Общеобразовательная автономная некоммерческая организация
«Школа Центра педагогического мастерства»
(ОАНО Школа ЦПМ)

Кафедра астрономии

I Олимпиада Школы ЦПМ по астрономии

Задания, решения и критерии оценивания

Методическое пособие

Москва
2026

УДК 52(076.1)
ББК 22.6

Утешев, И. А. **I Олимпиада Школы ЦПМ по астрономии.** Задания, решения и критерии оценивания : методическое пособие / И. А. Утешев, А. В. Веселова. — Москва, 2026. — 24 с.

Олимпиада Школы Центра педагогического мастерства — многопрофильное интеллектуальное состязание. 1 февраля 2026 года астрономия открыла отсчёт состязательных туров первого сезона олимпиады. Интеллектуальное соревнование по астрономии позиционировалось как тренировка перед региональными этапами Всероссийской олимпиады школьников по астрономии и олимпиады школьников по астрономии имени В. Я. Струве. Комплекты заданий разработаны для учащихся 7–9-х классов, содержат по 4 теоретических задачи, а также 1 творческо-практическую задачу.

Содержание

7 класс **3**

- 7.1 Мартовские иды 3
- 7.2 Широка страна моя 5
- 7.3 Не вижу ничего смешного 7
- 7.4 Взять всё, да и поделить 8
- 7.5 Чеширский кот 9

8 класс **11**

- 8.1 So close 11
- 8.2 Широка страна моя 12
- 8.3 Не вижу ничего смешного 13
- 8.4 Видимое ничего 15
- 8.5 Чеширский кот 17

9 класс **18**

- 9.1 Одна из нереид 18
- 9.2 Год на год не приходится 19
- 9.3 Я на минуточку 20
- 9.4 Горизонт планирования 21
- 9.5 Чеширский кот 23

Справочные данные **24**

7 класс

7.1 Мартовские иды

Определите, в какой день и в каком созвездии в марте некоторого года можно было наблюдать Луну рядом с Марсом, если известно, что на март пришлось два новолуния, а 15 марта Марс взошёл в Москве через 6 часов после восхода Солнца.

Решение:

I. Известно, что в марте было два новолуния. Период смены лунных фаз — синодический месяц подсмотрим в справочных данных: $T_{\text{syn}} \approx 29.5$ сут.

Значит, одно новолуние пришлось на самое начало марта (1–2 марта), а второе наступило через 29.5 суток, то есть в самом конце месяца (30–31 марта). [2 балла]

II. Сказано, что 15 марта в Москве Марс взошёл через 6 часов после восхода Солнца. Для грубой оценки пренебрежём наклоном эклиптики к небесному экватору.

Земля поворачивается на 15° за час (360° за сутки), поэтому разность 6 часов соответствует угловому удалению $6 \cdot 15° = 90°$.

Значит, Марс находился примерно в квадратуре (причём *восточной*, так как взошёл *позже* Солнца), то есть примерно на 90° восточнее Солнца. [2 балла]

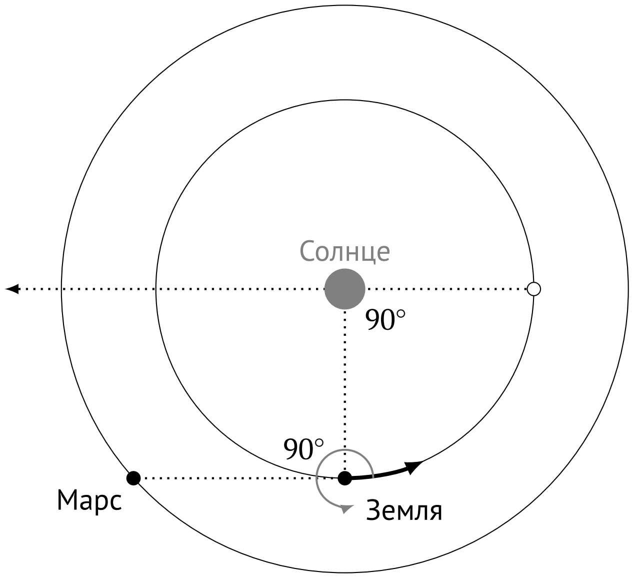

Рис. 1: Относительное положение Солнца, Земли и Марса около 15 марта.
Стрелками отмечены направления орбитального движения и суточного вращения Земли

III. Следовательно, Марс расположен в том зодиакальном созвездии, где Солнце окажется через четверть года (примерно через 3 месяца) после 15 марта, то есть в середине июня.

В середине июня Солнце находится в созвездии Тельца, у границы с Близнецами. Значит, и Марс в рассматриваемое время был в Тельце или Близнецах. [2 балла]

IV. Луна в новолуние наблюдается в том же направлении, что и Солнце, а затем «уходит» от него, увеличивая элонгацию (угол Солнце — Земля — Луна). Направление движения Луны по орбите совпадает с направлением орбитального движения Земли.

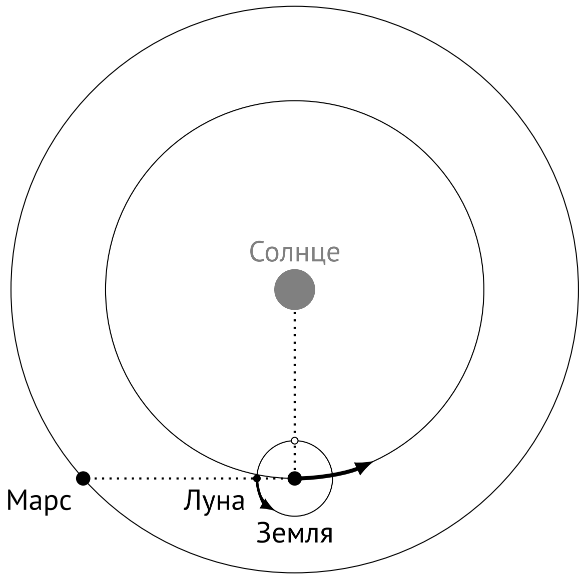

Рис. 2: Относительное положение Солнца, Земли, Марса и Луны.
Луна в соединении с Марсом. Стрелками отмечены направления орбитальных движений Земли и Луны

Чтобы удалиться от Солнца на 90° к востоку, Луне потребуется четверть синодического месяца, то есть 29.5 сут./4 $\approx$ 7 сут.

V. Значит, примерно через 7 суток после новолуния, **8–9 марта** Луна будет наблюдаться примерно в том же направлении, что и Марс.

В эти дни Луна окажется рядом с Марсом и будет наблюдаться в том же созвездии — **Тельце или Близнецах.** [2 балла]

7.2 Широка страна моя

Самолёт летит из Якутска (62.0° с. ш., 129.7° в. д.) в Москву (55.8° с. ш., 37.6° в. д.). Вылет из Якутска произошёл в местный солнечный полдень. Самолёт приземлился в 13:00 по местному солнечному времени Москвы. Оцените среднюю скорость полёта.

Подсказка. Длина географической параллели на широте 60° составляет половину длины экватора, то есть 20.0 тыс. км.

Решение. Для оценки средней скорости полёта необходимо определить расстояние s и продолжительность t полёта.

I. Разность широт невелика (около 6°) и заметно меньше разности долгот $\Delta\lambda$, поэтому для оценки возьмём расстояние вдоль параллели $\varphi \approx 60°$.

Длина этой параллели $L_{60} \approx 20.0$ тыс. км (из подсказки), значит

$$s \approx L_{60} \times \frac{\Delta\lambda}{360°} = 20.0 \cdot 10^3 \text{ км} \times \frac{129.7° - 37.6°}{360°} \approx 5.1 \times 10^3 \text{ км}.$$

Это примерно четверть длины параллели ($\Delta\lambda = 92.1° \approx 90°$). [3 балла]

II. Самолёт летел с востока на запад — в направлении, противоположном направлению вращения Земли, поэтому местное солнечное время для пассажиров увеличилось всего на 1 час.

Местное солнечное время характеризует угол поворота точки (меридиана) относительно направления на Солнце. В частности, Солнце всегда точно находится на полуденном меридиане. [2 балла]

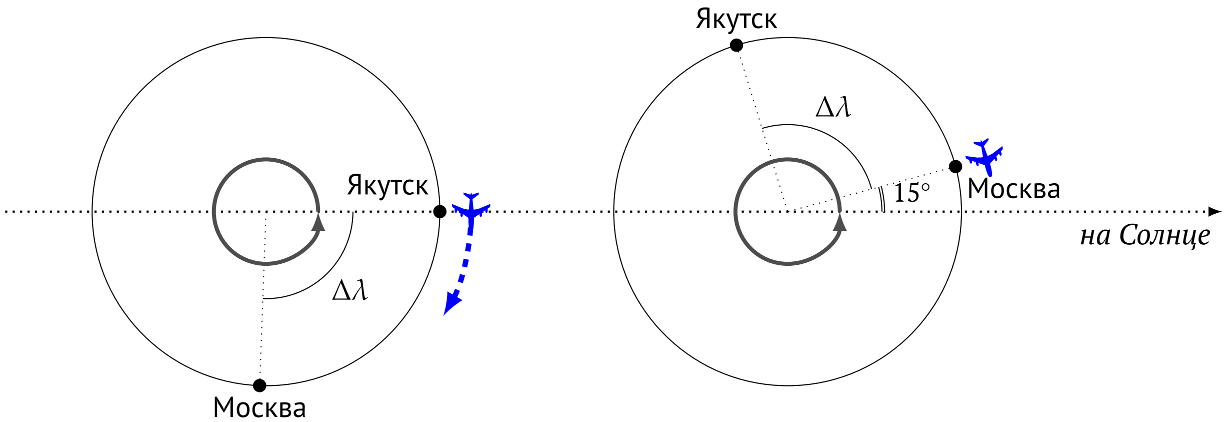

Рис. 3: Положения городов и самолёта в моменты вылета и посадки.
Вид «с Северного полюса Земли»

III. Относительно направления «на Солнце» Земля совершает один оборот за 24 часа, что соответствует $360°/24$ ч $= 15°/$ч.

Из рис. 3 нетрудно заключить, что за время полёта Земля повернулась на угол $\Delta\lambda + 15° = 107.1°$, на что потребовалось

$$\Delta t = \frac{107.1°}{15°/\text{ч}} = 7.14\ \text{ч}.$$

[3 балла]

⋆ Альтернативный подход (II–III). Существует более «алгебраичный» подход к нахождению продолжительности полёта. Местное время LT на меридиане долготы λ связано со всемирным временем UT (местным временем нулевого меридиана) соотношением

$$LT = UT + \lambda,$$

где λ выражена в часовой мере ($360° = 24^\text{h}$, $15° = 1^\text{h}$). В справедливости этого утверждения нетрудно убедиться с учётом смысла местного времени как угла поворота меридиана относительно направления на Солнце.

Приведём указанные в условии моменты к всемирному времени:

$$\begin{aligned} \text{Взлёт:} \quad & 12^\text{h} - \frac{129.7°}{15°/\text{h}} = 3^\text{h}\,21.2^\text{m}; \\ \text{Посадка:} \quad & 13^\text{h} - \frac{37.6°}{15°/\text{h}} = 10^\text{h}\,29.6^\text{m}. \end{aligned}$$

Следовательно, $\Delta t = 7^\text{h}\,8.4^\text{m} = 7.14^\text{h}$.

IV. Средняя скорость полёта

$$v = \frac{s}{\Delta t} \approx \frac{5.1 \times 10^3\ \text{км}}{7.14\ \text{ч}} \approx \mathbf{7.2 \times 10^2\ км/ч.}$$

[2 балла]

7.3 Не вижу ничего смешного

Крабовидная туманность (остаток сверхновой SN 1054) находится в созвездии Тельца на расстоянии 2 кпк от Земли. Она стала первым астрономическим объектом, отождествлённым с историческим взрывом сверхновой, зафиксированным китайскими астрономами в 1054 году. В наши дни угловой размер туманности при наблюдении с Земли составляет $6'$. Звезда SAO 185515 находится на расстоянии 490 пк от Солнца и наблюдается на земном небе в направлении, противоположном направлению на Крабовидную туманность. В каком году (по земному календарю) возможно было бы увидеть вспышку SN 1054 из окрестностей указанной звезды?

Решение:

I. По условию звезда наблюдается с Земли в направлении, противоположном направлению на Крабовидную туманность. Следовательно, звезда лежит на продолжении луча

$$\text{Краб} \xrightarrow{2\ \text{кпк}} \text{Земля} \xrightarrow{490\ \text{пк}} \text{SAO 185515}.$$

Свет от взрыва долетел до Земли в 1054 году. До SAO 185515 лететь ещё 490 пк.

[3 балла]

II. Скорость света и величина парсека (в метрах) приведены в справочных данных.

Свет преодолевает расстояние в 1 пк = $3.086 \cdot 10^{16}$ м за

$$\frac{3.086 \cdot 10^{16}\ \text{м}}{2.998 \cdot 10^{8}\ \text{м/с}} = 1.03 \cdot 10^{8}\ \text{с} = \frac{1.03 \cdot 10^{8}\ \text{с}}{3600\ \text{с/ч} \times 24\ \text{ч/сут.} \times 365.25\ \text{сут./год}} = 3.26\ \text{года}.$$

Значит, на 490 пк потребуется $490 \times 3.26 \approx 1.60 \cdot 10^{3}$ лет. [4 балла]

III. Вспышку можно будет увидеть из окрестностей SAO 185515 **около 2650 года.**

Точность ответа ограничена исходным предположением о том, что все три объекта в точности лежат на прямой, и точностью использованных констант. [3 балла]

7.4 Взять всё, да и поделить

Оцените среднюю плотность материи в Солнечной системе, заключённой внутри сферы с радиусом, равным радиусу орбиты Нептуна, и центром в Солнце. Сравните её с плотностью листа бумаги, на котором напечатано это задание.

Решение. Найдём среднюю плотность $\bar{\rho}$ «внутри орбиты Нептуна».

I. Масса, заключённая внутри сферы, практически равна массе Солнца:

$$M \approx \mathfrak{M}_\odot \approx 2 \cdot 10^{30}\ \text{кг}.$$

[2 балла]

II. Вычислим объём шара:

$$R \approx 30\ \text{а. е.} \times 1.5 \cdot 10^{11}\ \text{м} \approx 4.5 \cdot 10^{12}\ \text{м};$$

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \approx \frac{4}{3}\pi \times (4.5 \cdot 10^{12}\ \text{м})^3 \approx 3.8 \cdot 10^{38}\ \text{м}^3.$$

Для оценки можно взять и $V \sim R^3$. [3 балла]

III. Средняя плотность

$$\bar{\rho} = \frac{M}{V} \approx \frac{2 \cdot 10^{30}\ \text{кг}}{3.8 \cdot 10^{38}\ \text{м}^3} \approx 5 \cdot 10^{-9}\ \text{кг/м}^3 = \mathbf{5 \cdot 10^{-12}\ г/см^3.}$$

[3 балла]

IV. Вполне очевидно, что полученная величина **много меньше** плотности бумаги (хотя бы потому, что бумага не плавает в воздухе, плотность которого $\approx 1.2\ \text{кг/м}^3$).

Впрочем, возможно получить и количественную оценку. Для бумаги возьмём типичные параметры: поверхностная плотность $\sigma \approx 80\ \text{г/м}^2$ (офисная бумага), толщина $h \approx 0.1\ \text{мм} = 10^{-4}\ \text{м}$. Тогда объёмная плотность

$$\rho_{\text{бумага}} = \frac{\sigma}{h} \approx \frac{80\ \text{г/м}^2}{10^{-4}\ \text{м}} \approx 8 \cdot 10^5\ \text{г/м}^3 = 8 \cdot 10^2\ \text{кг/м}^3 \sim 10^3\ \text{кг/м}^3.$$

Отношение плотностей:

$$\frac{\rho_{\text{бумага}}}{\bar{\rho}} \approx \frac{8 \cdot 10^2\ \text{кг/м}^3}{5 \cdot 10^{-9}\ \text{кг/м}^3} \approx 1.6 \cdot 10^{11} \sim 10^{11}.$$

[2 балла]

7.5 Чеширский кот

23 января в социальной сети было опубликовано следующее сообщение: «Сегодня небо вам улыбнётся — в прямом смысле. Луна, Сатурн и Нептун выстроятся в созвездии Рыб, образовав редкое астрономическое явление, напоминающее смайлик. Его будет видно по всей России после захода Солнца при условии ясной погоды. Чтобы полюбоваться “улыбкой”, понадобится телескоп, бинокль или смартфон с зумом». Укажите все астрономические ошибки, допущенные авторами публикации.

Для справки. Ближайшее полнолуние наступит 2 февраля 2026 года в 01:10.

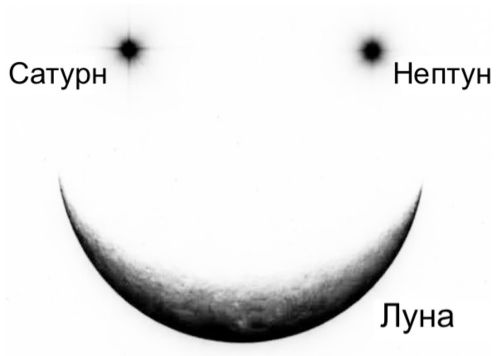

Рис. 4: Иллюстрация к сообщению

Источник: t.me/ufa_rb/57081. Адаптировано для печати

Решение. Из справки: ближайшее полнолуние наступит 2 февраля 2026 г. Следовательно, возраст Луны 23 января составляет лишь несколько суток (тонкий серп растущей Луны). В такой фазе Луна видна только в вечерних сумерках и в первые часы после захода Солнца, причём низко над горизонтом.

I. *Ориентация лунного серпа.*

Лунный серп обращён к Солнцу. Такое его положение, как показано на иллюстрации, возможно наблюдать лишь вблизи экватора, но никак не в умеренных и полярных российских широтах.

II. *Яркость планет.*

Главная ошибка публикации связана с видимостью Нептуна: его невозможно наблюдать невооружённым глазом, в то время как на иллюстрации его блеск сопоставим с блеском Сатурна. Более того, в сумерках и рядом с ярким лунным серпом его наблюдение обычно требует по меньшей мере хорошей оптики и подходящих условий.

III. *Использование оптических инструментов.*

Фраза «понадобится телескоп, бинокль или смартфон с зумом» некорректна по существу. Луна и Сатурн яркие и видны без всякой оптики, а «смартфон с зумом» не является адекватным инструментом для наблюдения Нептуна: проблема не в «приближении», а в чувствительности и поиске объекта, да ещё и на фоне лунной засветки. Телескоп, в поле зрения которого попала Луна целиком, тоже не поможет в наблюдении Нептуна.

IV. *Подвижность конфигурации.*

Утверждение «видно по всей России после захода Солнца» тоже не соответствует действительности. Россия имеет заметную протяжённость по долготе, так что «после захода Солнца» — совершенно различные моменты времени. При этом Луна за час смещается примерно на собственный угловой диаметр.

V. *Прозрачная Луна.*

Наконец, на иллюстрации планеты «просвечивают» сквозь неосвещённую часть диска Луны.

По 2 балла за каждую указанную ошибку с обоснованием (1 балл за указание, 1 балл за корректное обоснование), но не более 10 баллов.

8 класс

8.1 So close

2 марта 2026 года около полудня по всемирному времени на Дальнем Востоке возможно будет наблюдать покрытие Луной звезды Регул (α Льва). 6 марта 2026 года в 16^{h} UT Луна пройдёт в 2° южнее Спики (α Девы). Оцените угловое расстояние между Регулом и Спикой.

Решение:

I. Считаем, что Луна движется на фоне далёких звёзд с угловой скоростью

$$\omega = \frac{360^\circ}{T_{\mathrm{sid}}} \approx 13.2^\circ/\text{сут.},$$

где $T_{\mathrm{sid}} \approx 27.3$ сут — продолжительность сидерического месяца (периода обращения Луны вокруг Земли). [3 балла]

II. Разность моментов времени:

$$\Delta t = (6\text{ марта }16^{\mathrm{h}}) - (2\text{ марта }12^{\mathrm{h}}) = 4\text{ сут} + 4^{\mathrm{h}} \approx 4.17\text{ сут.}$$

[3 балла]

III. За это время Луна сместилась на угол

$$s = \omega\,\Delta t \approx 13.2^\circ/\text{сут.} \times 4.17\text{ сут.} \approx \mathbf{55^\circ}.$$

Это угловое расстояние между Регулом и точкой неба, где Луна была в момент наибольшего сближения со Спикой. [3 балла]

IV. Перпендикулярным смещением в 2° до Спики можно пренебречь по сравнению с величиной s.

В действительности расстояние составляет 54°. Погрешность оценки связана, в первую очередь, с эллиптичностью орбиты Луны. Вдобавок, есть топоцентрическая поправка. [1 балл]

8.2 Широка страна моя

Самолёт летит из Якутска (62.0° с. ш., 129.7° в. д., UT+9) в Москву (55.8° с. ш., 37.6° в. д.). Вылет из Якутска произошёл ровно в 12:00 по часам аэропорта. Самолёт приземлился в 13:00 по московскому времени. Оцените среднюю скорость полёта.

Решение:

Для оценки средней скорости полёта необходимо определить расстояние s и продолжительность t полёта.

I. Разность широт невелика (около 6°) и заметно меньше разности долгот $\Delta\lambda$, поэтому для оценки возьмём расстояние вдоль параллели $\varphi \approx 60°$.

Длина этой параллели $L_{60} = 2\pi R_\oplus \cos 60°$, значит

$$s \approx L_{60} \times \frac{\Delta\lambda}{360°} = 2\pi R_\oplus \cos 60° \times \frac{129.7° - 37.6°}{360°} = \pi \times 6.371 \cdot 10^3 \text{ км} \times \frac{92.1°}{360°} \approx 5.1 \times 10^3 \text{ км}.$$

[3 балла]

II. Самолёт летел с востока на запад — в направлении, противоположном направлению вращения Земли, поэтому гражданское время для пассажиров увеличилось незначительно.

Для вычисления продолжительности полёта удобно привести указанные в условии моменты к всемирному времени:

$$\begin{aligned} \text{Взлёт:} &\quad 12{:}00 \text{ UT+9} = 03{:}00 \text{ UT;} \\ \text{Посадка:} &\quad 13{:}00 \text{ UT+3} = 10{:}00 \text{ UT.} \end{aligned}$$

Здесь учтено, что московское время соответствует UT+3. [3 балла]

III. Продолжительность полёта составила $\Delta t = 7$ ч. [2 балла]

IV. Средняя скорость полёта

$$v = \frac{s}{\Delta t} \approx \frac{5.1 \times 10^3 \text{ км}}{7 \text{ ч}} \approx \mathbf{7.3 \times 10^2} \textbf{ км/ч.}$$

[2 балла]

8.3 Не вижу ничего смешного

Крабовидная туманность (остаток сверхновой SN 1054) находится в созвездии Тельца на расстоянии 2 кпк от Земли. Она стала первым астрономическим объектом, отождествлённым с историческим взрывом сверхновой, зафиксированным китайскими астрономами в 1054 году. В наши дни угловой размер туманности при наблюдении с Земли составляет $6'$. Звезда 52 Змееносца находится на расстоянии 271 пк от Солнца и наблюдается на земном небе в направлении, противоположном направлению на Крабовидную туманность. В каком году возможно было бы увидеть вспышку SN 1054 из окрестностей 52 Змееносца? Оцените нынешний видимый угловой размер туманности для наблюдателя близ указанной звезды.

Решение:

I. По условию звезда наблюдается с Земли в направлении, противоположном направлению на Крабовидную туманность. Следовательно, звезда лежит на продолжении луча

$$\text{Краб} \xrightarrow{2\ \text{кпк}} \text{Земля} \xrightarrow{271\ \text{пк}} 52\ \text{Змееносца}.$$

Свет от взрыва долетел до Земли в 1054 году. До 52 Змееносца лететь ещё 271 пк.

[2 балла]

II. Скорость света и величина парсека (в метрах) приведены в справочных данных.

Свет преодолевает расстояние в 1 пк = $3.086 \cdot 10^{16}$ м за

$$\frac{3.086 \cdot 10^{16}\ \text{м}}{2.998 \cdot 10^{8}\ \text{м/с}} = 1.03 \cdot 10^{8}\ \text{с} = \frac{1.03 \cdot 10^{8}\ \text{с}}{3600\ \text{с/ч} \times 24\ \text{ч/сут.} \times 365.25\ \text{сут./год}} = 3.26\ \text{года}.$$

Значит, на 271 пк потребуется $271 \times 3.26 \approx 883$ года. [3 балла]

III. Вспышку можно было увидеть из окрестностей 52 Змееносца **в 1937–1938 году.**

Точность ответа ограничена исходным предположением о том, что все три объекта в точности лежат на прямой, и точностью использованных констант. [2 балла]

IV. Для оценки углового размера туманности будем считать, что она расширяется равномерно.

Наблюдатель у 52 Змееносца наблюдает расширение туманности с задержкой в 883 года. Кроме того, 52 Змееносца находится дальше от туманности, что уменьшает её видимый угловой размер по сравнению с земным при прочих равных условиях (примерно на 10 %).

Земные наблюдатели «наблюдают» расширение туманности на протяжении 972 лет, тогда как у 52 Змееносца к настоящему времени успели бы пронаблюдать лишь первые 89 лет после вспышки. Различие на порядок означает, что для оценки, очевидно, достаточно учёта лишь этого фактора:

$$6' \times \frac{89}{972} \approx \mathbf{0.5'}.$$

[3 балла]

8.4 Видимое ничего

Далёкое шаровое звёздное скопление обладает светимостью (мощностью излучения), равной $2 \cdot 10^6\,L_\odot$, при радиусе 40 световых лет. Звёзды скопления схожи друг с другом, обладают массой $0.6\,\mathfrak{M}_\odot$ и светимостью $0.13\,L_\odot$ каждая. Оцените: среднюю плотность вещества скопления; долю объёма скопления, занимаемую звёздами; и долю площади проекции скопления на картинную плоскость, занимаемую звёздами.

Решение:

I. Определим вначале полную массу скопления. Для этого нам потребуется оценить количество звёзд скопления, что можно выполнить, разделив полную светимость скопления на светимость отдельной звезды:

$$N = \frac{L}{L_*} = \frac{2 \cdot 10^6}{0.13} = 1.5 \cdot 10^7.$$

Тогда полная масса скопления составит

$$\mathfrak{M} = N\mathfrak{M}_* = 1.5 \cdot 10^7 \times 0.6\,\mathfrak{M}_\odot = 9 \cdot 10^6\,\mathfrak{M}_\odot = 1.8 \cdot 10^{37}\ \text{кг}.$$

[2 балла]

II. Теперь оценим среднюю плотность скопления, разделив массу звёзд на полный объём скопления. Заметим, что в шаровых скоплениях крайне мало межзвёздного вещества и тёмной материи, поэтому мы можем считать, что полная масса совпадает с общей массой звёзд*:

$$\rho = \frac{\mathfrak{M}}{V} = \frac{\mathfrak{M}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{1.8 \cdot 10^{37}\ \text{кг}}{\frac{4}{3}\pi \times (40 \times 9.46 \cdot 10^{15}\ \text{м})^3} = \mathbf{8 \cdot 10^{-17}\ кг/м^3.}$$

[3 балла]

III. Далее, для оценок занимаемой доли объёма и занимаемой доли площади нам понадобится оценка радиуса. Мы видим, что масса и светимость каждой звезды заметно меньше, чем соответствующие величины для Солнца. Это означает, что звёзды также карликовые (да-да, наше Солнце относят к классу карликов), при этом они меньше и холоднее Солнца.

В качестве разумной оценки радиуса можно принять величину от $0.6R_\odot$ до $0.8R_\odot$ (плотность будет всё-таки побольше, чем у Солнца).

*Здесь $9.46 \cdot 10^{15}$ м $= c \times 1$ год — величина светового года, выраженная в метрах.

Приведем расчёт для $0.7R_\odot$, по порядку величины мы получим верное значение.

Разделим общий объём звёзд на объём скопления:

$$\frac{NV_*}{V} = \frac{N \cdot \frac{4}{3}\pi R_*^3}{\frac{4}{3}\pi R^3} = N \cdot \left(\frac{R_*}{R}\right)^3 = 1.5 \cdot 10^7 \times \left(\frac{0.7 \times 6.97 \cdot 10^8 \text{ м}}{40 \times 9.46 \cdot 10^{15} \text{ м}}\right)^3 = \mathbf{3.2 \cdot 10^{-20}}.$$

[3 балла]

IV. Для оценки доли занимаемой звёздами площади видимого «диска» скопления мы поступим аналогично.

Полученное выше отношение объёмов показывает, что звёзды занимают малую часть скопления, следовательно, можно считать, что для наблюдателя они не перекрывают друг друга при проецировании на небо.

Тогда разделим общую площадь видимых дисков звёзд на площадь диска скопления:

$$\frac{NS_*}{S} = \frac{N \cdot \pi R_*^2}{\pi R^2} = N \cdot \left(\frac{R_*}{R}\right)^2 = 1.5 \cdot 10^7 \times \left(\frac{0.7 \times 6.97 \cdot 10^8 \text{ м}}{40 \times 9.46 \cdot 10^{15} \text{ м}}\right)^2 = \mathbf{2.5 \cdot 10^{-11}}.$$

Обе доли крайне малы — по-настоящему астрономические числа, только астрономически малые! [2 балла]

8.5 Чеширский кот

23 января в социальной сети было опубликовано следующее сообщение: «Сегодня небо вам улыбнётся — в прямом смысле. Луна, Сатурн и Нептун выстроятся в созвездии Рыб, образовав редкое астрономическое явление, напоминающее смайлик. Его будет видно по всей России после захода Солнца при условии ясной погоды. Чтобы полюбоваться "улыбкой", понадобится телескоп, бинокль или смартфон с зумом». Укажите все астрономические ошибки, допущенные авторами публикации.

Для справки. Ближайшее полнолуние наступит 2 февраля 2026 года в 01:10.

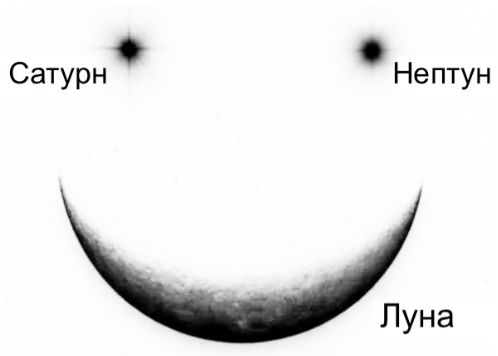

Рис. 5: Иллюстрация к сообщению

Источник: t.me/ufa_rb/57081.
Адаптировано для печати

См. решение задачи 7.5, страница 9.

9 класс

9.1 Одна из нереид

Астероид Амфитрита движется по круговой орбите вокруг Солнца. Угловой диаметр астероида в момент противостояния составляет $0.21''$, в западной квадратуре — $0.14''$. Определите линейный размер астероида и радиус его орбиты.

Решение. Пусть астероид имеет линейный диаметр D, радиус его (круговой) орбиты вокруг Солнца — r а. е. Орбиту Земли считаем круговой радиуса 1 а. е. Противостояние возможно лишь для внешнего относительно Земли объекта, то есть $r > 1$.

I. Для малых углов видимый угловой диаметр (в радианах)

$$\delta = \frac{D}{\Delta},$$

где Δ — расстояние от Земли до астероида в данный момент.

В противостоянии $\delta_{\text{пр}} = 0.21''$, в квадратуре $\delta_{\text{кв}} = 0.14''$, что даёт отношение расстояний

$$\frac{\Delta_{\text{кв}}}{\Delta_{\text{пр}}} = \frac{\delta_{\text{пр}}}{\delta_{\text{кв}}} = \frac{0.21}{0.14} = 1.5.$$ [1 балл]

II. Из определений противостояния и квадратуры следуют соотношения

$$\Delta_{\text{пр}} = r - 1; \qquad r^2 = 1^2 + \Delta_{\text{кв}}^2.$$ [2 балла]

III. С учётом ранее полученной связи $\Delta_{\text{кв}} = 1.5\Delta_{\text{пр}}$ имеем квадратное уравнение

$$r^2 = 1 + \left[1.5(r-1)\right]^2.$$

Первый (очевидный) корень $r = 1$ не подходит — противостояния при таком радиусе орбиты невозможны. Второй корень

$$r = \frac{13}{5} = \mathbf{2.6\ (а.\,е.)}$$ [4 балла]

IV. Осталось вычислить пространственный размер астероида:

$$D = \delta\Delta = 0.21'' \times 1.6\ \text{а. е.} = 1.02 \cdot 10^{-6}\ \text{рад} \times 1.6 \times 1.496 \cdot 10^{11}\ \text{м} \approx \mathbf{2.4 \cdot 10^2\ км.}$$

[2 балла]

9.2 Год на год не приходится

В какой из дней Солнце будет дольше находиться над московским горизонтом: 20 марта 2026 года или 20 марта 2028 года? Оцените разность продолжительностей светового дня в указанные даты.

Решение:

I. Даты в условии задачи одинаковые, а склонение Солнца в эти даты слегка различно, следовательно, будут различаться и продолжительности светового дня. Причина — разница между продолжительностью тропического и календарного года.

[1 балл]

II. 2028 год — високосный, с добавочным днём в феврале. Следовательно, между одинаковыми моментами 20.03.2026 и 20.03.2028 пройдут $365 \times 2 + 1 = 731$ сутки.

В то же время продолжительность тропического года составляет 365.24^{d}. Календарный интервал составляет 2 тропических года + 0.52^{d}. [2 балла]

III. Склонение Солнца в марте возрастает. Значит, 20.03.2028 склонение Солнца будет больше, чем в соответствующие часы 20.03.2026. Это влечёт и **бо́льшую продолжительность светового дня 20 марта 2028 года.** [2 балла]

IV. Вблизи равноденствий склонение Солнца изменяется на $0.4°$ в сутки. Значит, разница склонений в соответствующие моменты 20 марта 2028 г. и 2026 г. составляет $\Delta\delta_\odot \approx 0.2°$. [2 балла]

V. Увеличение продолжительности светового дня обеспечивается как более ранним восходом, так и более поздним заходом Солнца:

$$\Delta t \approx 2 \times \frac{\Delta\delta_\odot \tan\varphi}{15°/\mathrm{h}} \approx \mathbf{2.3^{m}}.$$

Здесь учтено, что суточная параллель Солнца наклонена к горизонту на угол $(90° - \varphi)$, где $\varphi = 55.8°$ — широта Москвы.

Примечание. Действительно, календарь восходов-заходов Солнца даёт различие в 2 минуты 14 секунд $\approx 2.2^{\mathrm{m}}$, что показывает справедливость полученной оценки.

[3 балла]

9.3 Я на минуточку

Период обращения спутника по круговой орбите радиусом 10.0 тыс. км составляет 11 часов 45 минут. Вычислите, как изменится период обращения при увеличении радиуса орбиты на 1 см. Вокруг какого объекта может обращаться спутник?

Решение:

I. Запишем третий закон Кеплера для спутника и определим массу гравитирующего тела, вокруг которого спутник обращается:

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM} \quad \Longrightarrow \quad M = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2},$$

$$M = \frac{4\pi^2 \times (1.00 \cdot 10^7)^3}{6.67 \cdot 10^{-11} \times (11 \cdot 3600 + 45 \cdot 60)^2} \text{ [СИ]} = 3.3 \cdot 10^{23} \text{ кг.}$$

По таблице параметров планет в справочных данных видим, что подходящим объектом является **Меркурий.** [5 баллов]

II. Радиус орбиты спутника увеличивается незначительно. Для оценки изменения периода будем использовать приближенные вычисления.

Пусть Δa — изменение радиуса орбиты, а ΔT — соответствующее изменение периода. Запишем третий закон Кеплера для исходных и изменённых параметров, взяв их отношение:

$$\frac{(T + \Delta T)^2}{T^2} = \frac{(a + \Delta a)^3}{a^3} \quad \Longrightarrow \quad \left(1 + \frac{\Delta T}{T}\right)^2 = \left(1 + \frac{\Delta a}{a}\right)^3.$$

Раскроем скобки и пренебрежём всеми слагаемыми, в которые отношение входит в степени выше 1, что даст нам приближённое равенство

$$2\frac{\Delta T}{T} \approx 3\frac{\Delta a}{a}.$$

Отсюда получаем оценку

$$\Delta T = \frac{3}{2}\frac{\Delta a}{a} \cdot T = \frac{3}{2} \times \frac{10^{-2}}{10^7} \times (11 \cdot 3600 + 45 \cdot 60) \text{ [СИ]} = \mathbf{+6.3 \cdot 10^{-5}\ с.}$$

[5 баллов]

9.4 Горизонт планирования

Похожая на Солнце звезда сейчас имеет видимую звёздную величину $m = 6.5^{\mathrm{m}}$.

а) Через некоторое время собственное движение этой звезды увеличится в 5 раз. Какой станет её видимая звёздная величина?

б) На каком минимальном расстоянии от Солнечной системы пройдёт эта звезда, если к моменту наибольшего сближения собственное движение увеличится ещё вдвое? Можно ли будет увидеть её невооружённым глазом?

Решение:

I. Предположим, что звезда летит относительно Солнца прямолинейно и равномерно. Тогда при минимальном расстоянии (параметре сближения) b и текущем расстоянии d собственное движение, тангенциальная скорость и угол, который скорость образует с радиусом-вектором, равны соответственно

$$\mu = \frac{v_\perp}{d}, \qquad v_\perp = v \sin\theta, \qquad \sin\theta = \frac{b}{d},$$

и потому собственное движение

$$\mu = v\,\frac{b}{d^2}.$$

Следовательно, при фиксированных v и b имеем $\mu \propto d^{-2}$, то есть

$$d_2 = d_1\sqrt{\frac{\mu_1}{\mu_2}}.$$

[2 балла]

II. Считаем звезду солнечного типа: $M \approx M_\odot = 4.8^{\mathrm{m}}$. Воспользуемся определением абсолютной звёздной величины:

$$m - M = 5\log_{10}\frac{d_1}{10\text{ пк}} \quad\Longrightarrow\quad d_1 = 10\text{ пк} \times 10^{(6.5-4.8)/5} \approx 22\text{ пк}.$$

[2 балла]

III. Через некоторое время μ выросло в 5 раз: $d_2 = \dfrac{d_1}{\sqrt{5}}$. Тогда

$$m_2 - m_1 = 5\log_{10}\frac{d_2}{d_1} = 5\log_{10}\frac{1}{\sqrt{5}} = -2.5\log_{10}5 \approx -1.75,$$

$$m_2 \approx 6.5^{\mathrm{m}} - 1.75^{\mathrm{m}} \approx \mathbf{4.75^{m}}.$$

[2 балла]

IV. В момент наибольшего сближения собственное движение ещё вдвое больше, т. е. $\mu_{\min} = 10\,\mu_1$. Тогда

$$b = d_{\min} = d_1\sqrt{\frac{\mu_1}{\mu_{\min}}} = \frac{d_1}{\sqrt{10}} \approx \frac{21.6}{\sqrt{10}} \approx \mathbf{6.8\ пк \approx 22\ св.\ лет.}$$

[2 балла]

Яркость возрастёт в $(d_1/b)^2 = 10$ раз, значит

$$m_{\min} = m_1 - 2.5\log_{10} 10 = 6.5^{\mathrm{m}} - 2.5^{\mathrm{m}} = 4.0^{\mathrm{m}}.$$

Такую звезду легко **видно невооружённым глазом.** [2 балла]

9.5 Чеширский кот

23 января в социальной сети было опубликовано следующее сообщение: «Сегодня небо вам улыбнётся — в прямом смысле. Луна, Сатурн и Нептун выстроятся в созвездии Рыб, образовав редкое астрономическое явление, напоминающее смайлик. Его будет видно по всей России после захода Солнца при условии ясной погоды. Чтобы полюбоваться “улыбкой”, понадобится телескоп, бинокль или смартфон с зумом». Укажите все астрономические ошибки, допущенные авторами публикации.

Для справки. Ближайшее полнолуние наступит 2 февраля 2026 года в 01:10.

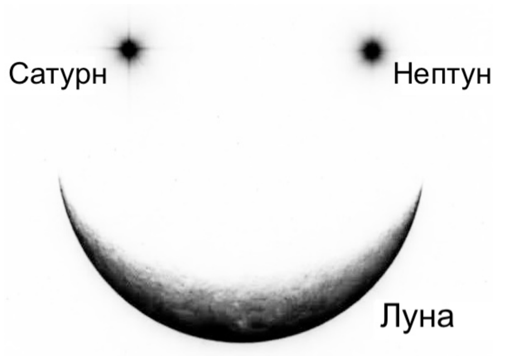

Рис. 6: Иллюстрация к сообщению

Источник: t.me/ufa_rb/57081. Адаптировано для печати

См. решение задачи 7.5, страница 9.

Справочные данные

Некоторые основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная	G	$= 6.674 \cdot 10^{-11}$ м$^3 \cdot$ кг$^{-1} \cdot$ с$^{-2}$
Скорость света в вакууме	c	$= 2.998 \cdot 10^{8}$ м/с
Масса протона	m_p	$= 1.673 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса электрона	m_e	$= 9.109 \cdot 10^{-31}$ кг
Астрономическая единица	1 а. е.	$= 1.496 \cdot 10^{11}$ м
Парсек	1 пк	$=$ 206 265 а. е. $= 3.086 \cdot 10^{16}$ м

Данные о Солнце, Земле и Луне

Светимость Солнца	$L_\odot$	$= 3.88 \cdot 10^{26}$ Вт
Видимая звёздная величина Солнца	$m_\odot$	$= -26.8^{\mathrm{m}}$
Абсолютная звёздная величина Солнца	$M_\odot$	$= +4.8^{\mathrm{m}}$
Эффективная температура Солнца	$T_{\odot,\mathrm{eff}}$	$= 5.8 \cdot 10^{3}$ K
Поток энергии на расстоянии Земли	$E_\odot$	$= 1.4 \cdot 10^{3}$ Вт/м^2
Тропический год		$=$ 365.24219 сут.
Средняя орбитальная скорость		$=$ 29.8 км/с
Звёздные сутки		$=$ 23 ч 56 мин 04 с
Наклон экватора к эклиптике	ε	$= 23.44^\circ$
Сидерический месяц		$=$ 27.32 сут.
Синодический месяц		$=$ 29.53 сут.
Видимая звёздная величина полной Луны	$m_☾$	$= -12.7^{\mathrm{m}}$

Характеристики Солнца, планет Солнечной системы и Луны

		Радиус орбиты, а. е.	Орбитальный период	Масса, кг	Радиус, 10^3 км	Осевой период
☉	Солнце			$1.989 \cdot 10^{30}$	697	25.38 сут.
☿	Меркурий	0.3871	87.97 сут.	$3.302 \cdot 10^{23}$	2.44	58.65 сут.
♀	Венера	0.7233	224.70 сут.	$4.869 \cdot 10^{24}$	6.05	243.02 сут.
⊕	Земля	1.0000	365.26 сут.	$5.974 \cdot 10^{24}$	6.37	23.93 ч
☾	↪ Луна	0.0026	27.32 сут.	$7.348 \cdot 10^{22}$	1.74	*синхр.*
♂	Марс	1.5237	686.98 сут.	$6.419 \cdot 10^{23}$	3.40	24.62 ч
♃	Юпитер	5.2028	11.862 лет	$1.899 \cdot 10^{27}$	71.5	9.92 ч
♄	Сатурн	9.5388	29.458 лет	$5.685 \cdot 10^{26}$	60.3	10.66 ч
⛢	Уран	19.1914	84.01 лет	$8.683 \cdot 10^{25}$	25.6	17.24 ч
♆	Нептун	30.0611	164.79 лет	$1.024 \cdot 10^{26}$	24.7	16.11 ч