Комитет образования и науки Курской области
Решения заданий муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2015 - 2016 учебном году
11 класс

Задача 1

На рисунке – карликовые планеты: 1 – Эрида (со спутником Дисномия), 2 – Хаумеа (со спутниками Хииака и Намака), 3 – Плутон (со спутниками Харон, Гидра, Никта, Кербер, Стикс), 4 – Макемаке, 5 – Церера.

Критерии оценивания: карликовые планеты (3 балла), названия (5 баллов, по 1 баллу за правильное соответствие обозначающим числам; названия спутников требовать и учитывать не надо). ***Всего 8 баллов.***

Задача 2

Цвет неба определяется рассеиванием лучей солнечного света (в целом – белого; самые короткие длины волн соответствуют синей части спектра, самые длинные – красной). Максимум интенсивности примерно соответствует совпадению характерных длин волн и поперечника рассеивателей. В земной атмосфере основой вклад вносит всестороннее рассеяние на флуктуациях плотности воздуха (малый масштаб, поэтому небо вдалеке от диска Солнца окрашивается в голубой цвет); при закате направление зрения идет почти на Солнце, то есть видна нерассеянная красная часть спектра, плюс добавляется рассеяние на пыли и паре (больший масштаб рассеивателей) в более толстом слое атмосферы, через которую проходят лучи света.

Марсианская атмосфера гораздо менее плотная, поэтому вклад газовых флуктуаций незначителен, гораздо важнее рассеяние на пылевых частицах, которые имеют более крупный размер и всестороннее рассеяние от Солнца, находящегося высоко надо горизонтом дает рыжий цвет неба. Соответственно, при почти прямом наблюдении Солнца низко над горизонтов, из спектра вычитается красная часть (рассеянная в стороны) и остается голубая.

Критерии оценивания: описание механизма образования цвета неба за счет рассеяние с учетом связи длин волн и разметов рассеивателей (2 балла); различие в газово-флуктуационном и пылевом механизмах у Земли и Марса (2 балла); корректное описание характера рассивания в условиях закатов, с учетом указания направления и следующего него вычитания части спектральных составляющих (4 балла). ***Всего 8 баллов.***

Задача 3

Чередования дня и ночи не будет на планете, обращенной к звезде, вокруг которой она обращается, если планета повернута к ней одной стороной (аналогично тому, как Луна к Земле). Такая ситуация реализуется за счет приливных сил, действующих на твердый материал, что приводит к согласованию периода вращения вокруг своей оси и орбитального периода. В планетной части Солнечной системе ситуация, близкая к описанной, реализуется на Меркурии, который расположен ближе всего к Солнцу и приливные силы затормозили его вращение так, что меркурианские сутки составляют 2/3 меркурианского года. В тоже время, у Венеры нет не только подобного согласования вращений, но и более того, ее осевое вращение противоположно орбитальному. Это объясняется тем, что Венера обладает плотной атмосферой. В ней реализуется так называемый атмосферный тепловой приливных эффект: благодаря теплоемкости, атмосфера прогревается с определенным запаздыванием (тепловой инерцией) по отношению к направлению на Солнце. В результате возникающие тепловые потоки из-за градиент температуры, направленные вдоль поверхности, взаимодействуя с ней,

приводят к раскручиваю, противоположному приливному торможению (для Венеры, имеющей очень плотную атмосферу это вообще привело к обратному осевому вращению).

Соответственно, экзопланета, находящаяся в радиусе действия мощных приливных сил, может сохранить несинхронное орбитально-осевое вращение, если она обладает подходящей атмосферой.

<u>Критерии оценивания:</u> связь синхронного вращения и отсутствия чередования дня и ночи (1 балла), качественное описание ключевых свойств орбитально-осевых вращений Меркурия и Венеры – чисел можно не приводить (2 балла), наличие плотной амосферы на Венере, что отличает ее от Луны и Меркурия (1 балл); описание механизма основного и атмосферного приливного эффектов и правильный вывод (4 балла). ***Всего 8 баллов.***

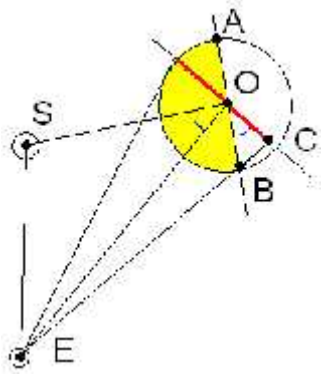
Примечание: не для оценивания, но если интересно будет – численные расчеты приведены в статье в журнале Science, vol. 347 (2015), pp. 632-635.

Задача 4

На небесном глобусе Атланта Фарнезе видны основные линии: небесный экватор, тропики по обе стороны от него, эклиптика (наклонная линия) и небесный меридиан, пересекающий небесный экватор в точке весеннего равнодействия (что это именно он опознается по тому, что именно рядом с ним находится созвездие Овен). Именно положение Овна и позволяет определить дату создания Атланта Фарнезе: на нем голова Овна практически совпадает с точкой весеннего равноденствия, в то время как в настоящее время соответствующее прямое восхождение составляет около 2 h, т.е. 1/12 полного круга. Сдвиг экваториальных координат происходит из-за прецессии, полный цикл совершается примерно за 26 тыс. лет, т.е. на 1/12 – за 2167 лет. Таки образом, ситуация, изображенная на небесном глобусе Атланта Фарнезе соответствует примерно 2 до н.э.

<u>Критерии оценивания:</u> характерные кривые и точка на глобусе Атланта Фарнезе (2 балла), сдвиг из-за прецессии и описание методики его использования для датировки (4 балла) правильная численная оценка (2 балла). ***Всего 8 баллов.***

Задача 5



Конфигурация Солнца (S), Земли (E) и Венеры представлена на чертеже (пропорции расстояний и размеров искажены). Солнце освещает половину шара Венеры (закрашенная часть на рисунке), однако с Земли освещенная область видна под углом, так что видимый диск (жирная линия) складывается из полудиска и части полудиска, видимой под углом $¤ = \angle BOC$. Характерная протяженность OC равна $\ell_{OC} = r_V \cos¤$, где r_V – радиус Венеры (OB).

В результате с Земли видна часть диска $g = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\cos¤$, т.е. площадь видимой части $S_V = g®r_V^2 = (1+\cos¤)\frac{1}{2}®r_V^2$.

Так как Венера светит отраженным светом, то интенсивность света попадающего к земному наблюдателю определяется интенсивностью солнечного света, падающего на Венеру $I_S = \frac{K_1}{r^2}$, где r – расстояние SO от Солнца до Венеры (следствие того, что вся световая энергия, излученная Солнцем, изотропно распределяется по площади сферы $4®r_V^2$), K_1 – константа и

интенсивностью света, отраженного Венерой и попавшего на Землю, $I_V = K_2 I_S \frac{S_V}{°^2}$. Здесь $°$ – расстояние от Венеры до Земли (OE), K_2 – коэффициент пропорциональности.

По теореме косинусов из треугольника OSE можно записать квадрат расстояния от Земли до Солнца (SE): $R^2 = r^2 + °^2 - 2r° \cos¤$ (т.к. $SO \perp AB$ и $EO \perp OC$). Следовательно,

$I_V = K_2 K_1 \frac{2r° + r^2 + °^2 - R^2}{4r^3 ∘ ^3} ® r_V^2 = const \cdot \frac{(r + °)^2 - R^2}{∘^3}$. Экстремум яркости, как функции расстояния между Землей и Венерой, определяется условием $\frac{dI_V}{d°} = 0$,

$$\frac{dI_V}{d°} = const \cdot \frac{2(r + °)°^3 - 3°^2\left[(r + °)^2 - R^2\right]}{∘^3} = \frac{const}{∘} \cdot \left(2r° + 2°^2 - 3r^2 - 3°^2 - 6r° - 3R^2\right) = 0,$$

то есть квадратным уравнением $°^2 + 4r° + 3\left(r^2 - R^2\right) = 0$. В а.е.: $°^2 + 2.8° - 1.53 = 0$; положительный корень $° = 0.47$ а.е., что дает (расстояния в а.е.) $g = \frac{(r + °)^2 - 1^2}{4°r} = 0.28$.

Таким образом, блеск Венеры максимален, когда она видна в виду узкого серпа – примерно четверть. Качественно это объясняется тем, что, несмотря на то, что освещена только мала часть видимого диска, Венера в таком положении находится близко к Земле; когда же Венера видна как (почти) полный диск, она находится по другую сторону от Солнца относительно Земли и блеск заметно ниже из-за большого расстояния.

<u>Критерии оценивания:</u> ответ про узкий серп с качественным пояснением, но без численных оценок (2 балла), математический вывод этого факта (6 баллов, в зависимости от полноты: примерно по 2 балла за правильную геометрическую картину, формульное выражение для блеска и окончательный расчет для максимума). ***Всего 8 баллов.***

Задача 6

Так как Венера – внутренняя планета, то она всегда видна вблизи Солнца (удаление не более 47°). Синодический период Юпитера (внешней планеты) определяется (в годах) как $\frac{1}{S} = 1 - \frac{1}{S_{sid}}$ и равен 1.09 года, то есть Юпитер оказывается видимым в окрестностях Солнца ежегодно. Следовательно, максимальный период между сближениями Венеры (движущейся достаточно быстро) и Юпитера (движущегося медленно) составляет около года.

Однако, если Венера вблизи соединения с Юпитером совершает ретроградное движение, то она успевает вернуться и еще дважды пройти рядом с Юпитером, то есть получается три сближения (два соединения на видимом пересечении орбит и одно транзитное сближение между ними). Такая ситуация, например, реализовывалась в 2015 году: соединения 30 июня (1.1°), 25 октября (0.3°) и транзитное сближение 30 июля (6.4°).

<u>Критерии оценивания:</u> близость наблюдаемого положения Венеры к Солнцу, расчет синодического периода Юпитера и вывод о как минимум ежегодном сближении планет (4 балла), учет ретроградного движения Венеры и объяснения причин возможности трех сближений в течение года (4 балла). Более точных численных расчетов, кроме необходимого для вывода синодического периода Юпитера, требовать не нужно. ***Всего 8 баллов.***