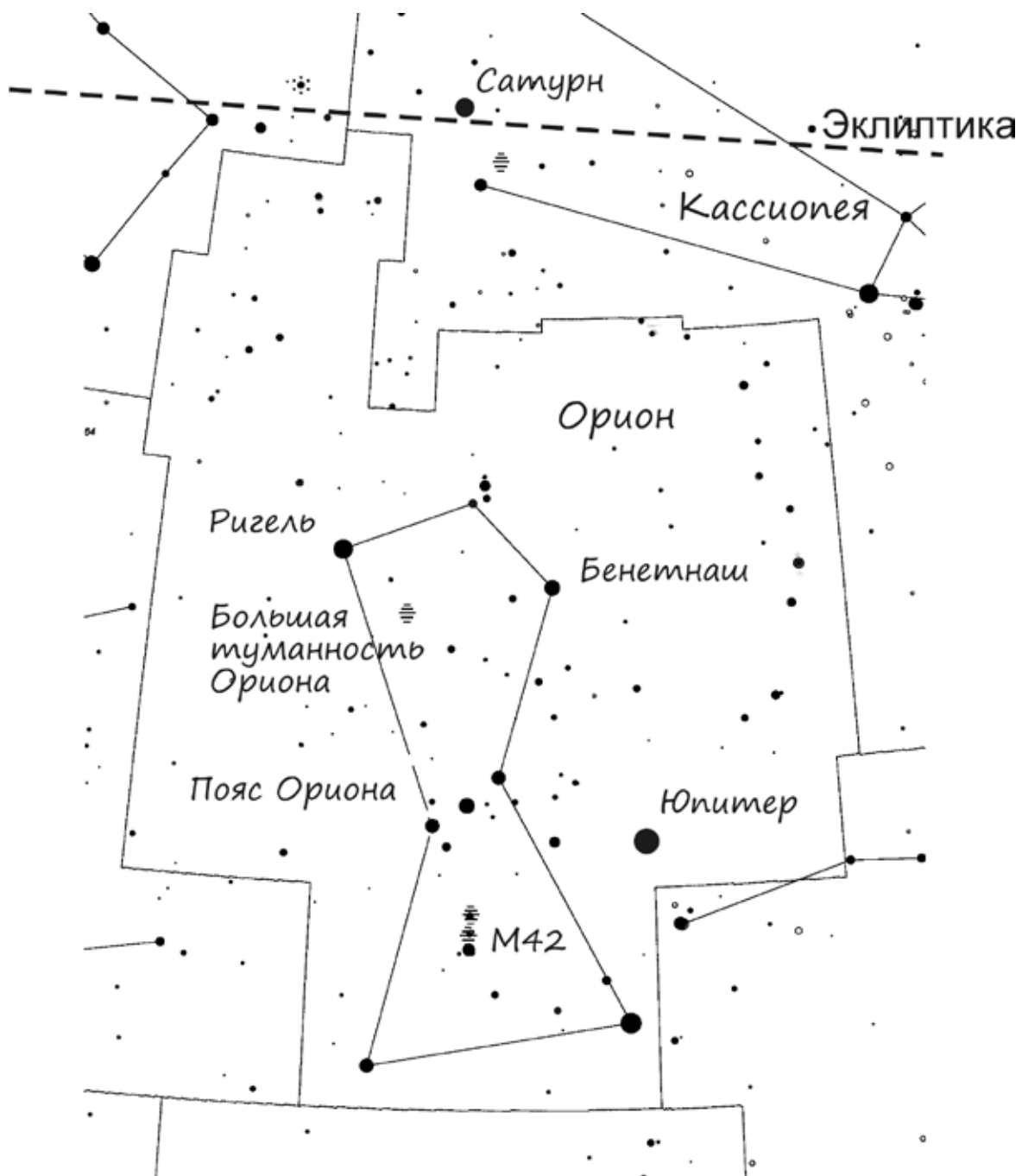




Решения и критерии оценивания

Задача 1

Любитель астрономии взял «немую» (т. е. без надписей) карту окрестностей созвездия Орион с обозначенной на ней эклипстикой и по памяти нанёс на карту названия объектов и положения двух планет. Найдите ошибки, которые он допустил. Исправьте найденные ошибки (те, которые можно исправить).



Ответ: любитель допустил 5 ошибок.

1. Неверно подписано созвездие «Кассиопея»;
2. звезда «Ригель» указана неверно;
3. «Большая туманность Ориона» подписана неверно;
4. звезда Бенетнаш указана неверно;
5. планета Юпитер не может настолько далеко отходить от эклиптики.

Необходимо внести следующие исправления:

1. вместо «Кассиопея» написать «Телец»;
2. заменить «Ригель» на «Бетельгейзе» либо перенести надпись «Ригель» к яркой правой нижней звезде созвездия;
3. убрать или перенести к обозначению М42 надпись «Большая туманность Ориона»;
4. заменить «Бенетнаш» (это звезда созвездия Большой Медведицы) на «Беллатрикс»;
5. убрать планету Юпитер или перерисовать её на правильное положение ближе к эклиптике (*исправление этой ошибки указано тут для полноты, т. к., не зная даты, невозможно указать, на какое место надо перенести Юпитер*).

Примечание. 1) В приведённом решении ошибка и способ её устранения разделены. Однако допускается объединение в одном предложении указания ошибки и способа её устранения (например, «надпись «Ригель» надо перенести к правому нижнему углу созвездия»).

2) В принципе, Сатурн мог в момент зарисовки находиться в другом месте (но так же недалеко от эклиптики). При проверке это надо иметь в виду и не снижать оценку за указание/обсуждение этой возможности.

Критерии оценивания

- По **1 баллу** за каждое верное указание ошибки (но не более **8 баллов** за задачу).
- По **1 баллу** за каждое верное исправление ошибки (но не более **8 баллов** за задачу).
- При объединении ошибки и способа её устранения в одном пункте, например, «надпись «Ригель» надо перенести к правому нижнему углу созвездия», выставляется **1 балл** за верное указание ошибки плюс **1 балл** за верный способ её устранения).

Ошибочное указание замеченной неточности или способа устранения не наказывается, но и не оценивается.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 2

Расставьте приведённые ниже группы звёзд в порядке увеличения их численности в нашей Галактике.

- 1) жёлтые карлики (звёзды типа нашего Солнца)
- 2) голубые гиганты
- 3) красные карлики
- 4) шаровые звёздные скопления
- 5) рассеянные звёздные скопления

Ответ: 45213

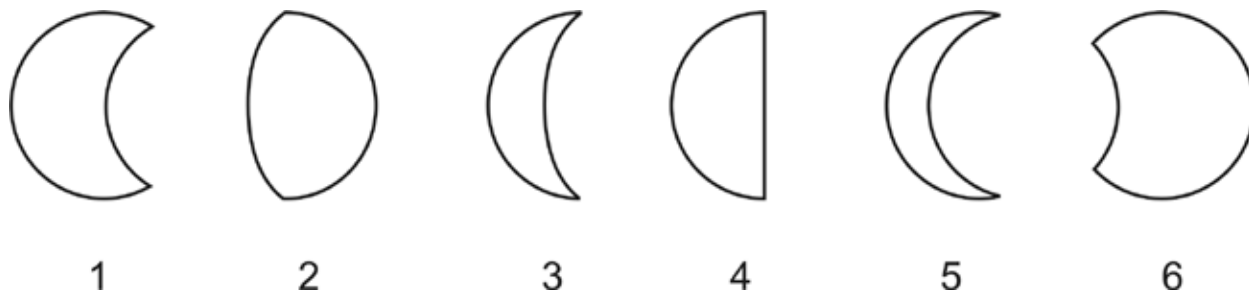
Критерии оценивания

- Указание ШЗС на первом месте оценивается в **+2 балла**.
- Указание РЗС на втором месте (только при условии, что ШЗС стоят на первом) оценивается в **+2 балла**.
- Если порядок скоплений перепутан, но они занимают первые две позиции, то оценка составляет **+2 балла**.
- Указание жёлтых карликов на предпоследнем месте (только при условии, что красные карлики стоят на последнем) оценивается в **+2 балла**.
- Указание красных карликов на последнем месте оценивается в **+2 балла**.
- Если в ответе РЗС и ШЗС находятся не на первых двух позициях, то оценка за задачу не может превышать **4 балла**.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 3

На рисунке представлены зарисовки разных фаз Луны и частных фаз различных солнечных затмений. Укажите в ответе номера зарисовок, относящихся к затмениям. Объясните критерии отбора.



Ответ: 1, 5, 6

Основной критерий отбора – концы границы «свет–тьень» (терминатора) у лунных фаз лежат на одном диаметре диска, а у солнечных затмений – нет (при фазах затмения, очень близких к полной, хорда, соединяющая концы солнечного «рога», приближается к диаметру, но таких фаз в условии нет).

Примечание: допускается ответ «от обратного» – можно перечислить номера рисунков, которые не могут отображать фазы затмений (явно это указав). Дополнительно может быть указан такой критерий отбора: при затмении граница свет–тень не может быть прямой линией.

Критерии оценивания

- По **2 балла** за каждый верно указанный номер.
- За каждый ошибочно указанный номер по **–2 балла** (оценка за этот этап не может быть отрицательной).
- За верное объяснение **+2 балла**.

Оценка не может превышать **8 баллов** и не может быть отрицательной.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 4

Параллакс звезды HR1002 в созвездии Персея равен $0,020''$. Выразите расстояние до этой звезды в световых годах и в астрономических единицах.

Решение

Определим расстояние до HR1002 в парсеках:

$$D = \frac{1}{\pi} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ пк.}$$

Зная, что $1 \text{ пк} \approx 3,26$ светового года (допускается брать готовые значения в диапазоне $3,2-3,3$) ≈ 206265 а.е. (допускается брать готовые значения в диапазоне $2 \cdot 10^5 - 2,1 \cdot 10^5$), легко получить искомые величины:

$$D \approx 163 \text{ световых года} \approx 1,03 \cdot 10^7 \text{ а.е.}$$

Примечание: коэффициенты перевода можно получить, зная определение парсека (это расстояние, с которого радиус земной орбиты виден под углом в $1''$). Допускаются другие способы получения переводных коэффициентов. В этом случае решение оценивается, исходя из корректности методов определения коэффициентов и полученной точности (для альтернативных методов решения отклонения меньше 10% оцениваются полным баллом).

Другие возможные соотношения, с помощью которых можно получить искомые величины: $1 \text{ а.е.} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ км}$, $1 \text{ пк} = 3,09 \cdot 10^{13} \text{ км}$, $1 \text{ св. год} = 9,5 \cdot 10^{12} \text{ км}$.

Последняя величина легко вычисляется, если знать величину скорости света ($300\,000 \text{ км/с}$) и продолжительность года ($3,15 \cdot 10^7 \text{ с}$).

$$1 \text{ а.е.} = 500 \text{ св. секунд}$$

По сути это время, за которое свет проходит расстояние от Земли до Солнца. Зная продолжительность года, можно получить:

$$1 \text{ св. год} = 63000 \text{ а.е.}$$

Возможны и другие исходные значения.

Другие возможные варианты для перехода от параллакса к линейному расстоянию: по определению параллакса это угол, под которым с расстояния D виден радиус земной орбиты, и можно с равным основанием использовать формулы:

$$D = \frac{150000000 \text{ км}}{\text{tg}0,020''} = 1,547 \cdot 10^{15} \text{ км}$$

или

$$D = \frac{1 \text{ а.е.}}{\text{tg}0,025''} = 1,03 \cdot 10^7 \text{ а.е.}$$

В последнем случае один из искомых ответов находится сразу.

Ответ: примерно 163 световых года (допустимый диапазон 147 – 179 св. лет) или $1,03 \cdot 10^7$ а.е. (допустимый диапазон $9,27 \cdot 10^6$ – $1,13 \cdot 10^7$ а.е.).

Ответ зависит от используемых коэффициентов.

Критерии оценивания

- За верный числовой ответ ставится **по 4 балла** за каждую величину (при наличии верных вычислений или объяснений).
- В случае неполного решения за определение расстояния до звезды в парсеках ставится **+4 балла (3 балла за запись формулы и 1 балл за верные вычисления этой величины)**.

Арифметическая ошибка **снижает оценку на 2 балла** (только за тот этап, в котором она сделана: если с ошибкой определено расстояние в пк, а остальная часть решения выполнена верно, то общая оценка будет $8 - 2 = 6$ баллов).

Ответ $\approx 150,58$ св. лет (приведённый без вычислений) говорит о том, что он списан (такое расстояние для HR1002 приводится, например, в программе Stellarium). При верных вычислениях расстояния в а.е. за всю работу ставится не более **2-х баллов**.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 5

Мощность первой в мире атомной электростанции, расположенной в подмосковном Обнинске, была равна 5 МВт. Считая, что КПД солнечных электростанций не превышает 25%, а в среднем в Москве за год бывает около 2000 часов ясной солнечной погоды, оцените минимально необходимую суммарную площадь солнечных батарей, вырабатывающих за год такое же количество энергии, которое вырабатывала Обнинская АЭС. Поглощение в атмосфере считать равным 20%, температура солнечной фотосферы $T = 5800$ К, радиус Солнца $R = 696000$ км, светимость Солнца $L = 3,9 \cdot 10^{26}$ Вт.

Решение

Прежде всего, вычислим количество энергии, вырабатываемой за 1 год Обнинской АЭС: $5\text{МВт} \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ с} \approx 1,6 \cdot 10^{14} \text{ Дж}$ (здесь 365,25 – число дней в году; допускается использовать 365 или 366 дней, а также готовое число секунд в году, близкое к $3,14 \cdot 10^7 \text{ с}$).

Для дальнейших действий нам требуется знание величины солнечной постоянной – освещённости, создаваемой Солнцем на внешней границе земной атмосферы. При решении допускается либо 1) использование готового известного значения солнечной постоянной (тогда оно должно лежать в диапазоне от 1350 до 1400 Вт/м²), либо 2) самостоятельное вычисление величины солнечной постоянной (допускается диапазон значений 1300–1600 Вт/м² – при правильном общем подходе к вычислению).

Рассмотрим отдельно второй вариант. Искомая освещённость для указанной в условии величины L и величины $a = 1 \text{ а.е.} = 150 \text{ млн км}$ $E = L/(4\pi \cdot a^2) = 1380 \text{ Вт/м}^2$. Если в решении используется не заданная в условии светимость Солнца, а другое численное значение этой величины (в литературе приводится, например, $L = 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$, и эта величина часто используется при подготовке к олимпиадам), или светимость вычисляется через формулу $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$ с отличными от заданных в условии числовых значений R и T (или, например, будет использовано более точное значение величины большой полуоси орбиты Земли), то для E может получиться другое значение. Однако оно должно лежать в диапазоне значений 1300–1600 Вт/м².

Итак, известно, что величина солнечной постоянной равна $E = 1380 \text{ Вт/м}^2$. 80% от этой величины дойдёт до поверхности Земли: т. е. освещённость на поверхности Земли $\approx 1100 \text{ Вт/м}^2$.

Только 25% от дошедшей световой энергии будет переработано в электрическую: 275 Вт/м^2 (это максимально возможный результат, который достигается для фотоэлементов, поворачивающихся за Солнцем в течение дня; эта величина зависит от использованного значения солнечной постоянной). Таким образом, каждый кв. метр поверхности солнечных батарей за год (т. е. за 2000 часов ясной солнечной погоды) выработал не более $275 \cdot 2000 \cdot 3600 \approx 2 \cdot 10^9 \text{ Дж}$ энергии.

Сравнивая это значение с выработкой АЭС, легко найти требуемую площадь: $S = 1,6 \cdot 10^{14} / 2 \cdot 10^9 \text{ м}^2 = 80000 \text{ м}^2$.

Ответ: 80000 м^2

Критерии оценивания

- Вычисление суммарной выработки АЭС за год (с ответом от $1,57 \cdot 10^{14}$ до $1,6 \cdot 10^{14}$) оценивается в **+2 балла**.
- Запись или вычисление солнечной постоянной оценивается в **+2 балла**.
- Учёт поглощения в атмосфере оценивается в **+1 балл**.

- Учёт КПД оценивается в **+1 балл**.
- Вычисление суммарной выработки батарей за 1 год (т. е. за 2000 часов) оценивается в **+1 балл**. Допускается учёт выработки энергии не только во время ясной солнечной погоды, но с обязательным учётом снижения в несколько раз освещённости в это время. Суммарное светлое время будет ограничено примерно $365 \cdot 12 \text{ ч} \approx 4400 \text{ ч}$.
- За получение верного финального ответа **+1 балл** (не выставляется при наличии ошибок на предыдущих стадиях). Допустимый диапазон ответов зависит от использованного значения солнечной постоянной и вычисленной выработки АЭС (а при учёте дополнительного освещения – и от его величины). Для стандартного значения (или значения, получающегося из числовых данных задачи) ответ может отличаться от указанного примерно на $\pm 4000 \text{ м}^2$ (при использовании других справочных данных отличие может быть больше).

Примечание: допускается объединение одного или всех этапов в одну формулу. Ошибка в одном из этапов наказывается только в этом этапе (и в последнем этапе). При наличии только верного ответа без записи решения выставляется **2 балла** за всю задачу. Физически некорректный результат при логически верном подходе к решению оценивается не выше **4 баллов** за задачу.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 6

Известно, что орбита Луны наклонена к плоскости эклиптики на угол, примерно равный 5° . В каком диапазоне высот во время дня осеннего равноденствия может наблюдаться полная Луна в верхней кульминации в Москве (в точке с координатами $\varphi = 56^\circ$, $\lambda = 37^\circ$)? Приведите решение.

Решение

В день осеннего равноденствия Солнце находится в точке осеннего равноденствия – точке пересечения эклиптики и небесного экватора, и его склонение равно 0° . В описываемый в условии задачи момент Луна была в фазе полнолуния, а значит, она находилась в окрестности точки весеннего равноденствия. При этом из-за того, что плоскость орбиты Луны наклонена к плоскости эклиптики на угол в 5° , склонение Луны лежит в диапазоне от -5° до $+5^\circ$ (мы пренебрегаем некоторым изменением склонения Луны, связанным с тем, что между моментом полнолуния и моментом верхней кульминации могло пройти некоторое время).

Как известно, высота объекта в верхней кульминации связана с его склонением и широтой пункта наблюдения формулой:

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta$$

Подставив значения, получим $h_{\min} = 29^\circ$, $h_{\max} = 39^\circ$.

Этот же ответ можно получить, вспомнив, что в Москве небесный экватор находится над точкой юга на высоте 34° . Луна будет находиться в диапазоне $\pm 5^\circ$ от него.

Ответ: диапазон высот от 29° до 39° (допускается отклонение от указанных границ в несколько угловых минут при использовании более точного значения наклона орбиты Луны)

Критерии оценивания

- Указание на то, что Луна в описываемое время находилась в точке весеннего равноденствия (или была близка к небесному экватору) оценивается в **+2 балла**.
- За обоснование указания из предыдущего пункта **+2 балла**.
- За верную запись или вывод формулы для кульминации **+2 балла**.
- Определение высоты Луны оценивается в **+1 балл** за каждый из случаев (h_{\min} и h_{\max}).

Максимум за задачу 8 баллов.

Всего за работу – 48 баллов.