

Условия задач
Открытой межрегиональной олимпиады
по астрономии имени Ф.А. Бредихина
9 класс

№ 1. «Мозаика небесных тел и явлений земного небосвода»

На рис. 1 представлены фотографии 8 объектов небосвода Земли. Ответьте на следующие вопросы¹.

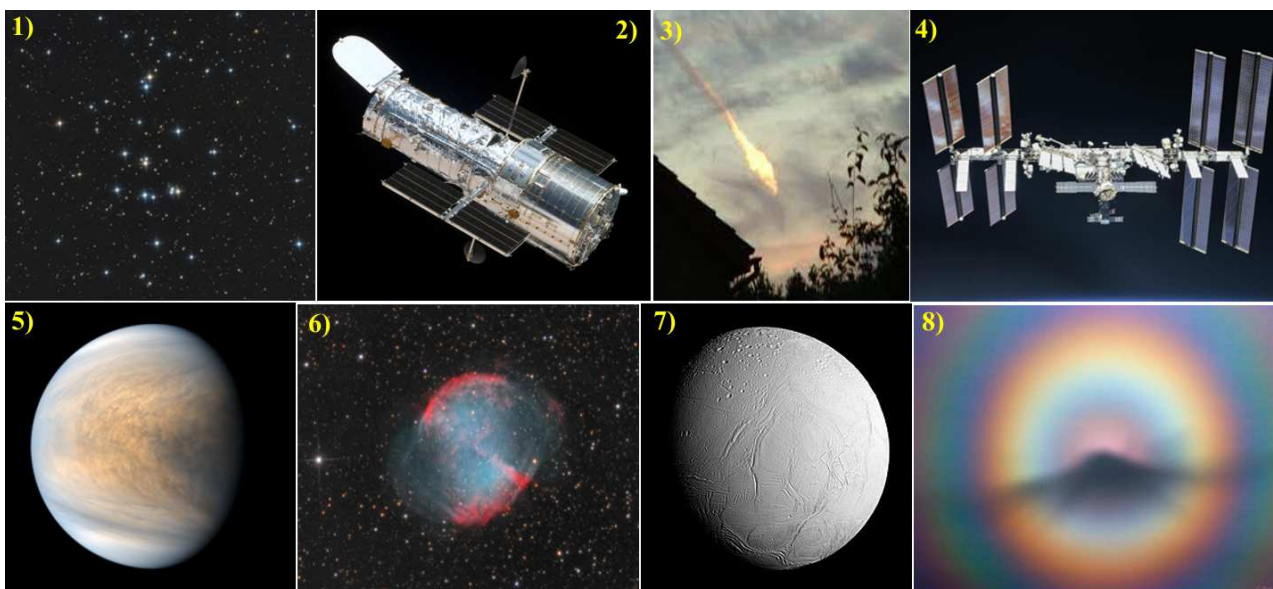


Рис. 1. Мозаика объектов и явлений земного небосвода.

I. Установите соответствие между номером образа и названием соответствующего объекта. Свои ответы (номер образа, представленного на рис. 1, определенный арабской цифрой) укажите в ячейке под соответствующим названием этого объекта в табл. 1. (0.5 балла за каждую правильно определенную позицию)

| | | | |
|--|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Болид, порожденный крупным метеороидом/ астероидом | Глория | Международная космическая станция | Телескоп им. Э. Хаббла |
| Венера | Энцелад (спутник Сатурна) | Рассеянное скопление Ясли (M44) | Планетарная туманность Гантель (M27) |
| | | | |

Таблица 1. Объекты и явления земного небосвода и их названия.

II. Сопоставьте каждому рассматриваемому объекту его тип (небесное тело или явление). Свои ответы (номер образа, представленного на рис. 1, определенный арабской цифрой) укажите (если их несколько, то перечислить через запятую) в ячейке под соответствующим названием типа объекта в табл. 2. (0.5 балла за каждую правильно определенную позицию)

III. Определите, к какому классу небесных тел/явлений (классификация по области пространства, в которой находится небесное тело или происходит небесное явление) следует отнести рассматриваемые объекты. Свои ответы (номер образа, представленного на рис. 1, определенный

¹С целью экономии времени на оформление решений задач, *настоятельно рекомендуется* заполнять указанные таблицы и расставлять подписи на рисунках непосредственно в условиях задач, вырезать их и наклеить на свой бланк ответов.

| | |
|--|------------------|
| Небесное тело (система связанных небесных тел) | Небесное явление |
| | |

Таблица 2. Определение небесных тел/явлений.

арабской цифрой) укажите (если их несколько, то перечислить через запятую) в ячейке под соответствующим названием класса небесных тел/явлений в табл. 3. (0.5 балла за каждую правильно определенную позицию)

| Тела/явления, принадлежащие | | | |
|-----------------------------|--|-------------------|-------------------|
| земной атмосфере | околоземному космическому пространству | Солнечной системе | глубокому космосу |
| | | | |

Таблица 3. Определение представителей 4-х классов небесных тел/явлений.

IV. Определите какие из представленных объектов можно наблюдать (хотя бы иногда) невооруженным глазом на *небосводе мегаполиса*, а какие – только в телескоп. Свои ответы (номер образа, представленного на рис. 1, определенный арабской цифрой) укажите (если их несколько, то перечислить через запятую) в ячейке под соответствующей возможностью наблюдений в табл. 4. (0.5 балла за каждую правильно определенную позицию)

| Можно наблюдать | |
|---------------------------------------|-------------------|
| невооруженным глазом (хотя бы иногда) | только в телескоп |
| | |

Таблица 4. Определение характера видимости небесного тела/явления.

V. Определите какие из представленных объектов имеют естественное происхождение, а какие – искусственное? Свои ответы (номер образа, представленного на рис. 1, определенный арабской цифрой) укажите (если их несколько, то перечислить через запятую) в ячейке под соответствующим типом происхождения в табл. 5. (0.5 балла за каждую правильно определенную позицию)

| Происхождение | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| естественное (созданы природой) | искусственное (созданы человеком) |
| | |

Таблица 5. Определение типа происхождения небесного тела/явления.

№ 2. «Солнечное гало в истинный полдень на северном геополюсе»

На рис. 2 представлена фотография малого солнечного гало – атмосферного оптического метеорологического явления, представляющего собой светящееся кольцо, образующееся вокруг Солнца, имеющее угловой радиус 22° и являющееся результатом рассеяния света на гексагональных кристаллах водяного льда. Фотография была получена на северном географическом полюсе, в истинный полдень, при этом нижняя точка гало располагалась точно на математическом горизонте. Определите возможные даты получения этой фотографии. (20 баллов)

№ 3. «Парочка примечательных астероидов»

Два астероида А и В имеют одинаковые синодические периоды (при наблюдении с Земли), превышающие сидерический период обращения Земли вокруг Солнца на величину $\Delta S = 54.74$ сут. Известно, что радиус орбиты астероида А меньше радиуса орбиты астероида В. Определите:

1. Сидерические периоды (T_A , T_B) данных астероидов. (4+4 балла)
2. Радиусы (a_A , a_B) круговых орбит астероидов. (4+4 балла)
3. Угол наибольшей элонгации (α) астероида А при наблюдении с астероида В. (4 балла)



Рис. 2. К определению малого солнечного гало.

№ 4. «Полярные дни и ночи на полюсах»

Как известно, продолжительности полярного дня и полярной ночи на географических полюсах не одинаковы.

1. Каковы основные причины различия их продолжительностей? (4 балла)

2. Насколько отличается продолжительности полярного дня и ночи на северном географическом полюсе в 2023 году? Известно, что в этом году день весеннего равноденствия состоялся 20 марта в 20 часов 24 минуты по всемирному времени, а день осеннего равноденствия 23 сентября в 12 часов 37 минут. Угловой радиус Солнца – $\rho''_{\odot} = 16'$, атмосферная рефракция у горизонта – $\delta z_H = 35'$. (10 баллов)

3. Чему равна общая продолжительность в течение года полярного дня, одновременно наблюдаемого на геополюсах Земли? (6 баллов)

№ 5. «Запуск капсулы сквозь тело Земли»

Между полюсами Земли (представляющей собой однородный шар) прорыли прямую цилиндрическую шахту, из которой был откачан газ. Термостойкая капсула была запущена в эту шахту с поверхности Земли из состояния покоя в день летнего солнцестояния. В момент пролета через центр Земли капсула включила импульсный двигатель и получила приращение скорости ΔV



Рис. 3. Две фотографии Луны, полученные с помощью одного астрографа с одинаковыми настройками.

вдоль направления своего движения. Определите:

1. Зависимость ускорения свободного падения от расстояния до центра Земли. (3 балла)
2. Работу, которую совершает сила тяжести при падении капсулы, как функцию расстояния от центра. (4 балла)
3. Скорость капсулы в центре Земли до включения двигателей. (3 балла)
4. Скорость капсулы в момент вылета из шахты. (3 балла)
5. Минимальную величину ΔV_1 , при которой капсула сможет покинуть гравитационное поле Земли? (3 баллов)
6. Минимальную величину ΔV_2 , при которой капсула сможет покинуть гравитационное поле Солнечной системы? Орбиту Земли считать круговой. (4 балла)

№ 6. «Две фотографии Луны»

На рис. 3 представлены две фотографии Луны (прямое изображение, без обработки), полученные с помощью одного астрографа с одинаковыми настройками, через некоторый промежуток времени τ_0 . Определите:

1. К какой основной фазе ближе всего была "расположена" Луна на моменты съемки? Свой ответ поясните и укажите знаком «+» в ячейке под соответствующей фазой Луны в табл. 6. (2 балла)

| Основные фазы Луны | | | |
|--------------------|-----------------|------------|-----------------------------|
| Новолуние | Первая четверть | Полнолуние | Последняя (третья) четверть |
| | | | |

Таблица 6. Основные фазы Луны.

2. В какое время суток автор снимков мог выполнить съемку Луны? Свой ответ поясните и укажите знаком «+» в ячейке под соответствующим временем суток в табл. 7. (2 балла)

| Части земных суток | | | |
|--------------------|------|-------|------|
| Утро | День | Вечер | Ночь |
| | | | |

Таблица 7. Части земных суток.

3. В какой стороне света располагалась Луна если известно, что на момент съемки ее диск был расположен невысоко над горизонтом, вблизи небесного экватора? Свой ответ поясните и укажите знаком «+» в ячейке под соответствующей стороной света в табл. 8. (2 балла)

| Стороны света | | | |
|---------------|----|-------|-------|
| Восток | Юг | Запад | Север |
| | | | |

Таблица 8. Стороны света горизонта.

4. Вычислите фазу Луны на каждой фотографии. (8 баллов)
5. Определите промежуток времени τ_0 между сеансами съемки. Орбиту Луны считать круговой. (6 баллов)

На решение задач данного этапа Олимпиады участникам отводится 4 часа.

Основные справочные данные

§1. Основные физические и астрономические постоянные

- Гравитационная постоянная – $G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
- Скорость света в вакууме – $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
- Универсальная газовая постоянная – $R = 8.31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
- Постоянная Стефана-Больцмана – $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$
- Масса протона – $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
- Масса электрона – $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
- Астрономическая единица – $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
- Парсек – $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
- Световой год – $1 \text{ св. г.} = 9.461 \cdot 10^{15} \text{ м}$
- Постоянная Хаббла – $H = 70.0 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$

§2. Данные о Солнце

- Радиус – $6.955 \cdot 10^5 \text{ км}$
- Масса – $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
- Светимость – $3.827 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
- Спектральный класс – G2
- Видимая визуальная звездная величина – -26.74^m
- Видимая болометрическая звездная величина – -26.80^m
- Абсолютная болометрическая звездная величина – $+4.83^m$
- Показатель цвета (B-V) – $+0.67^m$
- Эффективная температура – 5778 К
- Средний горизонтальный параллакс – $8.794''$
- Интегральный поток энергии на расстоянии Земли – 1360 Вт/м^2
- Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли – 600 Вт/м^2

§3. Данные о Земле

- Эксцентриситет орбиты – 0.017
- Тропический год – 365.24219 сут
- Средняя орбитальная скорость – 29.8 км/с
- Период вращения – $23 \text{ часа } 56 \text{ минут } 04 \text{ секунды}$
- Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000.0 – $23^\circ 26' 21.45''$
- Экваториальный радиус – 6378.14 км
- Полярный радиус – 6356.77 км
- Средний (по объему) радиус – 6371.01 км
- Масса – $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
- Средняя плотность – $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
- Объемный состав атмосферы – N_2 (78%), O_2 (21%), Ar ($\sim 1\%$)

§4. Данные о Луне

- Среднее расстояние от Земли – 384400 км
- Минимальное расстояние от Земли – 363300 км
- Максимальное расстояние от Земли – 405500 км
- Эксцентриситет орбиты – 0.055

- Наклон плоскости орбиты к эклиптике – $5^{\circ}09'$
- Сидерический (звездный) период обращения – 27.321662 сут
- Синодический период обращения – 29.530589 сут
- Радиус – 1738 км
- Масса – $7.348 \cdot 10^{22}$ кг или $1/81.3$ массы Земли
- Средняя плотность – $3.34 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$
- Визуальное геометрическое альbedo – 0.12
- Видимая звездная величина в полнолуние – -12.7^m

§5. Физические характеристики Солнца и планет

| Планета | Масса | | Радиус | | Плотность г·см ⁻³ | Период вращения вокруг оси | Наклон экватора к плоскости орбиты градусы | Геометрич. альbedo | Вид. звездная величина* |
|----------|-----------------------|----------------|--------|------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|-----------------------|----------------------------|
| | кг | массы Земли | км | радиусы Земли | | | | | |
| Солнце | $1.989 \cdot 10^{30}$ | 332946 | 695500 | 108.97 | 1.41 | 25.380 сут | 7.25 | – | -26.8^m |
| Меркурий | $3.302 \cdot 10^{23}$ | 0.05271 | 2439.7 | 0.3825 | 5.42 | 58.646 сут | 0.00 | 0.10 | -0.1 |
| Венера | $4.869 \cdot 10^{24}$ | 0.81476 | 6051.8 | 0.9488 | 5.20 | 243.019 сут [†] | 177.36 | 0.65 | -4.4^m |
| Земля | $5.974 \cdot 10^{24}$ | 1.00000 | 6378.1 | 1.0000 | 5.52 | 23.934 час | 23.45 | 0.37 | – |
| Марс | $6.419 \cdot 10^{23}$ | 0.10745 | 3397.2 | 0.5326 | 3.93 | 24.623 час | 25.19 | 0.15 | -2.0^m |
| Юпитер | $1.899 \cdot 10^{27}$ | 317.94 | 71492 | 11.209 | 1.33 | 9.924 час | 3.13 | 0.52 | -2.7^m |
| Сатурн | $5.685 \cdot 10^{26}$ | 95.181 | 60268 | 9.4494 | 0.69 | 10.656 час | 25.33 | 0.47 | 0.4^m |
| Уран | $8.683 \cdot 10^{25}$ | 14.535 | 25559 | 4.0073 | 1.32 | 17.24 час [†] | 97.86 | 0.51 | 5.7^m |
| Нептун | $1.024 \cdot 10^{26}$ | 17.135 | 24746 | 3.8799 | 1.64 | 16.11 час | 28.31 | 0.41 | 7.8^m |

* для наибольшей элонгации Меркурия и Венеры и среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

§6. Характеристики орбит планет

| Планета | Большая полуось | | Эксцентриситет | Наклон к плоскости эклиптики градусы | Период обращения | Синодический период сут |
|----------|-----------------|---------|----------------|---|------------------|----------------------------|
| | млн. км | а.е. | | | | |
| Меркурий | 57.9 | 0.3871 | 0.2056 | 7.004 | 87.97 сут | 115.9 |
| Венера | 108.2 | 0.7233 | 0.0068 | 3.394 | 224.70 сут | 583.9 |
| Земля | 149.6 | 1.0000 | 0.0167 | 0.000 | 365.26 сут | – |
| Марс | 227.9 | 1.5237 | 0.0934 | 1.850 | 686.98 сут | 780.0 |
| Юпитер | 778.3 | 5.2028 | 0.0483 | 1.308 | 11.862 лет | 398.9 |
| Сатурн | 1429.4 | 9.5388 | 0.0560 | 2.488 | 29.458 лет | 378.1 |
| Уран | 2871.0 | 19.1914 | 0.0461 | 0.774 | 84.01 лет | 369.7 |
| Нептун | 4504.3 | 30.0611 | 0.0097 | 1.774 | 164.79 лет | 367.5 |

§7. Характеристики некоторых спутников планет

| Спутник | Масса | Радиус | Плотность | Радиус орбиты | Период обращения | Геометрич. альбе-до | Вид. звездная величина* |
|---------------|-----------------------|--------|--------------------|---------------|----------------------|---------------------|-------------------------|
| | кг | км | г·см ⁻³ | км | сут | | |
| Земля | | | | | | | |
| Луна | $7.348 \cdot 10^{22}$ | 1738 | 3.34 | 384400 | 27.32166 | 0.12 | -12.7 |
| Марс | | | | | | | |
| Фобос | $1.08 \cdot 10^{16}$ | ~ 10 | 2.0 | 9380 | 0.31910 | 0.06 | 11.3 |
| Деймос | $1.8 \cdot 10^{15}$ | ~ 6 | 1.7 | 23460 | 1.26244 | 0.07 | 12.4 |
| Юпитер | | | | | | | |
| Ио | $8.94 \cdot 10^{22}$ | 1815 | 3.55 | 421800 | 1.769138 | 0.61 | 5.0 |
| Европа | $4.8 \cdot 10^{22}$ | 1569 | 3.01 | 671100 | 3.551181 | 0.64 | 5.3 |
| Ганимед | $1.48 \cdot 10^{23}$ | 2631 | 1.94 | 1070400 | 7.154553 | 0.42 | 4.6 |
| Каллисто | $1.08 \cdot 10^{23}$ | 2400 | 1.86 | 1882800 | 16.68902 | 0.20 | 5.7 |
| Сатурн | | | | | | | |
| Тефия | $7.55 \cdot 10^{20}$ | 530 | 1.21 | 294660 | 1.887802 | 0.9 | 10.2 |
| Диона | $1.05 \cdot 10^{21}$ | 560 | 1.43 | 377400 | 2.736915 | 0.7 | 10.4 |
| Рея | $2.49 \cdot 10^{21}$ | 765 | 1.33 | 527040 | 4.517500 | 0.7 | 9.7 |
| Титан | $1.35 \cdot 10^{23}$ | 2575 | 1.88 | 1221850 | 15.94542 | 0.21 | 8.2 |
| Япет | $1.88 \cdot 10^{21}$ | 730 | 1.21 | 3560800 | 79.33018 | 0.20 | ~ 11.0 |
| Уран | | | | | | | |
| Миранда | $6.33 \cdot 10^{19}$ | 235.8 | 1.15 | 129900 | 1.413479 | 0.27 | 16.3 |
| Ариэль | $1.7 \cdot 10^{21}$ | 578.9 | 1.56 | 190900 | 2.520379 | 0.34 | 14.2 |
| Умбриэль | $1.27 \cdot 10^{21}$ | 584.7 | 1.52 | 266000 | 4.144177 | 0.18 | 14.8 |
| Титания | $3.49 \cdot 10^{21}$ | 788.9 | 1.70 | 436300 | 8.705872 | 0.27 | 13.7 |
| Оберон | $3.03 \cdot 10^{21}$ | 761.4 | 1.64 | 583500 | 13.46324 | 0.24 | 13.9 |
| Нептун | | | | | | | |
| Тритон | $2.14 \cdot 10^{22}$ | 1350 | 2.07 | 354800 | 5.87685 [†] | 0.7 | 13.5 |

* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

§8. Формулы приближенного вычисления

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x;$$

$$\sin(x \pm \alpha) \approx \sin \alpha \pm x \cos \alpha;$$

$$\cos(x \pm \alpha) \approx \cos \alpha \mp x \sin \alpha;$$

$$\operatorname{tg}(x \pm \alpha) \approx \operatorname{tg} \alpha \pm \frac{x}{\cos^2 \alpha};$$

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx;$$

здесь $x \ll 1$, все углы выражаются в радианах.