

Максимальное количество баллов за олимпиаду — 108**Задания 1-2.**

1) Выберите объекты, которые теоретически можно увидеть на небе 1 января из любой точки на территории России.

Ответ:

- Солнце
- Канопус (Альфа Киля)
- ✓ Плеяды
- Большое Магелланово Облако
- ✓ Луна
- ✓ Марс

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла. За каждую ошибку снимается 1 балл. Всего 6 баллов

2) Какой из перечисленных объектов расположен дальше всех от Земли?

Ответ:

- Солнце
- Канопус (Альфа Киля)
- Плеяды
- ✓ Большое Магелланово Облако
- Луна
- Марс

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

1) Канопус и Большое Магелланово Облако — объекты Южного полушария небесной сферы, и с территории России они вообще не видны. Также 1 января не везде можно будет увидеть Солнце: с дня зимнего солнцестояния прошло всего около 10 суток, поэтому в большей части Заполярья всё ещё будет полярная ночь. Все остальные объекты увидеть можно: Марс и Луна могут располагаться в любом месте на эклиптике, соответственно, их местоположение может оказаться благоприятным для наблюдений. Плеяды — рассеянное звёздное скопление в созвездии Тельца. Солнце находится в Тельце с середины мая до дня летнего солнцестояния. Значит, 1 января Солнце находится в противоположной части эклиптики и не мешает наблюдениям этого созвездия. А так как именно в этом созвездии располагается самая северная точка эклиптики (точка летнего солнцестояния), то, очевидно, его хорошо видно во всём Северном полушарии Земли.

2) Все перечисленные объекты видны невооружённым глазом. Солнце, Луна и Марс — объекты Солнечной системы. Канопус и Плеяды, очевидно, принадлежат нашей Галактике и находятся относительно не далеко от Солнца (иначе они просто не были бы яркими). Поэтому самый далёкий объект — это Большое Магелланово Облако, галактика-спутник Млечного Пути.

Задание 3.

Установите соответствие между явлениями и местами, где их можно наблюдать.

Ответ:

Часовая зона $UT + 14$	Острова Лайн (Кирибати)
Полярный день	Мурманск
Сириус примерно в 1° от зенита	Водопад Виктория
Восход Солнца 15-16 раз за сутки	Международная космическая станция
Затмение Солнца Европой	Юпитер

Критерий оценивания: за каждую верную пару — 1 балл. Всего 5 баллов

Максимальный балл за задание — 5

Решение.

Ось вращения Земли вокруг своей оси наклонена на 23.5° относительно перпендикуляра к плоскости земной орбиты. Поэтому на широтах, отстоящих от полюсов Земли не более чем на 23.5° , то есть севернее Северного полярного круга (66.5° с. ш.) и южнее Южного полярного круга (66.5° ю. ш.), Солнце может не заходить более 1 суток, вплоть до полугода непосредственно на полюсах. Это явление называется полярным днём. В указанной зоне находится Мурманск (69° с. ш.).

Вне зависимости от широты, восход Солнца на поверхности Земли наступает не более 1 раза в сутки. А вот на искусственных спутниках Земли, одним из которых является Международная космическая станция (МКС), восходы можно наблюдать гораздо чаще, так как периоды обращения спутников вокруг Земли могут составлять всего несколько часов. Так, МКС совершает один оборот всего за 90 минут.

Европа, затмевающая Солнце, разумеется, не часть Евразии, а один из галилеевых спутников Юпитера. Европа может отбрасывать тень на поверхность Юпитера; в области тени наблюдается солнечное затмение.

На первый взгляд кажется, что часовых поясов должно быть 24: от $UT - 12$ до $UT + 12$, а часовой пояс $UT + 14$ по сути то же самое, что $UT - 10$. В чём же разница? А разница заключается не в часах, а в днях: часы, использующие время часовых зон $UT + 14$ и $UT - 10$, действительно показывают одинаковое время, но календарные даты различаются на 1 день. Логично предположить, что такие особенности могли возникнуть вблизи линии перемены дат, то есть на островах в Тихом океане.

Звезда наблюдается в зените, когда её склонение совпадает с широтой места наблюдения. Иными словами, когда расположение звезды относительно небесного экватора на небесной сфере совпадает с расположением наблюдателя относительно земного экватора. Сириус находится в Южном полушарии небесной сферы примерно в 17° от небесного экватора. В Южной Африке на границе Замбии и Зимбабве, на 18° ю. ш., находится водопад Виктория, один из крупнейших водопадов мира.

Задание 4.

Выберите величины или данные, которые можно получить из астрономических наблюдений.

Ответ:

- Постоянная Авогадро
- Химический состав мантии Земли
- ✓ Скорость света
- Кислотность раствора
- ✓ Местное время
- ✓ Географические координаты
- Кардиограмма
- ✓ Радиус Земли
- Твёрдость сплава
- ✓ Химический состав Солнца

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла. За каждую ошибку снимается 1 балл.

Всего 10 баллов

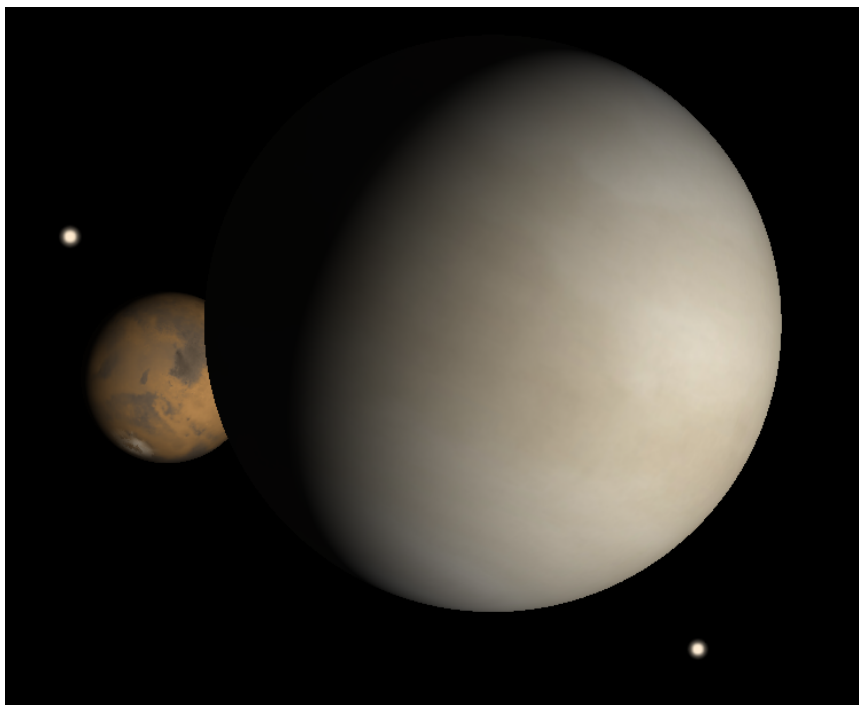
Максимальный балл за задание — 10

Решение.

Местное время определяется по положению звёзд или Солнца относительно горизонта или небесного меридиана. Аналогичным образом определяются географические координаты точки наблюдения: широту можно определить по высоте светил в кульминации или по высоте Полярной звезды, а долгота определяется из разницы местного и некоторого «стандартного» времени (например, всемирного). Зная географические координаты двух точек на поверхности Земли и линейное расстояние между ними, можно вычислить радиус Земли (это сделал древнегреческий учёный Эратосфен ещё до начала нашей эры!) Скорость света определяется по разнице во времени между вычисленным и реально наблюдаемым событием: так, Оле Рёмер смог оценить скорость света по наблюдениям затмений спутников Юпитера. Химический состав Солнца, как и других звёзд, можно определить по спектру их изучения. В частности, таким образом был открыт гелий. Определение оставшихся величин из списка к астрономии отношения не имеет.

Задания 5-8.

На рисунке изображено окончание покрытия Марса Венерой в том виде, в котором его можно было наблюдать 13 октября 1590 года в Южном полушарии Земли. Также в кадре видны два спутника.



5) Выберите названия этих спутников.

Ответ:

- Плутон и Харон
- Кастор и Поллукс
- Ганимед и Каллисто
- Энцелад и Диона
- ✓ Фобос и Деймос
- Ариэль и Умбриэль

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

6) В этот момент расстояние от Земли до Венеры составляло 1.280 а. е., до Марса — 2.395 а. е. Определите расстояние между Марсом и Венерой. Ответ выразите в миллионах километров, округлите до десятых.

1 а. е. = 149.6 млн. км.

Ответ: 166.8

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 6 баллов

7) Угловой размер Венеры в момент покрытия составлял $13''$. Определите угловой размер Марса. Ответ выразите в угловых секундах, округлите до целых.

Ответ: 4

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 7 баллов

8) В каком созвездии произошло покрытие, если известно, что планеты находились в 34° к западу от Солнца?

Ответ:

- Кассиопея
- Весы
- ✓ Лев
- Большая Медведица
- Змееносец
- Овен
- Близнецы
- Стрелец

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 5 баллов

Максимальный балл за задание — 22

Решение.

5) У Венеры нет естественных спутников, поэтому в кадре могли оказаться только спутники Марса: Фобос и Деймос.

6) В момент покрытия Венера и Марс расположены на одной прямой с наблюдателем. Соответственно, разница расстояний от этих двух планет до Земли и есть искомое расстояние между Марсом и Венерой:

$$d = (2.395 - 1.280) \cdot 149.6 = 166.8 \text{ млн км.}$$

7) Для определения углового размера Марса воспользуемся линейкой. Пусть диаметр Марса на изображении равен x мм, а Венеры — y мм. Подставляя полученные при измерениях значения x и y , получаем:

$$\rho = 13'' \cdot \frac{x}{y} \approx 4''.$$

8) В середине октября Солнце находится в созвездии Девы. Смещением точек равноденствий из-за прецессии можно пренебречь: за прошедшие 435 лет оно равно 6° (период прецессии составляет примерно 26 тысяч лет, поэтому смещение равно $435/26\,000 \approx 1/60$ части окружности). Мы можем грубо оценить путь Солнца по каждому зодиакальному созвездию в $360^\circ/12 = 30^\circ$. Так как относительно звёзд Солнце движется с запада на восток, планеты находились там, где Солнце было около месяца назад (иными словами, в созвездии, которое на пути Солнца располагается непосредственно перед созвездием Девы) — в созвездии Льва. Отметим, что других созвездий, которые теоретически могли бы получиться при более точных вычислениях, в списке нет.

Задания 9-10.

Количество солнечной энергии, которое падает за единицу времени на единичную площадку, расположенную перпендикулярно солнечным лучам на расстоянии 1 астрономической единицы от Солнца, называют солнечной постоянной. Она равна 1360 Вт/м^2 . При увеличении расстояния от Солнца количество энергии уменьшается пропорционально квадрату расстояния: $E \propto r^{-2}$.

9) Сколько энергии запасает солнечная батарея площадью $S = 2 \text{ м}^2$ за $t = 3$ часа работы, если космический аппарат, на котором она расположена, находится на расстоянии $r = 5$ а. е. от Солнца? Считайте, что на подзарядку батареи идёт 20% падающего излучения. Солнечные лучи падают перпендикулярно поверхности батареи. Ответ выразите в килоджоулях, округлите до десятых.

Ответ: 235.0

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 7 баллов

10) Как изменилось бы количество запасённой энергии, если бы панель батареи была развернута под углом 45° к солнечным лучам?

Ответ:

- Увеличилось
- ✓ Уменьшилось
- Не изменилось

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

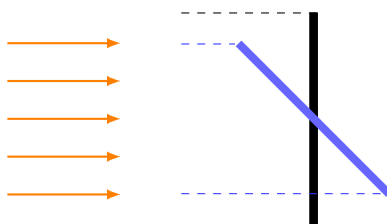
Максимальный балл за задание — 11

Решение.

9) Очевидно, что количество энергии, использованное для зарядки батареи, пропорционально площади батареи и времени зарядки. Таким образом, получаем:

$$\epsilon = E_0 \cdot \frac{St}{(r/r_\oplus)^2} \cdot \eta = 1360 \cdot \frac{2 \cdot (3 \cdot 60 \cdot 60)}{5^2} \cdot 0.2 = 235 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 235 \text{ кДж}.$$

Здесь E_0 — солнечная постоянная, S — площадь батареи, t — время зарядки (в секундах), $r/r_\oplus$ — расстояние от Солнца в астрономических единицах, η — КПД батареи.



10) Поворот батареи приводит к уменьшению её эффективной площади, так как в таком случае на неё будет попадать меньше фотонов (см. рисунок). Таким образом, количество запасённой энергии уменьшится.

Задания 11-12.

Предположим, что Земля внезапно стала вращаться вокруг своей оси в 2 раза быстрее.

11) Какие из перечисленных величин **НЕ** изменились бы? Считайте, что единицы измерения времени остались такими же.

Ответ:

- Продолжительность солнечных суток
- Скорость суточного движения звёзд по небу
- ✓ Скорость света
- ✓ Продолжительность года
- ✓ Период смены фаз Луны
- Частота приливов и отливов
- ✓ Частота солнечных и лунных затмений

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла. За каждую ошибку снимается 1 балл. Всего 8 баллов

12) Как пришлось бы в этой ситуации изменить радиусы орбит геостационарных (то есть «висящих» над фиксированной точкой поверхности Земли) спутников, если известно, что квадрат периода обращения спутника пропорционален кубу радиуса его орбиты: $T^2 \propto r^3$?

Ответ:

- Увеличить в 2 раза
- Уменьшить в 2 раза
- Увеличить в 4 раза
- Уменьшить в 4 раза
- Увеличить в 1.6 раза
- ✓ Уменьшить в 1.6 раза

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 7 баллов

Максимальный балл за задание — 15

Решение.

11) Суточное движение звёзд по небу, смена дня и ночи, приливы и отливы — явления, которые представляют собой прямое следствие вращения Земли вокруг своей оси. Соответственно, при изменении скорости вращения Земли численные характеристики этих явлений также изменятся.

Продолжительность года, смена фаз Луны и солнечные и лунные затмения связаны с другими физическими процессами — с орбитальным движением Земли вокруг Солнца и Луны вокруг Земли, поэтому никаких изменений мы не увидим. И, конечно, не изменится скорость света, которая является фундаментальной постоянной.

12) Увеличение скорости вращения Земли в 2 раза означает, что Земля совершает один оборот вокруг своей оси за вдвое меньшее время: $T = T_0/2$. Соответственно, период обращения геостационарных спутников также должен уменьшиться в 2 раза. Радиус орбиты спутников пропорционален $\sqrt[3]{T^2}$, а значит, он уменьшится в $\sqrt[3]{2^2} = \sqrt[3]{4} \approx 1.6$ раза.

Задания 13-15.

Космонавт на лунной базе наблюдает полную Землю на высоте 60° над горизонтом.

13) Чему будет равна высота Земли над горизонтом в этой же точке наблюдения через 12 часов? Ответ выразите в градусах, округлите до целых.

Ответ: 60

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 5 баллов

14) Через сколько дней наступит «новоземелие», то есть Земля будет обращена к Луне теневой стороной? Ответ выразите в земных сутках, округлите до целых.

Ответ: 15

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 5 баллов

15) Какое явление может наблюдаться на Луне в «новоземелие»?

Ответ:

- Солнечное гало
- ✓ Солнечное затмение
- Покрытие Земли Венерой
- Радуга
- Паргелий (ложное солнце)
- Серебристые облака
- Перламутровые облака

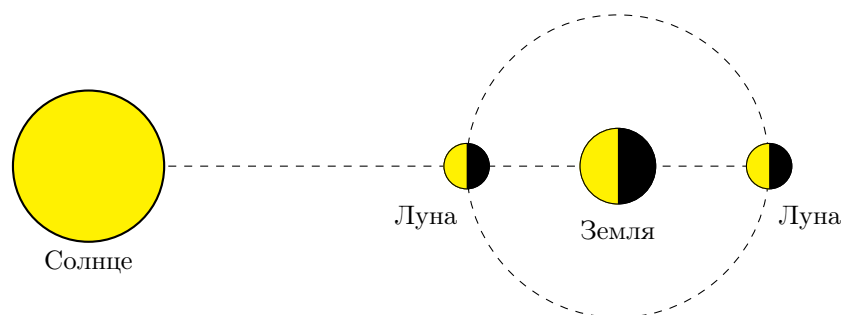
Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 5 баллов

Максимальный балл за задание — 15

Решение.

13) Луна обращена к Земле одной стороной, поэтому для наблюдателя на Луне Земля в первом приближении будет неподвижно висеть в одной и той же точке относительно горизонта. Конечно, реальность чуть сложнее — из-за эллиптичности лунной орбиты и наклона оси вращения Луны мы видим не ровно половину лунной поверхности, а немного «заглядываем за край» то с одной, то с другой стороны лунного диска. Это явление называется либрацией. Для наблюдателя на Луне, соответственно, диск Земли совершает небольшие колебания относительно своего среднего положения. Однако эти колебания происходят с периодом в месяц, поэтому на отрезке времени в 12 часов мы можем ими пренебречь. Таким образом, через 12 часов высота Земли над горизонтом (h') будет равна изначальной.

14) Изменение лунных фаз на Земле и земных фаз на Луне происходит синхронно (если точнее, в противофазе), так как и то, и другое вызвано изменением взаимного расположения в пространстве трёх тел: Земли, Луны и Солнца. Космонавт видит полную Землю, когда Луна находится между Солнцем и Землёй. В этот момент на Земле наблюдается новолуние. Через половину синодического месяца (периода смены фаз), наоборот, Земля окажется между Солнцем и Луной, и на Земле наступит полнолуние, а на Луне — новоземелие. Так как продолжительность синодического месяца равна 29.5 суток, то половина этого периода это $29.5/2 \approx 15$ суток.



15) Радуга, гало, паргелий и различные виды облаков — это атмосферные явления. У Луны нет атмосферы, поэтому эти явления там наблюдаться не могут. Покрытие Земли Венерой наблюдать также невозможно, потому что Венера не может оказаться между Землёй и Луной. А вот солнечное затмение произойти может. В таком случае на Земле в этот момент будет наблюдаться лунное затмение.

Задания 16-19.

В ходе Великой французской революции во Франции были введены новый календарь и новые единицы времени. В частности, сутки делились не на 24, а на 10 часов. Каждый час состоял из 100 минут, 1 минута — из 100 секунд. Для удобства будем называть их «революционными» часами, минутами и секундами соответственно.

16) Выразите продолжительность «революционной» секунды в обычных секундах. Ответ округлите до тысячных.

Ответ: 0.864

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 7 баллов

17) Предположим, что некоторые часы показывают ровно 02:00 по «революционному» времени. Переведите показания этих часов в привычное нам время, считая, что момент полуночи в обоих шкалах совпадает. Ответ запишите в 24-часовом формате ЧЧ:ММ.

Ответ: 04:48

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 7 баллов

18) Календарный год в «революционном» республиканском календаре состоял из 12 месяцев по 30 дней; оставшиеся «до полного года» дни назывались санкюлотидами и являлись праздничными. Сколько санкюлотид было в обычном, невисокосном году?

Ответ: 5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

19) В списке представлены месяцы республиканского календаря по порядку. Известно, что началом отсчёта в республиканском календаре является первый день Республики, удачно совпавший с днём осеннего равноденствия. Выберите месяц, на который приходится 1 января — Новый год в привычном нам григорианском календаре:

Ответ:

- Вандемьер
- Брюмер
- Фример
- ✓ Нивоз
- Плювиоз
- Вантоз
- Жерминаль
- Флореаль
- Прериаль
- Мессидор
- Термидор
- Фрюктидор

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 5 баллов

Максимальный балл за задание — 22

Решение.

16) В сутках $24 \cdot 60 \cdot 60 = 86\,400$ обычных секунд, или $10 \cdot 100 \cdot 100 = 100\,000$ «революционных». Таким образом, «революционная» секунда содержит $86\,400 \div 100\,000 = 0.864$ обычной секунды.

17) Одни сутки состоят из 24 обычных или 10 «революционных» часов. Таким образом, 1 «революционный» час равен:

$$\tau = \frac{24}{10} = 2.4 \text{ ч} = 2 \text{ ч } 24 \text{ мин.}$$

Здесь мы учли, что в 1 часе содержится 60 минут, а значит $0.4 \text{ ч} = 0.4 \cdot 60 = 24 \text{ мин.}$ Тогда 02:00 по «революционному» времени эквивалентны $\text{ЧЧ}':\text{ММ}' = 02:24 \cdot 2 = 04:48$ обычного времени.

18) В невисокосном году 365 дней, в то время как в революционном календаре содержится только $30 \cdot 12 = 360$ дней. Таким образом, в невисокосном году было $365 - 360 = 5$ санкюлотид.

19) День осеннего равноденствия приходится примерно на 22 сентября, что соответствует началу года в революционном календаре — 1 вандемьера. До 1 января остаётся около $(30 - 22) + 31 + 30 + 31 = 100$ дней, то есть три полных месяца и ещё примерно 10 дней. Таким образом, традиционный Новый год приходится на четвёртый месяц республиканского календаря — нивоз.

