + 1
- а3. Високосный год: расчёт + ответ ..... 2 + 1
- (б) День недели 1 января ( $N + 1$ )-го года ..... 8**
- В полной мере оцениваются все разумные обоснования, в том числе и более сложные, чем авторское (например, рассмотрение остатков по модулю 6 и т. п.).*
- б1. Невисокосный год: обоснование + ответ ..... 2 + 2
- б2. Високосный год: обоснование + ответ ..... 2 + 2
- Всего ..... 16**

## 7.2 Далёкий Странник

5 сентября 1977 года состоялся запуск космического зонда «Вояджер-1» (*Voyager-1*; буквально — «Странник-1»). Его основная миссия заключалась в исследовании Юпитера и Сатурна. Последняя научная задача «Вояджера-1» — исследование окраин гелиосферы, где солнечный ветер сталкивается с межзвёздной средой. В 2012 году зонд вышел в межзвёздное пространство, а к концу 2026 года удалится от Земли на расстояние в 1 световой день.

- Выразите 1 световой день в километрах.
- Вычислите среднюю скорость движения «Вояджера-1» с 1977 по 2026 год, считая движение прямолинейным на протяжении всего пути. Выразите ответ в км/с.

### Возможное решение:

- По аналогии со световым годом, световой день — это расстояние, которое свет преодолевает в вакууме за одни сутки:

$$L = c \times 1 \text{ сут.} = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с} \times \underbrace{24 \times 60 \times 60 \text{ с}}_{1 \text{ сут.} = 24 \text{ ч}; 1 \text{ ч} = 60 \text{ мин}; 1 \text{ мин} = 60 \text{ с}} = 2.59 \cdot 10^{13} \text{ м} \approx \mathbf{2.6 \cdot 10^{10} \text{ км.}}$$

$$1 \text{ сут.} = 24 \text{ ч}; 1 \text{ ч} = 60 \text{ мин}; 1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$$

- Согласно условию задачи расстояние до зонда составит  $L = 1$  св. день к концу 2026 года. Продолжительность движения составит

$$t \approx (2026 - 1977) \text{ г} = 49 \text{ лет} = 49 \times \underbrace{365.25 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ с}}_{1 \text{ г} = 365.25 \text{ сут.}; 1 \text{ сут.} = 24 \times 60 \times 60 \text{ с}} \approx 1.55 \cdot 10^9 \text{ с.}$$

$$1 \text{ г} = 365.25 \text{ сут.}; 1 \text{ сут.} = 24 \times 60 \times 60 \text{ с}$$

Более точный расчёт (с точностью до месяцев или даже суток) с учётом формулировки «к концу года» и используемого прямолинейного приближения не требуется.

$$\text{Средняя скорость «Вояджера-1» } \bar{v} = \frac{L}{t} = \frac{2.6 \cdot 10^{10} \text{ км}}{1.55 \cdot 10^9 \text{ с}} = 16.7 \text{ км/с} \approx \mathbf{17 \text{ км/с.}}$$

Альтернативно, можно заметить, что аппарат преодолел расстояние в 1 световой день чуть больше, чем за 49 лет =  $49 \times 365.25 \text{ сут.} \approx 1.8 \cdot 10^4 \text{ сут.}$  По определению светового дня свет пролетает такое расстояние за сутки. Значит, средняя скорость  $\bar{v}$  аппарата пропорционально меньше скорости света:

$$\bar{v}t = c \times 1 \text{ сут.} \quad \implies \quad \bar{v} = \frac{c}{t/1 \text{ сут.}} = \frac{3.0 \cdot 10^5 \text{ км/с}}{1.8 \cdot 10^4} \approx 17 \text{ км/с.}$$

**Критерии оценивания:**

<b>(а) Световой день</b> .....	<b>7</b>
а1. Понимание, что такое световой день .....	3
<i>Может быть не указано явно, но использоваться в контексте решения.</i>	
а2. Корректное вычисление $L$ в любых единицах.....	3
• <i>За каждую лишнюю значащую цифру, начиная с 4-й ..... -1, но не меньше 0 баллов за критерий а2.</i>	
а3. Результат выражен в километрах.....	1
<i>Балл выставляется, если</i>	
• <i>вычисление произведено и физически адекватно;</i>	
• <i>единицы преобразованы корректно (вне зависимости от совпадения ответа с верным) либо результат сразу получился в километрах.</i>	
<b>(б) Вычисление скорости</b> .....	<b>9</b>
б1. Вычисление продолжительности полёта в любых единицах.....	3
• <i>Арифметическая ошибка.....-2</i>	
б2. Корректный метод расчёта скорости.....	3
<i>Достаточно формульной записи.</i>	
б3. Корректное вычисление $\bar{v}$ в любых единицах.....	3
• <i>Результат не выражен в км/с ..... -2</i>	
• <i>За каждую лишнюю значащую цифру, начиная с 4-й ..... -1, но не меньше 0 баллов за критерий б3.</i>	
<i>Вычисление <math>\bar{v}</math> основывается на ранее полученных результатах.</i>	
<b>Всего</b> .....	<b>16</b>

### 7.3 Может, чаю?

Концентрация молекул воды во внегалактическом водном мегамазере составляет  $10^8$  частиц/см<sup>3</sup>. Какой объём мегамазера (в км<sup>3</sup>) нужно «вычерпать», чтобы собрать столько же воды, сколько в земных условиях содержится в чайнике объёмом 2 литра?

*Подсказка:* масса молекулы воды  $m_0 \approx 18$  масс протона  $m_p$ .

*Примечание.* Мазер — источник вынужденного микроволнового излучения, подобного используемому в связи (Bluetooth, Wi-Fi), навигации (GPS, ГЛОНАСС) или в микроволновых печах. Мегамазер — очень яркий астрофизический мазер.

**Возможное решение.** Чайник заполнен водой плотностью  $\rho = 1 \text{ г/см}^3 = 1000 \text{ кг/м}^3 = 1 \text{ кг/л}$ , ведь  $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$ .

В 2-литровом чайнике  $M = 2 \text{ л} \times 1 \text{ кг/л} = 2 \text{ кг}$  воды, что соответствует количеству молекул

$$N = \frac{M}{m_0} = \frac{M}{18m_p} = \frac{2 \text{ кг}}{18 \times 1.673 \cdot 10^{-27} \text{ кг}} \approx 7 \cdot 10^{25}.$$

Вычислим объём  $V$  области мегамазера, содержащей такое же количество молекул  $N$  воды, с учётом заданной концентрации  $n = 10^8 \text{ см}^{-3}$ :

$$N = nV \quad \Rightarrow \quad V = \frac{N}{n} \approx \frac{7 \cdot 10^{25}}{10^8} \text{ см}^3 = 7 \cdot 10^{17} \text{ см}^3.$$

Полученный объём необходимо выразить в км<sup>3</sup>. Для этого воспользуемся соотношением

$$\frac{1 \text{ см}^3}{1 \text{ км}^3} = \left( \frac{1 \text{ см}}{1 \text{ км}} \right)^3 = \left( \frac{1 \text{ см} : 1 \text{ м}}{1 \text{ км} : 1 \text{ м}} \right)^3 = \left( \frac{1}{100 \times 1000} \right)^3 = 10^{-15}.$$

Значит,

$$V \approx 7 \cdot 10^2 \text{ км}^3.$$

**Критерии оценивания:**

<b>(x) Масса воды в чайнике</b> .....	<b>2</b>
<i>Достаточно корректного указания величины (2 кг или 2000 г).</i>	
<b>(y) Количество молекул воды</b> .....	<b>6</b>
y1. Верная формула для $N$ (явная или сразу с подстановкой чисел) .....	3
y2. Корректное вычисление $N$ с точностью не хуже 10% .....	3
• Ошибка в порядке величины при верной мантиссе, если ответ при этом не стал заведомо абсурдным .....	-2
<b>(z) Объём мегамазера для «вычерпывания»</b> .....	<b>8</b>
z1. Верная формула для $V$ (явная или сразу с подстановкой чисел) .....	3
z2. Корректное вычисление $V$ в любых единицах, точность не хуже 20% ..	3
• Ошибка в порядке величины при верной мантиссе, если ответ при этом не стал заведомо абсурдным .....	-2
• За каждую лишнюю значащую цифру, начиная с 3-й .....	-1,
но не меньше 0 баллов за критерий z2.	
z3. Результат выражен в км <sup>3</sup> .....	2
<i>Баллы выставляются, если</i>	
• вычисление произведено и физически адекватно;	
• единицы преобразованы корректно (вне зависимости от совпадения ответа с верным) либо результат сразу получился в км <sup>3</sup> .	
<b>Всего</b> .....	<b>16</b>

## 7.4 Краденое Солнце

Но бессовестный смеётся / Так, что дерево трясётся:  
«Если только захочу, / И луну я проглочу!»

*К. И. Чуковский, «Краденое солнце»*

Перед вами фрагмент известной иллюстрации к стихотворению Корнея Чуковского.



Рис. 1: Горе! Горе! Крокодил / Солнце в небе проглотил!

Иллюстрация Ю. Васнецова. Фрагмент изображения адаптирован для печати

Предположим, что угловой размер Солнца на изображении соответствует реальному, наблюдаемому с Земли.

- Запишите видимый угловой размер Солнца.
- Определите видимый угловой размер (длину) крокодила.
- Считается, что некоторые гигантские ископаемые виды крокодилов могли достигать 12 метров в длину. Исходя из этого, найдите максимально возможное расстояние до крокодила.
- Оцените линейный диаметр «солнца», проглоченного гигантским крокодилом.

### Возможное решение:

а) Угловой размер — это угол  $\rho$ , под которым объект с линейным размером (диаметром)  $D$  видит наблюдатель, находящийся на расстоянии  $r$  от этого объекта. Если угловой размер мал, дуга окружности радиуса  $r$ , соответствующая центральному углу  $\rho$ , неотличима от стягивающей её хорды (рис. 2).

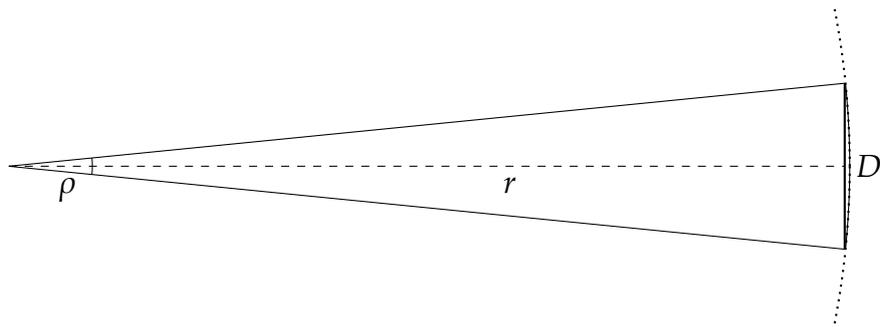


Рис. 2: К определению углового размера

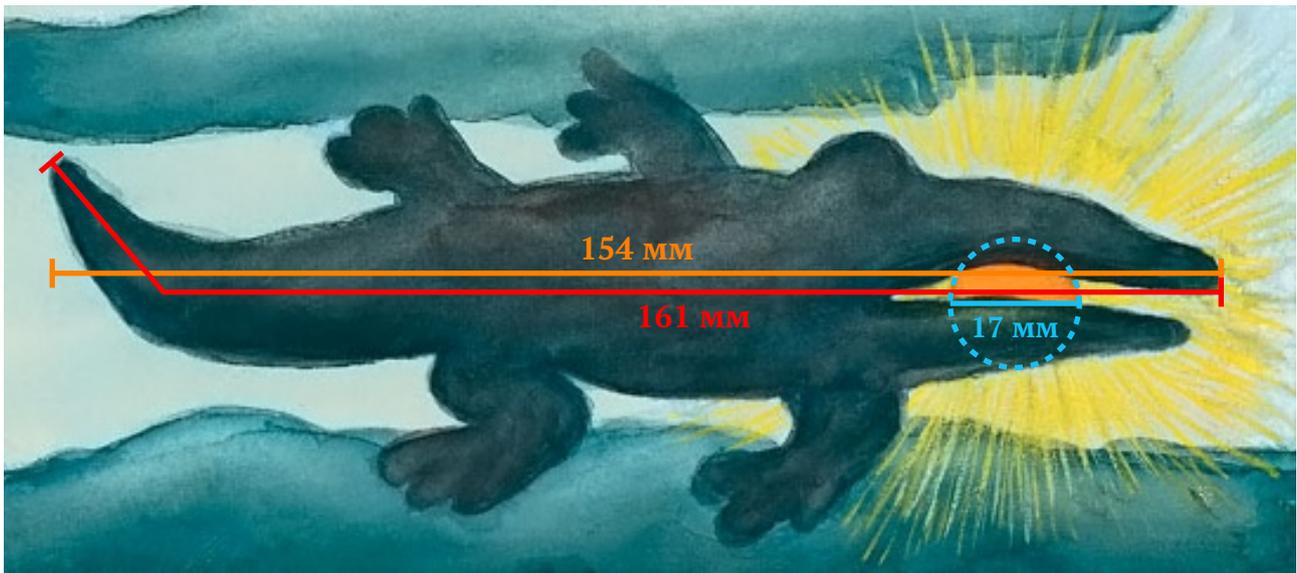


Рис. 3: Измерения крокодила и «солнца»

Иллюстрация Ю. Васнецова (фрагмент)

В таком случае отношение длины хорды к длине окружности примерно равно отношению углового размера к  $360^\circ$ :

$$\frac{D}{2\pi r} \approx \frac{\rho}{360^\circ}.$$

Угловой диаметр Солнца на земном небе составляет примерно  $0.5^\circ$ . Этот факт полезно помнить и допускается использовать без какого-либо вывода и доказательства.

При необходимости этот результат можно получить самостоятельно, исходя из диаметра Солнца  $D_\odot = 2R_\odot$  и 1 астрономической единицы, выраженной в километрах:

$$\rho_\odot = \frac{D_\odot}{1 \text{ а.е.}} \times \frac{360^\circ}{2\pi} \approx \frac{1.4 \cdot 10^6 \text{ км}}{1.5 \cdot 10^8 \text{ км}} \times \frac{360^\circ}{2\pi} \approx 0.53^\circ \approx 32'.$$

б) Угловые размеры объектов, изображённых на рисунке, пропорциональны их линейным размерам *на самом рисунке*. Измерим линейкой: диаметр «солнца» *на рисунке* равен 17 мм, крокодила — от 154 до 161 мм (в зависимости от учёта изгиба хвоста — см. рис. 3)<sup>†</sup>, то есть длина крокодила больше диаметра «солнца» в 9–10 раз.

Тогда угловой размер крокодила  $\rho_k$  равен

$$\rho_k = 32' \times \frac{16 \text{ см}}{1.7 \text{ см}} \approx 300' \approx 5^\circ.$$

в) Угловой размер крокодила фиксирован, поэтому наибольшему расстоянию будет соответствовать самый большой крокодил из возможных. Вновь используем соотношение между угловыми и линейными размерами, чтобы найти максимально возможное расстояние до крокодила:

$$r_k = \frac{D_k}{2\pi} \times \frac{360^\circ}{\rho_k} = \frac{12 \text{ м}}{2\pi} \times \frac{360^\circ}{5^\circ} \approx 140 \text{ м}.$$

г) Так как крокодил проглотил «солнце», очевидно, расстояния от наблюдателя (художника) до «солнца» и крокодила равны. Мы можем рассчитать диаметр «солнца»:

$$D_c = 2\pi r_k \times \frac{\rho_\odot}{360^\circ} = 2\pi \times 140 \text{ м} \times \frac{0.53^\circ}{360^\circ} \approx 1.3 \text{ м}.$$

Можно получить результат и другим способом: из равенства расстояний следует, что соотношения линейных размеров «солнца» и крокодила на рисунке и «в реальной жизни» равны. Поэтому из ранее сделанных измерений получаем:

$$D_c = 12 \text{ м} \times \frac{1.7 \text{ см}}{16 \text{ см}} \approx 1.3 \text{ м}.$$

### Критерии оценивания:

**(а) Угловой размер Солнца** ..... 2

Засчитывается ответ  $\in [30'; 33'] \equiv [0.5^\circ; 0.55^\circ]$  (в любых единицах).

Обоснование не требуется.

<sup>†</sup>Приведённые размеры соответствуют печати условия задачи на листе А4 с масштабом 100 %.

<b>(б) Угловой размер крокодила</b> .....	<b>4</b>
б1. Описание метода .....	1
б2. Измерения размеров на рисунке .....	2
• длина крокодила $\in [150; 165]$ мм .....	1
• диаметр «солнца» $\in [15; 19]$ мм .....	1
б3. Корректное вычисление ответа с точностью 10% .....	1
<i>Исходя из указанных участником результатов измерений и углового размера Солнца.</i>	
• <i>За каждую лишнюю значащую цифру, начиная с 4-й .....</i>	<i>-1,</i>
<i>но не меньше 0 баллов за критерий б3.</i>	
<b>(в) Максимальное расстояние до крокодила</b> .....	<b>6</b>
в1. Указание, что нужно рассматривать наибольшего крокодила .....	1
в2. Связь углового, линейного размеров и расстояния .....	2
<i>Любой разумный способ вычисления, в т. ч. для угла в радианах, с тригонометрическими функциями и т. д.</i>	
в3. Вычисление расстояния с точностью 15% .....	3
<i>Исходя из численных данных участника.</i>	
• <i>За каждую лишнюю значащую цифру, начиная с 4-й .....</i>	<i>-1,</i>
<i>но не меньше 0 баллов за критерий в3.</i>	
<b>(г) Линейный размер «солнца»</b> .....	<b>4</b>
г1. Описание метода .....	2
<i>Достаточно указания расчётных формул.</i>	
г2. Вычисление ответа с точностью 15% .....	2
<i>Исходя из численных данных участника.</i>	
• <i>За каждую лишнюю значащую цифру, начиная с 4-й .....</i>	<i>-1,</i>
<i>но не меньше 0 баллов за критерий г2.</i>	
<b>Всего</b> .....	<b>16</b>

**Рекомендуется проверить фактический масштаб печати!** Если условия были распечатаны не в 100-процентном масштабе, эталонные ответы во всех критериях, связанных с измерениями на рисунке, пересчитываются пропорционально.

## 7.5 Солнечный парад земной группы

В январе 2026 года состоялся примечательный «солнечный» парад планет: Меркурий, Венера и Марс сошлись на земном небе вблизи Солнца. Ниже представлены видимые положения планет относительно Солнца (рис. 4), а также расстояния от Земли до Меркурия и Венеры в различные дни (таблица 1).

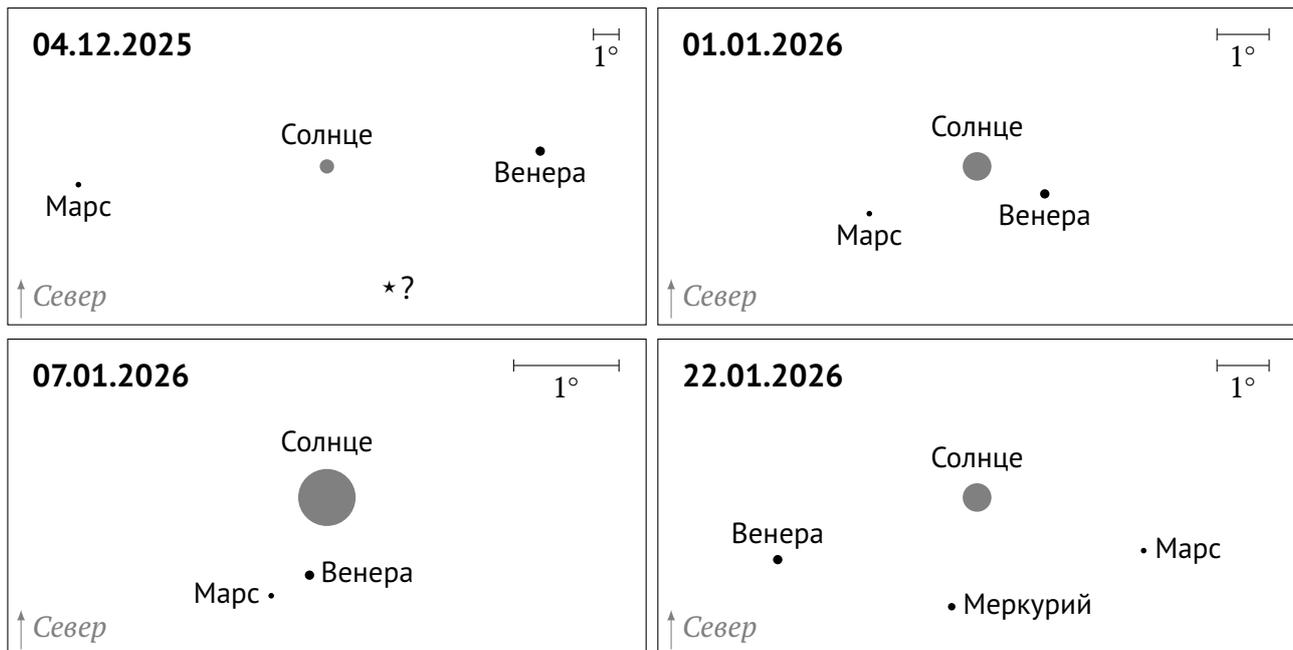


Рис. 4: Солнце и планеты земной группы на небе Земли в декабре 2025 — январе 2026

Таблица 1: Геоцентрические расстояния планет на дату

Дата	Расстояние, а. е.	
	Меркурий	Венера
04 декабря 2025 г.	0.95	1.72
01 января 2026 г.	1.38	1.71
07 января 2026 г.	1.42	1.71
22 января 2026 г.	1.41	1.71

- Определите, какие расстояния разделяли 7 января Землю и Венеру, Землю и Марс, Венеру и Марс. Орбиты Земли и Марса считайте круговыми.
- Диск Солнца на каждом «кадре» приведён в масштабе. Докажите, что размеры изображений планет на рис. 4 не отражают реальные размеры планет.
- Как называется яркая звезда, отмеченная знаком  $\star$  на «кадре» от 4 декабря? Какому созвездию она принадлежит?

**Возможное решение:**

а) 7 января Марс и Венера наблюдаются совсем недалеко от Солнца. Можно считать, что Солнце, Венера, Земля и Марс в этот день находятся практически на одной прямой.

Расстояние от Земли до Венеры приведено в таблице 1:  $r_{ЗВ} = 1.71 \text{ а. е.}$

С учётом того, что расстояние Земля — Венера больше 1 а. е., можем заключить, что Венера находится в дальней от Земли части своей орбиты.

Марс — внешняя планета. Значит, в наблюдаемой конфигурации он тоже находится «за Солнцем»:

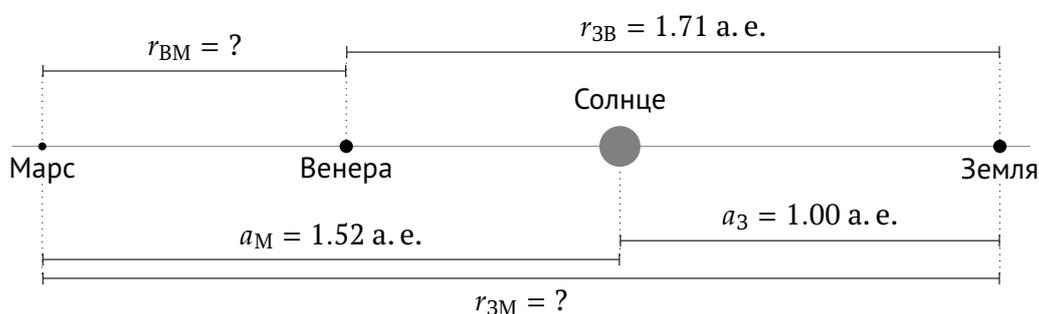


Рис. 5: Относительное расположение планет 7 января

Расстояние Земля — Марс  $r_{ЗМ} = a_{З} + a_{М} = 1.00 \text{ а. е.} + 1.52 \text{ а. е.} \approx 2.5 \text{ а. е.}$ ;

расстояние Венера — Марс  $r_{ВМ} = r_{ЗМ} - r_{ЗВ} = 2.52 \text{ а. е.} - 1.71 \text{ а. е.} \approx 0.8 \text{ а. е.}$

Если орбиту Венеры считать также круговой, можно оценить  $r_{ЗВ} \approx a_{З} + a_{В} = 1.00 \text{ а. е.} + 0.72 \text{ а. е.} = 1.72 \text{ а. е.}$ , что слегка отличается от значения в таблице. Погрешность вносят используемые нами приближения: орбиты планет не вполне круговые, не лежат в одной плоскости, да и сами планеты не лежат в точности на прямой. Такое расхождение смущать не должно.

б) Чтобы доказать, что размеры изображений планет на рис. 4 не соотносятся с их реальными размерами, **достаточно привести один ёмкий аргумент**. Обобщённо приведём два главных аргумента, имея в виду, что участники олимпиады могут привести и иные формулировки, в т. ч. комбинированные.

*Аргумент 1. Размеры изображений планет не связаны с угловым масштабом.*

Заметим, что размеры изображений попавших на все «кадры» Венеры и Марса одинаковы для каждого «кадра» — с точностью до той степени одинаковости, что способен воспринять глаз. В то же время размер диска Солнца (согласно условию он приводится в масштабе) существенно варьируется между кадрами: максимальный размер вчетверо больше минимального. Значит, размер изображения планеты

от углового масштаба картинке не зависит и видимый угловой размер планеты не характеризует. Расстояние от наблюдателя до планет не успело сколь-нибудь заметно измениться за декабрь 2025 г. — январь 2026 г., поэтому видимые угловые размеры Венеры и Марса должны, с учётом постоянства пространственных размеров, быть примерно одинаковыми на протяжении всего рассматриваемого периода наблюдений.

*Аргумент 2. Размеры изображений планет слишком велики по сравнению с Солнцем.*

Радиус Венеры в 115 раз меньше радиуса Солнца, причём для земного наблюдателя Венера находится дальше, чем Солнце. Следовательно, угловой размер Венеры должен быть меньше солнечного более чем в 100 раз и составлять (при печати условия задачи на листе А4) менее  $1 \text{ см} : 100 = 0.1 \text{ мм}$ . Марс и Меркурий меньше Венеры, так что на них тоже распространяется приведённая оценка возможного размера изображения. На рис. 4 изображения планет примерно на порядок больше.

*Примечание.* В действительности размеры изображений планет на рис. 4 примерно соотносятся с видимым блеском планет.

в) 4 декабря Солнце находится в позднем осеннем секторе эклиптики, подходя к точке зимнего солнцестояния, конкретнее — в созвездии Змееносца, над «телом» Скорпиона. Единственная достаточно яркая и хорошо известная звезда у эклиптики в этой области неба (рис. 6) — **Антарес ( $\alpha$  Скорпиона)**.

#### Критерии оценивания:

<b>(а) Расстояния между планетами</b> .....	<b>10</b>
а1. Расстояние от Земли до Венеры из таблицы 1 .....	2
а2. Вывод, что Венера и Марс «за Солнцем», или верный чертёж .....	2 + 2
а3. Расстояние от Земли до Марса: расчёт + ответ .....	1 + 1
а4. Расстояние от Венеры до Марса: расчёт + ответ .....	1 + 1
<b>(б) Размеры изображений планет</b> .....	<b>3</b>
<i>Засчитывается любой разумный аргумент.</i>	
<b>(в) Яркая звезда у эклиптики</b> .....	<b>3</b>
в1. Солнце в позднем осеннем секторе эклиптики .....	1
<i>Возможно указание конкретных созвездий: Змееносец, Скорпион, Стрелец.</i>	
в2. Звезда — Антарес .....	1
в3. Звезда в Скорпионе .....	1
<b>Всего</b> .....	<b>16</b>

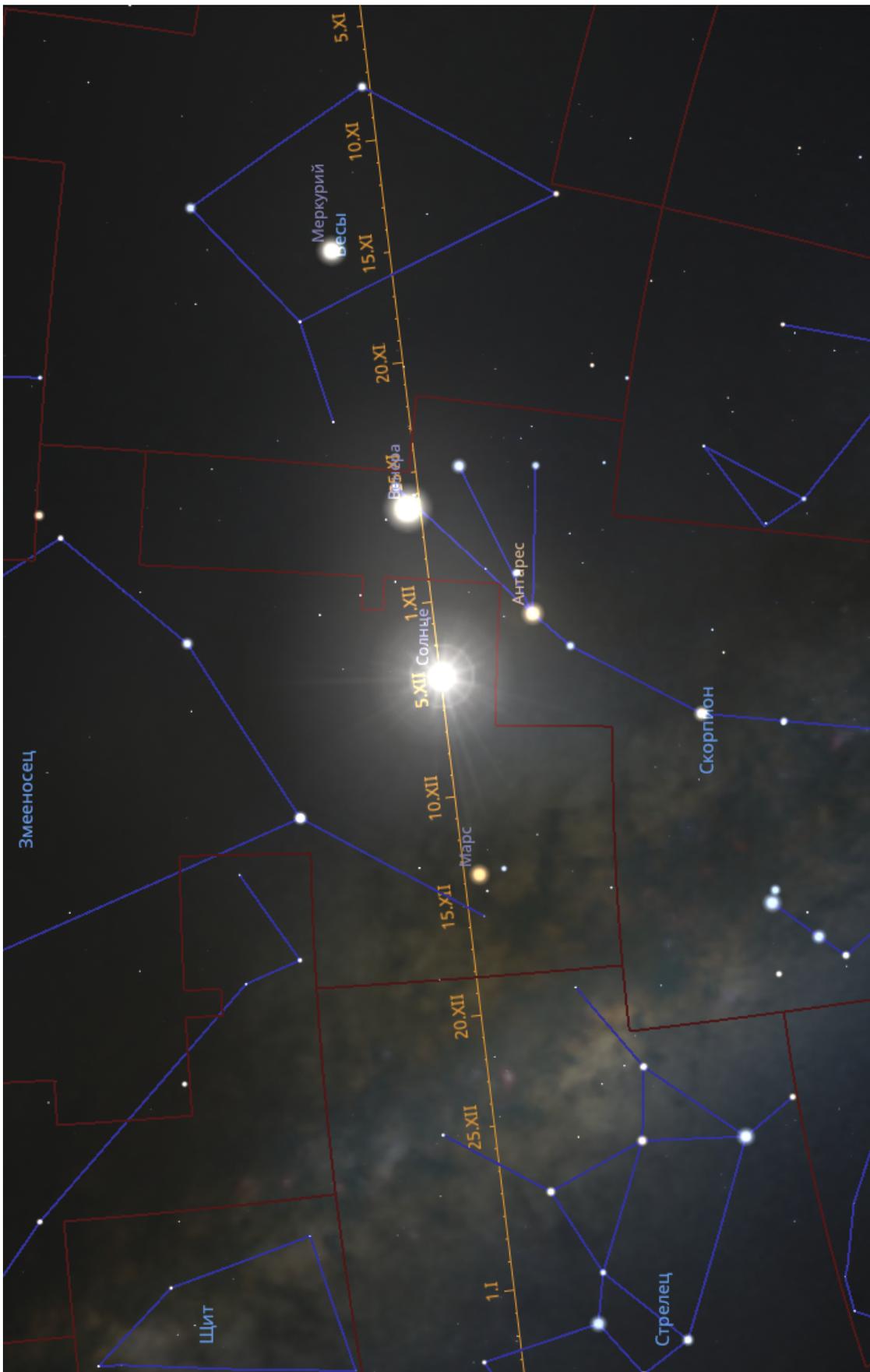


Рис. 6: Симуляция неба на 04 декабря 2025 г.  
 Отмечены эклиптика с датами прохождения Солнца, астеризмы и контуры созвездий. Антарес — снизу справа от Солнца;  
 восточнее Солнца — Марс (Змееносец), западнее — Венера (Скорпион) и Меркурий (Весы)

*8 класс.  
День первый*



## 8.1 Лунный день календаря

В полдень первой среды февраля наступило полнолуние. В марте на последнюю субботу месяца тоже пришлось полнолуние. Найдите даты (числа месяца), когда были полнолуния в феврале, марте и апреле.

**Возможное решение.** Промежуток времени между двумя последовательными полнолуниями — синодический месяц, 29.53 сут. = 29 сут. 12 ч 43 мин. (Отметим, что на самом деле имеющиеся данные не позволяют указать продолжительность периода с точностью *до минут*, так как 0.01 сут.  $\approx$  14 мин; «точное» значение приведено для удобства. От участников расчёт конкретного *времени* наступления каждого из полнолуний не требовался.)

Между первой средой февраля и последней субботой марта прошло два синодических месяца, то есть  $29.53 \text{ сут.} \times 2 = 59.06 \text{ сут.}$

*Невисокосный год.* Заметим, что суммарная продолжительность февраля в невисокосном году (28 суток) и марта (31 сутки) составляет  $28 + 31 = 59$  суток. Следовательно, даже если февральское полнолуние наступило 1 февраля, второе полнолуние после этого пришлось бы уже на апрель:

$$\begin{array}{l} \text{1-й месяц:} \quad 1 \text{ февраля, } 12:00 \xrightarrow{+28 \text{ сут.}} 1 \text{ марта, } 12:00 \xrightarrow{+1.53 \text{ сут.}} 3 \text{ марта, } 00:43 \rightarrow \\ \text{2-й месяц:} \quad \xrightarrow{+28 \text{ сут.}} 31 \text{ марта, } 00:43 \xrightarrow{+1.53 \text{ сут.}} \underline{1 \text{ апреля, } 13:26}. \end{array}$$

Следовательно, *год високосный*, и даже в таком случае первое полнолуние не могло наступить позже 1 февраля:

$$\begin{array}{l} \text{1-й месяц:} \quad 1 \text{ февраля, } 12:00 \xrightarrow{+29 \text{ сут.}} 1 \text{ марта, } 12:00 \xrightarrow{+0.53 \text{ сут.}} 2 \text{ марта, } 00:43 \rightarrow \\ \text{2-й месяц:} \quad \xrightarrow{+29 \text{ сут.}} 31 \text{ марта, } 00:43 \xrightarrow{+0.53 \text{ сут.}} 31 \text{ марта, } 13:26 \rightarrow \\ \text{3-й месяц:} \quad \xrightarrow{+1 \text{ сут.}} 1 \text{ апреля, } 13:26 \xrightarrow{+28 \text{ сут.}} 29 \text{ апреля, } 13:26 \rightarrow \\ \xrightarrow{+0.53 \text{ сут.}} 30 \text{ апреля, } 02:10. \end{array}$$

Перед тем, как дать итоговый ответ, необходимо удостовериться, что условие задачи выполнено в части дней недели, на которые пришлось соответствующие полнолуния. Два синодических месяца содержат 8 полных недель и ещё 3 дня ( $7 \times 8 + 3 = 59$ ).

Значит, по прошествии двух синодических месяцев после среды (3-й день недели) действительно наступит суббота (6-й день недели).

**Ответ:** 1 февраля, 2 марта, 31 марта, 30 апреля.

**Критерии оценивания:**

<b>(x) Исключение случая невисокосного года</b> .....	<b>6</b>
x1. Промежуток времени между полнолуниями — 29.53 сут. $\approx$ 29.5 сут.....	2
<i>Может быть сформулировано иначе, например, синодический месяц, цикл смены фаз и т. п.</i>	
x2. В конце марта произошло <b>третье</b> полнолуние .....	2
<i>Может быть сформулировано иначе, например, что прошло два цикла смены фаз, два лунных месяца и т. п.</i>	
x3. Это не мог быть невисокосный год.....	2
<b>(y) Рассмотрение случая високосного года</b> .....	<b>8</b>
y1. Первое полнолуние — строго 1 февраля (обоснование) .....	2
y2. Расчёт дат полнолуний в марте и апреле .....	2 + 2 + 2
<i>Засчитывается только точное совпадение ответов.</i>	
<b>(z) Проверка корректности</b> .....	<b>2</b>
<i>Показано, что условие задачи выполнено в части дней недели.</i>	
<b>Всего</b> .....	<b>16</b>

## 8.2 О боже, какая частица!

На детекторе космических лучей *High Resolution Fly's Eye* («Глаз мухи»), расположенном в штате Юта, 15 октября 1991 года была зарегистрирована частица космических лучей с энергией около 50 Дж. За столь невероятно огромную для элементарной частицы энергию она получила название *Oh-My-God* (OMG, «О боже мой!»).

- а) С какой скоростью должен лететь теннисный мяч, чтобы иметь такую же кинетическую энергию? Масса теннисного мяча составляет около 58 г. Ответ выразите в км/ч.
- б) Если OMG-частица была протоном, то её скорость была меньше скорости света всего на 1.5 фемтометра в секунду. На какое расстояние OMG-частица отстанет от фотона за время путешествия от Земли:
- до Альфы Центавра (расстояние — 4.4 световых года);
  - до Галактики Андромеды (2.5 млн световых лет)?

Подсказка: 1 фм =  $10^{-15}$  м.

### Возможное решение.

- а) Кинетическая энергия тела массы  $m$  при скорости  $v$  равна

$$E = \frac{mv^2}{2},$$

откуда

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}}.$$

Подставим  $E = 50$  Дж и  $m = 58$  г = 0.058 кг:

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 50 \text{ Дж}}{0.058 \text{ кг}}} \approx 41.5 \text{ м/с} \approx \mathbf{150 \text{ км/ч}}.$$

- б) Пусть  $c$  — скорость света,  $(c - \Delta v)$  — скорость OMG-частицы, где  $\Delta v = 1.5 \cdot 10^{-15}$  м/с. За время  $t$  фотон пролетит расстояние  $ct$ , а частица отстанет от него на расстояние

$$d = ct - (c - \Delta v)t = \Delta vt.$$

Световой год — это расстояние, которое свет проходит в вакууме за один год (вообще говоря, юлианский год — 365.25 сут.).

Время путешествия фотона  $t$  в годах численно равно расстоянию до соответствующего объекта в световых годах, то есть 4.4 года до  $\alpha$  Сеп и 2.5 млн лет до Галактики Андромеды.

За год частица отстаёт от фотона на

$$\Delta v \times 1 \text{ год} = 1.5 \cdot 10^{-15} \text{ м/с} \times (365.25 \times 24 \times 60 \times 60) \text{ с} = 4.7 \cdot 10^{-8} \text{ м.}$$

Отсюда получаем

$$d_{\alpha \text{ Сеп}} = 4.7 \cdot 10^{-8} \text{ м} \times 4.4 \approx 2 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 0.2 \text{ мкм},$$

$$d_{\text{М 31}} = 4.7 \cdot 10^{-8} \text{ м} \times 2.5 \cdot 10^6 \approx 1.2 \cdot 10^{-1} \text{ м} = 12 \text{ см.}$$

### Критерии оценивания:

- (а) Скорость мяча** ..... 6
- а1. Связь кинетической энергии, массы и скорости мяча ..... 2
- а2. Корректное вычисление скорости ..... 3
- За каждую лишнюю значащую цифру, начиная с 4-й ..... -1, но не меньше 0 баллов за критерий а2.
- а3. Результат выражен в км/ч ..... 1
- Балл выставляется, если*
- вычисление произведено и физически адекватно;
  - единицы преобразованы корректно (вне зависимости от совпадения ответа с верным) либо результат сразу получился в км/ч.
- (б) Отставание от фотона** ..... 10
- б1. Описание модели ..... 2
- Достаточно указания расчётных формул.*
- б2. Понимание, что такое световой год ..... 2
- Может быть не указано явно, но использоваться в контексте решения.*
- б3. Корректное вычисление для Альфы Центавра ..... 3
- За каждую лишнюю значащую цифру, начиная с 4-й ..... -1, но не меньше 0 баллов за критерий б3.
- б4. Корректное вычисление для Галактики Андромеды ..... 3
- За каждую лишнюю значащую цифру, начиная с 4-й ..... -1, но не меньше 0 баллов за критерий б4.
- Всего** ..... 16

### 8.3 Краска на водной основе

Начинающий астроном Вася узнал о существовании планет-океанов и хочет сконструировать модель такой планеты. Радиус моделируемой планеты составляет 9500 км, причём океан жидкой воды занимает внешние 100 км радиуса. Вася создает масштабную модель радиусом 6 см. Справедливо полагая, что слой жидкой воды на поверхности модели не удержится, Вася решает покрасить модель слоем синей краски так, чтобы толщина слоя пропорционально соответствовала «толщине» океана. Какую массу краски придётся использовать, если её плотность составляет  $1500 \text{ кг/м}^3$ ?

*Подсказка.* Объём шара радиуса  $R$  есть  $V = \frac{4\pi}{3}R^3$ , а площадь его поверхности  $S = 4\pi R^2$ , где  $\pi \approx 3.14$ .

**Возможное решение.** Толщина океана на настоящей планете  $h_0 = 100 \text{ км}$  при радиусе  $R_0 = 9500 \text{ км}$ . Модель имеет радиус  $R = 6 \text{ см}$ . Масштаб модели (коэффициент подобия)

$$k = \frac{R}{R_0} = \frac{6 \text{ см}}{9500 \text{ км}} = \frac{0.06 \text{ м}}{9.5 \cdot 10^6 \text{ м}} \approx 6.3 \cdot 10^{-9}.$$

Тогда требуемая толщина слоя краски на модели

$$h = 100 \text{ км} \cdot k = 1.00 \cdot 10^5 \text{ м} \times 6.3 \cdot 10^{-9} \approx 6.3 \cdot 10^{-4} \text{ м} \approx 0.63 \text{ мм}.$$

Поскольку  $h \ll R$ , объём слоя краски можно оценить как объём тонкой сферической оболочки:

$$V \approx Sh = 4\pi R^2 h = 4\pi \times (0.06 \text{ м})^2 \times 6.3 \cdot 10^{-4} \text{ м} \approx 2.9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Можно рассчитать объём и как разность объёмов двух шаров с близкими радиусами:

$$V = \frac{4\pi}{3}R^3 - \frac{4\pi}{3}(R-h)^3 = \frac{4\pi}{3} [3R^2h - 3Rh^2 + h^3].$$

Если на этом этапе оставить только первое слагаемое в скобках, пренебрегая после вынесения общего множителя  $h$  слагаемыми порядка  $Rh$  и  $h^2$  по сравнению с  $R^2$  (ведь  $h \ll R$ ), вновь получим  $V \approx 4\pi R^2 h$ . С учётом точности исходных данных точный расчёт ответ не изменит.

Необходимая масса краски при заданной плотности  $\rho = 1500 \text{ кг/м}^3$ :

$$m = \rho V = 1500 \text{ кг/м}^3 \times 2.9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \approx \mathbf{43 \text{ г.}}$$

**Критерии оценивания:**

<b>(x) Толщина слоя краски на модели</b> .....	<b>5</b>
x1. Понимание идеи масштабной модели .....	2
<i>Вычисление масштаба, запись пропорции размеров или иные формы.</i>	
x2. Корректное вычисление толщины слоя краски $h$ в любых единицах ...	3
<i>Баллы также выставляются, если получено формульное выражение для <math>h</math>.</i>	
<b>(y) Объём краски</b> .....	<b>7</b>
y1. Идея вычисления объёма краски как объёма тонкой сферической оболочки или разности объёмов шаров .....	3
y2. Корректное вычисление объёма краски $V$ в любых единицах .....	4
<i>Баллы также выставляются, если получено формульное выражение для <math>V</math>.</i>	
<i>Вычисление основывается на ранее полученных результатах.</i>	
<b>(z) Масса краски</b> .....	<b>4</b>
z1. Связь массы, плотности и объёма .....	2
z2. Корректное вычисление массы краски .....	2
<i>Вычисление основывается на ранее полученных результатах.</i>	
• <i>За каждую лишнюю значащую цифру, начиная с 4-й.....-1,</i>	
<i>но не меньше 0 баллов за критерий б4.</i>	
<b>Всего</b> .....	<b>16</b>

## 8.4 Встаньте, звёзды, встаньте в круг

Звезда со склонением  $+84^\circ$  вошла при астрономическом азимуте  $A = 183^\circ$ .

- Каково угловое расстояние этой звезды от Северного полюса мира  $P$ ?
- Как называется точка с обозначением  $Y$  на заготовке чертежа?

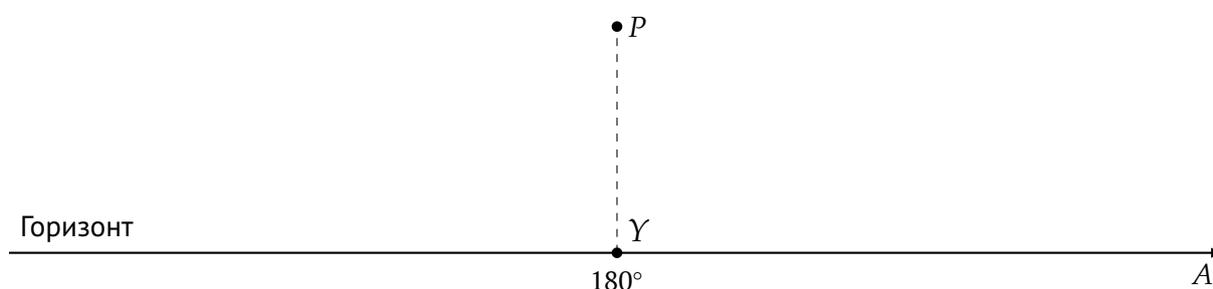


Рис. 7: Заготовка чертежа

Сделайте чертёж и определите:

- длительность нахождения звезды под горизонтом в течение суток;
- широту места наблюдения;
- наибольшую высоту звезды в данном пункте.

*Указание.* Пожалуйста, хорошо подумайте, прежде чем выполнять построения на заготовке чертежа. Если всё же потребуется новый чертёж, пожалуйста, выполните его на листе для решений.

### Возможное решение:

- Склонение Северного полюса мира равно  $\delta_P = 90^\circ$ . Угловое расстояние между ним и звездой — полярное расстояние  $\rho$  — дополняет склонение звезды до прямого угла, поэтому

$$\rho = 90^\circ - \delta = 90^\circ - 84^\circ = 6^\circ.$$

- Точка  $Y$  лежит на горизонте «под» Северным полюсом мира, а её астрономический азимут равен  $180^\circ$  — это **точка севера**.

\* \* \*

Расстояние от Северного полюса мира до горизонта мало ( $P\Upsilon < \rho = 6^\circ$ , иначе рассматриваемая звезда не пересекала бы горизонт), и звезда также расположена близко к полюсу. Поэтому возможно рассматривать движение звезды в плоском приближении. В таком случае траектория звезды на чертеже будет представлять собой окружность радиусом  $\rho$  с центром в точке  $P$ .

Пусть звезда восшла в точке  $K$ . Тогда  $KP = \rho = 6^\circ$ ,  $K\Upsilon = 183^\circ - 180^\circ = 3^\circ$ . В прямоугольном треугольнике  $\Delta P\Upsilon K$  катет  $K\Upsilon$  в 2 раза меньше гипотенузы  $KP$ . Это значит, что  $\angle KP\Upsilon = 30^\circ$ .

Точка захода  $M$  расположена симметрично точке восхода  $K$  относительно точки севера  $\Upsilon$ , поэтому и  $\angle MP\Upsilon = 30^\circ$ , а  $\Delta MPK$  — равносторонний.

Теперь мы можем сделать чертёж, отложив угол в  $30^\circ$  при помощи транспортира либо воспользовавшись циркулем и линейкой (см. рис. 9):

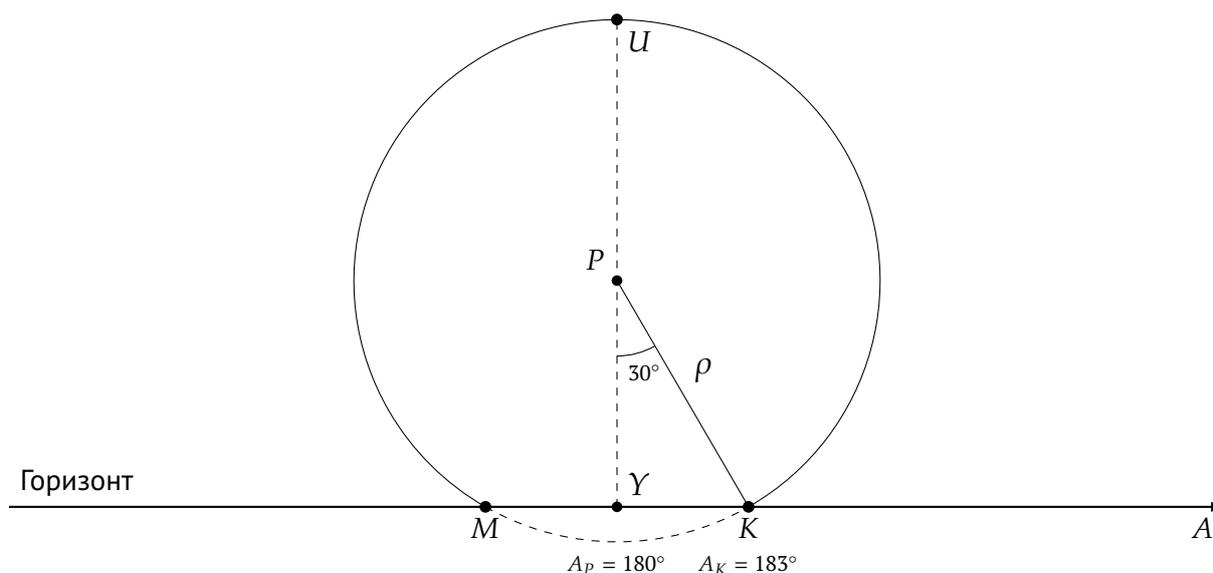


Рис. 8: Требуемый чертёж (суточная параллель звезды)

в) От захода до восхода звезда проходит дугу  $MK = 60^\circ$ . Так как движение звезды равномерно, и за одни сутки (24 часа) звезда делает один оборот<sup>‡</sup>, в течение суток она проводит под горизонтом

$$\tau \approx 24 \text{ ч} \times \frac{60^\circ}{360} = 4 \text{ ч.}$$

<sup>‡</sup>Точнее, звезда делает один оборот за 1 звёздные сутки, равные 23 ч 56 мин 04 с.



**Критерии оценивания:**

<b>(а) Полярное расстояние</b> .....	<b>2</b>
а1. Связь между склонением и расстоянием до Северного полюса мира...	1
а2. Верное значение $\rho$ .....	1
<b>(б) <math>\Upsilon</math> — точка севера</b> .....	<b>1</b>
<i>Обоснование не требуется.</i>	
<b>(в) Длительность нахождения звезды под горизонтом</b> .....	<b>7</b>
в1. Корректное и обоснованное определение дуги суточной параллели, соответствующей нахождению под горизонтом.....	5
• $K\Upsilon = 3^\circ$ ; $\angle KPY = 30^\circ$ .....	1 + 1
• Верный чертёж.....	2
• $\angle MPK = 60^\circ$ .....	1
в2. Корректное определение длительности нахождения под горизонтом с точностью 10%.....	2
• <i>Если участник в качестве ответа предъявляет длительность нахождения звезды <b>над</b> горизонтом, оценка за критерий в2 не выставляется, но критерий в1 оценивается в полной мере.</i>	
<b>(г) Широта места наблюдения</b> .....	<b>3</b>
г1. Широта места наблюдения — длина отрезка $P\Upsilon$ .....	1
г2. Корректное определение широты (длины $P\Upsilon$ ) $\in [4.9^\circ; 5.5^\circ]$ .....	2
<i>Возможен как аналитический подход (теорема Пифагора), так и определение непосредственно из чертежа.</i>	
• <i>При аналитическом способе — отсутствует расчёт</i> .....	-1
• <i>При аналитическом способе — получено несколько вариантов ответа</i> .....	-2
• <i>При графическом способе — не приведены результаты измерений</i> .....	-1
<b>(д) Наибольшая высота звезды</b> .....	<b>3</b>
д1. Наибольшая высота звезды — длина отрезка $\Upsilon U$ .....	1
<i>Может быть не указано явно, но использоваться в контексте решения.</i>	
д2. Корректное определение наибольшей высоты $\in [10.9^\circ; 11.5^\circ]$ .....	2
<i>Возможен как аналитический подход (суммирование известных расстояний или формула высоты верхней кульминации), так и определение непосредственно из чертежа.</i>	
• <i>При аналитическом способе — отсутствует расчёт</i> .....	-1
• <i>При графическом способе — не приведены результаты измерений</i> .....	-1
<b>Всего</b> .....	<b>16</b>

## 8.5 Солнечный парад земной группы

В январе 2026 года состоялся примечательный «солнечный» парад планет: Меркурий, Венера и Марс сошлись на земном небе вблизи Солнца. Ниже представлены видимые положения планет относительно Солнца в различные дни.

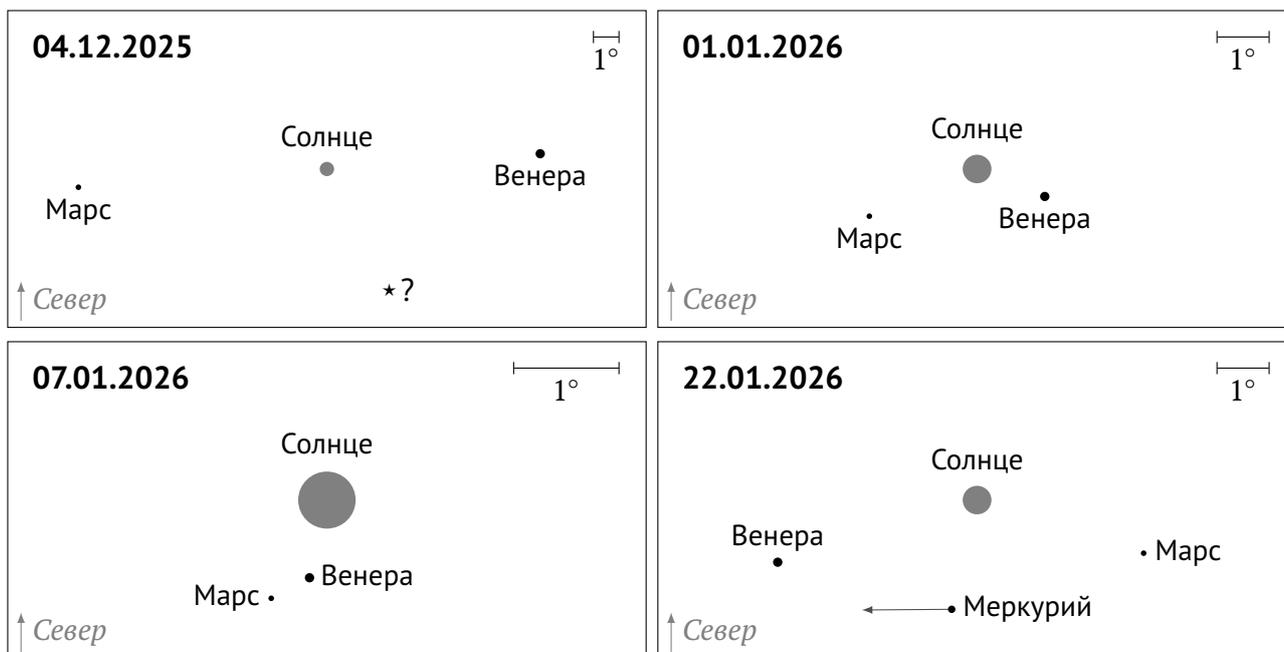


Рис. 10: Солнце и планеты земной группы на небе Земли в декабре 2025 — январе 2026

- Определите, какое пространственное и какое угловое расстояние разделяло Венеру и Марс 7 января.
- Диск Солнца на каждом «кадре» приведён в масштабе. Докажите, что размеры изображений планет на рис. 10 не отражают реальные размеры планет. (В действительности размеры изображений планет соотносятся с их видимым блеском.)
- Определите пространственное расстояние между Землёй и Меркурием 22 января. Направление видимого движения Меркурия относительно далёких звёзд отображено на «кадре» стрелкой.
- Как называется яркая звезда, отмеченная знаком ★ на «кадре» от 4 декабря? Какому созвездию она принадлежит?

Орбиты планет считайте круговыми.

**Примечание.** Несмотря на то, что названия задач 7.5 и 8.5 одинаковы, их содержание частично различается. Полностью совпадают вопросы 7.5(б) — 8.5(б) и 7.5(в) — 8.5(г).

**Возможное решение:**

а) 7 января Марс и Венера наблюдаются совсем недалеко от Солнца. Можно считать, что Солнце, Венера, Земля и Марс в этот день находятся практически на одной прямой.

Венера — внутренняя планета. Она движется по своей орбите быстрее Земли и быстрее неё совершает оборот вокруг Солнца. Заметим, что в течение рассматриваемого периода наблюдений Венера смещалась на небе справа налево (рис. 11), то есть на восток — против направления суточного движения Солнца и по направлению его годичного движения. Это означает, что Венера находится в верхнем соединении, в дальней от Земли части своей орбиты (рис. 12). В противном случае она двигалась бы *попятно*, с востока на запад.

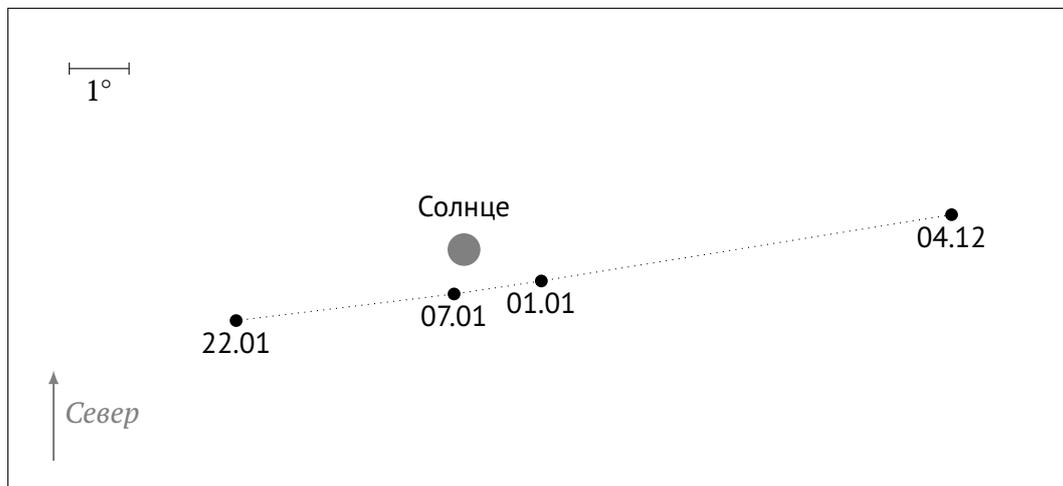


Рис. 11: Движение Венеры относительно Солнца на небе Земли

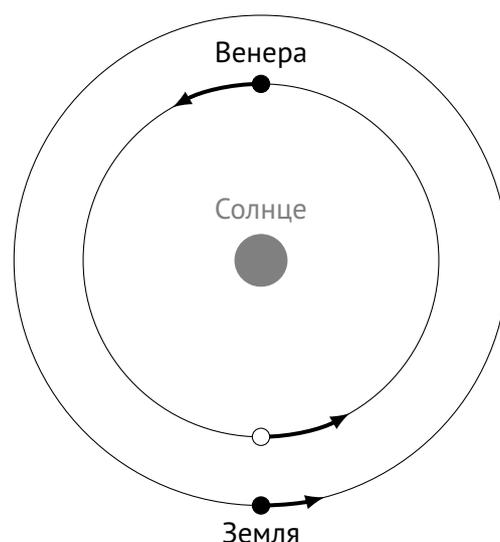


Рис. 12: Орбитальное движение Венеры и Земли (вид с севера)

Марс — внешняя планета. Значит, в наблюдаемой конфигурации он тоже находится «за Солнцем»:

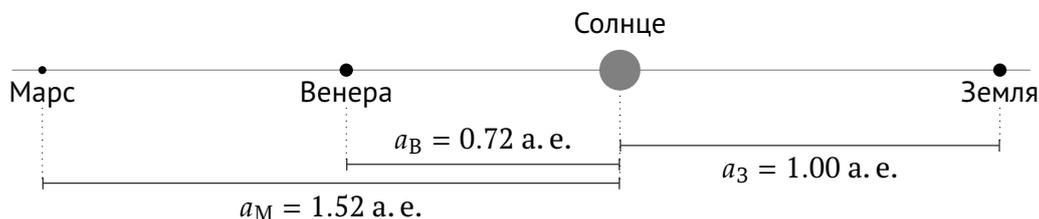


Рис. 13: Относительное расположение Земли, Венеры и Марса 7 января

Пространственное расстояние Венера — Марс

$$r_{\text{ВМ}} = a_{\text{М}} - a_{\text{В}} = 1.52 \text{ а. е.} - 0.72 \text{ а. е.} = \mathbf{0.8 \text{ а. е.}}$$

Для нахождения углового расстояния достаточно воспользоваться линейкой и сравнить расстояние между изображениями Марса и Венеры на «кадре» от 07.01.2026 с масштабным отрезком в  $1^\circ$ . Получим  $\rho_{\text{ВМ}} \approx \mathbf{0.4^\circ}$ .

б) Чтобы доказать, что размеры изображений планет на рис. 10 не соотносятся с их реальными размерами, **достаточно привести один ёмкий аргумент**. Обобщённо приведём два главных аргумента, имея в виду, что участники олимпиады могут привести и иные формулировки, в т. ч. комбинированные.

*Аргумент 1. Размеры изображений планет не связаны с угловым масштабом.*

Заметим, что размеры изображений попавших на все «кадры» Венеры и Марса одинаковы для каждого «кадра» — с точностью до той степени одинаковости, что способен воспринять глаз. В то же время размер диска Солнца (согласно условию он приводится в масштабе) существенно варьируется между кадрами: максимальный размер вчетверо больше минимального. Значит, размер изображения планеты от углового масштаба картинки не зависит и видимый угловой размер планеты не характеризует. Расстояние от наблюдателя до планет не успело сколь-нибудь заметно измениться за декабрь 2025 г. — январь 2026 г., поэтому видимые угловые размеры Венеры и Марса должны, с учётом постоянства пространственных размеров, быть примерно одинаковыми на протяжении всего рассматриваемого периода наблюдений.

*Аргумент 2. Размеры изображений планет слишком велики по сравнению с Солнцем.*

Радиус Венеры в 115 раз меньше радиуса Солнца, причём для земного наблюдателя Венера находится дальше, чем Солнце. Следовательно, угловой размер Венеры должен

быть меньше солнечного более чем в 100 раз и составлять (при печати условия задачи на листе А4) менее  $1 \text{ см} : 100 = 0.1 \text{ мм}$ . Марс и Меркурий меньше Венеры, так что на них тоже распространяется приведённая оценка возможного размера изображения. На рис. 10 изображения планет примерно на порядок больше.

в) Меркурий — внутренняя планета, как и Венера, и 22.01.2026 он тоже движется в прямом направлении, с запада на восток, из чего по аналогии с рассуждениями на с. 32 мгновенно делаем вывод, что Меркурий тоже находится в верхнем соединении:

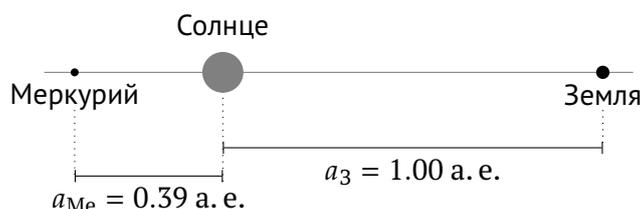


Рис. 14: Относительное расположение Земли и Меркурия 22 января

Тогда расстояние Земля — Меркурий

$$r_{ЗМe} = a_3 + a_{Me} = 1.00 \text{ а. е.} + 0.39 \text{ а. е.} \approx \mathbf{1.4 \text{ а. е.}}$$

г) 4 декабря Солнце находится в позднем осеннем секторе эклиптики, подходя к точке зимнего солнцестояния, конкретнее — в созвездии Змееносца, над «телом» Скорпиона. Единственная достаточно яркая и хорошо известная звезда у эклиптики в этой области неба (рис. 6, с. 19) — **Антарес ( $\alpha$  Скорпиона)**.

### Критерии оценивания:

- (а) Расстояния между планетами ..... 7
- а1. Венера в верхнем соединении: обоснование + вывод ..... 2 + 1
- Если в решении рассматриваются два варианта расположения Венеры (верхнее и нижнее соединение), причём предпочтение верхнему соединению не отдаётся с надлежащим обоснованием, баллы за данный критерий не выставляются, однако расчёт линейных расстояний (критерий а3) оценивается в полной мере.
- а2. Вывод, что Марс «за Солнцем», или верный чертёж ..... 1
- а3. Линейное расстояние между Марсом и Венерой ..... 1
- а4. Угловое расстояние между Марсом и Венерой  $\in [0.36^\circ; 0.46^\circ]$  ..... 2
- Не приведены результаты измерений на «кадре» ..... -1

<b>(б) Размеры изображений планет</b> .....	<b>3</b>
<i>Засчитывается любой разумный аргумент.</i>	
<b>(в) Геоцентрическое расстояние Меркурия</b> .....	<b>3</b>
в1. Меркурий в верхнем соединении: указание + обоснование.....	1 + 1
• Если в решении рассматриваются два варианта расположения Меркурия (верхнее и нижнее соединение), причём предпочтение верхнему соединению не отдаётся с надлежащим обоснованием, баллы за данный критерий не выставляются, однако расчёт геоцентрического расстояния (критерий в2) оценивается в полной мере.	
в2. Расстояние от Земли до Меркурия .....	1
<b>(г) Определение звезды</b> .....	<b>3</b>
г1. Солнце в позднем осеннем секторе эклиптики .....	1
<i>Возможно указание конкретных созвездий: Змееносец, Скорпион, Стрелец.</i>	
г2. Звезда — Антарес .....	1
г3. Звезда в Скорпионе .....	1
<b>Всего</b> .....	<b>16</b>

## Справочные данные

### Некоторые основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная	$G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
Скорость света в вакууме	$c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Масса протона	$m_p = 1.673 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса электрона	$m_e = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Астрономическая единица	$1 \text{ а. е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Парсек	$1 \text{ пк} = 206\,265 \text{ а. е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

### Данные о Солнце, Земле и Луне

Светимость Солнца	$L_{\odot} = 3.88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
Видимая звёздная величина Солнца	$m_{\odot} = -26.8^{\text{m}}$
Эффективная температура Солнца	$T_{\odot, \text{eff}} = 5.8 \cdot 10^3 \text{ К}$
Поток энергии на расстоянии Земли	$E_{\odot} = 1.4 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$
Тропический год	$= 365.24219 \text{ сут.}$
Средняя орбитальная скорость	$= 29.8 \text{ км/с}$
Звёздные сутки	$= 23 \text{ ч } 56 \text{ мин } 04 \text{ с}$
Наклон экватора к эклиптике	$\varepsilon = 23.44^{\circ}$
Сидерический месяц	$= 27.32 \text{ сут.}$
Синодический месяц	$= 29.53 \text{ сут.}$
Видимая звёздная величина полной Луны	$m_{\zeta} = -12.7^{\text{m}}$

### Характеристики Солнца, планет Солнечной системы и Луны

	Радиус орбиты, а. е.	Орбитальный период	Масса, кг	Радиус, $10^3 \text{ км}$	Осевой период
☉ Солнце			$1.989 \cdot 10^{30}$	697	25.38 сут.
☿ Меркурий	0.3871	87.97 сут.	$3.302 \cdot 10^{23}$	2.44	58.65 сут.
♀ Венера	0.7233	224.70 сут.	$4.869 \cdot 10^{24}$	6.05	243.02 сут.
♁ Земля	1.0000	365.26 сут.	$5.974 \cdot 10^{24}$	6.37	23.93 ч
☾ ↔ Луна	0.0026	27.32 сут.	$7.348 \cdot 10^{22}$	1.74	<i>синхр.</i>
♂ Марс	1.5237	686.98 сут.	$6.419 \cdot 10^{23}$	3.40	24.62 ч
♃ Юпитер	5.2028	11.862 лет	$1.899 \cdot 10^{27}$	71.5	9.92 ч
♄ Сатурн	9.5388	29.458 лет	$5.685 \cdot 10^{26}$	60.3	10.66 ч
♅ Уран	19.1914	84.01 лет	$8.683 \cdot 10^{25}$	25.6	17.24 ч
♆ Нептун	30.0611	164.79 лет	$1.024 \cdot 10^{26}$	24.7	16.11 ч