

Школьный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по Астрономии
10- 11 класс

1. Наблюдатель находится на Земле в точке с координатами 55° с. ш., 83° в. д. Какое время будут показывать часы наблюдателя во время верхней кульминации Солнца в день летнего солнцестояния, если данная точка наблюдения принадлежит к пятому часовому поясу?

2. Самолет летит на высоте 10 км вдоль земного экватора с запада на восток со скоростью 800 км/ч. Искусственный спутник Земли обращается вокруг нашей планеты по круговой орбите так, что все время находится над самолетом. Найти расстояние между спутником и самолетом. M (масса Земли) = $5.974 \cdot 10^{24}$ кг, R_3 (экваториальный радиус Земли) = 6378,1 км, Звездные сутки на Земле (T_0) = 23,933 ч, $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$ Н*м²/кг²

3. Определите, на каких примерно широтах 23 февраля не наступает астрономическая ночь (астрономическая ночь начинается после погружения Солнца на 18 градусов под горизонт).

4. Благодаря атмосферной рефракции, составляющей у горизонта $34'$, небесное светило, которое должно было быть невосходящим в некотором пункте Земли, напротив, стало незаходящим за горизонт. На каких широтах Земли может произойти такое?

5. Чем объясняются белые ночи?

Ответы. Критерии оценивания.

1. Долгота точки наблюдения составляет 83° или 5ч 32м. Именно настолько полдень в этой точке будет происходить раньше, чем на нулевом меридиане. Пренебрегая уравнением времени, получаем, что полдень в точке наблюдения наступит в 6ч 28м по всемирному времени (или времени нулевого меридиана). Судя по координатам точки, он находится на территории России, и разница поясного и всемирного времени в данной точке в день летнего солнцестояния составляет 6 часов: 5 часов в соответствии с номером часового пояса плюс 1 час (декретное время). В итоге, верхняя кульминация Солнца в данной точке будет наблюдаться в 12ч 28м.

Макс балл -10.

Перевел долготу в часы – 1 балл

Определил время кульминации по всемирному времени – 4 балла

Учел часовой пояс – 2 балла

Учел декретное время 3 балла.

2. Самолет движется со скоростью $v = 800$ км/ч относительно точки на экваторе Земли, которая сама движется в ту же сторону за счет осевого вращения Земли. Скорость этого движения определяется формулой

$$v_0 = \frac{2\pi R}{T_0}$$

и составляющей 1674 км/ч. Здесь R – экваториальный радиус Земли (6378.1 км), а T_0 – продолжительность звездных суток (23.933 часа). Полная скорость самолета составляет 2474 км/ч. Двигаясь с такой скоростью, самолет сделает полный оборот вокруг Земли за время

$$T = \frac{2\pi(R + h)}{v + v_0},$$

то есть за 16.22 часа. Здесь h – высота самолета над поверхностью Земли. Чтобы постоянно находиться над самолетом, искусственный спутник должен обращаться вокруг Земли в том же направлении и с тем же периодом T . Радиус орбиты спутника вычисляется из обобщенного III закона Кеплера:

$$r = \left(\frac{GMT^2}{4\pi^2} \right)^{1/3},$$

что составляет 32.53 тысячи километров (M – масса Земли). Расстояние между спутником и самолетом будет равно $d = r - h - R = 26.14$ тыс. км.

Макс балл -10.

Записал формулу скорости – 1 балл.

Определил период вращения самолета (спутника) – 4 балла

Определил высоту спутника – 3 балла

Определил искомое расстояние – 2 балла

3. Астрономическая ночь не наступит в тех широтах, где Солнце даже в нижней кульминации не опустится ниже 18° под горизонт. При решении задачи удобно воспользоваться схематическим изображением небесной сферы.

Рассмотрим северное полушарие Земли. Высота светила со склонением δ на широте ϕ в нижней кульминации равна $h=90-\phi-\delta$. Определим δ Солнца 23 февраля. 22 декабря в день зимнего солнцестояния склонение Солнца отрицательно и по модулю численно равно углу наклона эклиптике к небесному экватору, т.е. $-23,^\circ5$. 22 марта в день весеннего равноденствия

склонение равно 0° . Будем считать, что скорость изменения склонения постоянна (это не так, но ошибка будет невелика).

Тогда склонение Солнца 22 февраля будет примерно равно

$23,5 \cdot 60/90 - 23,5 \approx -8^\circ$ (по данным астрономического календаря -10°). Т.е. широта, на которой Солнце погружается на 18 градусов под горизонт, будет равна $\phi = 90 - h - \delta = 90 - 18 - (-8) = 80^\circ$. Севернее глубина погружения Солнца будет меньше 18° .

Аналогичным образом нарисуем момент нижней кульминации Солнца в южном полушарии. Получим, что в южном полушарии астрономическая ночь наступит на широтах севернее 64° ю. ш. Окончательный ответ — астрономическая ночь 23 февраля не наступает в приполярных районах Земли (примерно на широтах $-90^\circ < \phi < -64^\circ$ и $80^\circ < \phi < 90^\circ$).

Максимальный балл 10 баллов

Указано условие нижней кульминации – 1 балла

Указан наклон оси вращения Земли к плоскости орбиты - 1 балл

Определил склонение 22 февраля 2 балла

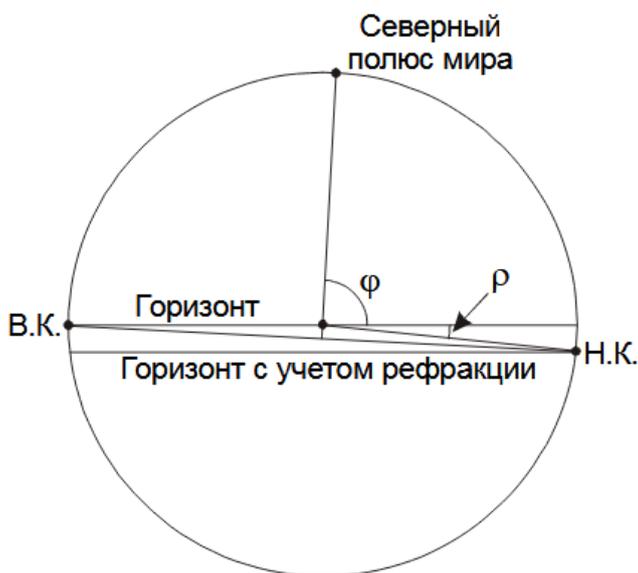
Указана широта в северном полушарии 3 балла

Указана широта в южном полушарии 3 балла

4. Такая необычная ситуация вполне может иметь место, если весь суточный путь небесного светила располагается на небольшой глубине (не более $34'$) под горизонтом. Это может быть в двух случаях: или суточный путь небесного светила имеет небольшие угловые размеры, или оно располагается практически параллельно горизонту. Рассмотрим эти два случая отдельно. Небольшие угловые размеры суточного пути светила означают, что оно находится вблизи Северного или Южного полюса мира. Раз суточный путь (имеющий вид окружности с малым радиусом) располагается вблизи горизонта, то наблюдения должны проводиться из окрестностей экватора. На самом экваторе условия задачи формально не выполняются, так как там не бывает невосходящих светил даже в отсутствие рефракции. Но вот при незначительном удалении от экватора, например, к северу, Южный

полюс мира должен опуститься под горизонт, но до широты $+0^{\circ}34'$ он будет постоянно виден над горизонтом благодаря рефракции. Светило (например, какая-нибудь слабая звезда), находящееся в этой точке неба, отвечает условию задачи. Аналогично, светило, находящееся очень близко от Северного полюса мира, окажется незаходящим вплоть до широты $-0^{\circ}34'$. Итак, в первом случае условие задачи выполняется в узкой полосе по обе стороны от экватора, исключая сам экватор.

Вторая ситуация – суточный путь светила практически параллелен горизонту – может наблюдаться около Северного или Южного полюса Земли. Очевидно, что сам Северный полюс удовлетворяет условию задачи, благодаря рефракции там все время над горизонтом будут находиться светила со склонением от 0° до $-0^{\circ}34'$. Однако, условие задачи может выполняться и на некотором удалении от полюса. Рассмотрим предельную для этого условия ситуацию – светило находится на высоте 0° в верхней кульминации и на высоте $-0^{\circ}34'$ в нижней кульминации (см. рисунок в проекции на плоскость небесного меридиана).



Максимальный балл 10 баллов.

Указан формально неверный ответ – Экватор 1 балл

Указан диапазон вблизи экватора – 2 балла + обоснование 3 балла

Указан Северный (Южный) полюс по 1 баллу + обоснование 2 балла.

5. В географических широтах, немного ниже полярного круга, в период, близкий к летнему солнцестоянию нижняя кульминация Солнца не покидает пределов гражданских сумерек. (склонение -6°). Склонение Солнца может быть немного больше по модулю, но не должно достигать -12° (это граница астрономических сумерек).

Максимальный балл 10 баллов

Указаны границы всех видов сумерек:

Гражданские (склонение -6°) – 1 балл

Навигационные (склонение от -6° до -12°) – 1 балл

Астрономические (склонение от -12° до -18°) – 1 балл

Указана географическая широта белых ночей - 3 балла

Указано условие белых ночей – 4 балла