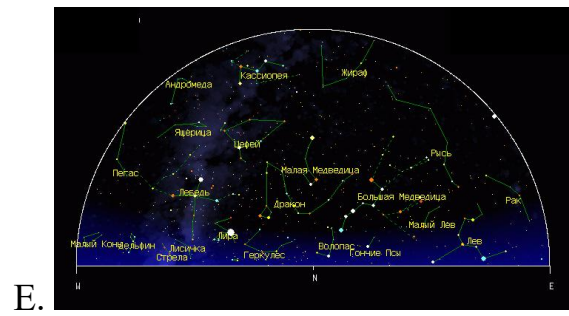
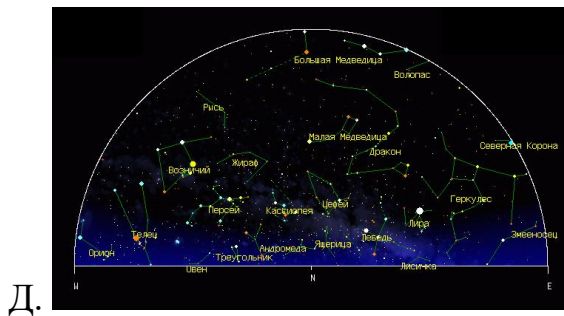


Максимальный балл за работу – 100.

1



Ответ: Д

Критерии оценивания: верный выбор +7 баллов.

Всего за задачу 7 баллов.

Решение

На зарисовке, выполненной в том же месте, высота Полярной звезды не поменяется. На зарисовках А и Г её высота отлична от первоначальной – они получены на других широтах. Чтобы выбрать нужную нам зарисовку, вспомним правильное направление вращения небесной сферы – если встать лицом на север, то вращение вокруг Полярной звезды будут происходить против часовой стрелки. Выберем на небе яркую звезду (не Полярную), видимую на всех зарисовках. Отрезок, соединяющий эту звезду с Полярной, является своеобразной часовой стрелкой, делающей полный оборот за звёздные сутки (т. е. примерно за 24ч). Это значит, что за 4 часа стрелка повернётся на $1/6$ часть круга – на 60° . Видно, что поворот на 60° против часовой стрелки присутствует на зарисовке Д – она была получена через 4 часа после зарисовки из условия задачи.

Задача 2. Во внегалактической астрономии часто используется величина, называемая постоянной Хаббла. Она показывает, на сколько увеличивается скорость разбегания галактик при увеличении расстояния до них на 1 мегапарсек. Её значение уточняли многие годы. Некоторое время считалось, что она равна $120 \frac{\text{км/с}}{\text{Мпк}}$. Из приведённой размерности постоянной видно, что при переводе её в единицы СИ размерность становится равна размерности частоты $\left[\frac{1}{\text{с}}\right]$. Выразите приведённое в условии значение в единицах $\left[\frac{1}{\text{год}}\right]$ в стандартном виде. Мантиссу округлите до десятых. Известно, что $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а. е.}$

Ответ: $1.22 \cdot 10^{-10}$

Критерии оценивания: попадание в интервал $[1;1.4]$ +6баллов, точное совпадение ответа $[-10]$ +4 балла.

Всего за задачу 10 баллов.

Решение

Выразим изменение скорости (при изменении расстояния на 1 Мпк) в единицах км/год: $120 \cdot 365.25 \cdot 24 \cdot 3600 \approx 3.787 \cdot 10^9$ км / год. Тогда постоянную можно записать так: $3.787 \cdot 10^9$ км / год / Мпк. Выразим 1 Мпк в километрах: $1 \text{ Мпк} = 10^6 \cdot 206265 \cdot 150 \cdot 10^6 \approx 3.094 \cdot 10^{19}$ км (мы использовали знание того, что $1 \text{ а. е.} = 150 \text{ млн км}$). Тогда искомая величина равна:













$$3.787 \cdot 10^9 / 3.094 \cdot 10^{19} \approx 1.22 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}.$$

Эту же величину можно получить, сразу переведя единицы измерения в Си, а потом в года.

Задачи 3-4. У оформителя сайта с прогнозом погоды на 2 недели для Москвы перемешались картинки для разных дней с временем восхода/захода Солнца и соответствующие этим датам изображения фаз Луны.

3. Сопоставьте эти картинки друг другу, имея в виду, что речь идёт о первой половине года.

Ответ:

 восход 06:20 заход 18:19	
 восход 06:12 заход 18:31	
 восход 06:06 заход 18:39	
 восход 06:03 заход 18:44	
 восход 05:59 заход 18:48	
 восход 05:53 заход 18:56	

Критерии оценивания: верное сопоставление +5 баллов.

4. Для какого месяца составлялся календарь?

- январь
- февраль
- март
- май
- июнь

Критерии оценивания: верный выбор +3 балла.

Всего за задачу 8 баллов.

Решение

Представленные моменты восхода Солнца должны составлять непрерывную последовательность (или увеличиваться от картинке к картинке или уменьшаться), т.к. по условию они записаны для одного месяца. Исключением могут являться окрестности дней солнцестояния, но время восхода (примерно 6 ч утра) и продолжительность дня (примерно 12 ч) соответствуют равноденствиям.

Поскольку речь в условии идёт о первой половине года, то мы должны выбрать последовательность дней, в которой время восхода Солнца будет постоянно уменьшаться, а продолжительность дня увеличиваться. Теперь можно выстроить и последовательность приведённых лунных фаз.

Речь в условии идёт об относительно коротком временном интервале в 2 недели, и за это время должны поменяться фазы таким образом, чтобы включить в последовательность их смены как молодую Луну на фото,

так и фазу перед полнолунием, и само полнолуние. Это возможно только в том случае, если мы будем рассматривать последовательность в указанном порядке – от молодой Луны к полной и далее к фазе последней четверти. В противном случае, перебор всех приведённых фаз займёт почти месяц.

Тогда молодой Луне будет соответствовать время восхода Солнца 6 ч 20 м.

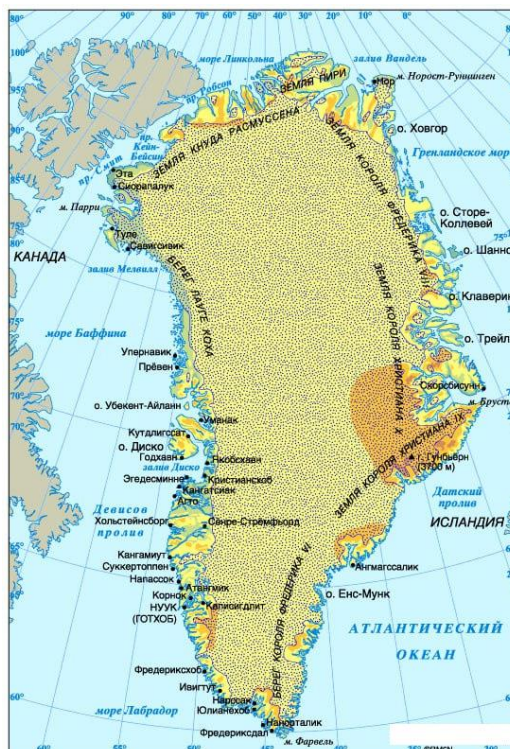
Следующая за ней – Луна в первой четверти и т.д.

до стареющей Луны на фото с соответствующим временем восхода Солнца 5 ч 53 м.



На второй вопрос задачи мы уже ответили – речь идёт о равноденствии, попадающем в первую половину года, т.е. о марте.

Задача 5. Перед вами географическая карта Гренландии*. Радиус Земли считать равным 6400 км.



Чему равны географические координаты восточной оконечности мыса Брустера? Ответ приведите в градусах, округлите до целого.

Ответ: 70 с.ш., 22 з.д.

Критерии оценивания: совпадение с ответом для широты +2 балла, попадание в интервал для долготы [21,23] +2 балла.

Чему равно расстояние от восточной оконечности мыса Брустера до северного полюса Земли? Ответ приведите в километрах.

Ответ: 2234

Критерии оценивания: попадание в интервал [2200, 2260] +5 баллов.

Какой путь надо проделать, чтобы, следуя вдоль параллели, добраться от восточной оконечности мыса Брустера до восточного побережья Канады? Ответ приведите в километрах.

Ответ: 1720

Критерии оценивания: попадание в интервал [1600, 1840] +5 баллов.

Всего за задачу 14 баллов.

* Источник изображения сайт <http://planetolog.ru/map-country.php?country=GL>

Решение

Посмотрев на карту, легко ответить на первый вопрос. Восточная оконечность мыса Брустера имеет координаты $\varphi = 70^\circ$ с. ш., $\lambda = 22^\circ$ з. д. Из-за сходимости меридианных кругов к полюсам точно по карте определить долготу не представляется возможным. Поэтому принимаются ответы в диапазоне от 21° до 23° .

Широта северного полюса Земли равна 90° . Соответственно, северный полюс и восточную оконечность мыса Брустера разделяют 20° . Полная длина любого меридиана равна половине длины окружности радиуса R :

$$\pi R = \pi \cdot 6400 = 20106 \text{ км.}$$

При этом широта меняется от полюса до полюса, т.е. на 180° . Отсюда длина 1° меридиана равна: $20106 / 180 = 111.7 \text{ км.}$

Теперь можно найти расстояние от северного полюса Земли до восточной оконечности мыса Брустера: $20 \cdot 111.7 = 2234 \text{ км.}$

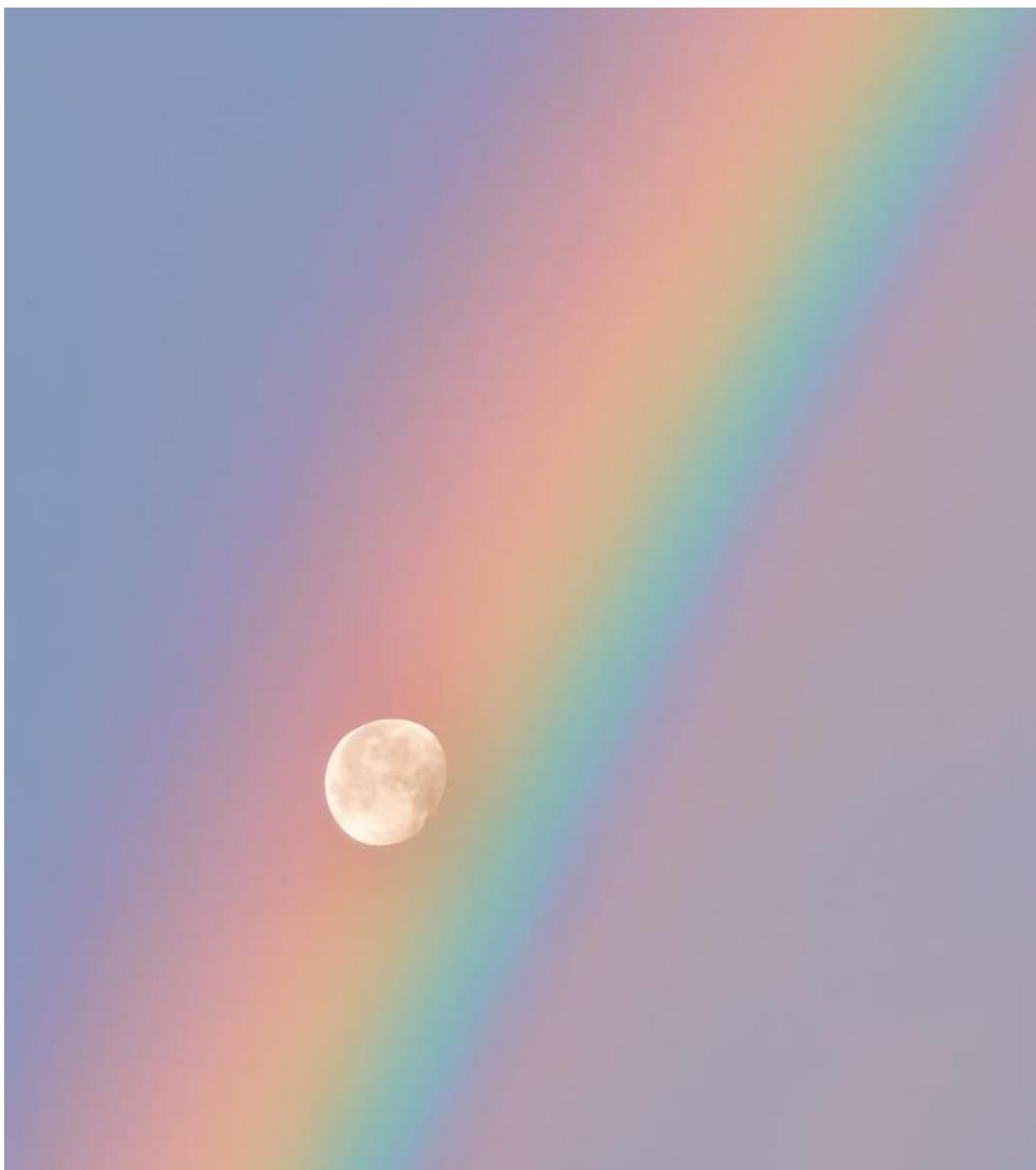
Длина 1° параллели зависит от широты – чем ближе к экватору, тем ближе длина 1° параллели к длине 1° долготы, т.е. к 111.7 км. В общем случае, длина 1° параллели равна $111.7 \cdot \cos \varphi$, т.е. для широты восточной оконечности мыса Брустера

$$111.7 \cdot \cos 70^\circ \approx 38.2 \text{ км.}$$

По карте найдём долготу точки побережья Канады, лежащей на круге 70° с. ш. Она равна 67° .

Искомое расстояние будет равно $(67 - 22) \cdot 38.2 \approx 1720 \text{ км.}$

Задача 6. Известно, что радуга – это атмосферное явление, вызванное преломлением солнечного света капельками воды, висящими в воздухе. Радуга представляет собой дугу, являющуюся частью окружности диаметром 84° . Размер видимой части этой окружности зависит от высоты Солнца над горизонтом.



Чему равно угловое расстояние между Луной и Солнцем в момент получения фотографии (выберите наиболее близкий ответ)?

- 10°
- 23.5°
- 36.6°
- 42°
- 53°
- 84°
- 90°
- 118°
- 138°
- 180°

Критерии оценивания: верный выбор +4 балла.

В какой фазе находится Луна?

- новолуние
- между новолунием и первой четвертью
- первая четверть
- между первой четвертью и полнолунием
- полнолуние
- между полнолунием и последней четвертью
- последняя четверть
- между последней четвертью и новолунием

Критерии оценивания: верный выбор +4 балла.

Всего за задачу 8 баллов.

Решение

Во время наблюдения радуги всегда выполняется условие – угловое расстояние между Солнцем и центром равно 180° . Так как радиус дуги радуги равен 42° , а Луна на фото попадает точно на радужное кольцо, то угловое расстояние между Солнцем и Луной будет примерно равно $180^\circ - 42^\circ = 138^\circ$.

Мы видим на фотографии стареющую почти полную Луну. Это значит, что она находится в фазе между полнолунием и последней четвертью.

Задача 7. На фотографии запечатлён момент пролёта самолёта по диску Солнца во время частной фазы полного центрального затмения.



Фаза затмения, запечатлённого на фотографии, равна закрытой доли диаметра диска Солнца. Чему равна фаза затмения на фотографии? Ответ округлите до десятых.

Ответ: 0.4

Критерии оценивания: совпадение с ответом +6 баллов; ответ 0.3 и не округлённые до десятых ответы из интервала $[0.3, 0.45]$ оцениваются в +4 балла.

Известно, что угловой диаметр диска Солнца на фотографии равен $31.5'$, длина фюзеляжа самолёта равна 48 м, а направление его полёта совпадает с картинной плоскостью. Считая, что самолёт только что коснулся края диска Солнца, определите расстояние до него. Ответ выразите в километрах, округлите до целых.

Ответ: 23

Критерии оценивания: попадание в интервал $[21, 25]$ +6 баллов; не округлённые до целых ответы оцениваются в +4 балла.

Через сколько минут наступит максимальная фаза затмения? Ответ округлите до целых.

Ответ: 38

Критерии оценивания: попадание в интервал $[35, 40]$ +6 баллов; попадание в интервал $[31, 34]$ или в интервал $[41, 42]$ оценивается в +3 балла; не округлённые до целых ответы в интервале $[35, 40]$ +4 балла, в интервалах $[31, 35)$ или $(40, 42]$ +2 балла.

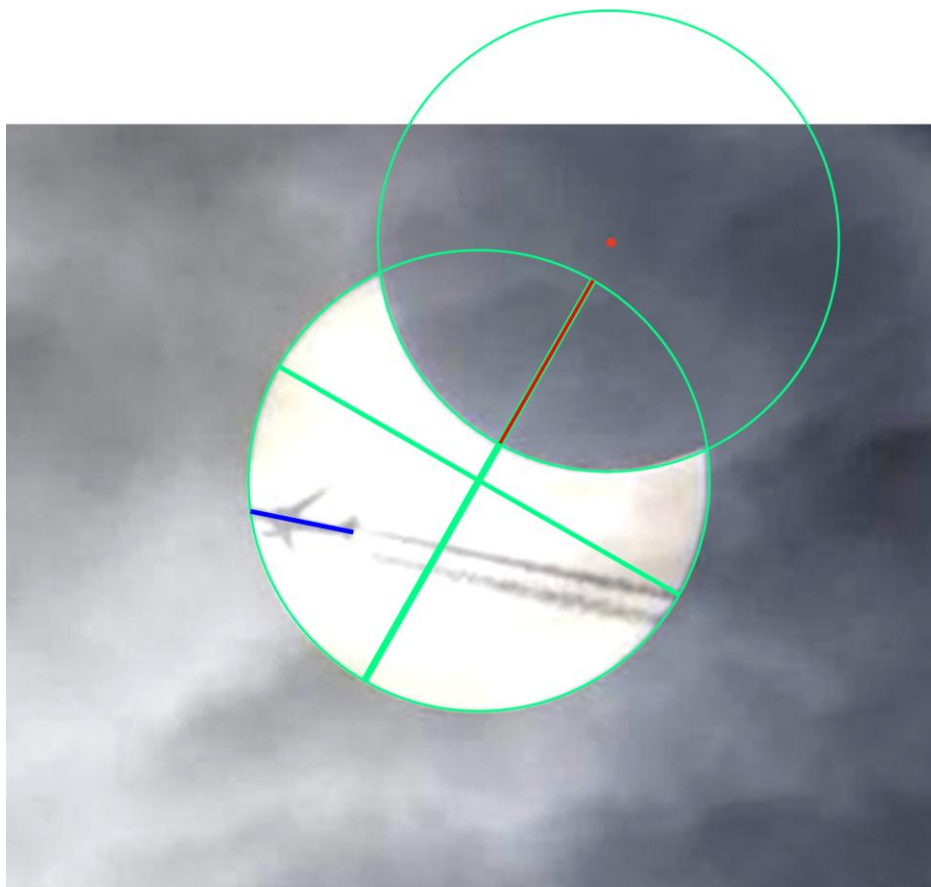
Всего за задачу 18 баллов.

Решение

Для определения фазы затмения вычислим отношение длины части диаметра Солнца, закрытой Луной (красный отрезок на рисунке), к полной длине диаметра. Для определения длины красного отрезка удобнее измерить дополнительный к нему отрезок диаметра.

Видно, что длина красного отрезка составляет примерно $5/6 \dots 4/5$ от радиуса диска Солнца или $5/12 \dots 4/10$ от длины его диаметра. Значит, фаза примерно равна 0.4.

Самолёт пролетает на фоне солнечного диска, который имеет угловой диаметр $31.5'$ или $31.5 / 60 / 57.29 \approx 0.00916$ радиан. Найдём угловой размер фюзеляжа самолёта. Для этого определим, сколько раз он помещается на диаметре диска Солнца. Точное измерение даёт ответ 4.4 раза. То есть угловой размер самолёта $0.00931 / 4.4 \approx 0.00208$ радиан. Зная эту величину и геометрический размер корпуса 48 метров, можно найти расстояние до самолёта: $48 / 0.00208 \approx 23080$ м или примерно 23 км.



Так как угловые размеры Солнца и Луны примерно одинаковые, а длина красного отрезка нами уже определена (0.4 диаметра диска Солнца или Луны), то можно сказать, что центр лунного диска находится на расстоянии примерно 0.1 диаметра за краем солнечного диска (красная точка на рисунке). То есть до момента максимальной фазы (при центральном затмении – до совпадения центров дисков) красной точки надо преодолеть примерно $0.6 \cdot 31.5' = 18.9'$. И Солнце, и Луна по небу движутся относительно звёзд в одну сторону: Солнце – со скоростью $360^\circ / \text{год}$, Луна – со скоростью $360^\circ / 27.3^d$. Первая величина $\approx 1^\circ/\text{сутки}$, вторая величина $\approx 13.2^\circ/\text{сутки}$. Относительная скорость близка к $12^\circ/\text{сутки}$ или $720' / \text{сутки} = 0.5'$ за минуту. С такой скоростью расстояние в $18.9'$ будет преодолено примерно за 38 минут.

Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 7.

Вариант	Длина фюзеляжа самолёта, м	Ответ на второй вопрос задачи	Критерии оценивания
2	60	28	попадание в интервал [26, 30] +6 баллов; неокруглённый ответ оценивается в 4 балла
3	72	33	попадание в интервал [30, 36] +6 баллов; неокруглённый ответ оценивается в 4 балла

Задачи 8-13. В некоторый момент времени где-то на широте Ярославля ($\varphi = 58^\circ$ с. ш.) вблизи верхней кульминации наблюдались расположенные точно на небесном экваторе звёзды А (прямое восхождение $\alpha=23^{\text{h}}57^{\text{m}}$), Б (прямое восхождение $\alpha=23^{\text{h}}59^{\text{m}}$), В (прямое восхождение $\alpha=00^{\text{h}}01^{\text{m}}$), Луна (прямое восхождение $\alpha=00^{\text{h}}05^{\text{m}}$) и Солнце (прямое восхождение $\alpha=00^{\text{h}}00^{\text{m}}$).

8. На какой высоте наблюдалась верхняя кульминация звезды А?
Ответ выразите в градусах.

Ответ: 32

Критерии оценивания: совпадение с ответом +5 баллов.

9. Чему равно склонение этих звёзд?

- 0°
- 10°
- -10°
- 23°
- -23°
- 90°
- Невозможно указать сразу для всех, т. к. склонение у них будет разным.

Критерии оценивания: верный выбор +2 балла.

10. Какое из перечисленных небесных тел на следующий день в этом же пункте наблюдения взойдёт раньше других?

- звезда А
- звезда Б
- звезда В
- Солнце (центр диска)
- Луна (центр диска)

Критерии оценивания: верный выбор +3 балла.

11. Расставьте объекты в порядке их восхода на следующий день.

Ответ: звезда А – звезда Б – звезда В – Солнце – Луна

Критерии оценивания: верная последовательность +5 баллов.

12. Чему будет равно склонение Солнца на следующий день на восходе?
Ответ выразите в угловых секундах с учётом знака.

Ответ: 1080

Критерии оценивания: попадание в интервал $[900, 1200]$ +7 баллов; ответы в интервалах $[17, 18]$ или $[0.29, 0.3]$ оцениваются в +3 балла.

13. В каком месяце происходит описываемая ситуация?

- январь
- февраль
- **март**
- апрель
- май
- июнь
- июль
- август
- сентябрь
- октябрь
- ноябрь
- декабрь

Критерии оценивания: верный выбор +3 балла.

Всего за задачу 25 баллов.

Решение

По условию звёзды находятся точно на небесном экваторе. Это значит, что склонение у них у всех равно 0° . Зная склонение и широту места наблюдения, можно ответить на 4-й вопрос задачи: $h = 90 - \varphi + \delta = 90 - 58 = 32^\circ$.

Объекты, расположенные на экваторе, восходят в одной точке горизонта – в точке востока. Раньше восходят объекты, имеющие меньшее прямое восхождение (с учётом перехода через начало отсчёта; например, координата 0^h05^m – это 24^h05^m). Экваториальные координаты звёзд не меняются за сутки. Поэтому среди них первой взойдёт звезда А, затем Б, В. Однако координаты Солнца и Луны меняются. И Солнце, и Луна по небу движутся относительно звёзд в сторону увеличения их прямого восхождения: Солнце – примерно со скоростью $360^\circ/\text{год} \approx 1^\circ/\text{сутки}$, Луна – примерно со скоростью $360^\circ / 27.3^d \approx 13^\circ / \text{сутки}$ (в этом случае мы пренебрегаем тем, что движение происходит не по экватору, а по эклиптике или по орбите Луны, которые наклонены к экватору, а значит, изменение прямого восхождения будет несколько меньше указанных значений). Это значит, что на следующий день прямое восхождение у этих тел будет другим.

От верхней кульминации до восхода на следующий день пройдёт примерно 18 часов. Прямое восхождение Солнца увеличится на $60' \cdot 18 / 24 = 45'$ в градусной мере или на 3^m в часовой мере и станет равно примерно 00^h03^m . Прямое восхождение Луны увеличится примерно на $13^\circ \cdot 18 / 24 \approx 10^\circ$ в градусной мере или примерно на 40^m в часовой мере и станет равно 0^h45^m . На следующий день на момент восхода объекты из условия будут иметь примерно такие координаты: А ($\alpha=23^h57^m$), Б ($\alpha=23^h59^m$), В ($\alpha=00^h01^m$),

Солнце ($\alpha=00^h03^m$), Луна ($\alpha=00^h45^m$). И восходить они будут в порядке их возрастания.

Кроме прямого восхождения, у Солнца и Луны меняется и склонение. У Солнца в описываемый момент прямое восхождение равно 24^h . Это означает, что оно находится в точке весеннего равноденствия (ответ на последний вопрос – март) и движется по эклиптике под углом 23.5° к экватору со скоростью $1^\circ/\text{сутки}$. Разложив вектор скорости на 2 компонента относительно экватора, получим, что скорость движения по экватору будет $1^\circ/\text{сутки} \cdot \cos 23.5^\circ \approx 55' / \text{сутки}$ (это скорость изменения прямого восхождения – видно, что мы не сильно ошиблись выше, пренебрегая наклоном эклиптики к экватору), а скорость движения в перпендикулярном направлении (т.е. скорость изменения склонения) будет равна $1^\circ / \text{сутки} \cdot \sin 23.5^\circ \approx 24' / \text{сутки}$. Значит, за 18 ч склонение изменится на $24' \cdot 18 / 24 = 18'$ и станет равно $+18'$ или $+1080''$. Знак «+» говорит о том, что склонение Солнца в этот период стало больше 0 – Солнце перешло в северное полушарие небесной сферы.

Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 8.

Вариант	Город	Широта	Ответ на вопрос 8
2	Пятигорск	44° с. ш.	46
3	Благовещенск	50° с. ш.	40
4	Мурманск	69° с. ш.	21
5	Анадырь	65° с. ш.	25

Задача 14. Вокруг звезды обращаются 4 экзопланеты b, c, d, e, получившие такие обозначения по порядку их открытия. Периоды обращения этих планет приведены в таблице.

Планета	Период обращения, земные сутки
b	12.5
c	100.1
d	56.7
e	433.4

Расставьте планеты в порядке увеличения их орбитальной скорости движения.

Ответ: e–c–d–b

Критерии оценивания: совпадение с ответом +4 балла.

Всего за задачу 4 балла.

Решение

Скорость движения по круговой орбите $V \propto \sqrt{\frac{1}{R}}$. То есть, чем дальше планета от звезды, тем скорость её движения меньше. Радиус орбиты и период обращения связаны друг с другом через 3-й закон Кеплера, который в упрощённой формулировке для планеты 1 и 2 можно записать так:

$$\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^2, \text{ где } a - \text{радиус орбиты планеты, } P - \text{период обращения.}$$

Видно, что, чем больше период обращения, тем дальше находится планета от звезды. Объединяя этот вывод с первым, можно сделать вывод, что, чем больше период обращения планеты, тем меньше скорость её орбитального движения. Поэтому правильный ответ е – с – d – b.

Вариант 2

Вокруг звезды обращаются 4 экзопланеты b, c, d, e, получившие такие обозначения по порядку их открытия. Периоды обращения этих планет приведены в таблице.

Планета	Период обращения, земные сутки
b	433.4
c	100.1
d	12.5
e	56.7

Расставьте планеты в порядке увеличения их орбитальной скорости движения.

Ответ: b–c–e–d

Критерии оценивания: совпадение с ответом +4 балла.

Задача 15. Как известно, Земля проходит перигелий, ближайшую к Солнцу точку своей орбиты, в январе. Как изменился бы климат планеты (на планете стало бы холоднее, теплее или ничего не поменялось бы), если бы она проходила в январе через афелий – самую далёкую точку своей орбиты? Дайте развёрнутый ответ с объяснением. Ответ без объяснений не оценивается. Рекомендованная длина ответа – 200 символов.

Ответ: климат Земли не поменялся бы. Сейчас, когда в северном полушарии Земли зима, в южном – лето. Земля проходит через перигелий своей орбиты, когда в Южном полушарии лето, а в Северном полушарии зима. Очевидно, что если бы было наоборот, то климат Земли в целом не поменялся бы, т. к. изменения в Северном и Южном полушарии компенсировали бы друг друга.

Критерии оценивания: при наличии объяснения за сам правильный ответ +1 балл, верные объяснения +5 баллов; верный ответ при наличии очевидно неверного или абсурдного объяснения — 0 баллов.

Всего за задачу 6 баллов.

Максимальный балл за работу – 100.