

Критерии оценивания: каждая верная пара +2 балла. Если дано больше четырёх ответов, то за каждый ответ сверх четырёх оценка уменьшается на 2 балла. Зеркальные ответы, например 46 и 64, считаются за один.

2. Какие из точек небесной сферы присутствуют хотя бы на одной из представленных картинок?

- **Северный полюс мира**
- Южный полюс мира
- точка зимнего солнцестояния
- надир

Критерии оценивания: верный выбор +2 балла.

Всего за задачу 10 баллов.

Решение

Используйте Малый Ковш в качестве «часовой стрелки» для определения времени, прошедшего между моментами получения разных зарисовок. Двум часам соответствует поворот этой «стрелки» на 30° , четырём часам – поворот на 60° .

На каждой из зарисовок видна Полярная звезда, рядом с которой находится северный полюс мира. Южный полюс мира на небесной сфере находится в противоположной точке и не видим из Северного полушария Земли (всегда находится под горизонтом). Надир – точка небесной сферы, противоположная зениту. Поэтому она также всегда находится под горизонтом и не видна ни на одной из зарисовок. Точка зимнего солнцестояния в принципе не будет видна в северной стороне неба, т. к. имеет отрицательное склонение и восходит/заходит в южной части горизонта.

Задача 3. Сопоставьте длину волны и название соответствующего диапазона шкалы электромагнитных колебаний.

Длина волны	Диапазон
13 мкм 0.1 мм 1200 нм	инфракрасное излучение
520 нм 0.4 мкм	видимое излучение
60 м 10 см	радио излучение
10 нм	рентгеновское излучение
200 нм	ультрафиолетовое излучение
	гамма излучение

Критерии оценивания: каждое верное сопоставление +1 балл, каждое ошибочное сопоставление –1 балл.

Всего за задачу 9 баллов.

Задача 4. 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.

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

Ответ: 1720

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

Всего за задачу 14 баллов.

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 : $\pi R = \pi \cdot 6400 = 20106$ км. При этом широта меняется от полюса до полюса, т.е. на 180° . Отсюда длина 1° меридиана равна: $20106 / 180 = 111.7$ км.

Теперь можно найти расстояние от северного полюса Земли до восточной оконечности мыса Брустера: $20 \cdot 111.7 = 2234$ 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 $111.7 \cdot \cos 70^\circ \approx 38.2$ км. По карте найдём долготу точки побережья Канады, лежащей на параллели 70° с. ш. Она равна 67° . Искомое расстояние будет равно $(67 - 22) \cdot 38.2 \approx 1720$ км.

Задачи 5-6. Астероид движется со скоростью 16.5 км/с вокруг Солнца по круговой орбите, лежащей в плоскости эклиптики. Ответьте на вопросы, зная, что скорость движения Земли по орбите равна 30 км/с.

5-1. Чему равен радиус орбиты астероида? Ответ выразите в астрономических единицах, округлите до десятых.

Ответ: 3.3

Критерии оценивания: попадание в интервал [3.2, 3.4] +6 баллов; не округлённые до десятых ответы из этого интервала оцениваются в +4 балла.

5-2. Чему равен период обращения астероида вокруг Солнца? Ответ выразите в годах, округлите до десятых.

Ответ: 6

Критерии оценивания: попадание в интервал [5.9, 6.1] +6 баллов; не округлённые до десятых ответы из этого интервала оцениваются в +4 балла.

6. Какой была бы скорость движения астероида, если бы его орбита была наклонена под углом 45° к плоскости эклиптики?

- Скорость была бы больше, т. к. при приближении к плоскости эклиптики его дополнительно ускоряло бы притяжение Солнца.
- Скорость была бы меньше, т. к. при удалении от плоскости эклиптики его дополнительно тормозило бы притяжение Солнца.
- **Скорость была бы такой же.**
- Скорость была бы переменной в зависимости от того, приближается астероид к эклиптике или удаляется от неё.
- Не хватает данных для ответа.

Критерии оценивания: совпадение с ответом +5 баллов.

Всего за задачу 17 баллов.

Решение

Скорость движения по круговой орбите можно задаётся формулой

$$V = \sqrt{\frac{GM}{R}},$$

где M – масса тела, вокруг которого происходит движение, R – радиус орбиты. Отсюда радиус орбиты

$$R = \frac{GM}{V^2}.$$

Тогда, сравнивая движение астероида с движением Земли, можно записать:

$$R = R_3 \frac{30^2}{16.5^2} = 3.3 \text{ а. е.}$$

Период обращения астероида вокруг Солнца можно вычислить с помощью третьего закона Кеплера, записанного в простой форме:

$P^2 = R^3$. Здесь P выражено в годах, а R – в астрономических единицах.

Тогда: $P = \sqrt{R^3} = \sqrt{3.3^3} \approx 6.0$ лет.

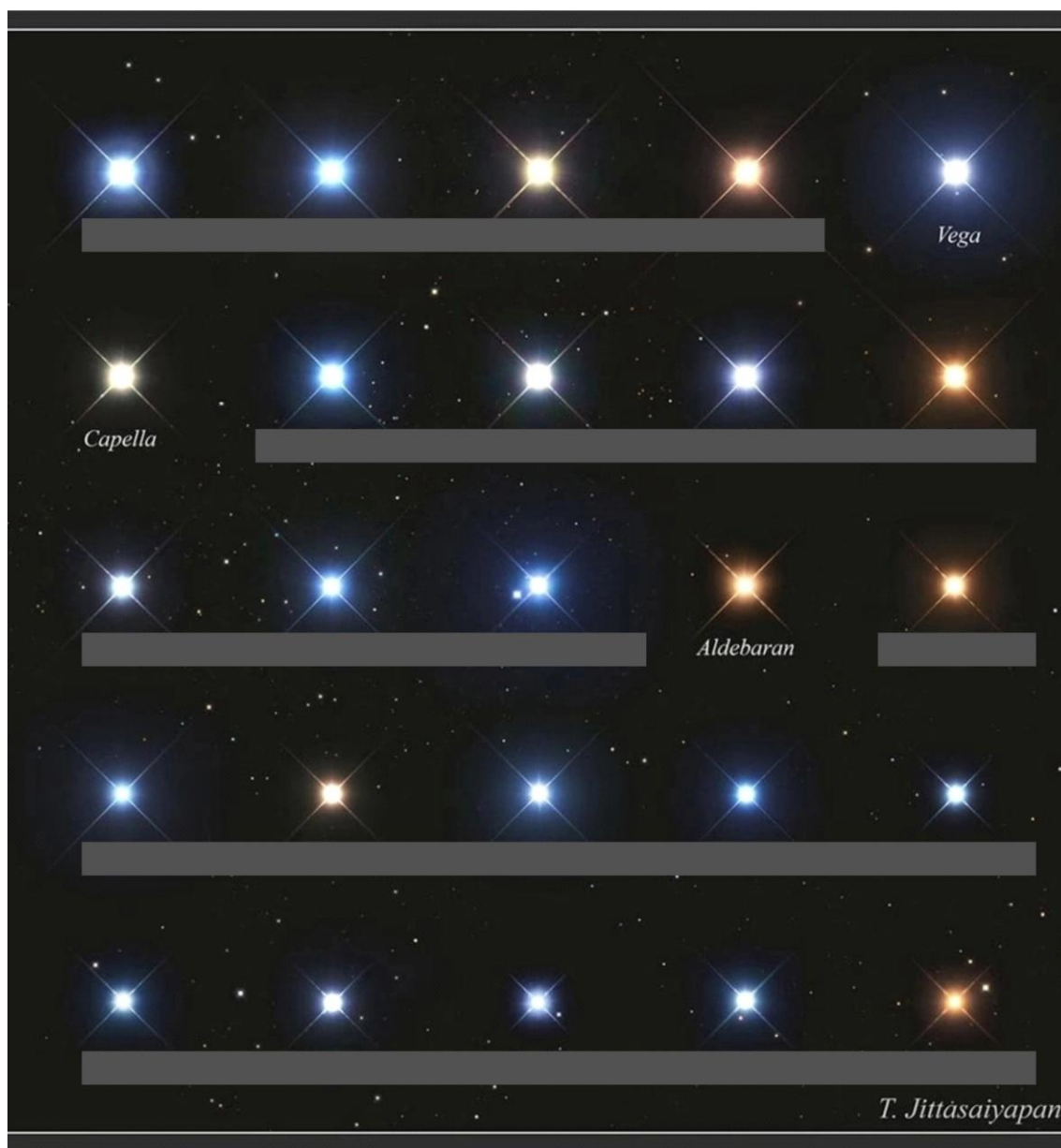
Скорость движения по орбите не зависит от её наклонения.

Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 5.

Вариант	Скорость астероида	Ответ на вопрос 5-1	Зачётный диапазон	Ответ на вопрос 5-2	Зачётный диапазон
2	17,5	2,9	[2.8, 3,0]	5,0	[4.9, 5.1]
3	18,9	2,5	[2.4, 2.6]	4,0	[3.9, 4.1]

Не округлённые до десятых ответы зачётных диапазонов оцениваются в +4 балла.

Задачи 7-8. На рисунке приведены изображения наиболее ярких звёзд, видимых на всём земном небе. Цвета и яркость звёзд на картинке соответствуют реальности.



7. Укажите на изображение звезды, которая могла бы представлять Бетельгейзе.

Критерии оценивания: верное указание +3 балла.

8. Укажите на изображение звезды, которая могла бы представлять Сириус.

Критерии оценивания: верное указание +3 балла.

Всего за задачу 6 баллов.

Ответ:



Решение

Бетельгейзе – яркая красная звезда. Изображение известной яркой жёлтой звезды Капеллы и изображение красной звезды Альдебарана указывают нам на цветовую шкалу рисунка. Изображение Бетельгейзе должно быть по цвету близко к цвету Альдебарана и быть ярче него. Этому условию соответствуют 2 звезды, которые и необходимо указать при ответе (допускается указать только одно из изображений – саму Бетельгейзе).

Сириус – самая яркая звезда на небе. Его изображение по цвету должно быть при этом похоже на Вегу. В ответе надо указать на верхнюю левую звезду.

Задача 9. Обсерватория находится на широте Москвы ($\varphi = 56.0^\circ$ с. ш., $\lambda = 39.0^\circ$ в. д.).

На какой высоте в этой обсерватории кульминируют объекты, находящиеся на экваторе?

Ответ: 34

Критерии оценивания: совпадение с ответом +5 баллов.

Эклиптика наклонена к плоскости небесного экватора на 23.5° . На какой максимальной высоте в этой обсерватории кульминирует Солнце?

Ответ: 57.5

Критерии оценивания: совпадение с ответом +5 баллов.

Всего за задачу 10 баллов.

Решение

Для вычисления высоты небесного тела в верхней кульминации используется формула $h = 90 - \varphi + \delta$ (при кульминации в южной стороне горизонта). У объекта на небесном экваторе $\delta = 0$. Значит, высота будет равна $h = 90 - 56 = 34^\circ$.

Склонение объектов, находящихся на эклиптике, заключено в пределах $\pm 23.5^\circ$. В соответствии с формулой, максимальная высота в кульминации достигается при $\delta = +23.5^\circ$: $h = 90 - 56 + 23.5 = 57.5^\circ$.

Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 9.

Вариант	Город	Широта	Долгота	Ответ на первый вопрос	Ответ на второй вопрос
2	Якутск	62.0° с. ш.	130.0° в. д.	28	51.5
3	Улан-Удэ	52° с. ш.	108.0° в. д.	38	61.5
4	Тула	54.0° с. ш.	34.0° в. д.	36	59.5
5	Белозерск	60° с. ш.	38.0° в. д.	30	53.5

Задача 10. В астрономии в горизонтальной системе координат используется астрономический азимут, который отсчитывается от точки юга, а не от точки севера, как географический азимут. Считая, что склонение Полярной звезды равно 90° , вычислите её астрономический азимут и высоту с точностью в 1° в следующих городах Земли:

Москва ($\varphi = 56^\circ$ с. ш., $\lambda = 37^\circ$ в. д.)

Ответ: азимут 180, высота 56

Критерии оценивания: каждая верная координата +2 балла.

Пекин ($\varphi = 40^\circ$ с. ш., $\lambda = 116^\circ$ в. д.)

Ответ: азимут 180, высота 40

Критерии оценивания: каждая верная координата +2 балла.

Канберра ($\varphi = 35^\circ$ ю. ш., $\lambda = 149^\circ$ в. д.).

Ответ: азимут 180, высота -35

Критерии оценивания: каждая верная координата +2 балла.

Всего за задачу 12 баллов.

Решение

В условии сказано, что склонение Полярной звезды равно 90° , значит, она совпадает с северным полюсом мира. Следовательно, её азимут равен 180° для всех пунктов наблюдения на поверхности Земли, кроме полюсов. Высота северного полюса мира определяется в соответствии с теоремой о равенстве высоты северного полюса мира и широты места наблюдения. Это значит, что и высота Полярной звезды равна широте пункта наблюдения с учётом знака – для Северного полушария Земли знак будет «+», для Южного полушария знак будет «-».

Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 10.

Вариант	Город	Азимут	Высота
2	Архангельск ($\varphi = 65^\circ$ с. ш., $\lambda = 41^\circ$ в. д.)	180	65
	Шанхай ($\varphi = 31^\circ$ с. ш., $\lambda = 121^\circ$ в. д.)	180	31
	Мельбурн ($\varphi = 37^\circ$ ю. ш., $\lambda = 145^\circ$ в. д.)	180	-37

Задача 11. Годичный параллакс измеряется в угловых секундах. Однако в настоящее время всё чаще используется его представление в миллисекундах дуги. Расстояние до одного из спутников нашей галактики равно 45 000 пк. Чему равен параллакс этого спутника в миллисекундах дуги?

Ответ: 0.022

Критерии оценивания: попадание в интервал $[0.02, 0.0223]$ +8 баллов.

Всего за задачу 8 баллов.

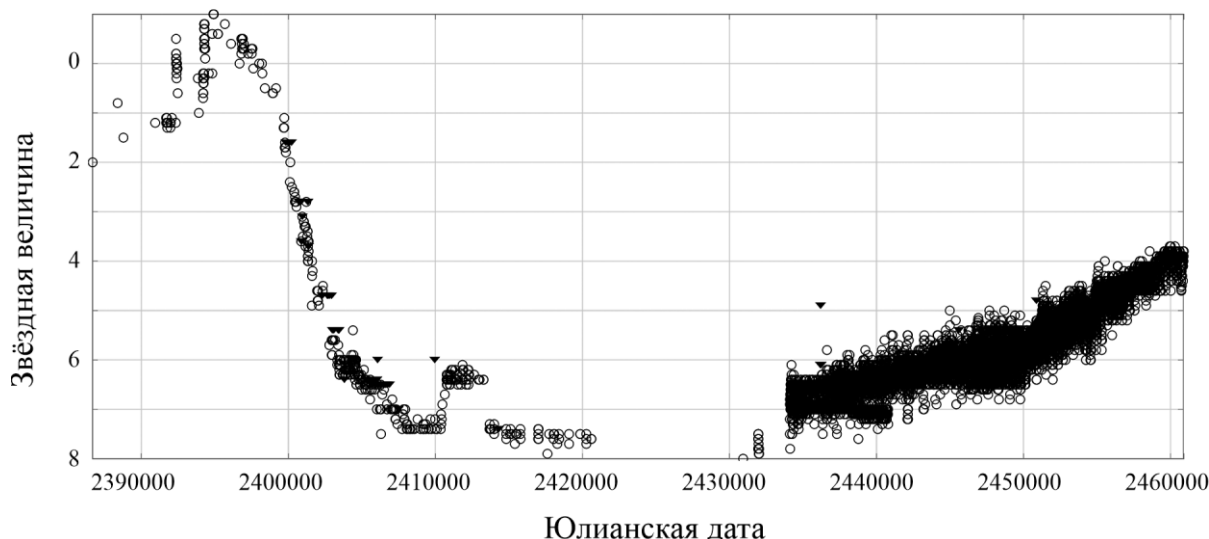
Решение

Параллакс можно вычислить по формуле $p = 1 / d$, где d – расстояние до объекта в парсеках. Для 45000 пк параллакс равен $1/45000 \approx 2.2 \cdot 10^{-5}$ или 0.022 миллисекунды дуги.

Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 11.

Вариант	Расстояние, пк	Ответ	Критерии оценивания
2	23 000	0.043	попадание в интервал $[0.04, 0.0435]$ +8 баллов
3	82 000	0.012	попадание в интервал $[0.01, 0.0122]$ +8 баллов
4	30 000	0.033	попадание в интервал $[0.03, 0.0334]$ +8 баллов

Задачи 12-15. На рисунке* представлена визуальная (полученная по глазомерным оценкам яркости) кривая блеска одной из самых массивных звёзд нашей галактики. По оси X отложена юлианская дата (она используется для непрерывного счёта дней без разбиения на года), а по оси Y – блеск звезды в звёздных величинах.



12. На какую юлианскую дату пришёлся максимум блеска звезды?

Ответ: 2395000

Критерии оценивания: попадание в интервал [2393400, 2396800] +2 балла.

13. В каком примерно году звезда находилась в самом ярком состоянии? Считайте, что в день проведения олимпиады юлианская дата равна JD = 2460973.

Ответ: 1845

Критерии оценивания: попадание в интервал [1840, 1850] +5 баллов.

14. Чему был равен блеск звезды в самом ярком состоянии?

Ответ: –1

Критерии оценивания: попадание в интервал [–1.1, –0.9] +2 балла.

15. Какой блеск имела бы звезда в максимуме своего блеска, если бы расстояние до неё было в 10 раз меньше? Межзвёздным поглощением пренебречь.

Ответ: –6

Критерии оценивания: попадание в интервал [–6.1, –5.9] +5 баллов.

Всего за задачу 14 баллов.

* Источник изображения сайт: aavso.org

Решение

Из кривой блеска видно, что максимум блеска наблюдался примерно на $JD = 2395000$. То есть это было $2460973 - 2395000 \approx 66000$ дней или около 180 лет назад. Искомый ответ – примерно в 1845 г. Шкала времени на рисунке достаточно грубая, поэтому принимается ответ из диапазона [1840–1850].

В максимуме блеск этой звезды достигал -1 звёздной величины. Если бы в это время звезда оказалась в 10 раз ближе к Земле, то количество энергии, падающей на единицу площади поверхности Земли увеличилось бы в $10^2 = 100$ раз. Согласно определению звёздной величины, такое увеличение освещённости соответствует уменьшению звёздной величины на 5^m . То есть блеск звезды был бы равен -6^m .

Речь в задаче идёт о реальном объекте – двойной звезде η Киля, компоненты которой имеют массу в несколько десятков масс Солнца.

Максимальный балл за работу – 100.