

**Разбор заданий пригласительного этапа ВсОШ по астрономии
для 10 класса**

2022/23 учебный год

Максимальное количество баллов — 100

Задание № 1

Общее условие:

Изображения переднего плана и дальнего фона на этой фотографии были получены одним вечером с одной камеры из одного места наблюдения.



Условие:

Как называются яркие галактики — спутники Млечного Пути, запечатлённые на приведённой фотографии?

Ответ:

- Большое и Малое Магеллановы Облака
- Спутник-1 и Спутник-2
- Галактика Андромеды и Галактика Треугольника
- Туманность Андромеды и Галактика Водоворот
- Ланиакея и Лаурелин

Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

Каковы условия видимости этих галактик на территории России?

Ответ:

- Видны летом
- Видны осенью
- Видны зимой и весной
- Видны каждую ночь
- Не видны никогда

Точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 6 баллов

Решение.

Магеллановы Облака — две крупнейших галактики-спутника Млечного Пути. Жителям Южного полушария Магеллановы Облака были известны с древности. Своё современное название Магеллановы облака получили в честь Фернана Магеллана, совершившего первое кругосветное плавание

в 1519–1522 годах, поскольку описание этим объектам дал член его команды. Для мореплавателей Магеллановы облака представляли интерес тем, что находятся около Южного полюса мира, вблизи которого нет ярких звёзд. В Северном полушарии эти галактики восходят лишь на очень низких широтах (южнее 20° с. ш.), с территории России они не наблюдаются.

Задание № 2

Общее условие:

Эта фотография была сделана в Северном полушарии Земли. Изображения переднего плана и дальнего фона были получены одним вечером с одной камеры из одного места наблюдения.

Условие:

Отметьте на изображении кому.

Ответ:



Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

Что представляет из себя кома?

Ответ:

- ✓ Облако из газа и пыли, окружающее ядро кометы
- Длинный ионный хвост кометы
- Собственно ядро кометы

Точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 5 баллов

Решение.

Ядра комет обычно небольшие (километры — десятки километров).

Наблюдатели видят *кому* и кометные *хвосты* — шлейфы из газа и пыли.

Задание № 3.1

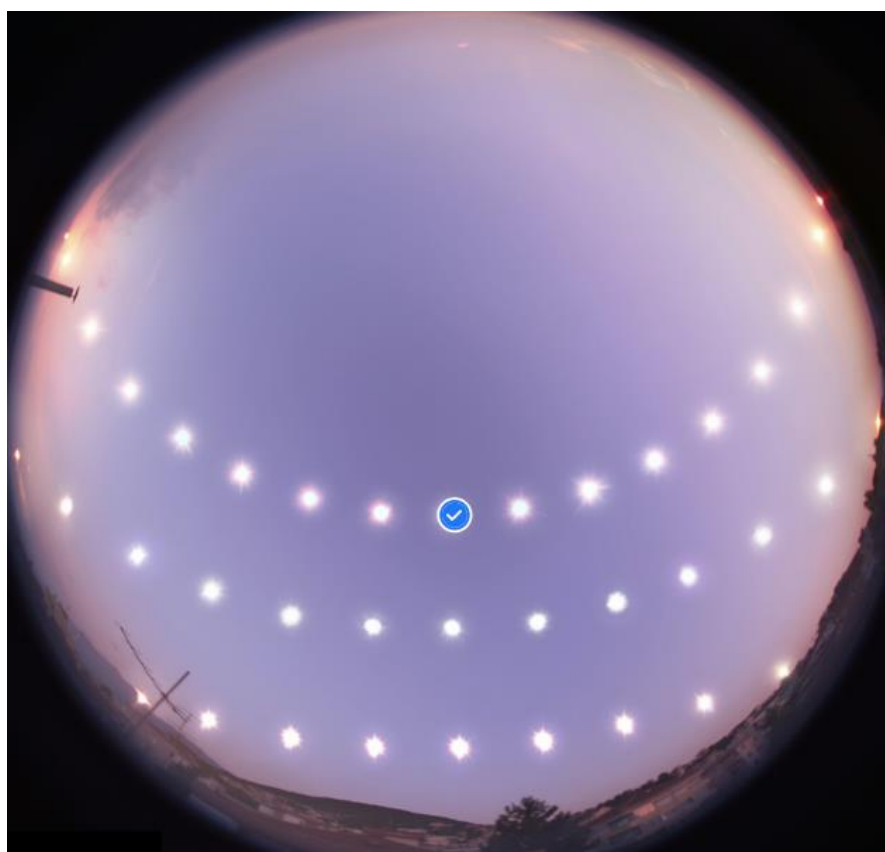
Общее условие:

На фотографии представлены суточные пути Солнца в некотором пункте Земли. Съёмка производилась раз в час в дни зимнего солнцестояния, весеннего равноденствия и летнего солнцестояния. Известно, что фотограф находился в Северном полушарии.

Условие:

Отметьте на фотографии изображение Солнца, соответствующее полудню летнего солнцестояния.

Ответ:



Точное совпадение ответа — 4 балла

Условие:

На какой широте производилась съёмка?

Ответ:

- 80° ю. ш.
- 60° ю. ш.
- 40° ю. ш.
- 20° ю. ш.
- 0° ш.
- 20° с. ш.
- 40° с. ш.
- 60° с. ш.
- 80° с. ш.

Точное совпадение ответа — 4 балла

Максимальный балл за задание — 8 баллов

Решение.

В день летнего солнцестояния Солнце имеет наибольшее (северное) склонение, поэтому для жителей умеренных широт Северного полушария кульминирует на наибольшей высоте. Для ответа на первый вопрос необходимо выбрать наивысшее полуденное положение Солнца.

Плоскость эклиптики наклонена к плоскости экватора Земли на угол 23.5° . На этот же угол отстоят от полуденного положения Солнца в равноденствие соответствующие положения Солнца в дни летнего и зимнего солнцестояний. Для ответа на второй вопрос можно вспомнить, что склонение светила, проходящего через зенит в пункте наблюдения, равно широте места наблюдения. Тогда выбор ответа вполне очевиден с учётом соотношений на фотографии. (см. рис.). Альтернативный способ — заметить, что на широте 20° с. ш. в день летнего солнцестояния Солнце

должно было бы кульминировать к северу от зенита, а в день зимнего солнцестояния на широте 60° с. ш. — на высоте всего 6.5° . На фотографии же наблюдается некоторое промежуточное состояние.



Задание № 3.2

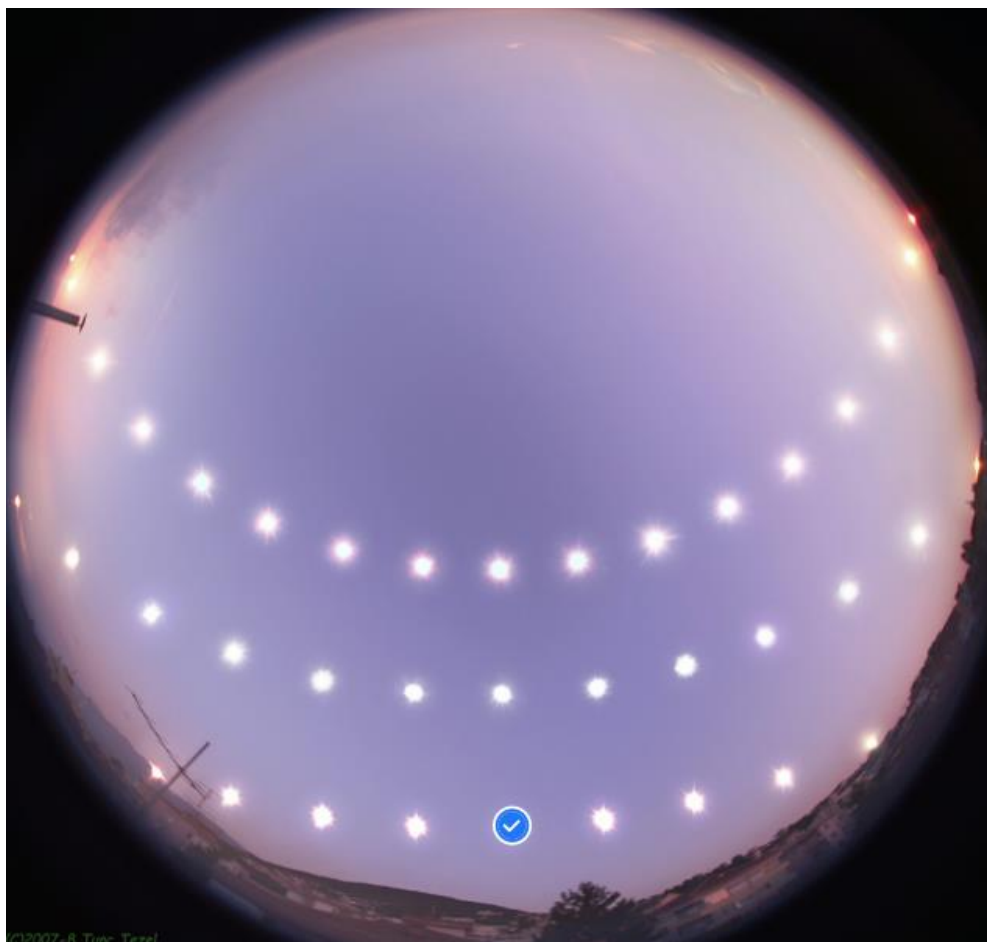
Общее условие:

На фотографии представлены суточные пути Солнца в некотором пункте Земли. Съёмка производилась раз в час в дни зимнего солнцестояния, весеннего равноденствия и летнего солнцестояния. Известно, что фотограф находился в Южном полушарии.

Условие:

Отметьте на фотографии изображение Солнца, соответствующее полудню летнего солнцестояния.

Ответ:



Точное совпадение ответа — 4 балла

Условие:

На какой широте производилась съёмка?

Ответ:

- 80° ю. ш.
- 60° ю. ш.
- 40° ю. ш.
- 20° ю. ш.
- 0° ш.
- 20° с. ш.
- 40° с. ш.
- 60° с. ш.
- 80° с. ш.

Точное совпадение ответа — 4 балла

Максимальный балл за задание — 8 баллов

Решение по аналогии с заданием № 3.1.

Задание № 4.1

Общее условие:

Взгляните на два ярких светила чуть выше центра снимка. В начале марта 2023 года наблюдалось тесное соединение Венеры (справа) и Юпитера (слева). При наибольшем сближении угловое расстояние между ними составляло меньше 1° .



Конечно, видимая близость планет на земном небе не означает их близкое расположение в пространстве. Известно, что радиус орбиты Венеры равен 0.72 астрономической единицы, орбиты Юпитера — 5.20 астрономической единицы.

Условие:

Какое наименьшее расстояние в пространстве в принципе может разделять эти две планеты? Орбиты планет считайте круговыми и лежащими в одной плоскости. Ответ выразите в астрономических единицах, округлите до сотых.

Ответ: 4.48

Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

Эксцентриситет орбиты Юпитера составляет 0.049. Это означает, что при движении Юпитера по эллиптической орбите вокруг Солнца расстояние от большой планеты до центрального светила может изменяться в пределах 4.9 % относительно большой полуоси, длина которой равна 5.20 астрономической единицы.

Учитывая эксцентриситет орбиты Юпитера и считая эксцентриситет орбиты Венеры пренебрежимо малым, уточните ответ на предыдущий вопрос. Ответ выразите в астрономических единицах, округлите до десятых.

Ответ: 4.2

Точное совпадение ответа — 4 балла

Условие:

Установите соответствие между утверждением и планетой, к которой оно применимо.

Ответ:

Планета-гигант	Юпитер
Имеет множество естественных спутников	
Имеет сильное магнитное поле	
Совершает оборот вокруг своей оси за 10 часов	
Планета земной группы	Венера

Продолжительности звёздных суток и года на планете примерно равны	
Имеет плотную углекислотную атмосферу	
Орбита очень близка к круговой	

За каждую верную пару — 0.5 балла

Максимальный балл за задание — 11 баллов

Решение.

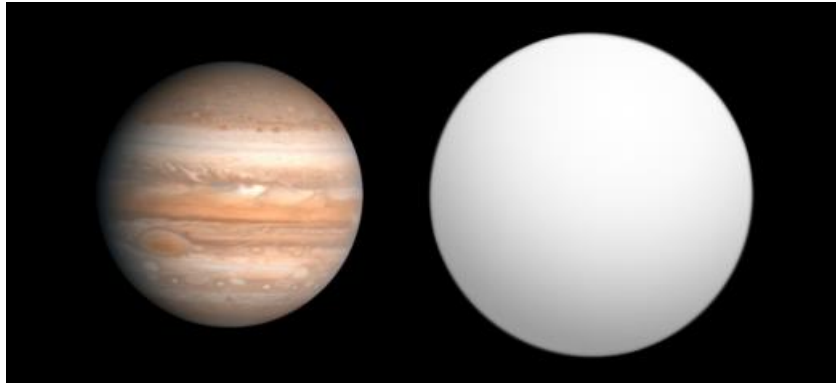
А) Поскольку орбиты планет по условию лежат в одной плоскости, ответ — разность радиусов орбит Юпитера и Венеры: $d_{\min} = r_{\text{Ю}} - r_{\text{В}} = 4.48$ а. е.

В) Ответ на предыдущий вопрос теперь возможно уточнить. Минимальное расстояние от Юпитера до Солнца составит $r'_{\text{Ю}} = r_{\text{Ю}}(1 - 0.049) = 4.95$ а. е. Тогда минимальное расстояние между Юпитером и Венерой $d'_{\min} = r'_{\text{Ю}} - r_{\text{В}} = 4.23$ а. е. ≈ 4.2 а. е.

Задание № 5.1

Общее условие:

Большинство из известных на данный момент экзопланет сопоставимы по массе и размерам с Юпитером, поэтому масса M_J и радиус R_J Юпитера используются в качестве удобных единиц при указании их параметров.



Экзопланеты, которые находятся очень близко к родительским звёздам, сильно разогреваются. Их гравитация не в силах удержать внутренние слои от расширения, поэтому такие экзопланеты называют «рыхлыми».

Так, радиус экзопланеты *WASP-17 b* составляет $2.0R_J$ при массе $0.49M_J$.

Условие:

Вычислите среднюю плотность *WASP-17 b*.

Средняя плотность Юпитера составляет $\rho_0 = 1326 \text{ кг/м}^3$. Ответ выразите в кг/м^3 , округлите до целых.

Ответ: 81

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Условие:

Горячим юпитером называют экзопланету с массой порядка массы Юпитера, находящуюся на малом расстоянии от своей звезды и потому

имеющую совсем небольшой орбитальный период. Почему большинство первых открытых экзопланет оказывалось горячими юпитерами?

Выберите все верные утверждения:

Ответ:

- ✓ Из-за малого радиуса орбиты велика вероятность наблюдать прохождение такой экзопланеты, причём довольно крупной, по диску своей звезды
- Горячие юпитеры сами являются мощными источниками электромагнитного излучения, что позволяет наблюдать их непосредственно
- ✓ Такие планеты из-за своей массивности и близости к звезде вызывают периодические изменения радиальной скорости родительской звезды («покачивания»), что возможно наблюдать спектрометрически
- ✓ Малый период обращения означает высокую частоту повторяемости явлений, связанных с существованием горячего юпитера, что удобно при систематических наблюдениях

Оценка каждого пункта отдельно — по 1 баллу

Максимальный балл за задание — 9 баллов

Решение.

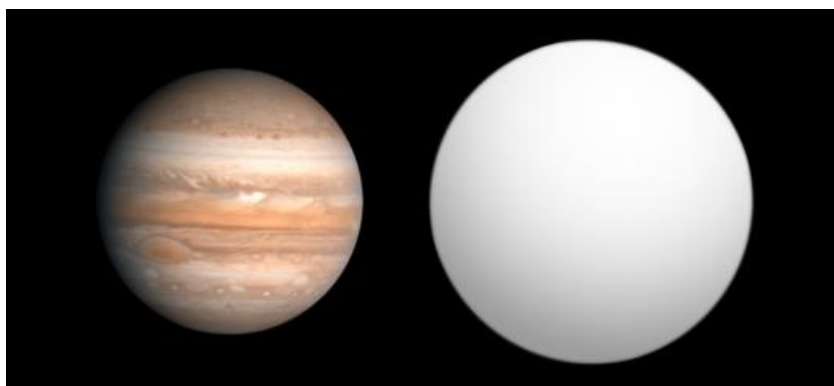
Средняя плотность есть отношение массы объекта к его объёму. Объём шара прямо пропорционален кубу его радиуса, так что $\rho \propto MR^{-3}$. Тогда средняя плотность экзопланеты есть

$$\rho = \rho_0 \times \frac{0.49}{2.0^3} = 0.061\rho_0 = 0.061 \times 1326 \text{ кг/м}^3 = 81 \text{ кг/м}^3.$$

Задание № 5.2

Общее условие:

Большинство из известных на данный момент экзопланет сопоставимы по массе и размерам с Юпитером, поэтому масса M_J и радиус R_J Юпитера используются в качестве удобных единиц при указании их параметров.



Экзопланеты, которые находятся очень близко к родительским звёздам, сильно разогреваются. Их гравитация не в силах удержать внутренние слои от расширения, поэтому такие экзопланеты называют «рыхлыми».

Так, радиус экзопланеты *TrES-4 A b* составляет $1.7R_J$ при массе $0.92M_J$.

Условие:

Вычислите среднюю плотность *TrES-4 A b*.

Средняя плотность Юпитера составляет $\rho_0 = 1326 \text{ кг/м}^3$. Ответ выразите в кг/м^3 , округлите до целых.

Ответ: 248

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Условие:

Горячим юпитером называют экзопланету с массой порядка массы Юпитера, находящуюся на малом расстоянии от своей звезды и потому

имеющую совсем небольшой орбитальный период. Почему большинство первых открытых экзопланет оказывалось горячими юпитерами?

Выберите все верные утверждения:

Ответ:

- ✓ Такие планеты из-за своей массивности и близости к звезде вызывают периодические изменения радиальной скорости родительской звезды («покачивания»), что возможно наблюдать спектрометрически
- ✓ Из-за малого радиуса орбиты велика вероятность наблюдать прохождение такой экзопланеты, причём довольно крупной, по диску своей звезды
- Горячие юпитеры сами являются мощными источниками электромагнитного излучения, что позволяет наблюдать их непосредственно
- ✓ Малый период обращения означает высокую частоту повторяемости явлений, связанных с существованием горячего юпитера, что удобно при систематических наблюдениях

Оценка каждого пункта отдельно — по 1 баллу

Максимальный балл за задание — 9 баллов

Решение по аналогии с заданием № 5.1.

Задание № 6

Общее условие:

В 185 году н.э. китайские астрономы засвидетельствовали появление новой звезды в астеризме Нанмен. Как считается, это была первая зарегистрированная сверхновая. На фотографии запечатлена туманность *RCW 86*, которая, предположительно, образовалась в результате взрыва.

Этот остаток сверхновой имеет поперечник около 100 световых лет и удалён от нас примерно на 8 тысяч световых лет.



Условие:

Определите среднюю скорость разлёта вещества туманности (скорость удаления вещества на краю туманности от центра) с момента взрыва до наших дней. Ответ выразите в долях скорости света, округлите до тысячных.

Ответ: [0.024; 0.03]

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Условие:

Определите современный видимый угловой диаметр RCW 86. Ответ выразите в градусах, округлите до десятых.

Ответ: [0.6; 0.8]

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Максимальный балл за задание — 10 баллов

Решение.

А) За $2013 - 185 = 1838$ лет вещество туманности разлетелось на 100 световых лет, то есть края туманности удалены от центра на 50 световых лет. Световой год — расстояние, которое свет в вакууме преодолевает (двигаясь, что логично, со скоростью света) за 1 год. 50 световых лет свет пролетает за 50 лет. Веществу туманности потребовалось на это в $1838/50$ раз больше времени. Следовательно, средняя скорость разлёта $50/1838 = 0.027$ скоростей света.

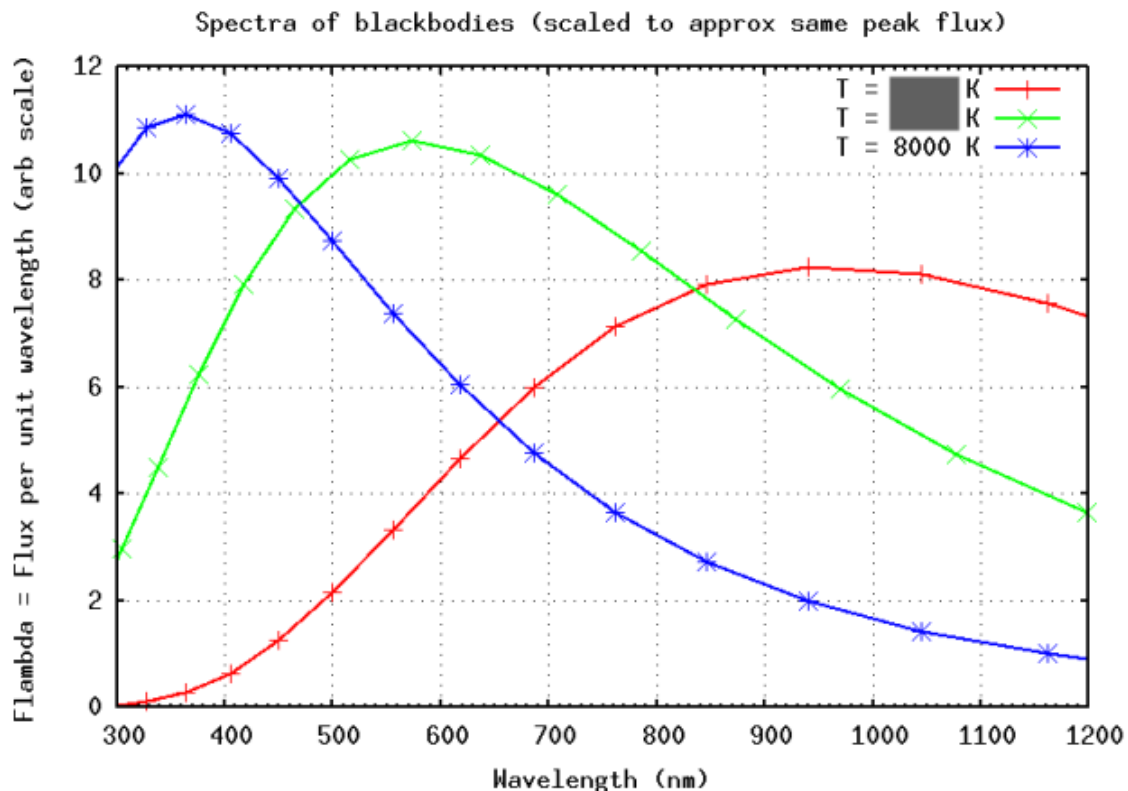
В) Длина окружности радиусом 8 тысяч световых лет есть $C = 2\pi \times 8000$ световых лет. Дуга в x градусов имеет длину $L = \frac{x}{360} C$. В данном случае за длину дуги примем размер туманности: при малых углах дуга и стягивающая её хорда практически совпадают. Тогда $x = \frac{360L}{C} = \frac{360L}{2\pi \times 8000} = 0.7$ (градуса).

Задание № 7.1

Общее условие:

В астрофизике весьма распространена модель абсолютно чёрного тела, которое поглощает всё падающее на него электромагнитное излучение. Вместе с тем такое тело оказывается идеальным излучателем: спектр его излучения определяется только его температурой.

На графике приведены три модельных спектра излучения абсолютно чёрных тел с различными температурами. По оси абсцисс отложены длины волн (в нанометрах), по оси ординат — соответствующая плотность потока. Известно, что произведение температуры T абсолютно чёрного тела и длины волны λ_{\max} , на которую приходится максимум его излучения, есть величина постоянная (закон смещения Вина): $T\lambda_{\max} = \text{const}$.



Условие:

На какой длине волны тело с температурой 8000 К (синяя кривая) излучает наиболее интенсивно? Ответ выразите в нанометрах.

Ответ: [344; 380]

Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

На какой длине волны тело с неизвестной температурой T_2 (зелёная кривая) излучает наиболее интенсивно? Ответ выразите в нанометрах.

Ответ: [562; 597]

Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

Определите температуру T_2 (зелёная кривая). Ответ выразите в кельвинах.

Ответ: [4600; 5400]

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Максимальный балл за задание — 11 баллов

Решение.

Воспользуемся законом, приведённым в условии задачи:

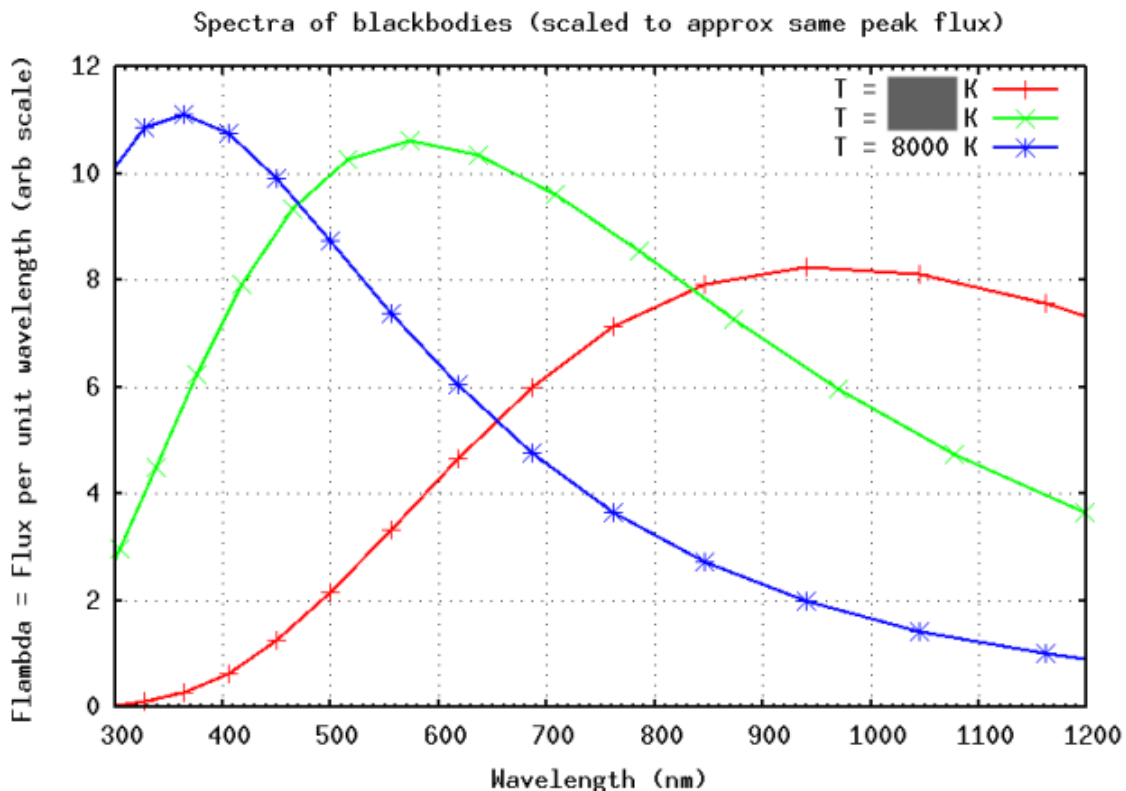
$$\lambda_{\max,1} T_1 = \lambda_{\max,2} T_2 \quad \Rightarrow \quad T_2 = \frac{\lambda_{\max,1}}{\lambda_{\max,2}} T_1 \approx 5000 \text{ К.}$$

Задание № 7.2

Общее условие:

В астрофизике весьма распространена модель абсолютно чёрного тела, которое поглощает всё падающее на него электромагнитное излучение. Вместе с тем такое тело оказывается идеальным излучателем: спектр его излучения определяется только его температурой.

На графике приведены три модельных спектра излучения абсолютно чёрных тел с различными температурами. По оси абсцисс отложены длины волн (в нанометрах), по оси ординат — соответствующая плотность потока. Известно, что произведение температуры T абсолютно чёрного тела и длины волны λ_{\max} , на которую приходится максимум его излучения, есть величина постоянная (закон смещения Вина): $T\lambda_{\max} = \text{const}$.



Условие:

На какой длине волны тело с температурой 8000 К (синяя кривая) излучает наиболее интенсивно? Ответ выразите в нанометрах.

Ответ: [344; 380]

Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

На какой длине волны тело с неизвестной температурой T_3 (красная кривая) излучает наиболее интенсивно? Ответ выразите в нанометрах.

Ответ: [900; 1000]

Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

Определите температуру T_3 (красная кривая). Ответ выразите в кельвинах.

Ответ: [2500; 3500]

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Максимальный балл за задание — 11 баллов

Решение по аналогии с заданием № 7.1.

Задание № 8

Общее условие:

За время экспозиции этой фотографии, сделанной 3 января 2023 г., через поле зрения пролетели сразу две станции: китайская станция Тяньгун (верхний след) и Международная космическая станция (нижний след).



Условие:

В каком полушарии сделана эта фотография?

Ответ:

- В Северном полушарии
- В Южном полушарии
- Невозможно определить

Точное совпадение ответа — 4 балла

Условие:

В направлении какой стороны света преимущественно ориентирован кадр?

Ответ:

- Север
- Юг
- Восток
- Запад

Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

В какое время суток сделана эта фотография?

Ответ:

- Вечером, после захода Солнца
- Около полуночи
- Утром, до восхода Солнца

Точное совпадение ответа — 4 балла

Условие:

Склонение звезды Каф (β Кассиопеи) — самой правой звезды в *W*-астеризме — составляет $+59^\circ$.

Определите широту места съёмки. Ответ выразите в градусах.

Ответ: [30; 45]

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Максимальный балл за задание — 16 баллов

Решение.

Заметим на фотографии астеризмы Большой и Малой Медведиц — два ковша (перевернутый большой сверху, малый по центру изображения). Сразу делаем выводы о нахождении наблюдателя в Северном полушарии и об ориентации кадра в северном направлении. У горизонта, вблизи нижней кульминации виден астеризм Кассиопеи. Южнее Кассиопеи, под горизонтом лежат весенние зодиакальные созвездия: Рыбы, Овен. 3 января Солнце находится в зимнем секторе эклиптики, который в такой ориентации находится правее — чуть ниже восточной стороны горизонта, где как раз видна загорающаяся утренняя заря.

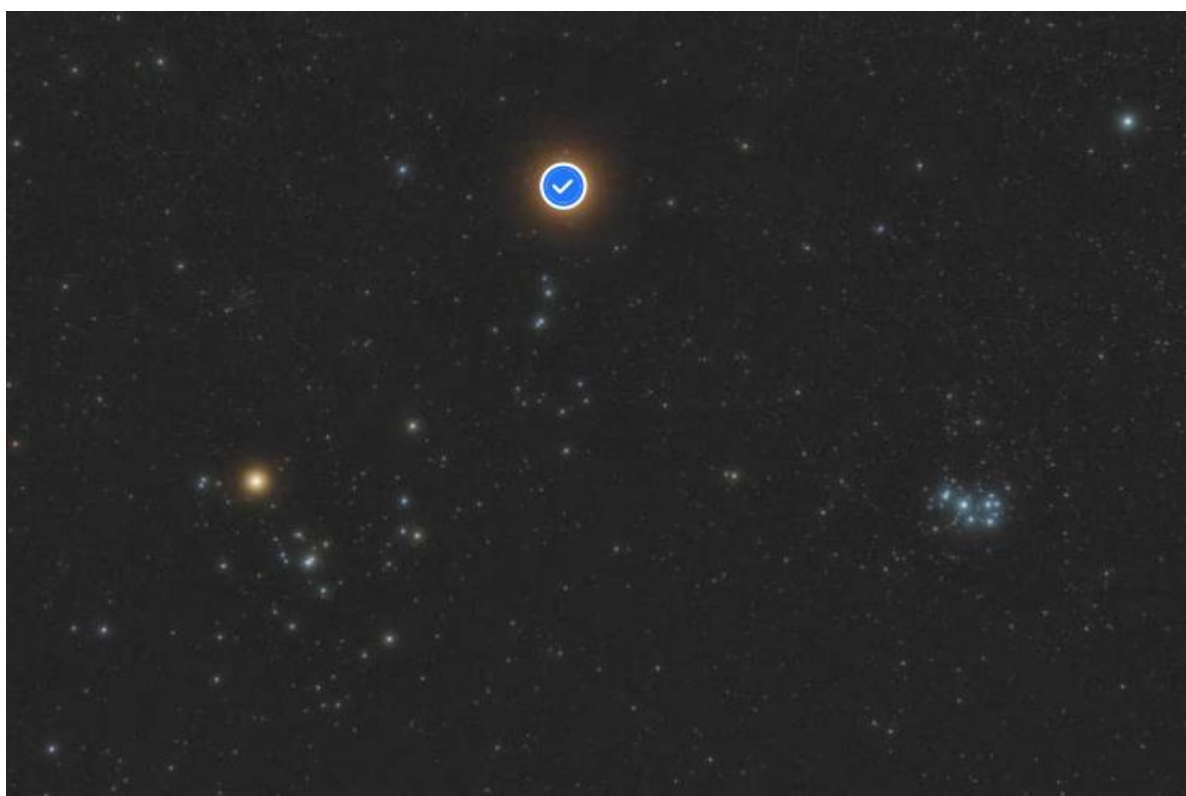
Заметим, что Каф на изображении лежит в точности под Полярной звездой, то есть находится в нижней кульминации. При этом расстояние от Каф до Полярной есть $p_0 = 90^\circ - \delta_0 = 31^\circ$, а на горизонте лежит точка с $p_1 \approx 38^\circ$. Высота h нижней кульминации светила связана с его склонением δ и широтой φ места наблюдения соотношением $h = |\varphi + \delta| - 90^\circ = \varphi - (90^\circ - \delta) = \varphi - p$, то есть широта места наблюдения равна полярному расстоянию светил, нижняя кульминация которых происходит на горизонте: $\varphi = 0 + p_1 = p_1 = +38^\circ$. Ввиду значительной погрешности определения линии горизонта и значения p_1 допускается значительное отклонение ответа от приведённого.

Задание № 9

Условие:

Отметьте на фотографии участка ночного неба планету. Цветопередача кадра корректна.

Ответ:



Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

Как называется эта планета? Запишите её полное название на русском языке.

Ответ: Марс

Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

Как называется созвездие, наиболее примечательный участок которого попал в кадр? Запишите его полное название на русском языке в именительном падеже.

Ответ: Телец

Точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 9 баллов

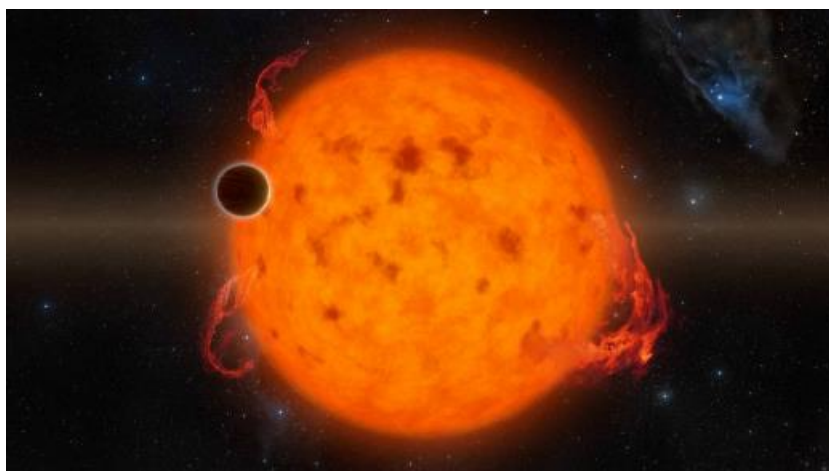
Решение.

Марс называют Красной планетой. На изображении видны Плеяды (справа) и Гиады (слева). На фоне последних виден оранжевый Антарес — ярчайшая звезда созвездия Тельца.

Задание № 10.1

Общее условие:

Вокруг некоторой далёкой звезды, похожей на Солнце, по круговой орбите радиусом 2.25 астрономической единицы обращается подобная Земле планета.



Условие:

Определите период обращения экзопланеты вокруг своей звезды. Ответ выразите в земных годах, округлите до тысячных.

Ответ: [3.3; 3.4]

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Условие:

В своём движении вокруг Солнца Земля преодолевает расстояние, равное своему диаметру, за 428 секунд. За какое время экзопланета пролетает свой диаметр? Ответ выразите в секундах, округлите до целых.

Ответ: [640; 644]

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Условие:

Диаметр Солнца больше диаметра Земли в 109 раз. Как долго длится центральное прохождение экзопланеты по диску родительской звезды для наблюдателя, находящегося в плоскости орбиты этой экзопланеты вдали от этой системы? Ответ выразите в часах, округлите до десятых

Ответ: [19; 20]

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Максимальный балл за задание — 15 баллов

Решение.

А) Воспользуемся третьим законом Кеплера для Солнечной системы (звезда похожа на Солнце): $T^2 \propto r^3$, откуда $T = 2.25^{1.5} = 3.375$ лет.

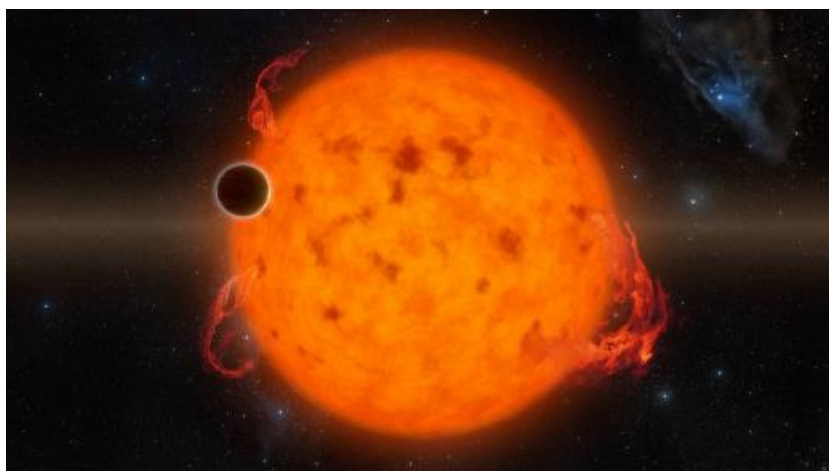
В) Скорость движения планеты по орбите $v \propto \frac{r}{T} \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$, то есть в данном случае меньше орбитальной скорости Земли в $\sqrt{2.25} = 1.5$ раза. Во столько же раз дольше экзопланета пролетает свой диаметр (равный диаметру Земли): $428 \text{ с} \times 1.5 = 642 \text{ с}$.

С) Продолжительность прохождения зависит от размеров звезды и планеты, а также скорости движения последней. Поскольку планета существенно меньше звезды, а радиус орбиты существенно больше радиуса звезды, будем рассчитывать продолжительность прохождения как отношение диаметра звезды к орбитальной скорости планеты. Свой диаметр планета пролетает, как было вычислено ранее, за 642 секунды, а диаметр звезды — за $642 \times 109 \approx 70.0 \cdot 10^3 \text{ с} = 19.4 \text{ ч}$.

Задание № 10.2

Общее условие:

Вокруг некоторой далёкой звезды, похожей на Солнце, по круговой орбите радиусом 3.24 астрономической единицы обращается подобная Земле планета.



Условие:

Определите период обращения экзопланеты вокруг своей звезды. Ответ выразите в земных годах, округлите до тысячных.

Ответ: [5.8; 5.9]

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Условие:

В своём движении вокруг Солнца Земля преодолевает расстояние, равное своему диаметру, за 428 секунд. За какое время экзопланета пролетает свой диаметр? Ответ выразите в секундах, округлите до десятых.

Ответ: [765; 775]

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Условие:

Диаметр Солнца больше диаметра Земли в 109 раз. Как долго длится центральное прохождение экзопланеты по диску родительской звезды для наблюдателя, находящегося в плоскости орбиты этой экзопланеты вдали от этой системы? Ответ выразите в часах, округлите до десятых

Ответ: [23; 24]

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Максимальный балл за задание — 15 баллов

Решение по аналогии с заданием № 10.1.