



---

11 класс

---

1. Прямое восхождение звезды равно  $6^h45^m$ , а склонение равно  $-16^\circ43'$ . В какое время ее лучше всего наблюдать сегодня в Петербурге?

**Решение:**

Звезда южная, и в Петербурге поднимается невысоко над горизонтом. Для получения этого вывода можно воспользоваться формулой вычисления высоты объекта в верхней кульминации  $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ , где  $\varphi$  — широта места наблюдения (для Петербурга  $\varphi = 60^\circ$ ), а  $\delta$  — склонение объекта, т.е.  $h \approx 17^\circ$ , однако для грубой оценки достаточно обратить внимание на то, что склонение отрицательно. Поглощение света атмосферой около горизонта существенно осложняет наблюдения звезд, поэтому оптимальным временем для наблюдения будет тот момент, когда звезда оказывается на максимально возможной высоте над горизонтом — в верхней кульминации.

Известно, что прямое восхождение объекта в верхней кульминации совпадает со звездным временем. Следовательно, искомый момент наступит в  $6^h45^m$  звездного времени. Оценим соответствующее гражданское время.

Если пренебречь уравнением времени (нас интересует все-таки не конкретный момент, а какой-то интервал времени, поэтому получасовая ошибка не скажется на итоговом результате), то солнечное время совпадает со звездным в день осеннего равноденствия. Затем за год звездное время обгоняет солнечное ровно на сутки, т.е. примерно на два часа в месяц. Со дня осеннего равноденствия прошло два месяца и одна неделя, следовательно, звездное время обгоняет солнечное примерно на 4.5 часа, поэтому по солнечному времени искомый момент случится примерно в 2 часа. Однако следует учесть, что используемое нами гражданское время опережает солнечное на один час, отсюда получаем окончательный ответ — лучше всего 29 ноября эта звезда видна примерно в 3 часа ночи.

Заметим, что такая звезда существует, и все желающие могут проверить результат решения задачи непосредственно (не забыв внести поправку, учитывающую, что наблюдения будут проводиться не 29 ноября). На петербургском небе на такой небольшой высоте над горизонтом удастся разглядеть только одну звезду — Сириус, небесные координаты которого и были использованы в задаче.

2. Оцените время, за которое при наблюдении с поверхности Земли низкоорбитальный спутник может пересечь диск Луны по диаметру.

**Решение:**

Поскольку спутник низкоорбитальный, то скорость его движения по орбите можно считать равной первой космической скорости для поверхности Земли (около 8 км/с). При этом из самых общих соображений очевидно, что пересечение диска Луны спутником произойдет тем быстрее, чем ближе спутник будет находиться к наблюдателю.

Искусственные спутники Земли практически никогда не летают на высотах, меньших 200 км — из-за сопротивления атмосферы такой спутник очень быстро сойдет с орбиты. Следовательно, минимально возможное расстояние от спутника до наблюдателя

на поверхности Земли — это около 200 км (и при этом и спутник, и Луна, диск которой он пересекает, находятся в зените). При движении с линейной скоростью 8 км/с угловая скорость движения спутника по небесной сфере для наблюдателя будет равна  $8/200 = 0.04$  рад/с  $\approx 2^\circ.3/с$ . Угловой размер диска Луны — примерно  $0^\circ.5$ , следовательно, спутник пересечет диск примерно за 0.2 секунды. Движением Луны по небу за такое время, естественно, можно пренебречь.

3. Открытый 40 лет назад пульсар, входящий в состав двойной системы PSR B1913+16, испускает в среднем 17 радиоимпульсов в секунду. Считая, что орбиты компонент системы круговые, оцените, в каких пределах может меняться количество импульсов в секунду, регистрируемых на Земле, если расстояние между компонентами системы — 2 млн. км, а орбитальный период системы — 8 часов. Массы обеих компонент системы одинаковы.

**Решение:**

Изменение количества импульсов обусловлено эффектом Доплера — пульсар, движущийся вокруг центра масс системы, может приближаться к Земле и удаляться от нее, причем максимально возможная лучевая скорость пульсара будет совпадать с его орбитальной скоростью.

Для вычисления орбитальной скорости достаточно учесть, что это равномерное движение по окружности с радиусом  $R = 1$  млн. км (ровно половина расстояния между компонентами системы, поскольку их массы одинаковы) и периодом обращения  $P = 8$  часов (т.е. примерно  $3 \cdot 10^4$  секунд). Скорость равна  $v = 2\pi \cdot R/P \approx 2.2 \cdot 10^2$  км/с. Она много меньше скорости света, поэтому для оценки изменения частоты импульсов можно воспользоваться нерелятивистской формулой эффекта Доплера

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{v}{c} \approx 7 \cdot 10^{-4}$$

Очевидно, что возможное изменение числа импульсов в секунду много меньше единицы, поэтому практически в течение одной секунды может быть зарегистрировано не менее 16 и не более 18 импульсов.

Заметим, что движение центра масс двойной системы относительно Солнца можно не учитывать — оно могло бы внести заметные изменения в среднюю частоту регистрации импульсов (хотя практически для этого относительная скорость движения должна была бы быть нереально большой), но не в изменение среднего значения. С другой стороны, изменения могут появляться также из-за движения Земли по орбите вокруг Солнца, но скорость орбитального движения Земли составляет около 30 км/с, поэтому этот эффект еще существенно меньше, чем уже рассмотренный.

4. Представьте, что Вы научились телепортироваться. Теперь представьте, что Вы телепортировались на Солнце и попали в его фотосферу ровно на одну наносекунду, а затем вернулись назад. Будет ли это опасно для Вашей жизни и здоровья? Почему?

**Решение:**

Светимость Солнца  $4 \cdot 10^{26}$  Вт со всей поверхности. Площадь тела человека примерно 1.5 кв.м. Площадь поверхности Солнца  $6 \cdot 10^{16}$  кв.м. Значит, 1.5 кв.м излучает  $10^{10}$  Дж/с (т.е. столько энергии получит тело человека за 1 секунду). Очевидно, что за одну наносекунду все тело человека получит всего 10 Дж энергии. Очевидно, что это абсолютно безопасно.

Ускорение свободного падения на поверхности Солнца превышает его же для поверхности Земли не более чем на несколько порядков (в действительности оно составляет  $28g$ ). Значит, за 1 нс человек приобретет скорость примерно  $3 \cdot 10^{-4}$  мм/с, что также абсолютно безопасно.

5. Годичный параллакс звезды и ее угловой диаметр совпадают. Какого цвета эта звезда?

**Решение:**

По определению годичный параллакс звезды — это угол, под которым при наблюдении с звезды мог бы быть виден радиус земной орбиты, т.е. 1 а.е. С другой стороны, угловой диаметр звезды — это угол, под которым с Земли виден диаметр звезды. Расстояния от звезды до Земли и от Земли до звезды, естественно, ничем не отличаются, поэтому из условия задачи следует, что диаметр звезды равен 1 а.е.

Это достаточно много. Например, это более чем в 100 раз больше, чем радиус Солнца. Следовательно, звезда является гигантом и, скорее всего, красным. Можно, однако, вспомнить, что и голубые гиганты также могут иметь подобный радиус, однако они встречаются намного реже. Поэтому звезда скорее всего красная (или оранжевая), намного менее вероятно — бело-голубая.