

## Решения II этапа Республиканской олимпиады по астрономии

Минская область, 2022 год

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР

1. А) 1.

*За правильный ответ 1 балл.*

**Б) В точке Лагранжа L2 системы Солнце-Земля (1.5 млн км от Земли в противоположную Солнцу сторону).**

*За правильный ответ 1 балл. Допускается любой из этих ответов: точка Лагранжа или L2 или 1.5 млн км от Земли в противоположную от Солнца сторону.*

**В) Допускается любой ответ в диапазоне с 25 декабря 2021 года (когда произошёл запуск телескопа с Земли) до 12 июля 2022 года (когда состоялся выпуск первых полноцветных изображений и спектроскопических данных).**

*За правильный ответ 1 балл, если участник назвал хотя бы приблизительно месяц и пояснил, что именно в этот месяц произошло, так как понятие «начало функционирования» допускает разные варианты.*

**Г) Помимо «Джеймса Уэбба» в космосе работают и другие телескопы, например, телескоп «Хаббл», телескоп «Чандра», телескоп «Ферми», телескоп TESS, телескоп «Спектр-РГ».**

*За правильное упоминание любого из них (хотя бы одного) 1 балл. Если под «аналогичным проектом» участник понял не космические телескопы, а что-то другое, и при этом смог привести обоснованный пример, такой вариант ответа также можно рассматривать как правильный.*

**Д) JWST проводит наблюдения в диапазоне 0.6 – 28 мкм (части видимого и инфракрасного).**

*За правильный ответ 1 балл. Не обязательно приводить длины волн.*

2. А) Скорость равна

$$V_r = c \cdot \frac{(z + 1)^2 - 1}{(z + 1)^2 + 1} = 3 \cdot 10^8 \cdot \frac{(13 + 1)^2 - 1}{(13 + 1)^2 + 1} = 2.97 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

*За правильный ответ 3 балла.*

**Б) Галактика удаляется от нас из-за расширения Вселенной.**

За правильный ответ 1 балл. Он может быть сформулирован и как-то иначе, но обязательно должен содержать эту идею.

В) Расстояние до галактики можно определить через закон Хаббла:

$$V_r = H \cdot r \Rightarrow r = \frac{V_r}{H},$$

где  $V_r$  – скорость удаления от нас галактики в км/с. По формуле получаем  $r = 3959 \text{ Мпк} = 3.96 \text{ Гпк}$ .

За правильный ответ 3 балла.

Г) Воспользуемся формулой красного смещения от эффекта Доплера:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \Rightarrow$$

$$\lambda = z \cdot \lambda_0 + \lambda_0 = 13 \cdot 6563 + 6563 = 91882 \text{ \AA} = 9188.2 \text{ нм} = 9.2 \text{ мкм.}$$

За правильный ответ (в любых единицах измерения) 3 балла.

### 3. А) Экзопланеты.

За правильный ответ 1 балл.

Б) А2 – это непосредственно сам спектральный класс. Он говорит о том, что HIP 65426 относится к **белым звездам**, немного холоднее А0. Римская цифра – класс светимости звезды. Цифра V означает, что HIP 65426 является звездой **главной последовательности**.

За правильный ответ 1 балл, за частично правильный – 0.5 балла.

В) Годичный параллакс определяется по формуле

$$\pi = \frac{1}{r_{\text{пк}}} = \frac{1}{385 \cdot \frac{9.45 \cdot 10^{15}}{3.09 \cdot 10^{16}}} = 0.00849''.$$

За правильный ответ 1 балл.

Г) В этом пункте расчет можно делать как в абсолютных единицах, так и в параметрах Солнца. Рассмотрим оба варианта решения.

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 = 4\pi (1.72 \cdot 696 \cdot 10^6)^2 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot 8900^4 = 6.41 \cdot 10^{27} \text{ Вт}$$

$$\text{или } L = 1.72^2 \cdot \left(\frac{8900}{5778}\right)^4 = 16.65 L_{\odot}$$

Далее применяем формулу Погсона для абсолютных звездных величин:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 10^{0.4(M_{\odot} - M)} \text{ или } \frac{L}{L_{\odot}} = 2.512^{(M_{\odot} - M)} \text{ или } 2.5 \cdot \lg\left(\frac{L}{L_{\odot}}\right) = M_{\odot} - M$$

Получаем значение абсолютной звездной величины

$$M = M_{\odot} - 2.5 \cdot \lg\left(\frac{L}{L_{\odot}}\right) = 4.8 - 2.5 \cdot \lg 16.65 = \mathbf{1.75^m}.$$

*За правильный расчет светимости 1 балл. За правильный расчет абсолютной звездной величины 2 балла. Всего 3 балла за пункт.*

Д) Видимую звездную величину можно определить по формуле

$$M = m + 5 - 5 \lg(r_{\text{пк}}) \Rightarrow$$

$$m = 1.75 - 5 + 5 \lg\left(92 \cdot \frac{1.5 \cdot 10^{11}}{3.09 \cdot 10^{16}}\right) = \mathbf{-20.00^m}$$
 – из окрестностей планеты,

$$m = 1.75 - 5 + 5 \lg\left(385 \cdot \frac{9.45 \cdot 10^{15}}{3.09 \cdot 10^{16}}\right) = \mathbf{7.10^m}$$
 – при наблюдении с Земли.

*За правильную формулу 1 балл, за каждый правильный ответ также по 1 баллу. Всего 3 балла за пункт. Этот пункт также можно решить, определив освещенность от звезды по светимости и расстоянию, а затем, используя формулу Погсона, сравнить эту освещенность с солнечной постоянной. Этот способ менее рациональный, к тому же в справочных данных нет ни  $E_0$ , ни видимой звездной величины Солнца, но если участник помнит их значения и, правильно их используя, получил верный ответ, такое решение также оценивается в 3 балла. Также возможна ситуация, когда в предыдущем пункте участник получил неправильный ответ и, подставив его в формулу, получил звездную величину, несовпадающую с авторским значением. Тем не менее, если значение, полученное участником, соответствует тем числам, которые он использовал при расчетах, такое решение также оценивается в 3 балла, так как переходящие ошибки (тянущиеся из предыдущих пунктов) не должны быть причиной повторного снижения баллов.*

Е) Масса звезды равна

$$M = \sqrt[3.9]{L} = \sqrt[3.9]{16.65} = \mathbf{2.06}$$
 масс Солнца.

Здесь  $M$  – это масса звезды в массах Солнца, а  $L$  – светимость звезды в светимостях Солнца.

*За правильный ответ 2 балла. В этом пункте также возможна переходящая ошибка, если значение светимости в пункте Г) было рассчитано неверно. Тем не менее, если значение, полученное участником, соответствует тем числам, которые он использовал при расчетах, такое решение также оценивается в 2 балла.*

Ж) Период планеты определяется по третьему закону Кеплера. Можно использовать его обобщенный вид и производить все расчеты в единицах СИ, а можно перейти в относительные единицы: массу в массах Солнца, период в годах и большую полуось в а.е. Ниже рассмотрены оба варианта.

$$GMT^2 = 4\pi^2 a^3 \Rightarrow$$

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 a^3}{GM}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 (92 \cdot 1.5 \cdot 10^{11})^3}{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot (2.06 \cdot 2 \cdot 10^{30})}} = 1.94 \cdot 10^{10} \text{ с} = \mathbf{616 \text{ лет.}}$$

$$\text{или } M_{\text{Мс}} \cdot T_{\text{год}}^2 = a_{\text{ае}}^3 \Rightarrow T_{\text{год}} = \sqrt{\frac{a_{\text{ае}}^3}{M_{\text{Мс}}}} = \sqrt{\frac{92^3}{2.06}} = \mathbf{615 \text{ лет.}}$$

Скорость определяется по формуле кругового движения.

$$V = \sqrt{\frac{GM}{a}} = \sqrt{\frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot (2.06 \cdot 2 \cdot 10^{30})}{92 \cdot 1.5 \cdot 10^{11}}} = \mathbf{4462 \text{ м/с} = 4.46 \text{ км/с.}}$$

*За правильный расчет периода 2 балла. За правильный расчет скорости 2 балла. В этом пункте также возможна переходящая ошибка, которую не следует учитывать (см. пояснения к предыдущим пунктам).*

4. А) Туманность Тарантул относится к **эмиссионным**, которые являются в свою очередь видом **диффузных (светлых)** туманностей. Представляет собой межзвездное облако пыли и газа, излучающее в оптическом диапазоне из-за ионизации водорода.

*За правильный ответ (в любой формулировке) 1 балл.*

- Б) Большое Магелланово – крупнейшая и самая массивная **галактика-спутник Млечного Пути**. Находится в южном полушарии небесной сферы (склонение  $-70^\circ$ ), из-за чего **не может наблюдаться в Минске**, т.к. **является невозходящим объектом** на широте  $54^\circ$  с.ш.

*За правильный ответ 1 балл.*

- В) Линейные размеры определяются через угловые и расстояние по формуле

$$a = r \cdot \sin \alpha$$

$$161000 \cdot \frac{9.45 \cdot 10^{15}}{3.09 \cdot 10^{16}} \cdot \sin \left( \frac{30}{60} \right)^\circ = \mathbf{430 \text{ пк.}}$$

$$161000 \cdot \frac{9.45 \cdot 10^{15}}{3.09 \cdot 10^{16}} \cdot \sin \left( \frac{20}{60} \right)^\circ = \mathbf{286 \text{ пк.}}$$

*За правильный ответ 3 балла. Ответ должен быть в пк, т.к. этого требует условие задачи. За ответ в других единицах измерения снимается 1 балл. Для расчета могут использоваться и другие формулы связи угловых размеров с линейными, например, вместо синуса может стоять тангенс или сам угол, выраженный в радианах.*

5. А) Европа – спутник Юпитера, Энцелад – спутник Сатурна.

За правильный ответ 2 балла.

Б) По третьему закону Кеплера найдем сидерический период Цереры:

$$T_{\text{год}}^2 = a_{\text{ае}}^3 \Rightarrow T = \sqrt{2.77^3} = 4.61 \text{ года.}$$

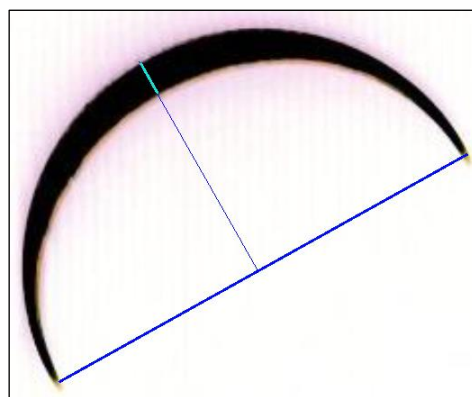
Синодический период определяется по формуле:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T_{\text{ц}}} \Rightarrow S = 1.28 \text{ года} = \mathbf{466} \text{ дней.}$$

За правильный расчет сидерического месяца 1 балл. Можно также считать и через обобщенный закон Кеплера (в СИ). За правильный расчет синодического периода 2 балла. Всего за пункт 3 балла.

## ПРАКТИЧЕСКИЙ ТУР

1. А) В первую очередь необходимо определить фазу Земли при наблюдении с Луны. Для этого нужно измерить ширину светлой части серпа  $d$  и полный диаметр Земли  $D$ . Диаметр будет расстояние между «рогами» (жирная синяя линия), так как терминатор является полуэллипсом и проходит через диаметрально противоположные точки земного диска. Затем можно провести серединный перпендикуляр к диаметру (тонкая синяя линия) и измерить ширину серпа на нем (голубой отрезок). Итак, фаза Земли получается равной примерно



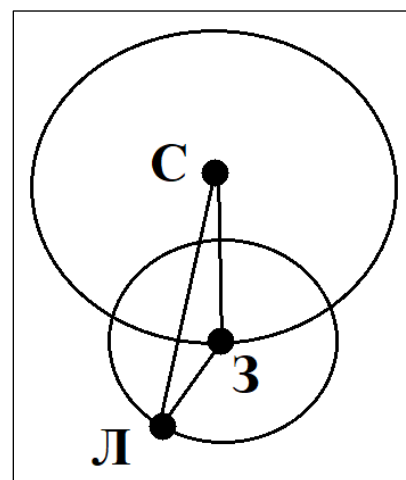
$$\Phi_{\text{з}} = \frac{d}{D} = 0.08 \text{ или } 8\% \text{ (допускается небольшая погрешность).}$$

Фаза Луны при наблюдении с Земли в этот момент противоположна, т.е.  $100 - 8 = \mathbf{92\%}$ . Это можно доказать через фазовые углы: они связаны с фазами формулой

$$\Phi = (1 + \cos\varphi)/2,$$

при этом в треугольнике СЛЗ фазовый угол Луны СЛЗ и фазовый угол Земли СЗЛ в сумме дают примерно  $180^\circ$ , т.к. угол ЛСЗ очень мал: его максимально возможное значение составляет всего лишь

$$\arcsin\left(\frac{384400}{150000000}\right) = 0.15^\circ.$$



За правильное определение фазы Земли из рисунка 1 балл. За правильное объяснение связи фазы Земли и Луны 1 балл. За правильное значение фазы Луны 1 балл. Всего 3 балла за пункт.

Б) Зная фазу Луны, можно определить ее фазовый угол по формуле

$$\varphi = \arccos(2\Phi - 1) = \arccos(2 \cdot 0.92 - 1) = 33^\circ.$$

При этом, так как серп Земли при наблюдении с Земли стареющий, Луна находится в точке, предшествующей полнолунию, как показано на рисунке. При этом угол СЗЛ пропорционален возрасту Луны. Этот угол, как следует из предыдущих рассуждений практически равен  $180^\circ - 33^\circ = 147^\circ$ . Следовательно, возраст Луны равен

$$N = \frac{147^\circ}{360^\circ} \cdot 29.5^d = 12^d.$$

Полнолуние происходит через половину синодического месяца, т.е. примерно 15 дней, следовательно, оно произойдет **через три дня** после момента съемки. *За правильное определение фазового угла 1 балл. За правильное определение возраста Луны 1 балл (если участник использовал сидерический месяц вместо синодического – 0.5 балла). За правильный ответ о количестве дней до полнолуния 1 балл. Если участник неправильно определил положение Луны, посчитав, что при таком же фазовом угле Луны ее возраст не 12, а 17.5 дней, за это можно снять 0.5 балла. При проверке ответов в этом пункте важно помнить, что для расчетов тут используются числа из решения пункта А), и в случае, если они отличаются от авторских из-за погрешности измерений или даже из-за неправильного решения, баллы в этом пункте сниматься не должны, т.к. переходящие ошибки не учитываются. Т.е. если решение правильное и ответ участника соответствует тем числам, которые он подставлял, то это оценивается в полном объеме.*

В) Луна на 12 градусов ниже небесного экватора, следовательно, ее склонение  $\delta = -12^\circ$ . Объект пересекает небесный меридиан в двух точках: верхней и нижней кульминации. Их высоты можно найти из рисунка или по формулам:

$$h_{\text{ВК}} = 90^\circ - \varphi + \delta = 90^\circ - 54^\circ + (-12^\circ) = 24^\circ,$$

$$h_{\text{НК}} = \varphi + \delta - 90^\circ = 54^\circ + (-12^\circ) - 90^\circ = -48^\circ.$$

*За правильное каждой высоты по 1.5 балла, всего 3 балла за пункт.*

Г) **Аполлон.**

*За правильный ответ 1 балл.*

2. А) **Солнце**

*За правильный ответ 1 балл.*

Б) **Солнечные вспышки.** Это взрывные процессы выделения энергии в верхних слоях Солнца.

За правильный ответ 1 балл. За частично правильный – 0.5 балла. Объяснение того, что собой представляют вспышки, может быть и другим, главное, чтоб оно было достоверным.

В) Под экваториальными координатами понимаются склонение и прямое восхождение. Часовой угол – тоже экваториальная координата, однако, рассчитать его для какой-либо даты невозможно, так как он меняет свое значение в течение суток.

Рассчитать координаты Солнца можно разными способами: через сферическую тригонометрию и эклиптическую долготу или более простыми, что тоже допустимо для данного этапа олимпиады. Далее приведены различные варианты расчета.

$$\delta = \varepsilon \cdot \sin\left(\frac{N \cdot 360^\circ}{365^d}\right),$$

где  $N$  – число дней с весеннего равноденствия. Если считать, что оно было 21.03, то на 2 октября  $N=195$  дней. При расчете по данной формуле получается ответ  $\delta = -5.02^\circ = -5^\circ 1'$ .

$$\sin\delta = \sin\varepsilon \cdot \sin\left(\frac{N \cdot 360^\circ}{365^d}\right).$$

По этой формуле  $\delta = -4.88^\circ = -4^\circ 53'$ .

Также можно использовать в этих формулах вместо выражения  $\frac{N \cdot 360^\circ}{365^d}$  обозначение  $\lambda$  – эклиптическая долгота Солнца.

Прямое восхождение Солнца можно посчитать в приближении, что оно совпадает с эклиптической долготой, то есть

$$\alpha = \frac{N \cdot 360^\circ}{365^d}.$$

Тогда получается  $\alpha = 192^\circ = 12.8^h = 12^h 49^m$ . Ответ в часах является более корректным, но ответ в градусах тоже можно принять как правильный.

Также прямое восхождение можно рассчитать через эклиптическую долготу и формулы сферической тригонометрии, что будет даже более правильным, но не обязательным для данного этапа. В этом случае эклиптическая долгота будет равна

$$\lambda = \frac{N \cdot 360^\circ}{365^d} = 192^\circ,$$

а прямое восхождение определяется по формуле

$$\cos\alpha = \frac{\cos\lambda}{\cos\delta} \text{ или } \sin\alpha = \frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}\varepsilon}.$$

При расчете по первой формуле получается  $\alpha = 191^\circ = 12.8^h = 12^h 45^m$ . Тут может возникнуть ошибка при подсчете, так как арккосинус дает значение  $169^\circ$ , но участник должен понимать, что 2 октября, после осеннего равноденствия, прямое восхождение Солнца не может быть меньше  $180^\circ$ , поэтому следует брать второе значение арккосинуса, т.е.  $360^\circ - 169^\circ = 191^\circ$ .

При расчете по второй формуле также получается  $\alpha=191^\circ=12.8^h=12^h45^m$ . Но снова может возникнуть путаница с углом: калькулятор дает значение арксинуса  $-11^\circ$  (или  $349^\circ$ ), но снова участник должен понять, что такое значение прямого восхождения у Солнца 2 октября быть не может, следовательно, правильным будет второе значение, т.е.  $180^\circ - (-11^\circ) = 191^\circ$ .

У участника может быть отличие в 1-2 дня при расчете N, если он брал другую дату весеннего равноденствия. Число дней в году тоже можно подставлять разным: 365.25 или 365.2425 или 365.2422. Поэтому небольшое расхождение в ответе (в сотых градуса или в минутах) или ответ, округленный до градусов/часов, можно считать допустимым.

*За правильный расчет склонения по любой формуле 1.5 балла. За правильный расчет прямого восхождения по любой формуле тоже 1.5 балла, но если при решении использовались формулы сферической тригонометрии и было взято неправильное значение арккосинуса или арксинуса – 0.5 балла снижается.*

3. А) **1 – метеор потока Персеиды, световое явление сгорания метеорного тела в земной атмосфере; 2 – рассеянные звездные скопления  $\chi$  и  $h$  Персея; 3 – Галактика Андромеды, M31 – ближайшая к нам крупная спиральная галактика.**

*За каждый правильный ответ 1 балл, всего 3 балла. Правильным можно считать также ответ в 1 без указания того, то метеор именно потока Персеид; в 2 – если название написано иначе, например,  $\chi h$  Per или  $h$  и  $\chi$  Персея – это все допустимые и правильные варианты; в 3 также допустимо написать Туманность Андромеды или просто M31 (и номер, и название указывать не обязательно). Если есть только название объекта, но нет какой-либо характеристики, ответ оценивается в 0.5 балла.*

Б) Чуть левее и ниже метеора можно увидеть Полярную звезду, под которой на горизонте находится точка севера. Созвездия Персей и Андромеда восходят, справа – восток. В центре кадра приблизительно **северо-восток**.





*За правильный ответ 1 балл. Если ответ незначительно отличается и есть объяснения, можно поставить 1 балл или 0.5 балла в зависимости от близости ответа и рассуждений к правильному варианту.*

**В) Персей и Андромеда – осенние созвездия. В середине августа они восходят поздним вечером.** Сказать точно время, не зная долготы и часового пояса места, в котором сделан снимок, невозможно, поэтому любой ответ в промежутке с 21 до 00 часов можно считать приблизительно верным. (То есть чтоб было понимание, что это не за полночь, не ранним утром и не сразу после захода Солнца.)

*За правильный ответ 1 балл.*

4. **А) 1 – Южная Рыба, 2 – Орел, 3 – Лебедь, 4 – Дракон, 5 – Цефей, 6 – Большая Медведица, 7 – Волопас, 8 – Северная Корона.**

*За каждый правильный ответ 1 балл, всего 8 баллов.*

**Б) 1 – Фомальгаут, 2 – Альтаир, 3 – Денеб, 4 – Этамин (это  $\gamma$ Дра, однако именно эта звезда самая яркая в созвездии), 5 – Альдерамин, 6 – Алиот (это  $\epsilon$ УМа, однако именно эта звезда самая яркая в созвездии, хоть она и за пределами карты), 7 – Арктур, 8 – Альфекка (или Гемма).**

*За каждый правильный ответ 1 балл, всего 8 баллов*

**В) Юпитер, Сатурн**

*За каждый правильный ответ 1 балл, всего 2 балла*

**Г) Юпитер – Рыбы, Сатурн – Козерог**

*За каждый правильный ответ 1 балл, всего 2 балла. Если планеты перепутаны местами, можно поставить по 0.5 балла за каждую.*

