ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ
2022–2023 УЧЕБНЫЙ ГОД
ОТВЕТЫ

10 КЛАСС	
№ задания	Максимальный балл
1.	10
2.	10
3.	10
4.	10
5.	10
Итого:	50 баллов

ПОДРОБНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАНИЙ

10 класс

Общие указания: за правильное понимание участником олимпиады сути предоставленного вопроса и выбор пути решения выставляется не менее 5–7 баллов. При отсутствии понимания ситуации и логической связанности решения оценка не может превышать 2–3 балла даже при формально правильном ответе. С другой стороны, арифметические ошибки, приводящие к неверному ответу, не должны быть основанием для снижения оценки более чем на 1–2 балла. Жюри вправе вводить собственные критерии оценивания работ, не противоречащие общим рекомендациям по проверке.

1. Координаты звезды

Задание

В Красноярске (широта φ = 56,0°) в день осеннего равноденствия верхняя кульминация звезды произошла в истинную полночь (в 0,0 ч истинного солнечного времени) на высоте 85,3°. Определите экваториальные координаты звезды.

Решение

Началом звёздных суток считается верхняя кульминация точки весеннего равноденствия, а началом истинных солнечных суток – нижняя кульминация центра солнечного диска. В день осеннего равноденствия Солнце находится на эклиптике в точке осеннего равноденствия, и в момент его нижней кульминации (в истинную полночь) в верхней кульминации будет находиться противоположная точка эклиптики – точка весеннего равноденствия. Поэтому в день осеннего равноденствия начало истинных солнечных и звёздных суток совпадают с точностью до разницы в продолжительности звёздных и солнечных суток (примерно 4 минуты – в зависимости от момента наступления осеннего равноденствия), а значит, в этот день с той же точностью совпадает звёздное время и истинное солнечное время. Так данные в условии задачи приведены с точностью до десятых часа (6 минут), можно считать кульминация звезды произошла в 0,0 часов по звёздному времени.

Звёздное время в любой момент равно прямому восхождению какого-либо светила плюс его часовой угол $s = \alpha + t$. Так как часовой угол звезды (отсчитывается от небесного меридиана) в момент верхней кульминации равен 0 ч, то прямое восхождение звезды будет равно α = 0,0 ч.

Определим другую экваториальную координату звезды – склонение из соотношения для высоты светила в верхней кульминации $h_{\max} = \delta + (90° - \varphi)$. Отсюда склонение $\delta = h_{\max} - (90° - \varphi)$ = $85{,}3° - (90° - 56{,}0°) = 51{,}3°$. Так как высота звезды блика к зениту, а данные в условии задачи приведены с точностью до десятых градуса (6'), то влиянием рефракции на склонение можно пренебречь.

Ответ: прямое восхождение звезды равно α = 0,0 ч., а её склонение δ = 51,3°.

Критерии оценивания

Вывод (с пояснением) о том, что в день осеннего равноденствия истинное солнечное время и звёздное время совпадают – 4 балла.

Упоминание о точности определения звёздного времени и её связи с точностью данных в условии задачи – 1 балл.

Верное определение прямого восхождения – 1 балл.

Верное определение склонения звезды – 2 балла.

Упоминание об отсутствии существенного влияния рефракции на светила, которые находятся около зенита – 1 балл.

Упоминание о точности определения склонения и её связи с точностью данных в условии задачи – 1 балл.

2. Астероид Рахманинов

Задание

25 февраля 2023 незадолго до 150-летнего юбилея знаменитого русского музыканта Сергея Рахманинова произойдёт очередное противостояние астероида Рахманинов (№ 4345). Сколько противостояний этого астероида можно было наблюдать с Земли с момента его открытия 11 февраля 1988 года? Можно считать, что астероид движется по круговой орбите на среднем расстоянии 2,9 а.е. от Солнца.

Решение

Период обращения астероида можно найти из III закона Кеплера в упрощённой формулировке: $T = \sqrt{a^3}$, где а– большая полуось (радиус орбиты) астероида в астрономических единицах, а T– звёздный (сидерический) период обращения, выраженный в годах. Тогда $T = \sqrt{2{,}9^3}$ = 4,94 года.

Промежуток времени между противостояниями называется синодическим периодом S. Он связан со звёздным (сидерическим) периодом T для внешнего объекта (которым является астероид исходя из его среднего расстояния) соотношением $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_\oplus} - \frac{1}{T}$, где $T_\oplus$ – сидерический период обращения Земли (1 звёздный год). Выразим из него синодический период обращения астероида, приведя дроби к общему знаменателю: $S = \frac{T_\oplus \cdot T}{T - T_\oplus}$. Подставив численные значения, получим: $S = \frac{1\text{ г} \cdot 4{,}94\text{ г}}{3{,}94\text{ г}} = 1{,}25\text{ г}$.

Как видно из условия, с момента открытия астероида пройдёт 35 лет. Значит, количество противостояний за этот период: 35 г / 1,25 г = 28.

Примечание: если проводить вычисления с точностью до тысячных долей, то ответ будет 27,911. Поскольку число противостояний должно быть целым, то ответ 27 тоже можно считать верным.

Ответ: 28 (27) противостояний.

Критерии оценивания

Знание и применение упрощённой записи III закона Кеплера для круговой орбиты – 3 балла.

Верные вычисления звёздного (сидерического) периода обращения астероида – 1 балл.

Применение уравнения синодического движения для внешних (верхних) планет – 3 балла.

Выражение из уравнения синодического движения синодического периода обращения путём приведения дробей к общему знаменателю и верные его вычисления – 2 балла.

Окончательные верные вычисления количества противостояний астероида с момента его открытия – 1 балл.

3. «Летящая» звезда Барнарда

Задание

Звезда Барнарда, находящаяся от нас на расстоянии 1,828 пк, имеет тангенциальную составляющую собственной скорости $v_{тан}$ = 89,3 км/с. За сколько лет для земного наблюдателя эта звезда сместится на небе на видимый диск Луны?

Решение

Сначала найдём собственное движение μ – угловое перемещение звезды на небесной сфере за год из соотношения: $v_{тан} = 4{,}74\frac{\mu}{\pi}$, где π – годичный параллакс звезды, связанный с расстоянием до неё в парсеках $r = \frac{1}{\pi''}$. Отсюда $\mu = \frac{v_{тан}}{4{,}74 \cdot r} = \frac{89{,}3\text{ км/с}}{4{,}74 \cdot 1{,}828\text{ пк}}$ = 10,3″/год.

Известно, что видимыми размер Луны равен примерно 0,5° · 3600″ = 1800″.

Тогда такое расстояние звезда Барнарда пройдёт за 1800″ / 10,3″/год = 175 лет.

Примечание: участники, не зная готовой формулы для определения собственного движения, могут из тангенциальной скорости определить перемещение звезды за год, а затем, используя расстояние до неё, получить величину углового смещения на небесной сфере за год. Такое решение тоже считается верным и оценивается в полном объёме.

Ответ: примерно за 175 лет.

Критерии оценивания

Знание или вывод соотношения для собственного движения звезды – 4 балла.

Знание зависимости расстояния до звёзд от их годичного параллакса – 2 балла.

Знание углового размера Луны на небе – 2 балла.

Правильное вычисление времени – 2 балла.

4. Увидеть Рахманинова на небе

Задание

Можно ли будет увидеть астероид Рахманинов (см. задачу №2) вблизи противостояния в один из самых больших серийно выпускаемых любительских телескопов с диаметром объектива 16 дюймов (40 см), если его блеск достигнет 16 звездной величины? Считать, что в тёмную ночь, когда наш зрачок расширяется до 6 мм, человек может видеть звёзды до 6 звёздной величины.

Решение

Если использовать полные данные условия, то можно сделать вывод, что астероид на 10^m (звёздных величин) слабее звёзд, доступных невооруженному глазу. Что соответствует разнице в $2{,}512^{10} \approx 10$ тысяч раз. К такому же выводу можно прийти из определения, что разность в 5^m соответствует отношению освещённостей в 100 раз, а шкала звёздных величин степенная. Чтобы увидеть астероид, площадь объектива должна превысить площадь зрачка во столько же раз. Если рассматривать диаметры, то разница составит $\sqrt{10000}$ = 100 раз. Тогда нам понадобится телескоп с диаметром объектива 6 мм · 100 = 600 мм = 60 см.

Участник может использовать и готовую формулу для проницающей способности телескопа (предельной звёздной величины): $m_П = 2{,}1^m + 5\lg(D\text{ мм})$, откуда $\lg(D) = \dfrac{m_П - 2{,}1^m}{5} = \dfrac{16{,}0^m - 2{,}1^m}{5} = 2{,}78$

Тогда $D = 10^{2{,}78} \approx 603$ мм, или около 0,6 метра.

Ответ: нет, нельзя. Чтобы попытаться увидеть астероид, понадобится телескоп с диаметром объектива более 60 см (0,6 метра).

Критерии оценивания

Использование формулы Погсона или соотношения разности звёздных величин к отношению освещенностей – 3 балла.

Понимание, что и телескоп, и глаз собирают свет площадью объектива (зрачка) – 3 балла.

Окончательные вычисления и верный вывод – 4 балла.

Примечание: правильное использование готовой формулы оценивается в полном объёме при условии верных вычислений и выводов.

5. Проксима Центавра

Задание

Автоматическая межпланетная станция (АМС) «New Horizons» («Новые горизонты»), которая в 2015 году впервые исследовала Плутон, в апреле 2020 года, находясь на расстоянии 46 а.е. от Земли, сфотографировала ближайшую к нам звезду Проксима Центавра. Одновременно такая же фотография была сделана и с Земли, но на ней Проксима смещена на фоне далёких звёзд на 35,4″ по сравнению с положением на фотографии, сделанной АМС «Новые горизонты». Определите расстояние до Проксимы Центавра в парсеках.

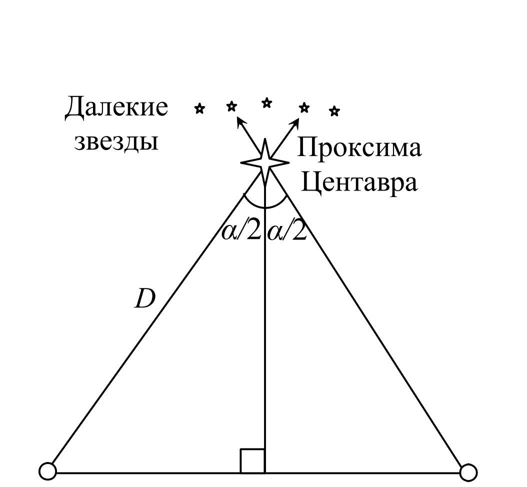

Рис. 1

Решение

Смещение звезды на фотографиях вызвано эффектом параллакса на базисе 46 а.е. (см. Рис. 1).

Выделим прямоугольный треугольник (см. Рис. 1). Тогда расстояние от Земли до Проксимы Центавра будет:

$$D = \frac{Базис/2}{\sin(\alpha/2)}.$$

Так как параллактический угол мал, то можно считать, что $\sin(\alpha/2) \approx \alpha/2$, если величина угла выражена в радианах. Для удобства выразим этот угол в секундах дуги, учитывая, что 1 рад = 206 265″ (т.к. 180° есть π = 3,14 рад), $\sin(\alpha/2) \approx \frac{\alpha''/2}{206265''}$. Тогда $D = \frac{206265'' Базис/2}{\alpha''/2} = \frac{206265'' Базис}{\alpha''}$. Подставив значения из условия задачи, получим: $D = \frac{206265'' \cdot 46 \text{ а.е.}}{35{,}4''} = 268028$ а.е.

Так как 1 пк = 206265 а.е., то расстояние до Проксимы Центра в парсеках будет равно (268028 а.е. · 1 пк) / 206265 а.е. = 1,30 пк.

Примечание: участники могут принять за расстояние до Проксимы прилежащий катет и выразить его через тангенс. Учитывая огромное расстояние до звезды, такое решение не считается ошибочным. Также участники могут напрямую вычислять синус или тангенс угла, не упрощая выражение с учётом малости угла. При правильных вычислениях такое решение тоже считается верным.

Ответ: 1,30 пк.

Критерии оценивания

Понимание, что смещение звезды вызвано эффектом параллакса – 3 балла.

Понимание, что базисом будет являться расстояние от Земли до «Новых Горизонтов» – 3 балла.

Получение из прямоугольного треугольника правильного выражения (или верное использование готового) для определения расстояния – 2 балла.

Получение верного ответа в парсеках – 2 балла.