Всероссийская олимпиада школьников по астрономии
Муниципальный этап, г. Пермь, 2020 г.

Возможные решения и оценивания заданий по астрономии
Каждое решение оценивается не более 8 баллов

11 класс

Задание 1. В таблице представлены значения δ склонения Солнца последней декады ноября. Как по этой таблице определить дату начала сумерек полярной ночи для города Норильска с широтой $\varphi = 69°20'$? Оцените, наступит ли в Норильске полярная ночь?

День ноября	Склонение Солнца
21	-19°47'
22	-20°00'
23	-20°13'
24	-20°26'
25	-20°38'
26	-20°50'
27	-21°01'
28	-21°12'
29	-21°23'
30	-21°33'

Решение. Началом (или концом) сумерек считается момент времени, когда центр солнечного диска проходит точку, расположенную ниже истинного горизонта на угловом расстоянии 50′. Эта величина определяется половиной наблюдаемого углового диаметра Солнца в 15′ и углом наибольшей атмосферной рефракции 35′:

$15' + 35' = 50'$ (***2 балла***).

Следовательно, наибольшая высота Солнца в верхней кульминации в день наступления сумерек равна:

$h_с = 50'$ (***1 балл***).

Высота верхней кульминации светила определяется его склонением δ и широтой φ места наблюдения:

$h_с = 90° - \varphi + \delta_с$ (***1 балл***).

Отсюда определяем требуемое склонение Солнца δ для наступления сумерек:

$\delta_с = h_с - 90° + \varphi = 50' - 90° + 69°20' = - 19°50'$ (***1 балл***).

Из таблицы находим: *сумерки начнутся* с 22 ноября (***1 балл***).

Началом гражданской ночи считается момент времени, когда центр солнечного диска опускается ниже уровня горизонта на 6°. Поскольку наименьшее склонение Солнца в день зимнего солнцестояния равно -23°26′, то наименьшая высота верхней кульминации Солнца для Норильска составляет:

$h_н = 90° - 69°20' - 23°26' = - 2°46'$ (***1 балл***).

Поскольку $|h_н| < 6°$, то полярная ночь в Норильске не наступает (***1 балл***).

Задание 2. Звезда находится от нас на расстоянии 30 пк. Сколько величин характеризуют её движение в пространстве? Как их измеряют?

Решение. Движение звезды в пространстве в общем случае характеризуют две следующие величины:

- лучевая компонента скорости – скорость движения по лучу света, идущего от звезды (***1 балл***);

- трансверсальная или тангенциальная компонента скорости, которая перпендикулярна к лучу зрения (***1 балл***).

Лучевую скорость измеряют по доплеровскому смещению спектральных линий принимаемого излучения относительно положения этих линий в спектре, исследованном в земной лаборатории (***2 балла***).

Трансверсальную компоненту скорости также называют «собственным движением» звезды. Её определяют из серии измерений положения звезды относительно достаточно удалённых звёзд, которые практически неподвижны на небесной сфере (***2 балла***).

В целом вектор пространственной скорости определяют в виде трех компонентов в галактической системе координат (***2 балла***).

Задание 3. Две звезды имеют наблюдаемые звёздные величины 3^m и 5^m. Температура первой звезды в два раза превышает температуру второй звезды, но она находится в два раза дальше второй звезды. Оцените отношение радиусов звёзд без учёта поглощения света в пространстве.

Решение. По формуле Погсона разность звездных величин равна:

$m_1 – m_2 = -2,5\lg(E_1/E_2)$,

$-2 = -2,5\lg(E_1/E_2)$,

$\lg(E_1/E_2) = 0,8$,

$E_1/E_2 = 10^{0,8} = 6,31$ (***2 балла***).

Поток излучения E каждой звезды определяется её светимостью L и расстоянием d до звезды:

$E = L/(4\pi\, d^2)$.

Получаем:

$(L_1/L_2)(d_2/d_1)^2 = 6,31$.

$L_1/L_2 = 6,31 \cdot 4 = 25,24$ (***2 балла***).

По закону Стефана –Больцмана светимость определяется радиусом звезды R и температурой поверхности звезды:

$L = 4\pi R^2\sigma T^4$, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт$\cdot$м$^{-2}\cdot$К$^{-4}$– постоянная Стефана-Больцмана.

$L_1/L_2 = (R_1/R_2)^2(T_1/T_2)^4$ (***2 балла***).

Отсюда следует

$R_1/R_2 = (L_1/L_2)^{1/2}\,(T_2/T_1)^2 = 5,02/4 \approx 5/4$ (***2 балла***).

Задание 4. По величине эксцентриситета орбиты *e* = 0,055 оцените, насколько (в процентах) изменяется видимый с Земли угловой диаметр Луны в апогее и перигее относительно его углового размера при среднем расстоянии от Земли до Луны.

Решение. Среднее значение α_c углового размера диска Луны при наблюдении с Земли определяется отношением диаметра D Луны к среднему расстоянию L до Луны и с учетом D << L равно (***2 балла***):

$\alpha_c = D/L$ (***2 балла***).

В перигее расстояние до Луны меньше и угловой размер больше:

$\alpha_п = D/(L(1 - e))$.
Увеличение размера составляет

$\alpha_п/\alpha_с = 1/(1 - e) \approx 1 + e$, или на 5,5 процента больше (***2 балла***).
Соответственно, в апогее:

$\alpha_а = D/(L(1 + e)) \approx 1 - e$, или на 5,5 процента меньше (***2 балла***).

Задание 5. В день весеннего равноденствия в городе Краснодаре (45° с.ш.) на горизонтальной площадке школьники измеряли длину тени двухметрового шеста с целью моделирования солнечных часов. Шест был закреплён с наклоном 45° к горизонту строго по азимуту 180°. Объясните, почему использовалась такая ориентировка шеста и вычислите длину его тени в истинный полдень, которую измерили школьники.

Решение. В солнечных часах шест устанавливается параллельно оси мира (***1 балл***), т.е. с наклоном по азимуту 180° (***1 балл***) под углом, равным географической широте места наблюдения (***1 балл***).

В день весеннего равноденствия Солнце находится практически на небесном экваторе и его склонение равно нулю (***1 балл***). Его высота равна:

$h = 90° - \varphi = 45°$ (***1 балл***).
Следовательно, лучи света в полдень падают под углом 45° к горизонту (***1 балл***), т.е. под прямым углом к оси шеста (***1 балл***). Поэтому длина тени в полдень была больше длины шеста в $\sqrt{2}$ раз и составляла, примерно, 2 м и 82 см (***1 балл***).

Задание 6. Первый квазар 3С 273 был открыт в созвездии Девы и достаточно исследован. Его светимость достигает 10^{12} светимостей Солнца. Он удалён от Солнечной системы примерно на 2,44 миллиарда световых лет. Оцените его звёздную величину.

Решение. Оценить звёздную величину m_1 квазара можно по формуле Погсона

$m_1 - m_2 = -2,5\lg(E_1/E_2)$ (***2 балла***),
где $m_2 = -26,8^m$ звёздная величина Солнца, E_1 и E_2 – освещённости, создаваемые квазаром и Солнцем. Освещённости определяются светимостями L_1 и L_2 квазара и Солнца, а также расстояниями d_1 и d_2 до квазара и Солнца:

$E_1 = L_1/4\pi d^2{}_1$, $E_2 = L_2/4\pi d^2{}_2$ (***2 балла***).
По условиям задачи

$L_1 = 10^{12}L_2$, $d_1 = 2,44 \cdot 10^9$ св.г. $= 2,44 \cdot 10^9 \cdot 6,32 \cdot 10^4$ а.е. $= 1,54 \cdot 10^{14} d_2$ (***2 балла***).
Вычисляем:

$m_1 = -26,8 - 2,5\lg(10^{12}(d_2/d_1)^2) = -26,8 - 2,5(12 - 2\lg(1,54 \cdot 10^{14})) = 14,1^m$ (***2 балла***),
что соответствует известному значению $14,83^m$.