

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

АСТРОНОМИЯ. 2024 г.

ПРИГЛАСИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП. 7 КЛАСС

Максимальное количество баллов — 80

Задание № 1

Астрономические числа

Астрономы часто сталкиваются с объектами и явлениями, количественные характеристики которых могут сильно различаться: от невообразимо малых значений до невообразимо великих. Часто выводы можно сделать зная не саму величину, а лишь её масштаб.

Расположите объекты в порядке возрастания их количества:



Изображение сгенерировано моделью Kandinsky 3.0

Ответ:

- Известные естественные спутники Венеры
- Звёзды в Солнечной системе
- Известные естественные спутники Сатурна
- Видимые невооружённым глазом звёзды (вдали от города)
- Звёзды шарового звёздного скопления Messier 13

Решение:

1. *Ноль*: две ближайшие к Солнцу планеты, Меркурий и Венера, не имеют известных естественных спутников.
2. *Один*: единственной звездой Солнечной системы является Солнце.
3. *Около сотни*: на начало 2024 года у Сатурна известно 146 спутников, у Юпитера — 95. Интересно, что об открытии 63 (!) небольших спутников Сатурна было объявлено в мае 2023 года.
4. *Несколько тысяч*: при хороших условиях наблюдения, вдали от городской засветки, невооружённому глазу на всём небе доступны около 6 000 звёзд.
5. *Сотни тысяч*: шаровые звёздные скопления содержат от десятков тысяч до миллионов звёзд. В частности, одни из самых известных и хорошо изученных скоплений, Messier 13 в Геркулесе и Messier 15 в Пегасе, состоят из нескольких сотен тысяч звёзд каждое.

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Максимальный балл за задание — 5

Задание № 2

Пинг лунного спутника

50 лет назад, в мае 1974 года, была запущена советская автоматическая межпланетная станция «Луна-22». 22 июня того же года станция была выведена на орбиту вокруг Луны. За 18 месяцев «Луна-22» успешно выполнила все запланированные задачи.

Среднее расстояние между Землёй и Луной составляет 384 тысячи километров. Зная, что скорость света составляет 300 тысяч километров в секунду, определите минимальное возможное время отклика лунного спутника: промежуток времени между отправкой сигнала с Земли и получением ответа спутника. Ответ выразите в секундах, округлите до сотых.



АМС «Луна-22»¹

Решение.

Скорость распространения сигнала равна скорости света. Свет преодолевает расстояние от Земли до Луны за

$$t_1 = \frac{384 \cdot 10^3 \text{ км}}{300 \cdot 10^3 \text{ км/с}} = 1.28 \text{ с.}$$

Минимальное возможное время отклика соответствует ситуации, когда спутник «отражает» сигнал без задержки, то есть времени полёта света от Земли до Луны и обратно:

$$t = 2t_1 = 2 \cdot 1.28 \text{ с} = 2.56 \text{ с.}$$

Ответ: засчитывается в диапазоне [2.5; 2.6]

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Максимальный балл за задание — 5

Примечание. Любознательные участники могут вспомнить, что Земля и Луна имеют ненулевые размеры, а приведённое в условии расстояние соответствует расстоянию между центрами планеты и спутника. После вычитания радиусов Земли и Луны из расстояния имеем

$$t_1^* = \frac{(384 \cdot 10^3 - 6.37 \cdot 10^3 - 1.74 \cdot 10^3) \text{ км}}{300 \cdot 10^3 \text{ км/с}} \approx \frac{375.9 \cdot 10^3 \text{ км}}{300 \cdot 10^3 \text{ км/с}} = 1.253 \text{ с,}$$

откуда

$$t^* = 2t_1^* \approx 2.51 \text{ с,}$$

что попадает в допустимый диапазон ответов.

Отметим, что куда более заметное влияние на результат оказывает переменность самого расстояния между Землёй и Луной, которое может отличаться от среднего более чем на 5%. Впрочем, учёт этого фактора в рамках данной задачи не ожидается.

¹Изображение: АО «НПО Лавочкина» — <https://www.laspaces.ru/ru/activities/projects/luna-22/>

Задание № 3

Работа на Луне

Говорят, что на Луне работать проще, чем на Земле. Не будем принимать это утверждение на веру — давайте посчитаем!



Изображение сгенерировано моделью Kandinsky 3.0

3.1 Ускорение свободного падения

Ускорение свободного падения на поверхности Луны в 6 раз меньше земного. Найдите его величину. Ответ выразите в $\text{м/с}^2 = \text{Н/кг}$, округлите до сотых.

Решение.

Величина ускорения свободного падения на поверхности Земли общеизвестна:

$$g_{\oplus} = 9.81 \text{ м/с}^2 \approx 9.8 \text{ м/с}^2 \approx 10 \text{ м/с}^2.$$

По условию искомое «лунное» ускорение в 6 раз меньше, то есть

$$g_{\text{л}} = \frac{g_{\oplus}}{6} = \frac{9.81 \text{ м/с}^2}{6} \approx 1.64 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: засчитывается в диапазоне [1.6; 1.7]

Точное совпадение ответа — 3 балла

3.2 Работа для подъёма груза

Найдите минимальную работу, которую необходимо совершить космонавту на Луне, чтобы поднять груз массой m (кг) на высоту h (м). Заметим, что эта величина не зависит от способа подъёма груза. Ответ выразите в джоулях, округлите до целых.

Решение.

При подъёме груза увеличивается его потенциальная энергия в гравитационном поле Луны: $\Delta E_{\text{пот}} = m g_{\text{л}} h$. Это изменение энергии груза обусловлено совершаемой космонавтом механической работой: $A = \Delta E_{\text{пот}} = m g_{\text{л}} h$ (в предположении, что потерь энергии, например, на трение, нет).

Расчёты и ответ:

m , кг	h , м	Расчёт работы	Ответ	Диапазон, Дж
30	3	$A = 30 \text{ кг} \times 1.64 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \times 3 \text{ м}$	$\approx 148 \text{ Дж}$	[144; 153]

Ответ: засчитывается в указанном диапазоне.

Точное совпадение ответа — 6 баллов

3.3 Отношение «лунной» и «земной» работ

Во сколько раз вычисленная «лунная» работа меньше работы, которую необходимо совершить для аналогичного подъёма груза на Земле? Ответ округлите до целых.

Решение.

Нетрудно заметить, что различие в подъёме одинаковых грузов на Луне и на Земле заключается в разных «силах притяжения», то есть в разных ускорениях свободного падения. Напомним, что по условию «лунное» ускорение свободного падения меньше земного в 6 раз. В таком случае отношение работ есть

$$\frac{A_{\text{л}}}{A_{\text{з}}} = \frac{\Delta E_{\text{пот,л}}}{\Delta E_{\text{пот,з}}} = \frac{m g_{\text{л}} h}{m g_{\text{з}} h} = \frac{g_{\text{л}}}{g_{\text{з}}} = \frac{1}{6}.$$

Значит, «лунная» работа меньше «земной» **в 6 раз**.

Ответ: 6

Точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 12

Задание № 4

Возвращение кометы

В 1705 году, заметив схожесть орбит комет, наблюдавшихся в 1682, 1607 и 1531 годах, известный английский астроном опубликовал первое верное предсказание возвращения кометы. И действительно, комета вернулась в 1758 году.



Комета Галлея²

4.1 Период обращения кометы

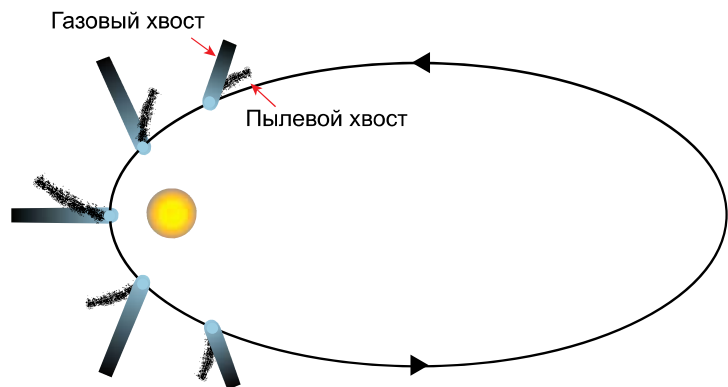
Определите период обращения этой кометы вокруг Солнца. Ответ выразите в годах, округлите до целых.

Решение.

Нетрудно вслед за упомянутым астрономом заметить периодичность наблюдений кометы:

$$1531 \xleftarrow{76 \text{ лет}} 1607 \xleftarrow{75 \text{ лет}} 1682 \xleftarrow{76 \text{ лет}} 1758.$$

Известно, что такие кометы движутся по вытянутым орбитам и наблюдаются с Земли, когда находятся ближе всего к Солнцу. При приближении к Солнцу из-за нагрева образуется кома (облако из газа и пыли, окружающее ядро кометы). Под действием на кому солнечного излучения и солнечного ветра могут появляться газовый и пылевой хвосты, хорошо рассеивающие свет.



Движение кометы по орбите и появление хвостов³

Можно догадаться, что промежуток между годами наблюдения кометы соответствует периоду её обращения вокруг Солнца. Он составляет 75 – 76 лет.

Точное совпадение ответа — 4 балла

²Изображение: NASA/W. Liller. NSSDC's Photo Gallery – http://nssdc.gsfc.nasa.gov/image/planetary/comet/lspn_comet_halley1.jpg

³Изображение: Wikimedia Commons/Юкатан (цвета изменены) – <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cometorbit-ru.svg>

4.2 Возвращение кометы в XXI веке

В каком году можно ожидать возвращения этой кометы в XXI веке?

Решение.

Используем исследованную ранее периодичность движения кометы для непосредственного вычисления. Напомним, что период обращения кометы составляет 75 – 76 лет.

Век	Год наибольшего сближения с Солнцем	
	Фактический	Расчётный
XVIII	1759	1758 ⁴
XIX	1835	[1833; 1834]
XX	1910	[1908; 1910]
	1986	[1983; 1986]
XXI	<i>ожидается в 2061</i>	[2058; 2062]

Ответ: засчитывается в диапазоне [2057; 2067]

Точное совпадение ответа — 6 баллов

4.3 Оценка средней скорости кометы

Наибольшее удаление кометы от Солнца составляет около 35 астрономических единиц, то есть примерно 5.25 миллиарда километров. Оцените среднюю скорость кометы относительно Солнца при её движении по орбите. Ответ выразите в км/с, округлите до десятых.

Решение.

Как обсуждалось ранее, орбита кометы достаточно вытянутая, и минимальное удаление от Солнца значительно меньше максимального, что и объясняет достаточно узкое временное «окно» для визуальных наблюдений кометы. Для оценки будем считать, что за период обращения комета удаляется от Солнца на 35 а. е. = $5.25 \cdot 10^9$ км, а затем возвращается обратно:

$$v_{\text{ср}} \approx \frac{5.25 \cdot 10^9 \text{ км} \cdot 2}{76 \text{ лет}} = \frac{10.5 \cdot 10^9 \text{ км}}{76 \cdot 365.25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с}} \approx \mathbf{4.4 \text{ км/с.}}$$

Ответ: засчитывается в диапазоне [4.0; 4.8].

Точное совпадение ответа — 6 баллов

⁴Комета «вернулась», то есть была замечена 25 декабря 1758 года, а на наименьшем расстоянии от Солнца оказалась в середине марта 1759 года.

4.4 Фамилия астронома

Запишите фамилию вышеупомянутого астронома на русском языке.

Решение.

Каждый любитель астрономии может догадаться, что в этой задаче идёт речь о комете Галлея — первой яркой короткопериодической комете, для которой была определена орбита и установлена периодичность возвращений. История исследований орбиты кометы Галлея неразрывно связана с развитием вычислительных методов в математике и небесной механике.

Учёный, предсказавший её возвращение — Эдмунд **Галлей**.

Ответ: Галлей

Точное совпадение ответа — 4 балла

Максимальный балл за задание — 20

Задание № 5

Два гиганта

Юпитер и Сатурн — две планеты-гиганта. Масса Юпитера в 318 раз больше массы Земли, а радиус составляет 11 земных. Масса Сатурна больше земной в 95 раз, в то время как радиус равен примерно 9 земным.



Изображение сгенерировано моделью Kandinsky 3.0

5.1 Соотношения

5.1.1 Отношение масс Юпитера и Земли

Во сколько раз масса Юпитера больше массы Земли?

Решение.

Ответ приведён в условии задачи: **318**.

Ответ: 318

Точное совпадение ответа — 1 балл

5.1.2 Отношение масс Юпитера и Сатурна

Во сколько раз масса Юпитера больше массы Сатурна? Ответ округлите до сотых.

Решение.

Вычислим искомое отношение масс планет-гигантов с учётом их известных масс, выраженных в массах Земли:

$$\frac{M_{\text{Ю}}}{M_{\text{С}}} = \frac{318M_{\oplus}}{95M_{\oplus}} = 3.35.$$

Ответ: засчитывается в диапазоне [3.3; 3.4].

Точное совпадение ответа — 2 балла

5.1.3 Отношение радиусов Юпитера и Сатурна

Во сколько раз радиус Юпитера больше радиуса Сатурна? Ответ округлите до сотых.

Решение:

$$\frac{R_{\text{Ю}}}{R_{\text{С}}} = \frac{11R_{\oplus}}{9R_{\oplus}} = 1.22.$$

Ответ: засчитывается в диапазоне [1.2; 1.3].

Точное совпадение ответа — 2 балла.

5.1.4 Отношение объёмов Юпитера и Сатурна

Во сколько раз объём Юпитера больше объёма Сатурна? Ответ округлите до сотых.

Решение.

Объёмы подобных тел (например, шаров) соотносятся как кубы их линейных размеров:

$$\frac{V_{\text{Ю}}}{V_{\text{С}}} = \left(\frac{R_{\text{Ю}}}{R_{\text{С}}}\right)^3 = \left(\frac{11R_{\oplus}}{9R_{\oplus}}\right)^3 = 1.83.$$

Ответ: засчитывается в диапазоне [1.7; 1.9].

Точное совпадение ответа — 3 балла

5.1.5 Отношение плотностей Юпитера и Сатурна

Во сколько раз средняя плотность Юпитера больше средней плотности Сатурна? Ответ округлите до сотых.

Решение.

Соединим ранее изложенные соображения о соотношениях масс и объёмов планет:

$$\frac{\rho_{\text{Ю}}}{\rho_{\text{С}}} = \frac{M_{\text{Ю}}/V_{\text{Ю}}}{M_{\text{С}}/V_{\text{С}}} = \frac{M_{\text{Ю}}}{M_{\text{С}}} \cdot \frac{V_{\text{С}}}{V_{\text{Ю}}} = \frac{318}{95} \cdot \left(\frac{9}{11}\right)^3 = 1.83$$

Ответ: засчитывается в диапазоне [1.7; 1.9].

Точное совпадение ответа — 4 балла

5.2 Изменение периодов спутников Сатурна

Как изменятся (при прочих равных) периоды обращения спутников Сатурна, если массу Сатурна увеличить вдвое?

Ответ:

- Уменьшатся
- Увеличатся
- Не изменятся
- Зависит от положения Сатурна на орбите

Решение.

Известно, что чем ближе планета к Солнцу или чем ближе спутник к планете, тем быстрее совершается оборот вокруг центрального тела.

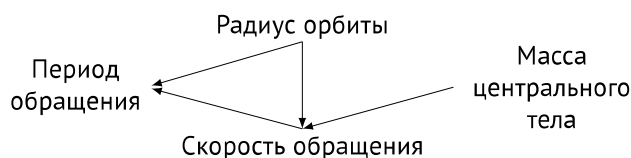
Обоснование. Более того, чем ближе объект к центральному телу, тем больше сила их взаимного притяжения и тем быстрее должен двигаться объект, чтобы не «свалиться» с орбиты: скорость v орбитального движения при прочих равных убывает с расстоянием r . Можно сказать, что $v(r)$ — убывающая функция. При этом путь s , который тело преодолевает за один оборот, т.е. «длина» орбиты, прямо пропорционален радиусу r орбиты: $s = Cr$. Тогда орбитальный период

$$T = \frac{s}{v} = C \frac{r}{v}.$$

Поскольку r возрастает с ростом r , а v — убывает, $T(r)$ — возрастающая функция.

Заметим, что при увеличении массы центрального тела сила притяжения возрастает, так что для сохранения прежнего характера движения необходимо придать обращающемуся телу бóльшую скорость. Как показано выше, период обращения обратно пропорционален скорости, так что период при этом уменьшится.

Напоследок воспроизведём схему соотношений между величинами для лучшего понимания:



Точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 15

Задание № 6

Орион и окрестности

На фотографии запечатлён участок вечернего неба. Помогите завершить описание изображения.



Участок вечернего неба (Орион и окрестности)⁵

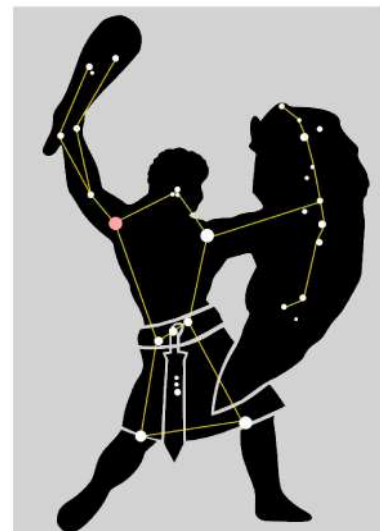
Условие	Ответ	Оценка
В центре виден примечательный <i>астеризм</i> — легко различимая группа звёзд созвездия...	<ul style="list-style-type: none">• Орион• Большая Медведица• Кассиопея• Жираф• Большой Пёс• Единорог• Лира• Лебедь	3 балла

⁵Изображение: Alan Dyer/AP, Jake Turcotte/Staff — <https://www.csmonitor.com/Science/2020/0219/A-dimming-Betelgeuse-has-stargazers-bursting.-Three-questions>

Слева от него видна ярчайшая звезда ночного неба — ...	<ul style="list-style-type: none"> • Сириус • Вега • Солнце • Денеб • Альтаир • Альфа Центавра • Сердце Карла • Бетельгейзе 	1 балл
Фотография сделана...	<ul style="list-style-type: none"> • В Северном полушарии • В Южном полушарии • Вблизи экватора 	2 балла
Отмеченная на изображении звезда...	<ul style="list-style-type: none"> • Скоро зайдёт • Недавно возшла • Является белым карликом • Является красным сверхгигантом 	2 балла

Решение. В центре фотографии легко различить «фигуру» охотника Ориона. Слева от него — два Пса: Большой (ниже) и Малый (выше). Ярчайшая звезда Большого Пса и по совместительству всего ночного неба — Сириус. Астеризм Ориона выглядит вполне привычно: Бетельгейзе сверху, Ригель снизу, меч под поясом, откуда можно сделать вывод, что снимок сделан в Северном полушарии: в Южном всё было бы наоборот, «кверху ногами».

Бетельгейзе является красным сверхгигантом, но никак не белым карликом. Кроме того, легко заметить, что Орион «завалился» вправо: его суточная параллель при движении вправо и вниз скоро пересечёт горизонт, и Бетельгейзе зайдёт вместе со своим созвездием.



Астеризм и художественная «фигура» Ориона⁶

Максимальный балл за задание — 8

⁶Изображение: Sanu N — [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orion_\(constellation\)_Art.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orion_(constellation)_Art.svg)

Задание № 7

Луна ближе

Представьте себе, что Луна стала вдвое ближе к Земле. К каким астрономическим последствиям это приведёт?

- Уменьшится продолжительность лунного месяца
- Перестанут наблюдаться кольцеобразные солнечные затмения
- Солнечные и лунные затмения будут наблюдаться чаще
- Увеличится высота приливов
- Увеличится видимый угловой размер Луны
- Станет проще рассмотреть детали поверхности Луны с Земли



Кольцеобразное солнечное затмение⁷

Все ответы верны.

За каждый верно выбранный пункт — 1 балл

Максимальный балл за задание — 6

Решение.

При приближении Луны к Земле уменьшится период обращения Луны вокруг Земли (аналогично вопросу 5.2), а значит уменьшится и продолжительность месяца. Близость Луны к Земле увеличит и приливные силы (характеризующие разность сил притяжения разных точек Земли к Луне), отчего увеличится высота приливов.

При приближении Луны увеличится её видимый угловой размер в целом, как и угловые размеры отдельных деталей на поверхности спутника, так что их будет легче рассматривать.

В настоящее время угловые размеры Солнца и Луны практически совпадают, так что иногда возможно наблюдать *кольцеобразные* затмения (иллюстрация к условию служит подсказкой). Если Луна станет ближе, такие затмения наблюдать не получится: любая максимальная фаза будет соответствовать полному затмению. Зато Луне будет проще «зацепить» диск Солнца или тень Земли, так что затмения будут происходить чаще.

⁷Изображение: Rehman Abubakr — [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Annular_Solar_Eclipse_in_Jaffna_-_26_December_2019_\(1\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Annular_Solar_Eclipse_in_Jaffna_-_26_December_2019_(1).jpg)

Задание № 8

Возраст Луны

Перед вами «лунный» календарь за апрель 2015 года. Каждой дате соответствует изображение Луны в некоторой фазе.

«« April 2015 »»						
Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

Лунный календарь⁸

Вариант 1⁹



Вариант 2¹⁰



8.1 Дата съёмки

В какой день апреля 2015 года могла быть сделана эта фотография Луны? Фотография сделана в Северном полушарии. Запишите только число месяца.

Комментарий. Непосредственное сопоставление фаз Луны на фотографии и в календаре.

Ответ: 23 ± 1;

Точное совпадение ответа — 3 балла

⁸Изображение сгенерировано: https://www.moonconnection.com/moon_phases_calendar.phtml

⁹Изображение: Портал мэра и правительства Москвы/Максим Денисов — <https://www.m24.ru/news/nauka/10092020/132649>

¹⁰Изображение: Vincent Jacques — <https://www.astronet.ru/db/msg/1214682>

8.2 Возраст Луны

Вариант 1

Возрастом Луны называют время, прошедшее после последнего новолуния. Определите возраст Луны на приведённой фотографии. Ответ выразите в сутках.

Решение.

Определяем по календарю, что новолуние наступило 19 апреля 2015 года. Значит, с новолуния до дня съёмки прошло 4 дня.

Ответ: засчитывается в диапазоне [3; 5].

Точное совпадение ответа — 3 балла

8.3 Тип затмения

Какое затмение могло наблюдаться на Земле 20 марта 2015 года?

Ответ:

- Солнечное
- Лунное
- Галактическое
- Мультимодальное
- Марсианское

Решение.

Между 20 марта и 19 апреля примерно месяц, так что нетрудно догадаться, что 20 марта было новолуние. В новолуние, когда Луна находится между Солнцем и Землёй, если повезёт, можно наблюдать солнечное затмение. Лунные затмения возможны в полнолуние, а все прочие прилагательные из условия применительно к затмениям смысла не имеют.

Точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 9