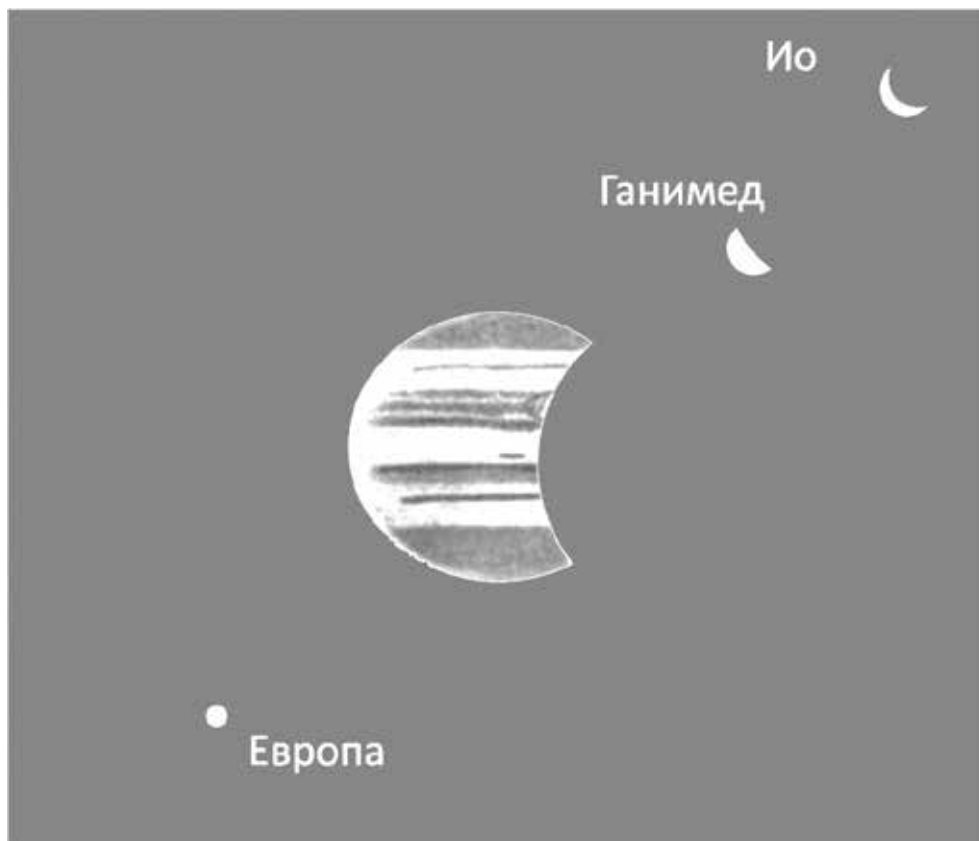




ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО АСТРОНОМИИ. 2018–2019 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

Задача №1

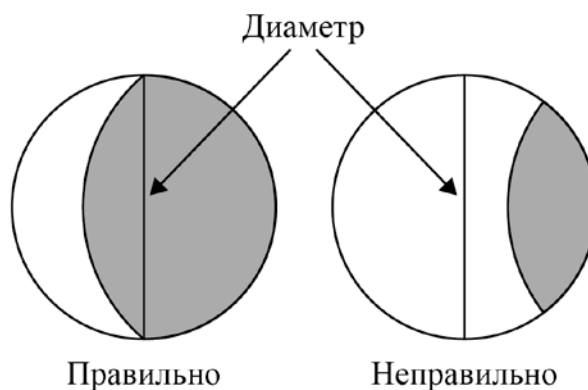
Один юный астроном-любитель рассказывал в школе, как он наблюдал Юпитер в свой 12-ти кратный бинокль. В качестве подтверждения своих слов он привёл зарисовку, выполненную им в ходе наблюдений. Найдите ошибки (как можно больше), допущенные автором рисунка. Объясните для каждой указанной Вами ошибки основание, по которому Вы считаете это ошибкой.



Ответ: весь рисунок – сплошные ошибки.

Ошибки:

1. У Юпитера нарисована слишком большая фаза. Сам вид фазы нарисован неверно. Объяснение: у Юпитера как у внешней планеты могут наблюдаться лишь незначительные изменения фазы. Крайние точки терминатора (для тел, показывающих изменение фазы) должны лежать на диаметре диска тела.



- Относительные размеры спутников указаны неверно. Объяснение: самый крупный спутник Юпитера – Ганимед, а диаметры Ио и Европы примерно равны друг другу. При этом указание на то, что какой-то спутник находится ближе к наблюдателю, чем другие, не может являться объяснением (как и ошибкой рисунка).
- Нарисованные размеры дисков спутников слишком большие по сравнению с диском Юпитера. Объяснение: диаметры спутников более чем в 25 раз меньше диаметра Юпитера.
- Спутники показывают фазы (причём разные) – такого быть не может (см. про фазы Юпитера). Как отдельная ошибка может быть указано то, что фазы у спутников нарисованы разные.
- Судя по рисунку фаз Ио и Ганимеда, источником света для спутников является сам Юпитер (или другой вариант – фазы всех тел на рисунке должны совпадать). Объяснение: так же, как и для других тел Солнечной системы, источником света для спутников планет является Солнце. Т. е. освещённой частью все тела должны быть направлены к Солнцу.
- Такие подробности нельзя увидеть в бинокль. Объяснение: не хватит увеличения, даваемого биноклем. *(Комментарий для жюри, приводить числа в решении не требуется: при увеличении в 12 раз наблюдениям доступны детали с угловыми размерами не меньше, чем «разрешение глаза»/12 или примерно 10". Диаметр диска Юпитера ~40", реальные диаметры дисков его крупных спутников ~1").*
- Спутники находятся в неправильном положении относительно планеты (точнее, её экватора, параллельно которому расположены полосы на диске). Объяснение: известно, что плоскости орбиты больших спутников Юпитера не сильно наклонены относительно экватора планеты. Это не всегда так, в принципе, спутники могут наблюдаться выше/ниже диска Юпитера, но величина углового расстояния между Юпитером и спутниками будет всё же меньше нарисованной.
- Нарисована большая степень сжатия диска Юпитера. Объяснение: известно, что большие планеты из-за вращения вокруг своей оси испытывают сжатие вдоль полярной оси. Однако у Юпитера это сжатие не так велико,

как нарисовано на рисунке (*цифры указывать не требуется, но это примерно 12% против 6.5% в действительности*).

9. Изображение Юпитера перевёрнуто (или другая формулировка – Большое красное пятно находится в верхней части диска Юпитера). Объяснение: Большое красное пятно должно быть нарисовано в нижней части диска, т.к. находится в Южном полушарии Юпитера. (*Комментарий для жюри: зарисовка сделана так, как будто наблюдения проводились в телескоп, который переворачивает изображение. Бинобль же предназначен для наблюдения земных объектов, поэтому строит прямое изображение*).

Ошибка «неправильный порядок в расположении спутников» или «Ганимед расположен ближе к Юпитеру, чем Европа/Ио» не является ошибкой и не оценивается.

Ошибка или объяснение «Спутники Юпитера (или указание одного из них) нельзя увидеть в бинокль» неверны и не оцениваются.

Отсутствие Каллисто на зарисовке ошибкой не является и не оценивается.

Критерии оценивания:

- По **1 баллу** за каждую найденную ошибку, но не более **5 баллов** за обнаруженные ошибки в сумме и не более **8 баллов** за задачу в сумме.
- По **1 баллу** за правильное объяснение каждой ошибки, но не более **5 баллов** за верные объяснения в сумме и не более **8 баллов** за задачу в сумме.

Участник может найти другую ошибку, не замеченную автором, – она оценивается так же в **2 балла (1 балл за ошибку и 1 балл за объяснение)** при условии реальности ошибки и корректности объяснения.

Некоторые ошибки могут быть объединены участником под одним номером (например, ошибки, связанные с фазами) – их надо оценивать отдельно.

Объяснения могут текстуально не совпадать с авторскими.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача №2

Расставьте телескопы в порядке увеличения угловой разрешающей способности и объясните свой выбор.

- 1) радиотелескоп с диаметром приёмной антенны 15 м
- 2) оптический телескоп диаметром 10 см
- 3) гравитационно-волновой телескоп с длиной лазерного резонатора 4000 м
- 4) оптический телескоп диаметром 1 м

Ответ: 3-1-2-4. Среди перечисленных телескопов три (№1, №2 и №4) работают с электромагнитным излучением. Для таких телескопов справедлива следующая зависимость углового разрешения (β) от длины волны (λ) и диаметра телескопа (D): $\beta \sim \lambda/D$. Для радиодиапазона $\lambda > 1$ см,

а для оптического диапазона длин волн $\lambda \approx 0,5$ мкм. Подставив эти величины в формулу, получим указанную в ответе последовательность для этих телескопов 1-2-4. Гравитационно-волновой телескоп лучше всего чувствует воздействие, приходящее по направлению вдоль резонатора. И не чувствует то, что приходит с перпендикулярного направления. Но даже в случае работы двух взаимно перпендикулярных резонаторов, его разрешение крайне низкое.

Критерии оценивания:

- Если цифры 1, 2, 4 стоят внутри последовательности цифр в правильном порядке (но не обязательно подряд) – ставится **+3 балла**.
- За правильное обоснование для телескопов №1, №2 и №4 ставится **от 0 до 3 баллов**.
- Указание на то, что гравитационно-волновой телескоп обладает наилучшей чувствительностью вдоль резонатора (или что у него отсутствует чувствительность перпендикулярно резонатору; или иными словами описанная низкая разрешающая способность), оценивается в **1 балл**.
- Правильное размещение телескопа №3 в самом начале последовательности оценивается в **1 балл**.
- Если в ответе порядок цифр для оптических телескопов стоит обратный (4,2,1) и обоснование построено по принципу «чем больше λ/D , тем лучше» (т.е. по сути перепутано понятие разрешающей способности и диаметра кружка рассеяния), то вместо 6 баллов за первые 2 пункта критериев выставляется **1+1=2 балла**.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача №3

На каких широтах (из приведённых ниже) можно в радиодиапазоне наблюдать восход центра нашей Галактики? Объясните свой выбор. Объясните, почему не подходят другие варианты.

1. 85° с.ш.
2. 90° с.ш.
3. 0°
4. 90° ю.ш.
5. ни на каких

Ответ: 3. На экваторе Земли все объекты небесной сферы восходят и заходят (кроме тех, что расположены в полюсах Мира). Другие ответы не подходят.

Известно, что центр Галактики виден с Земли в направлении созвездия Стрельца. Это созвездие находится в южной небесной полусфере, Солнце в нём бывает в январе. Т. о. на Южном полюсе (ответ 4) центр Галактики является

незаходящим объектом. На Северном полюсе (ответ 2) и в непосредственной близости к нему (ответ 1) центр Галактики – невосходящий объект. Поэтому наблюдать восходы невозможно.

Критерии оценивания:

- За правильный ответ – **4 балла**.
- Любые другие цифры или их сочетания оцениваются в **0 баллов**.
- По **1 баллу** за правильное объяснение по каждому пункту (по п. 5 объяснения могут отсутствовать; пп. 1–2 или 2–4 могут быть объединены в один, но оцениваются, как разные).

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача №4

Любитель астрономии в разные дни получил три фотографии одного объекта Солнечной системы. Что это за объект? Ответ объясните.



Решение

На фотографии запечатлён объект, находящийся внутри орбиты Земли. Об этом говорит величина фазы, показывающая, что объект близок к нижнему соединению. Он находится достаточно далеко от Земли, т.к. за 8 дней наблюдений фаза поменялась не сильно – это позволяет нам исключить из возможных объектов Луну и астероиды, которые могут пролетать очень близко к Земле (у которых потенциально возможно наблюдение фаз с Земли; дополнительным аргументом против версии с астероидом может являться шарообразная форма тела на фотографии). При этом объект достаточно ярок и имеет большие угловые размеры для того, чтобы быть зарегистрированным любительскими средствами близко к соединению. Т.о. это может быть либо Венера, либо Меркурий. Но Меркурий имеет малый период обращений и за 8 дней показывает гораздо большее изменение фазы, чем видно на рисунке (изменение фазы у Меркурия становится похожим на таковое у Венеры лишь

в те моменты, когда нижнее соединение совпадает с прохождением Меркурием афелия – он находится далеко от Солнца и движется по орбите медленно). Поэтому это Венера.

Ответ: Венера.

Критерии оценивания:

- Ответ «Венера» или «Венера или Меркурий» оценивается в **4 балла**.
- Ответ «Меркурий» оценивается в **2 балла**.
- Указание в обосновании того, что объект находится в нижнем соединении (или просто на то, что такие малые фазы могут наблюдаться только у тел, находящихся ближе к Солнцу, чем Земля), оценивается в **2 балла**.
- Указание в обосновании на малость изменения внешнего вида (или фазы) за время наблюдений оценивается в **2 балла**.

Возможно выставление по отдельным пунктам не всех рекомендованных баллов. Например, «решение-ответ» в таком виде «Только Меркурий или Венера могут быть в такой маленькой фазе» должен оцениваться в 5 баллов – ставится 4 балла за указание планет и 1 балл по пункту о нижнем соединении (не только Меркурий и Венера могут показывать такие фазы, но и, например, Луна).

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача №5

Космический телескоп будущего 1 июня 2100 г. был выведен на гелиоцентрическую орбиту, величина большой полуоси которой отличается от размера большой полуоси земной орбиты на 10%. Считая орбиты телескопа и Земли круговыми и лежащими в одной плоскости, определите дату (с точностью до недели), в которую Земля и космический телескоп вновь окажутся на одной прямой с Солнцем по одну сторону от него. Ответ запишите в виде DD-MM-YYYY.

Решение

Определим период обращения космического аппарата (КА) вокруг Солнца. Возможно два варианта – орбита КА на 10% больше или на 10% меньше, чем у Земли. В первом случае КА движется по орбите с большой полуосью $a = 1.1$ а.е., во втором случае $a = 0.9$ а.е. Период обращения КА вокруг Солнца связан с размером большой полуоси через 3-й закон Кеплера:

$$\left(\frac{a}{a_{\oplus}}\right)^3 = \left(\frac{T}{T_{\oplus}}\right)^2,$$

где в знаменателях стоят величины большой полуоси и периода обращения Земли.

Тогда в первом случае $T_{КА} = \sqrt{1,1^3} \approx 1,154$ лет,

во втором случае $T_{КА} = \sqrt{0,9^3} \approx 0,854$ лет

Найдём период S повторения одинаковых конфигураций (в первом случае – противостояния, во втором – соединения) – синодический период обращения КА. В первом случае это будет формула для внешнего тела:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T_{КА}}$$

Отсюда $S = 7,506$ лет ≈ 7 лет 185 дней (или $S = 7,494$ лет ≈ 7 лет 180 дней – если в формулу подставлять уже округлённое значение $T_{КА} \approx 1,154$).

Во втором случае – формула для внутреннего тела:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{КА}} - \frac{1}{T_{\oplus}}$$

Отсюда $S=5,841$ лет ≈ 5 лет 307 дней (или $S=5,849$ лет ≈ 5 лет 310 дней – если в формулу подставлять уже округлённое значение $T_{КА} \approx 0,854$).

Теперь можно ответить на вопрос задачи. Для этого необходимо прибавить к дате 1.06.2100 соответствующее значение S . Это можно сделать разными способами. При требуемой точности в несколько дней можно не учитывать наличие високосных лет. 1.06.2100 примерно соответствует дата (в долях года) $2100 + 5$ полных месяцев *30 дней / 365 $\approx 2100,411$.

Тогда в первом случае ответ: $2100,411 + 7,506 = 2107,917$ или в требуемом формате 01-12-2107.

Во втором случае ответ: $2100,411 + 5,841 = 2106,252$ или в требуемом формате 02-04-2106.

Возможен еще один вариант, который вряд ли был бы реализован на практике (из-за его дороговизны) – это запуск космического аппарата в сторону, противоположную движению Земли вокруг Солнца.

В этом случае для внешней и для внутренней орбиты формула для вычисления синодического периода будет одинакова:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} + \frac{1}{T_{КА}}$$

Соответственно, в случае внешней орбиты $S \approx 0,536$ года (или около 196 суток), а в случае внутренней орбиты $S=0,461$ года (или 168 суток).

И ответ для этого случая будет $2100,411 + 0,536 = 2100,947$ (или 14-12-2100 г.) для большей орбиты и $2100,411 + 0,461 = 2100,872$ (16-11-2100 г.) для меньшей орбиты.

Ответ: 01-12-2107 или 02-04-2106.

Комментарии

1. Порядок дат в ответе может быть любым. Допустимые отклонения в ответе – не более 7 дней от указанных дат (т. е. для первого случая от 24-11-2107 до 08-12-2107, для второго случая от 25-03-2106 до 09-04-2106).
2. Критерии оценивания даны в соответствии с приведённым решением. Участник может следовать другим путём, объединяя разные этапы друг с другом, не получая промежуточные ответы и т. п. В этом случае можно оценивать соответствующие символьные выражения либо факт появления соответствующих величин в последующих формулах.
3. Метод решения может быть иным.

Критерии оценивания

- Понимание, что будет 2 случая – орбита больше земной и орбита меньше земной - оценивается в **1 балл** (даже если, кроме этого, ничего не сделано).
- Запись формулы для 3-го закона Кеплера оценивается в **1 балл**.
- Вычисление периода обращения КА для каждого из случаев оценивается по **1 баллу**.
- Вычисление синодического периода обращения КА для каждого из случаев оценивается по **1 баллу**.
- Получение ответа с заданной точностью для каждого из случаев оценивается по **1 баллу**.
- Рассмотрение случая обратного движения КА **+2 балла**, но не более 8 баллов в сумме за задачу

Арифметическая ошибка снижает на **1 балл** оценку только того этапа, на котором она была допущена.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача №6

Видимая звёздная величина Луны в полнолунии равна $-12,8$. Оцените поверхностную яркость Луны в единицах «звёздная величина с квадратной угловой секунды». Необходимые формулы и вычисления приведите в решении.

Решение

Известно, что угловой диаметр диска Луны примерно равен $30'$ или $1800''$. Тогда площадь лунного диска в квадратных угловых секундах равна:

$$S = \pi R^2 = \pi * \left(\frac{1800}{2}\right)^2 = 2,54 * 10^6$$

Площадка поверхности Луны размером в 1 квадратную угловую секунду будет создавать на поверхности Земли освещённость E_1 в S раз меньше, чем освещённость E_2 от полной Луны. В соответствии с формулой Погсона для звёздных величин m_1 площадки и m_2 Луны можно записать:

$$m_1 - m_2 = 2,5 \lg \frac{E_2}{E_1} = 2,5 \lg S$$

Звездная величина 1 кв. угл. сек поверхности Луны будет равна:

$$m_1 = 2,5 \lg(2,54 * 10^6) - 12,8 = 3,2$$

Ответ: 3,2 звездной величины с 1 кв. угл. сек.

Критерии оценивания:

- Запись формулы Погсона (даже без её использования в решении) оценивается в **2 балла**.
- Этап вычисления площади лунного диска в квадратных угловых секундах с ответом в диапазоне $2,5 * 10^6$ (для радиуса Луны $15'$) – $2,9 * 10^6$ (для радиуса Луны $16'$) оценивается в **2 балла**.
- Вычисление поверхностной яркости оценивается **от 0 до 4 баллов** в зависимости от полноты и правильности.
- Каждая арифметическая ошибка снижает оценку на **2 балла**.

Итого, правильный ответ (допускается ответ в диапазоне 3 – 3,4 звездной величины с 1 кв. угл. сек) с решением оценивается в **8 баллов**. Только правильный ответ (при отсутствии решения) оценивается в **2 балла**.

Максимум за задачу 8 баллов.

Всего за работу 48 баллов.