

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



II Олимпиада школьников по астрономии имени В. Я. Струве

Региональный этап

Задания, решения и критерии оценивания

Методическое пособие

Москва
2023

УДК 52(076.1)

ББК 22.6

II Олимпиада школьников по астрономии имени В. Я. Струве. Региональный этап. Задания, решения и критерии оценивания : методическое пособие — М.: 2023. — 26 с.

Олимпиада школьников по астрономии имени В. Я. Струве проводится для учащихся 7–8-х классов как дополнение к Всероссийской олимпиаде школьников по астрономии, в последних этапах которой принимают участие 9–11-классники. Олимпиада проводится для популяризации астрономии и других естественных наук, а также для выявления на раннем этапе способных и талантливых учащихся и их привлечения к систематическим занятиям астрономией. Первая олимпиада им. Струве состоялась 26 января 2022 года. С 2023 года олимпиада проводится в два этапа: региональный и заключительный.

Комплект заданий подготовлен методической комиссией олимпиады школьников по астрономии имени В. Я. Струве
struve.astroedu.ru • struve@astroedu.ru

Авторы-составители: Булыгин И. И., МГУ им. М. В. Ломоносова, ЦПМ (Москва)
Веселова А. В., СПбГУ (Санкт-Петербург)
Волобуева М. И., РГПУ им. А. И. Герцена (Санкт-Петербург)
Утешев И. А., МФТИ, ЦПМ (Москва)

Редактор Утешев И. А.

Рецензенты: Желтоухов С. Г., МГУ им. М. В. Ломоносова, ЦПМ (Москва)
Раменский М. С., НИУ ВШЭ, ЦПМ (Москва)
Эскин Б. Б., СПбГУ (Санкт-Петербург)

Тренерский штаб сборной России по астрономии и астрофизике выражает благодарность Министерству просвещения Российской Федерации и Московскому физико-техническому институту за поддержку инициативы по проведению олимпиады.

Содержание

Общие указания для жюри	4
7 класс	7
7.1 Серп и Марс	7
7.2 Ложка нейтронов	8
7.3 Время теней	9
7.4 Всероссийский полёт	10
7.5 Годовой отсчёт	12
7.6 Взгляд на восток	14
8 класс	16
8.1 Марсианское телевидение	16
8.2 Лунная защита	17
8.3 Время теней	19
8.4 Всероссийский полёт	20
8.5 Альтернативный календарь	22
8.6 Взгляд на восток	24
Справочные данные	26

Общие указания для жюри

Характеристика комплекта заданий

Комплект содержит по 6 задач для участников каждого класса. Похожие задачи для разных классов имеют одинаковые названия, но, возможно, разное содержание.

Решение задач №№ 1–5 оценивается из 8 баллов, решение задачи № 6 — из 10 баллов. Максимальный результат — 50 баллов. **Итоговый результат по 100-балльной шкале** равен удвоенному суммарному баллу участника.

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. В особенно сложных случаях члены жюри могут обратиться за консультацией в методическую комиссию олимпиады по адресу struve@astroedu.ru.

Организация работы жюри и подведение итогов

1. Жюри осуществляет деятельность в соответствии с пунктом 11 Положения об олимпиаде и пунктами 23–35 Регламента организации и проведения регионального этапа олимпиады. Эти документы опубликованы на сайте олимпиады 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. В протокол жюри вносится *одна* согласованная оценка за задачу — целое число.

Проверявшие задачу члены жюри проводят совместное обсуждение работ, по оценке которых возникли разногласия. Если устранить разногласия не удалось, окончательное решение принимает председатель жюри или уполномоченный им член жюри.

При расхождении оценок за задачу на 1 балл допустимо считать итоговой наибольшую из них без дополнительного обсуждения.

4. Результат участника получается путём сложения итоговых оценок за все задачи. В протоколе также указывается **итоговый результат по 100-балльной шкале**, который равен удвоенному суммарному баллу участника.

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

6. Рассмотрение апелляции проводится в спокойной и доброжелательной обстановке. *Каждый может ошибаться.*

7. Жюри определяет победителей и призёров олимпиады в пределах квоты, установленной организатором олимпиады в субъекте Российской Федерации, исходя из распределения результатов участников каждого класса в отдельности.

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

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.

8. Протоколы жюри направляются в Центральный организационный комитет по адресу **struve@astroedu.ru** в течение трёх рабочих дней со дня их составления.

7 класс

7.1 Серп и Марс

Одно из «телескопических» открытий Галилео Галилея — открытие фаз Венеры, которые подобны фазам Луны. Возможно ли увидеть Марс с Земли в виде тонкого серпа невооружённым глазом или хотя бы в телескоп? А Землю с Марса? Объясните свой ответ.

Возможное решение.

Марс с Земли — не можем. Марс имел бы вид тонкого серпа, если бы мы смотрели на него с теневой стороны. Но Марс — внешняя планета, то есть находится дальше от Солнца, чем Земля. Поэтому мы всегда наблюдаем ту сторону Марса, которая обращена к Солнцу, то есть освещённую.

Землю с Марса — можем. Принципиально наблюдение Земли с Марса не отличается от наблюдения Венеры или Меркурия (внутренних планет) с Земли. Однако максимальный видимый угловой размер Земли с Марса примерно равен максимальному видимому угловому размеру Венеры с Земли (радиусы сопоставимые, расстояния тоже), так что **потребуется телескоп** (или бинокль).

Критерии оценивания:

а1	Верный ответ: Марс с Земли — не можем	1
а2	Корректное (по смыслу) обоснование ответа	3
б1	Верный ответ: Землю с Марса — можем	1
б2	Корректное (по смыслу) обоснование ответа	1
б3	Упоминание про необходимость телескопа или бинокля	2
Всего		8

7.2 Ложка нейтронов

Первый открытый радиопульсар PSR B1919+21 имеет массу, равную 1.4 массам Солнца, и радиус около 10 километров. Какую массу имеет чайная ложка (5 миллилитров) вещества этого пульсара? Средняя плотность Солнца составляет 1.4 г/см^3 .

Возможное решение. Плотность ρ звезды прямо пропорциональна массе M звезды и обратно пропорциональна её объёму V . Объём V , в свою очередь, пропорционален кубу радиуса звезды: $V \propto R^3$.

Отношение плотностей радиопульсара (нейтронной звезды) и Солнца (\odot)

$$\frac{\rho}{\rho_{\odot}} = \frac{M}{M_{\odot}} \cdot \frac{R_{\odot}^3}{R^3} = 1.4 \times \left(\frac{697 \cdot 10^3}{10} \right)^3 \approx 4.7 \cdot 10^{14},$$

то есть плотность радиопульсара $\rho = 1.4 \text{ г/см}^3 \times 4.7 \cdot 10^{14} \approx 6.6 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3$.

Заметим, что $1 \text{ мл} = 1 \text{ см}^3$. Чтобы это понять, достаточно вспомнить, что масса литра воды составляет 1 килограмм при плотности воды 1 г/см^3 , а миллилитр — это тысячная часть литра. В таком случае масса «чайной ложки нейтронов» объёмом 5 мл

$$6.6 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3 \times 5 \text{ см}^3 = 3.3 \cdot 10^{15} \text{ г} = 3.3 \cdot 10^{12} \text{ кг} = 3.3 \text{ млрд т.}$$

Критерии оценивания:

1	Утверждение о пропорциональности $V \propto R^3$ либо выражение для объёма $V = \frac{4\pi}{3}R^3$ или аналог <i>Неверный коэффициент, если приводится равенство</i> <i>Неверный показатель степени</i>	2 -1 -2
2	Утверждение о пропорциональности $\rho \propto MV^{-1}$ либо выражение $\rho = M/V$	1
3	Вычисление плотности радиопульсара непосредственно или в сравнении с Солнцем исходя из формул участника <i>Арифметическая ошибка</i>	2 -1
4	Верная конверсия единиц измерения объёма (из миллилитров)	1
5	Вычисление массы «чайной ложки нейтронов» в любых единицах исходя из полученного участником значения плотности (допустимая относительная погрешность — 10%)	2
Всего		8

7.3 Время теней

Максимальная фаза частного солнечного затмения, произошедшего 25 октября 2022 года, составила 0.862 (то есть Луна закрыла 86.2% диаметра солнечного диска) и наблюдалась в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре, вблизи города Нижневартовск в 11:01 по всемирному времени. Какое время в этот момент показывали часы вартовчан, если известно, что Нижневартовск находится на 2 часовых пояса восточнее Москвы? Могло ли где-то наблюдаться полное затмение: на поверхности Земли или хотя бы на искусственных спутниках Земли? Объясните свой ответ.

Возможное решение. Всемирное время — это время нулевого часового пояса, через который проходит гринвичский меридиан. Московское время опережает его на 3 часа. Нижневартовск находится восточнее Москвы, так что местное время отличается от московского в большую сторону и опережает всемирное на $3+2 = 5$ часов. В момент максимальной фазы **часы вартовчан показывали 16:01.**

Да, полное затмение могло наблюдаться, но не на поверхности Земли. Наблюдатель фиксирует полное солнечное затмение, если попадает в тень Луны; частное — если в полутень. Из условия следует, что 25 октября на поверхность Земли попала только полутень. Но, конечно, лунная тень существует в любой момент времени, и во время затмения пролегла где-то неподалёку от поверхности Земли, поэтому некоторые искусственные спутники Земли вполне могли в неё попасть.

Критерии оценивания:

а1	Указание на связь: чем восточнее, тем больше местное время	2
а2	Разница московского и всемирного времени	1
а3	Разница нижневартовского и всемирного времени	1
а4	Гражданское время в момент максимальной фазы, рассчитанное <i>исходя из предыдущих результатов участника</i>	1
б1	Полное затмение на поверхности Земли не наблюдалось	1
б2	Полное затмение могло наблюдаться из ближайших окрестностей Земли	2
Всего		8

7.4 Всероссийский полёт

В таблице приведено расписание двух рейсов авиакомпании «Аэрофлот» между аэропортами Шереметьево (SVO) в Москве и Елизово (PKC) вблизи Петропавловска-Камчатского.

Рейс	Вылет	Прилёт
SU 1730	SVO 17:10	PKC 10:45 ⁺¹
SU 6286	PKC 16:30	SVO 16:30

Время указано местное, отметка «+1» обозначает прибытие на следующий календарный день после вылета. Определите продолжительность обоих полётов, если известно, что полёт в восточном направлении занимает на 25 минут меньше времени, чем в западном.

Возможное решение. Обозначим за X разницу времён часовых зон, к которым относятся Петропавловск-Камчатский и Москва. Заметим, что для рейса из Елизово в Шереметьево время вылета и прилёта в точности совпадает. Значит, время в пути в точности равно X .

Полёт «в восточном направлении» — это полёт из Москвы на Камчатку. По условию продолжительность этого рейса составляет V пути = $(X - 25 \text{ мин})$. Рассчитаем время прилёта с учётом времени вылета, времени в пути и разности часовых зон:

$$\text{Прилёт} = \text{Вылет} + V \text{ пути} + X;$$

$$\text{Прилёт} - \text{Вылет} = (X - 25 \text{ мин}) + X = 2X - 25 \text{ мин.}$$

С учётом перехода на следующие сутки разность времён прилёта и вылета

$$\text{Прилёт} - \text{Вылет} = 10 \text{ ч } 45 \text{ мин} + 24 \text{ ч} - 17 \text{ ч } 10 \text{ мин} = 17 \text{ ч } 35 \text{ мин.}$$

Получаем

$$2X = 17 \text{ ч } 35 \text{ мин} + 25 \text{ мин} = 18 \text{ ч};$$

$$X = 9 \text{ ч.}$$

Ответы сведены в таблицу:

Рейс	Направление	Продолжительность
SU 1730	SVO → PKC	8 ч 35 мин
SU 6286	PKC → SVO	9 ч 00 мин

Комментарий. Участник может вспомнить, что $X = 9$ часов: «В столице 15 часов, <...> в Петропавловске-Камчатском — полночь»[†]. В таком случае для полноты решения необходимо проверить, что приведённые в условии данные непротиворечивы, что в сущности эквивалентно вышеприведённому решению.

Критерии оценивания:

1	Разность времён прилёта и вылета из Москвы в Елизово и обратно	2+1
2	Связь времён прилёта и вылета с продолжительностью полёта и разностью времён часовых зон	2
3	Камчатка восточнее Москвы	1
4	Определение продолжительности каждого полёта	1+1
Всего		8

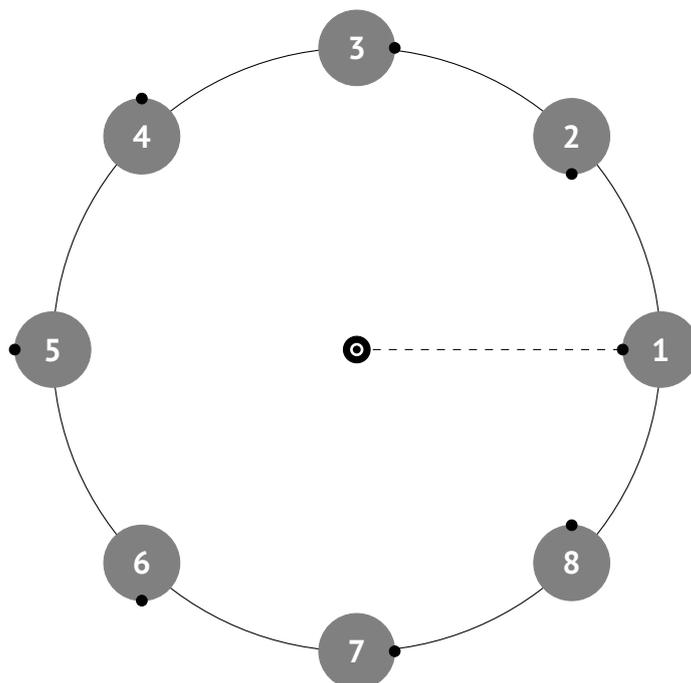
[†]Между прочим, в 2010–2014 годах Камчатский край и Чукотский автономный округ относились к часовой зоне МСК+8, то есть «генетическая» память могла и подвести.

7.5 Годовой отсчёт

Некоторая экзопланета за 1 оборот вокруг звезды («год») совершает 2 оборота вокруг своей оси. Выразите продолжительность солнечных суток на этой планете в «годах». Орбита планеты круговая, плоскость экватора совпадает с плоскостью орбиты. Направление вращения планеты вокруг своей оси совпадает с направлением обращения вокруг звезды.

Возможное решение. Солнечные сутки — период между двумя одноимёнными положениями местного «Солнца» (например, между полуднями) в некоторой точке. Из-за движения планеты вокруг звезды-«Солнца» солнечные сутки не совпадают с периодом вращения вокруг своей оси.

Проще всего решить эту задачу с помощью рисунка. Нарисуем планету в некоторой точке её орбиты и отметим точку • на её поверхности, обращённую к звезде (в этой точке будет полдень).



Проследим за положением точки при обращении планеты вокруг звезды. Спустя $\frac{1}{4}$ «года» планета совершит пол-оборота вокруг своей оси, но при этом в точке полночь ещё не наступит: точка окажется на границе света и тени — наступит «вечер», с полудня пройдёт $\frac{1}{4}$ местных солнечных суток. Спустя ещё $\frac{1}{4}$ «года» планета также

совершит пол-оборота вокруг своей оси, точка окажется на теневой стороне планеты (там наступит полночь). В итоге за половину «года» пройдёт половина солнечных суток, следовательно, продолжительность солнечных суток составляет 1 «год».

Альтернативный подход. Для наблюдателя на поверхности планеты «Солнце» проходит относительно звёзд 360° градусов за «год». При этом видимое вращение небесной сферы происходит в *противоположном направлении* (как и на Земле), причём со вдвое большей скоростью, поскольку местные звёздные сутки вдвое короче «года». В таком случае видимая угловая скорость «Солнца» составляет

$$360^\circ/\text{солн. сут.} = 720^\circ/\text{«год»} - 360^\circ/\text{«год»} = 360^\circ/\text{«год»},$$

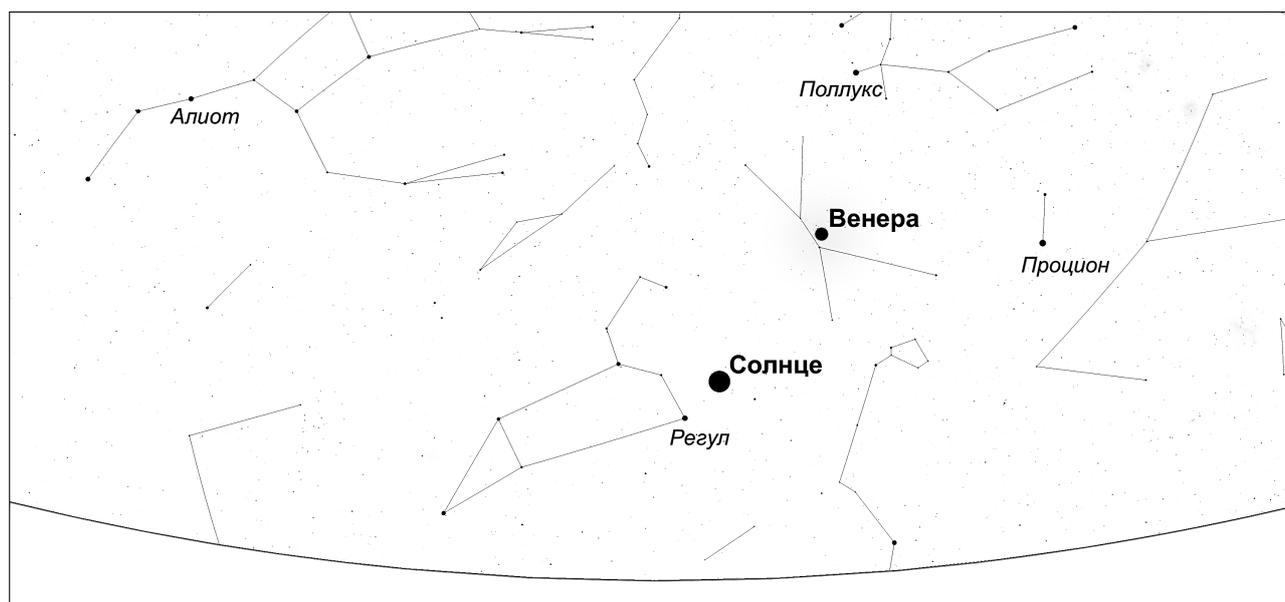
то есть солнечные сутки делятся 1 «год».

Критерии оценивания:

1	Смысл солнечных суток	2
2	Выражение относительной угловой скорости светила любым разумным способом	4
3	Ответ	2
Всего		8

7.6 Взгляд на восток

На изображении представлен вид восточной части неба в некоторый момент времени. Для удобства подписаны попавшие в кадр Солнце, планеты и яркие звёзды, а также отмечены линии созвездий.



Ответьте на следующие вопросы:

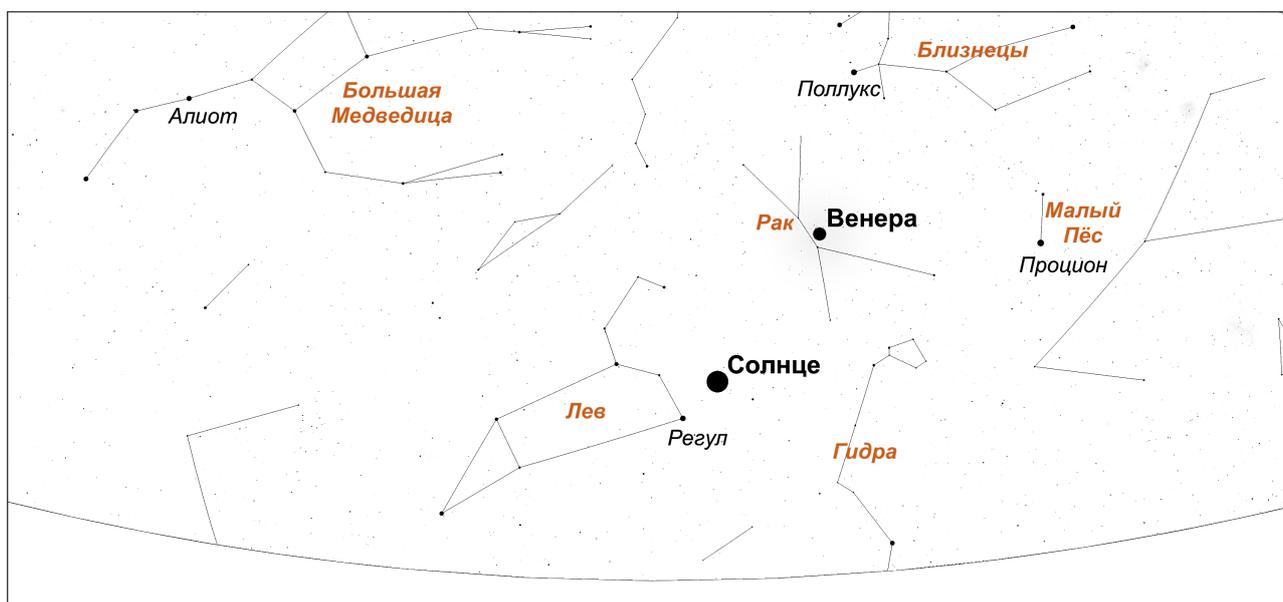
- В каком полушарии Земли находится наблюдатель?
- Какому календарному месяцу соответствует такое положение светил?
- В каком созвездии находится Венера?
- Какой период видимости у Венеры: утренний или вечерний?
- Является ли ближайший к изображённому моменту месяц благоприятным для наблюдения Спики?

Возможное решение. Расположение и ориентация созвездий относительно горизонта указывают на то, что наблюдатель находится **в Северном полушарии**: например, можно заметить, что Большая Медведица (созвездие Северного полушария небесной сферы) находится довольно высоко над горизонтом и указывает на ещё более высокую Малую Медведицу с Полярной (за кадром).

На рисунке есть Солнце, которое недавно перешло из созвездия Рака в созвездие Льва. Это соответствует середине **августа**.

Венера — в созвездии Рака. На рисунке изображена восточная часть горизонта. В Северном полушарии светила восходят в движении слева направо. Венера восходит и заходит раньше Солнца, находясь к западу от него. Соответственно, **она видна утром.**

Солнце находится в созвездии Льва и движется по направлению к следующему зодиакальному созвездию — к Деве. Спика — самая яркая звезда в созвездии Девы. Соответственно, на дату изображения Спика находится недалеко от Солнца и условия её видимости будут только ухудшаться. Период для наблюдения Спики **неблагоприятный.**



Критерии оценивания:

а	Полушарие — Северное	2
б	Месяц — август + обоснование	1+1
	Ошибка на месяц (июль, сентябрь)	-1
в	Венера в Раке	2
г	Утренняя видимость Венеры + обоснование	1+1
д	Условия для наблюдения Спики неблагоприятные + обоснование	1+1
Всего		10

8 класс

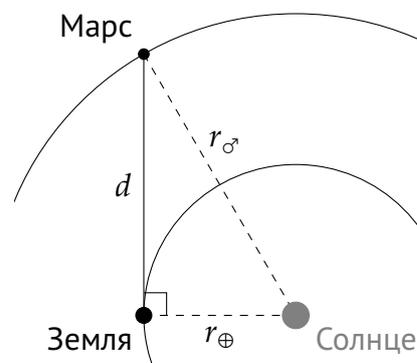
8.1 Марсианское телевидение

Ясным вечером житель марсианской колонии любовался в телескоп Землём в фазе, в точности напоминающей первую четверть Луны на земном небе. Затем он вернулся на базу, чтобы посмотреть выпуск новостей, который на Земле начинался ровно в 20:00 по стандартному времени. Во сколько по стандартному времени начнётся выпуск новостей на Марсе, если задержка вызвана исключительно конечностью скорости распространения телесигнала?

Возможное решение.

Описанный в условии вид Земли с Марса означает, что во время наблюдения угол Солнце–Земля–Марс прямой. По теореме Пифагора расстояние от Земли до Марса

$$d = \sqrt{r_{\oplus}^2 - r_{\oplus}^2} = \sqrt{1.5237^2 - 1^2} \text{ (а. е.)} = 1.15 \text{ а. е.} = 1.72 \cdot 10^{11} \text{ м.}$$



Телесигнал распространяется со скоростью света. Свет преодолевает 1 астрономическую единицу за 499 секунд (это известный факт), а расстояние d — за время

$$\Delta t = \frac{d}{c} = 1.15 \text{ а. е.} \times 499 \text{ с/а. е.} = \frac{1.72 \cdot 10^{11} \text{ м}}{2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}} \approx 574 \text{ с} = 9 \text{ мин } 34 \text{ с.}$$

Значит, выпуск новостей начнётся в **20:09:34**.

Критерии оценивания:

1	Верная конфигурация Солнца, Земли и Марса	3
2	Вычисление расстояния между Землём и Марсом <i>исходя из заданной участником конфигурации</i>	2
3	Вычисление времени задержки сигнала (± 2 с) <i>исходя из полученного участником значения</i> расстояния	2
4	Конечный ответ — время начала выпуска	1
Всего		8

8.2 Лунная защита

Изобретатель Милон Аск разработал проект защиты Земли от астероидной опасности. Он предложил использовать вещество Луны, чтобы окружить Землю защитной оболочкой. Оцените толщину такой оболочки, если её радиус будет равен радиусу орбиты Луны, а плотность материала равна средней плотности Луны.

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. Полный объём защитной оболочки равен объёму Луны:

$$V = \frac{4\pi}{3}R_{\zeta}^3.$$

Объём V возможно также выразить через радиус защитной оболочки, равный радиусу орбиты Луны a_{ζ} , и её толщину h , как разность объёмов сфер с радиусами $(a_{\zeta} + h)$ и a_{ζ} :

$$V = \frac{4\pi}{3}(a_{\zeta} + h)^3 - \frac{4\pi}{3}a_{\zeta}^3.$$

Получаем уравнение относительно h :

$$\frac{4\pi}{3}R_{\zeta}^3 = \frac{4\pi}{3}(a_{\zeta} + h)^3 - \frac{4\pi}{3}a_{\zeta}^3,$$

откуда толщина оболочки

$$\begin{aligned} h &= \sqrt[3]{a_{\zeta}^3 + R_{\zeta}^3} - a_{\zeta} = \\ &= \sqrt[3]{(0.0026 \times 1.5 \cdot 10^8 \text{ км})^3 + (1.74 \cdot 10^3 \text{ км})^3} - 0.0026 \times 1.5 \cdot 10^8 \text{ км} \approx \\ &\approx 0.012 \text{ км} = \mathbf{12 \text{ м}}. \end{aligned}$$

Альтернативный способ. Предположим, что $h \ll a_{\zeta}$, что вполне можно ожидать, ведь $a_{\zeta} \gg R_{\zeta}$. Тогда объём оболочки можно оценить с хорошей точностью как

$$V \approx Sh = 4\pi a_{\zeta}^2 h,$$

откуда

$$h = \frac{R_{\zeta}^3}{3a_{\zeta}^2} = \frac{(1.74 \cdot 10^3 \text{ км})^3}{3 \cdot (0.0026 \times 1.5 \cdot 10^8 \text{ км})^2} \approx 0.012 \text{ км} = 12 \text{ м.}$$

Критерии оценивания:

1	Выражение для объёма оболочки через радиус Луны	2
2	Выражение для объёма оболочки через радиус орбиты Луны и толщину оболочки	3
3	Толщина оболочки	3
Всего		8

8.3 Время теней

Максимальная фаза частного солнечного затмения, произошедшего 25 октября 2022 года, составила 0.862 (то есть Луна закрыла 86.2 % диаметра солнечного диска) и наблюдалась в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре, вблизи города Нижневартовск в 11:01 по всемирному времени. Какое время в этот момент показывали часы вартовчан? Долгота Нижневартовска равна 76.5° в. д., а гражданское время практически не отличается от местного солнечного. Могло ли где-то наблюдаться полное затмение, на поверхности Земли или хотя бы на искусственных спутниках Земли? Объясните свой ответ.

Возможное решение. Всемирное время — это время на гринвичском меридиане. Нижневартовск находится к востоку от нулевого меридиана, так что местное время отличается от всемирного в большую сторону. Полная окружность Земли в 360° соответствует 24 часам, то есть 1 часу соответствует $360^\circ/24 = 15^\circ$. Тогда время в Нижневартовске опережает всемирное на $[76.5/15] = 5$ часов. Здесь округление до целого необходимо, так как речь идёт о гражданском времени, а в России все часовые зоны имеют целочисленный «номер». Следовательно, в момент максимальной фазы **часы вартовчан показывали 16:01.**

Да, полное затмение могло наблюдаться, но не на поверхности Земли. Наблюдатель фиксирует полное солнечное затмение, если попадает в тень Луны; частное — если в полутень. Из условия следует, что 25 октября на поверхность Земли попала только полутень. Но, конечно, лунная тень существует в любой момент времени, и во время затмения пролегла где-то неподалёку от поверхности Земли, поэтому некоторые искусственные спутники Земли вполне могли в неё попасть.

Критерии оценивания:

a1	Указание на связь: чем восточнее, тем больше местное время	1
a2	Разница нижевартовского и всемирного времени <i>Результат не округлён до ближайшего целого</i>	3 -1
a3	Гражданское время в момент максимальной фазы, рассчитанное исходя из предыдущих результатов участника	1
b1	Полное затмение на поверхности Земли не наблюдалось	1
b2	Полное затмение могло наблюдаться из ближайших окрестностей Земли	2
Всего		8

8.4 Всероссийский полёт

В таблице приведено расписание двух рейсов авиакомпании «Аэрофлот» между аэропортами Шереметьево (SVO) в Москве и Елизово (PKC) вблизи Петропавловска-Камчатского.

Рейс	Вылет	Прилёт
SU 1730	SVO 17:10	PKC 10:45 ⁺¹
SU 6286	PKC 16:30	SVO 16:30

Время указано местное, отметка «+1» обозначает прибытие на следующий календарный день после вылета. Определите продолжительность обоих полётов, если известно, что полёт в восточном направлении занимает на 25 минут меньше времени, чем в западном.

Возможное решение. Обозначим за X разницу времён часовых зон, к которым относятся Петропавловск-Камчатский и Москва. Заметим, что для рейса из Елизово в Шереметьево время вылета и прилёта в точности совпадает. Значит, время в пути в точности равно X .

Полёт «в восточном направлении» — это полёт из Москвы на Камчатку. По условию продолжительность этого рейса составляет V пути = $(X - 25 \text{ мин})$. Рассчитаем время прилёта с учётом времени вылета, времени в пути и разности часовых зон:

$$\text{Прилёт} = \text{Вылет} + V \text{ пути} + X;$$

$$\text{Прилёт} - \text{Вылет} = (X - 25 \text{ мин}) + X = 2X - 25 \text{ мин.}$$

С учётом перехода на следующие сутки разность времён прилёта и вылета

$$\text{Прилёт} - \text{Вылет} = 10 \text{ ч } 45 \text{ мин} + 24 \text{ ч} - 17 \text{ ч } 10 \text{ мин} = 17 \text{ ч } 35 \text{ мин.}$$

Получаем

$$2X = 17 \text{ ч } 35 \text{ мин} + 25 \text{ мин} = 18 \text{ ч};$$

$$X = 9 \text{ ч.}$$

Ответы сведены в таблицу:

Рейс	Направление	Продолжительность
SU 1730	SVO → PKC	8 ч 35 мин
SU 6286	PKC → SVO	9 ч 00 мин

Комментарий. Участник может вспомнить, что $X = 9$ часов: «В столице 15 часов, <...> в Петропавловске-Камчатском — полночь»[‡]. В таком случае для полноты решения необходимо проверить, что приведённые в условии данные непротиворечивы, что в сущности эквивалентно вышеприведённому решению.

Критерии оценивания:

1	Разность времён прилёта и вылета из Москвы в Елизово и обратно	2+1
2	Связь времён прилёта и вылета с продолжительностью полёта и разностью времён часовых зон	2
3	Камчатка восточнее Москвы	1
4	Определение продолжительности каждого полёта	1+1
Всего		8

[‡]Между прочим, в 2010–2014 годах Камчатский край и Чукотский автономный округ относились к часовой зоне МСК+8, то есть «генетическая» память могла и подвести.

8.5 Альтернативный календарь

Чему была бы равна продолжительность месяца (то есть период смены лунных фаз), если бы Земля совершала один оборот вокруг Солнца за четверть текущего года, а период обращения Луны вокруг Земли остался прежним? Изменением продолжительности солнечных суток пренебрегите.

Возможное решение. Смена лунных фаз происходит из-за того, что угол Солнце–Луна–Земля изменяется со временем, поэтому для наблюдателя освещена в каждый момент времени различная доля диска Луны. Этот угол однозначно связан с углом Солнце–Земля–Луна, то есть с угловым расстоянием между Луной и Солнцем на небе, потому что расстояние до Солнца и до Луны известно. Периодичность его изменения нам и нужно найти.

Будем считать, что видимые движения Луны и Солнца происходят в одной плоскости. Относительно условно неподвижных далёких звезд Солнце движется по небу со скоростью $\omega_{\odot} = 360^{\circ}/T_{\oplus}$, где T_{\oplus} — период обращения Земли по орбите вокруг Солнца. Из условия следует, что

$$T_{\oplus} = \frac{365.26 \text{ сут.}}{4} = 91.32 \text{ сут.}$$

Луна же движется относительно звёзд со скоростью $\omega_{\text{л}} = 360^{\circ}/T_{\text{л}}$, где $T_{\text{л}} = 27.32$ сут. — её орбитальный (сидерический) период. Отметим, что $T_{\text{л}} < T_{\oplus}$.

Движение Луны вокруг Земли происходит в том же направлении, что и Земли — вокруг Солнца. Поэтому Луна будет догонять Солнце в движении по небу. Их относительная угловая скорость

$$\omega = |\omega_{\text{л}} - \omega_{\odot}|.$$

Соответствующий (синодический) период есть искомая продолжительность месяца T . Запишем:

$$\omega = \frac{360^{\circ}}{T} = \left| \frac{360^{\circ}}{T_{\text{л}}} - \frac{360^{\circ}}{T_{\oplus}} \right|,$$

откуда

$$T = \left(\frac{1}{T_{\text{л}}} - \frac{1}{T_{\oplus}} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{27.32 \text{ сут.}} - \frac{1}{91.32 \text{ сут.}} \right)^{-1} = 39.0 \text{ сут.}$$

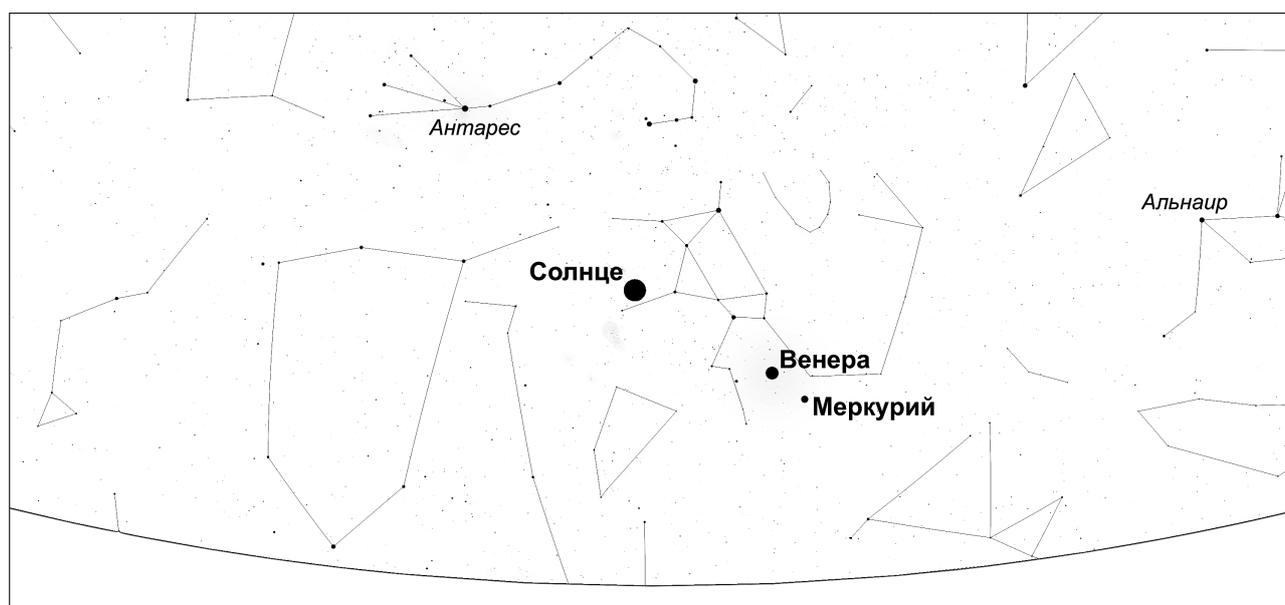
Полученное выражение схоже с уравнением синодического движения. Допускается его непосредственная запись при условии надлежащего обоснования.

Критерии оценивания:

1	Вычисление нового периода обращения Земли вокруг Солнца	2
2	Указание на связь продолжительности месяца с угловым расстоянием между Солнцем и Луной	1
3	Вычисления и (или) рассуждения, связанные с получением синодического периода Луны	4
	<i>Использование формулы для синодического периода без объяснения</i>	-2
	<i>Сумма вместо разности угловых скоростей и аналогичные ошибки</i>	-2
4	Продолжительность месяца	1
Всего		8

8.6 Взгляд на восток

На изображении представлен вид восточной части неба в некоторый момент времени. Для удобства подписаны попавшие в кадр Солнце, планеты и яркие звёзды, а также отмечены линии созвездий.



Ответьте на следующие вопросы:

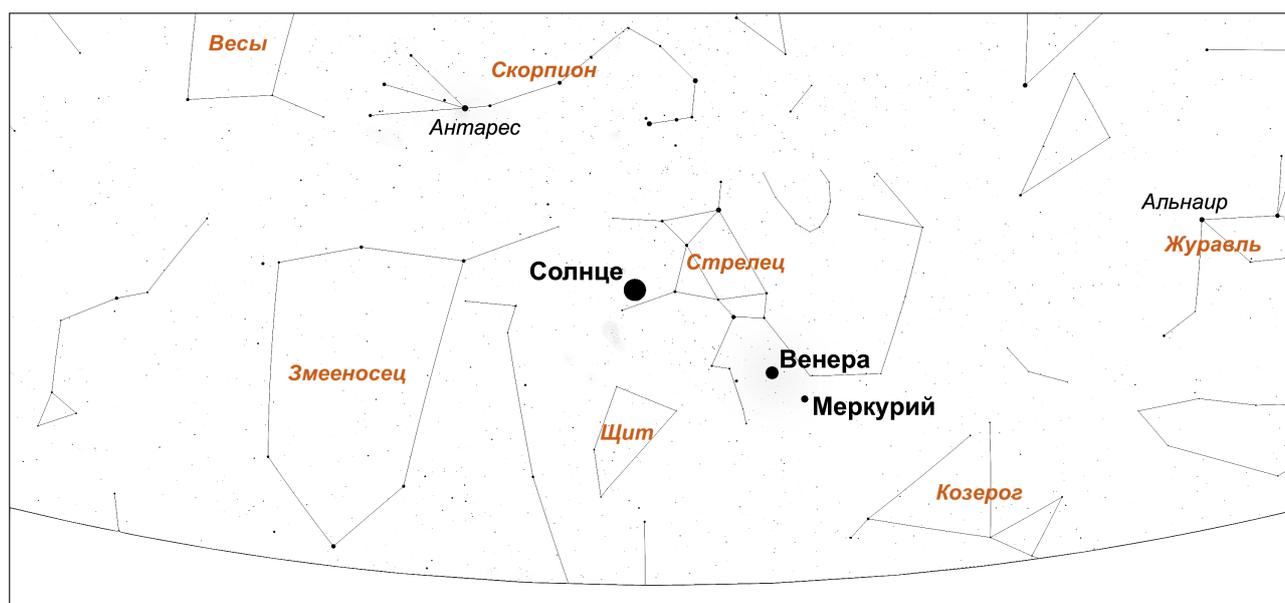
- В каком полушарии Земли находится наблюдатель?
- Какому календарному месяцу соответствует такое положение светил?
- В каком созвездии находятся Меркурий и Венера?
- Какой период видимости у Меркурия и Венеры: утренний или вечерний?
- Является ли ближайший к изображённому моменту месяц благоприятным для наблюдения Плеяд?

Возможное решение. Расположение и ориентация созвездий относительно горизонта указывают на то, что наблюдатель находится в **Южном полушарии**: например, можно заметить созвездия Южного полушария небесной сферы, такие как Скорпион и Стрелец, довольно высоко над горизонтом и в «перевернутом» виде.

На рисунке есть Солнце, которое недавно перешло из созвездия Змееносца в созвездие Стрельца. Это соответствует второй половине **декабря**.

Меркурий и Венера — в созвездии Стрельца. На рисунке изображена восточная часть горизонта. В Южном полушарии светила восходят в движении справа налево. Меркурий и Венера восходят и заходят позже Солнца, находясь к востоку от него. Соответственно, **они видны вечером.**

Плеяды — рассеянное звёздное скопление в созвездии Тельца. Солнце на изображении находится в Стрельце, то есть в противоположной части эклиптики. Соответственно, условия наблюдения Плеяд самые **благоприятные.**



Критерии оценивания:

а	Полушарие — Южное	2
б	Месяц — декабрь или январь + обоснование	1+1
	Ошибка на месяц (ноябрь, февраль)	-1
в	Меркурий и Венера в Стрельце	2
г	Вечерняя видимость Меркурия и Венеры + обоснование	1+1
д	Условия для наблюдения Плеяд благоприятные + обоснование	1+1
Всего		10

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 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