

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии  
2023-2024 учебный год  
10 класс  
Максимальный балл – 50 баллов**

**Задача №1. «Холодный Нептун».** (Максимальный балл – 8 баллов)

Во сколько раз Нептун получает от Солнца энергии меньше, чем Земля?

*Автор: Гусев Андрей Владиславович*

**Возможное решение:**

Справочные материалы, необходимые для решения задачи представлены в таблицах. На единицу поверхности в районе орбиты Нептуна падает энергии в  $\left(\frac{30 \text{ а.е.}}{1 \text{ а.е.}}\right)^2 = 900$  раз меньше по сравнению с единицей поверхности в районе орбиты Земли.

Площадь освещенной поверхности Нептуна в  $\left(\frac{R_{\text{нептуна}}}{R_{\text{земли}}}\right)^2 = 3,88^2 = 15$  раз больше площади освещенной поверхности Земли.

Следовательно, Нептун получает от Солнца энергии меньше, чем Земля в  $\frac{900}{15} = 60$  раз.

**Схема оценивания:**

№	Этапы решения	Балл
1	Энергия, приходящаяся на единицу поверхности, убывает $\sim R^2$	3
2	Получаемая энергия пропорциональна площади поверхности тела	3
3	Получен правильный ответ	2
	<b>ИТОГО:</b>	<b>8</b>

**Задача №2. «Двойные звезды».** (Максимальный балл – 8 баллов)

Входящие в состав двойной системы звезды с массами 3 и 5 масс Солнца вращаются друг вокруг друга так, что расстояние между ними остается постоянным и равным 2 а.е. Найдите орбитальный период обращения такой двойной системы.

Автор: Фокин Андрей Владимирович

**Возможное решение:**

Запишем III закон Кеплера:

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G(m_1 + m_2)}$$

где  $T$  – орбитальный период,  $a$  – большая полуось (она же среднее расстояние между звездами,  $m_1, m_2$  – массы звезд.

Подставляя табличные значения и данные из условия задачи, определим период обращения звезд:

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 a^3}{G(m_1 + m_2)}}$$

Подставляя, получим  $T = 3,2 \cdot 10^7$  с (примерно 1 год).

**Схема оценивания:**

№	Этапы решения	Балл
1	Записан III закон Кеплера	4
2	Выполнены необходимые преобразования	3
3	Получен правильный ответ	1
	<b>ИТОГО:</b>	<b>8</b>

**Примечание:** Ответ может быть дан в любых единицах измерения времени. Возможно упрощение вычислений, если записать по аналогии III закон Кеплера для системы Солнце-Земля и значительно упростить себе вычисления (без подстановки в СИ). Такие решения также оцениваются полным баллом.

**Задача №3. «Экзопланеты». (Максимальный балл – 8 баллов)**

Во время исследования экзопланеты у звезды HD17560 обнаружили, что во время транзита планеты по диску звезды её блеск падает на 0,04 %. Зная, что радиус звезды составляет 0,5 солнечного, определите радиус планеты.

Автор: Гусев Андрей Владиславович

**Возможное решение:**

Блеск звезды пропорционален площади, с которой происходит излучение. Площадь пропорциональна квадрату радиуса звезды (планеты). Получаем:

$$\frac{100}{99,96} = \frac{R^2}{R^2 - r^2}.$$

В результате, радиус планеты:

$$r = 0,02R = 0,02 \cdot 0,5 \cdot R_{\text{солнца}} = 0,01 \cdot 700\,000 \text{ км} = 7\,000 \text{ км}.$$

**Схема оценивания:**

№	Этапы решения	Балл
1	Связь блеска с площадью поверхности	3
2	Получение расчетной формулы	3
3	Получен правильный ответ	2
	<b>ИТОГО:</b>	<b>8</b>

**Задача №4. «Далекая галактика». (Максимальный балл – 8 баллов)**

Найти расстояние до галактики и её линейный размер, если известно, что длины волн всех спектральных линий из-за эффекта Доплера увеличены на 1%. Угловой размер галактики составляет 1'.

Автор: Гусев Андрей Владиславович

**Возможное решение:**

Воспользуемся законом Хаббла  $V=HR$ ,  $H$  – постоянная Хаббла,  $R$  – расстояние до галактики и формулой связи доплеровского смещения со лучевой скоростью движения объекта  $V = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} c$ , где  $c$  – скорость света,  $\Delta\lambda$  – сдвиг спектральных линий. Расстояние до галактики:

$$R = \frac{V}{H} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \cdot \frac{c}{H} = \frac{0,01 \cdot 3 \cdot 10^5 \text{ км/с}}{72 \text{ км/с·Мпк}} = 41,7 \text{ Мпк.}$$

Линейный размер галактики:

$$L = R \cdot \alpha = 41,7 \text{ Мпк} \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{\pi}{180} \text{ рад} = 12,1 \text{ кпк.}$$

**Схема оценивания:**

№	Этапы решения	Балл
1	Записан закон Хаббла	2
2	Указана связь между доплеровским смещением и скоростью удаления	2
3	Получена расчетная формула	2
4	Получен правильный ответ	2
	<b>ИТОГО:</b>	<b>8</b>

**Примечание:** Конечной формулы может не быть. Допускается правильные вычисления по частям. При этом баллы за этапы 3 и 4 не снимаем.

**Задача №5 «Я ее вижу!». (Максимальный балл – 8 баллов)**

Какой окуляр нужно использовать в телескопе с фокусным расстоянием объектива 600 мм что бы увидеть туманность Андромеды в поле зрения телескопа полностью. Видимый диаметр туманности Андромеды (она же спиральная галактика по каталогу Мессье M31) составляет 2,5 градуса.

Автор: Верховских Игорь Вячеславович

**Возможное решение:**

Поле зрения телескопа можно выразить следующим выражением  $\theta = \frac{2000'}{W}$ , где  $\theta$  выражена в минутах, а  $W$  – кратность телескопа. Нужно перевести градусы в минуты 2,5 градуса = 150 минут. Кратность телескопа вычисляется по формуле:  $W = F/f$ , где  $F$  – фокусное расстояние объектива,  $f$  – фокусное расстояние окуляра.

Вычислим, какой должна быть кратность телескопа, что бы при заданных угловых размерах туманности Андромеды вся туманность попала в поле зрения телескопа.

$$\theta = 2,5 \text{ градуса} = 150 \text{ минут}$$

$$150 = \frac{2000'}{W}, \text{ отсюда } W = \frac{2000'}{150} = 13.33$$

$$W = \frac{F}{f}, \text{ отсюда } f = \frac{F}{W} = \frac{600}{13.33} = 45 \text{ (мм)}$$

Ответ: Фокусное расстояние окуляра должно быть 45 миллиметров.

**Схема оценивания:**

№	Этапы решения	Балл
1	Указана расчетная формула $\theta = \frac{2000'}{W}$	3
2	Выполнен перевод из градусов в минуты	1
3	Найдена величина кратности	2
4	Правильный численный ответ	2
	<b>ИТОГО:</b>	<b>8</b>

**Примечание:** вместо расчетной формулы для поля зрения телескопа участник может рассчитать угловые размеры поля зрения телескопа через геометрическое построение оптической схемы телескопа. Такой путь тоже возможен, и, если участник получил верный ответ, то задача засчитывается полностью.

**Задача №6 «Фотоколлажи».** (Максимальный балл – 10 баллов)

На фото представлены 12 изображений Солнца с интервалом 1 час (суточный трек). Точки восхода и захода отмечены стрелками. Первое изображение Солнца снято через 30 минут после восхода, последнее – за 30 минут до заката. Используя фотографию, ответьте на следующие вопросы: 1. Какова продолжительность дня? 2. Какова дата съемки (примерно)? 3. На рисунке отметьте стороны света. 4. Определите (примерно) широту места съемки фотографии.

Автор: Фокин Андрей Владимирович

**Возможное решение и схема оценивания:**

- (1 6) Продолжительность дня, найденная по рисунку, составляет 12 часов
- (2 6) Это день весеннего или осеннего равноденствия. Соответственно, дата съемки – 20-23 сентября или 20-23 марта.
- (1 6) Солнце кульминирует на южной части неба, на рисунке слева – восток, справа – запад, перед фотографом – юг, за его спиной – север.
- (1 6) В день равноденствия склонение Солнца равно  $0^0$
- (1 6) Высота Солнца ( $h$ ) и широта местности ( $\varphi$ ) связаны соотношением:  $h=90^0-\varphi$
- (3 6) Для нахождения высоты воспользуемся рисунком и линейкой: угловое расстояние между восходом и закатом равно  $180^0$ , ему соответствует расстояние между точками востока и запада 206 мм, расстояние от линии горизонта до точки верхней кульминации Солнца на фотографии равна 38 мм, составляя пропорцию, найдем что высота Солнца в градусах над горизонтом равна примерно  $33^0$ . Расстояния могут отличаться от указанных, т.к. разные принтеры при печати по-разному масштабируют рисунок.
- (1 6) Находим широту места съемки  $57^0$ .

В скобках указаны баллы, за выполнения того или иного пункта решения.

