

**Районный этап всероссийской олимпиады школьников
по астрономии
в 2023/2024 учебном году в Санкт-Петербурге**

10 класс, критерии оценивания

1. В Солнечной системе по круговым орбитам в одной плоскости и одном направлении обращаются два астероида. В момент наибольшего сближения относительная скорость астероидов равна 6 км/с, а в момент наибольшего удаления она составляет 32 км/с. Определите минимальное расстояние между астероидами.

Решение:

Определим орбитальные скорости астероидов. В момент наибольшего сближения относительная скорость равна разности скоростей астероидов, а в момент наибольшего удаления она равна их разности:

$$V_1 - V_2 = 6 \text{ км/с}, \quad V_1 + V_2 = 32 \text{ км/с},$$

откуда получаем $V_1 = 19 \text{ км/с}$, $V_2 = 13 \text{ км/с}$.

Круговая скорость связана с радиусом орбиты и массой притягивающего центра как

$$V = \sqrt{\frac{GM}{r}}, \quad r = \frac{GM}{V^2}.$$

Сравнивая параметры орбит астероидов и Земли, получаем

$$\frac{r_{1,2}}{r_{\oplus}} = \frac{V_{\oplus}^2}{V_{1,2}^2}.$$

Отсюда, зная, что орбитальная скорость Земли близка к 30 км/с, получаем

$$r_1 = \frac{30^2}{19^2} = 2.5 \text{ а.е.}, \quad r_2 = \frac{30^2}{13^2} = 5.3 \text{ а.е.}$$

Минимальное расстояние между астероидами будет равно разности радиусов орбит, то есть будет равно 2.8 а.е.

Комментарии к оцениванию:

Вычисление орбитальных скоростей каждого из астероидов — 3 балла. Вычисление радиусов орбит — 3 балла. Определение минимального расстояния — 2 балла.

2. Вездеход движется вдоль меридиана на север из пункта с координатами 30° с.ш., 60° в.д. со скоростью 40 км/час. Какое событие наступит раньше и спустя какое время после начала движения: Капелла ($\delta = 46^\circ$) станет незаходящей или Шаула ($\delta = -37^\circ$) станет невосходящей?

Решение:

Определим значение широты, для которой Капелла будет незаходящей:

$$|\varphi + \delta| - 90^\circ \geq 0^\circ,$$

откуда $\varphi \geq 44^\circ$.

Определим значение широты, для которой Шаула будет невосходящей:

$$90^\circ - |\varphi - \delta| \leq 0^\circ,$$

откуда $\varphi \geq 53^\circ$.

Первой наступит ситуация с незаходящей Капеллой, причем широта вездехода должна измениться на 14° . За один час вездеход проезжает $\frac{40}{4 \cdot 10^4} \cdot 360^\circ = 0.36$, поэтому 14° он проедет за $14/0.36 \approx 39$ часов.

Комментарии к оцениванию:

Запись или вывод формул для склонения незаходящего или невосходящего на данной широте объекта и их использование — по 2 балла за каждое. Ответ на вопрос, какое из событий наступит раньше — 1 балл. Вычисление времени — 3 балла.

3. На расстоянии 1 кпк от Земли наблюдается двойная звезда, состоящая из двух одинаковых компонент, похожих на Солнце. Определите суммарную видимую звёздную величину двойной звезды. Межзвёздным поглощением пренебречь.

Решение:

Воспользуемся оценкой абсолютной звёздной величины Солнца $M = 5^m$. Тогда видимая звёздная величина одной компоненты

$$m_0 = M - 5 + 5 \lg r = 15^m.$$

Освещенность, создаваемая двумя компонентами, в 2 раза больше, чем освещенность, создаваемая одной. Поэтому две компоненты в соответствии с формулой Погсона будут ярче одной на $\Delta m = 2.5 \lg 2 = 0.75 \approx 1^m$. Это означает, что видимая звездная величина двойной системы около $+14^m$.

Комментарии к оцениванию:

Оценка абсолютной звездной величины Солнца — 2 балла. Вычисление видимой звездной величины одного компонента — 3 балла. Вычисление видимой звездной величины системы — 3 балла. Участник может воспользоваться как известным фактом тем, что изменение освещенности в два раза соответствует изменению блеска на $\approx 0^m.75$, в этом случае (при получении правильного результата) баллы за последний этап выставляются полностью.

4. Расставьте астрономические объекты в порядке увеличения числа звезд в них: шаровое скопление М 13, рассеянное скопление М 23, спиральная галактика М 33, астеризм М 73. Объясните свой ответ.

Решение:

Правильный ответ: М 73, М 23, М 13, М 33.

В рассеянных скоплениях содержится от нескольких сотен до нескольких тысяч звезд. Шаровые звездные скопления содержат в среднем примерно на три порядка больше звезд, чем рассеянные (от нескольких сотен тысяч до миллионов). Уже даже самые маленькие галактики больше шаровых скоплений, а М 33 — галактика спиральная, а они не бывают карликовыми (это галактика в Треугольнике, третья из крупных галактик Местной Группы). Поэтому самый последний объект — безусловно галактика.

Осталось разобраться с астеризмом. Это, строго говоря, не объект, а группа как-то примечательно расположенных по отношению друг к другу на небе звезд, объединенных общим названием. Для этого необходимо, чтобы эти звезды были видны в составе астеризма отдельно друг от друга, а отсюда сразу же следует вывод — их не может быть много, максимум один-два десятка (а конкретно в М 73 входят четыре звезды). Поэтому астеризм возглавляет список.

Комментарии к оцениванию:

Каждый один объект, находящийся на правильном месте в ответе — по 1 баллу за объект. Правильное обоснование размещения каждого объекта на соответствующем месте — по 1 баллу за объект.

5. Известно, что Солнце вращается дифференциально. Определите, на сколько км/с отличается линейная скорость движения поверхности Солнца на экваторе (период обращения 24.5 земных суток) и на широте 55° (период обращения 29.3 суток), если известно, что радиус Солнца равен $7 \cdot 10^5$ км.

Решение:

Линейная скорость движения v точки вокруг оси вращения определяется угловой скоростью ω и расстоянием R до оси вращения:

$$v = \omega R; \quad \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Однако расстояние до оси вращения на каждой широте φ разное и определяется значением широты как

$$R = R_\odot \cos \varphi,$$

поскольку Солнце можно считать шарообразным с радиусом R_\odot . Объединяя все в одну формулу, получаем:

$$v = \frac{2\pi R_\odot \cos \varphi}{T}.$$

Рассчитаем линейную скорость движения вещества Солнца на двух указанных широтах и вычтем их друг из друга:

$$v(0^\circ) = \frac{2\pi \cdot 7 \times 10^5 \text{ км} \cdot \cos 0^\circ}{24.5 \cdot 86400 \text{ секунд}} = 2.08 \text{ км/с}$$

$$v(55^\circ) = \frac{2\pi \cdot 7 \times 10^5 \text{ км} \cdot \cos 55^\circ}{29.3 \cdot 86400 \text{ секунд}} = 0.98 \text{ км/с}$$

Можно заметить, что линейная скорость вращения Солнца меняется по широте более чем в два раза. Ответом задачи будет значение 1.1 км/с.

Комментарии к оцениванию:

Запись линейной скорости как функции данных задачи — 4 балла. Вычисление значений скоростей на двух широтах (или использование соответствующих формул) — по 1 баллу за каждую широту. Вычисление и запись итогового ответа — 2 балла.