

МОСКОВСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА 2016–2017 уч. г.

ОЧНЫЙ ЭТАП

10–11 классы

Задание 1 (4 балла)

В книге Б.А. Воронцова-Вельяминова «Очерки о Вселенной» 1959 года приведена формула для определения абсолютной звёздной величины:

$$M = m + 7\frac{1}{2} - 5\lg D.$$

В то же время в «Общем курсе астрономии» Э. В. Кононовича и В. И. Мороза используется формула

$$M = m + 5 - 5\lg r.$$

Здесь M и m – абсолютная и видимая звёздные величины, D и r – расстояние до звезды. Объясните, почему формулы разные и какая правильная?

Задание 2 (4 балла)

Многие участники 70-й Московской астрономической олимпиады писали, что раз Солнце за время своей жизни на главной последовательности (10^{10} лет) расходует 10 % запасов водорода, значит, за это время масса Солнца уменьшится на 10 %. Оцените светимость Солнца, если бы оно действительно за 10 млрд лет перерабатывало водород таким образом. Бывают ли звёзды главной последовательности с такой светимостью?

Задание 3 (8 баллов)

Закон Серсика – эмпирический закон, устанавливающий зависимость поверхностной яркости галактики I от углового расстояния до её центра r . Закон имеет вид

$$I(r) = I_0 \cdot e^{-r/h},$$

где I_0 – поверхностная яркость в центре изображения галактики, h – расстояние, на котором поверхностная яркость падает в $e \approx 2,7$ раза. Обработав данные о некоторой галактике, астроном получил, что угловое расстояние между изофотами (линиями с одинаковой поверхностной яркостью) 25-й и 24-й звёздной величины равно $0,03^\circ$. Чему равно угловое расстояние между изофотами 20-й звёздной величины (центральная часть галактики) и 25-ой (граница галактики)? Чему равен линейный радиус галактики, если скорость удаления галактики 300 км/с?

Задание 4 (8 баллов)

Радиотелескопы в Грин-Бэнк ($38^{\circ} 26'$ с. ш., $70^{\circ} 50'$ з. д.) и Сардинии ($39^{\circ} 30'$ с. ш., $9^{\circ} 15'$ в. д.) проводят совместные радиоастрономические наблюдения. Определите максимально возможную продолжительность наблюдательного сеанса за объектом Стрелец А* со склонением -29° . Объекты с какими склонениями можно наблюдать с этим интерферометром? Для простоты считайте, что антенна может сопровождать объект, пока он не скроется за горизонтом.

Задание 5 (8 баллов)

В середине 2017 года, на заключительном этапе миссии Cassini-Huygens у Сатурна, аппарат хотят перевести на полярную орбиту с постепенно уменьшающимся радиусом и в конце концов погрузить в атмосферу планеты. Предполагая, что переход с экваториальной орбиты вокруг Сатурна радиусом 1 млн километров на круговую полярную орбиту выполняется одним манёвром, найдите модуль и направление импульса, который для этого потребуется. Масса аппарата составляет 2,2 т. Что более энергозатратно, улететь с орбиты вокруг Сатурна или выполнить данный манёвр? Во сколько раз будут отличаться нужные импульсы?

Задание 6 (16 баллов)

Для выполнения задания используйте вкладку с цветными иллюстрациями.

11 февраля 2017 года отмечено не только проведением 71-й Московской астрономической олимпиады, но и полутеневым лунным затмением.

| Схема затмения | |
|-----------------------|--|
| | <p>Две тёмные концентрические окружности показывают тень и полутень Земли. Три малых окружности соответствуют положению Луны в начале, середине и конце затмения. Длинной горизонтальной линией обозначена линия эклиптики, стороны света отмечены короткими штрихами на краях полутени.</p> |
| | <p>Максимальная фаза полутеневого затмения: 0,9884. Максимальная фаза теневого затмения: $-0,0354$. (Фазой затмения называют долю диаметра Луны, закрытую затмевающим «объектом»: тенью или полутенью.)</p> |

| Событие | Всемирное время (UTC), часы:минуты (10/11 февраля) |
|------------------------------|---|
| Начало полутеневого затмения | 22:34 |
| Максимальное затмение | 00:44 |
| Конец полутеневого затмения | 02:53 |

Во время полутеневого затмения Луна не попадает в тень Земли.

Луна пройдёт восходящий узел орбиты 11 февраля в 19.50 по UTC.

1. Вам представлено 6 фотографий, на одной (или нескольких) из которых изображена Луна в фазе полутеневого затмения (конечно, среди них нет фотографии **сегодняшнего** затмения). Укажите эту(и) фотографию(и) и объясните, почему Вы так решили. Также объясните, почему на остальных фотографиях Луна не находится в фазе полутеневого затмения.

2. С какой стороны (сверху/снизу/справа/слева) на схеме затмения находится направление на север?

3. В каких созвездиях находятся Земля и Солнце для наблюдателя, находящегося вблизи Северного полюса Луны (считайте, что небесные тела находятся выше линии местного лунного горизонта)?

4. Пользуясь данными из условия, определите, где на Земле можно было наблюдать данное затмение. Считайте, что метеорологические условия не препятствовали наблюдениям.

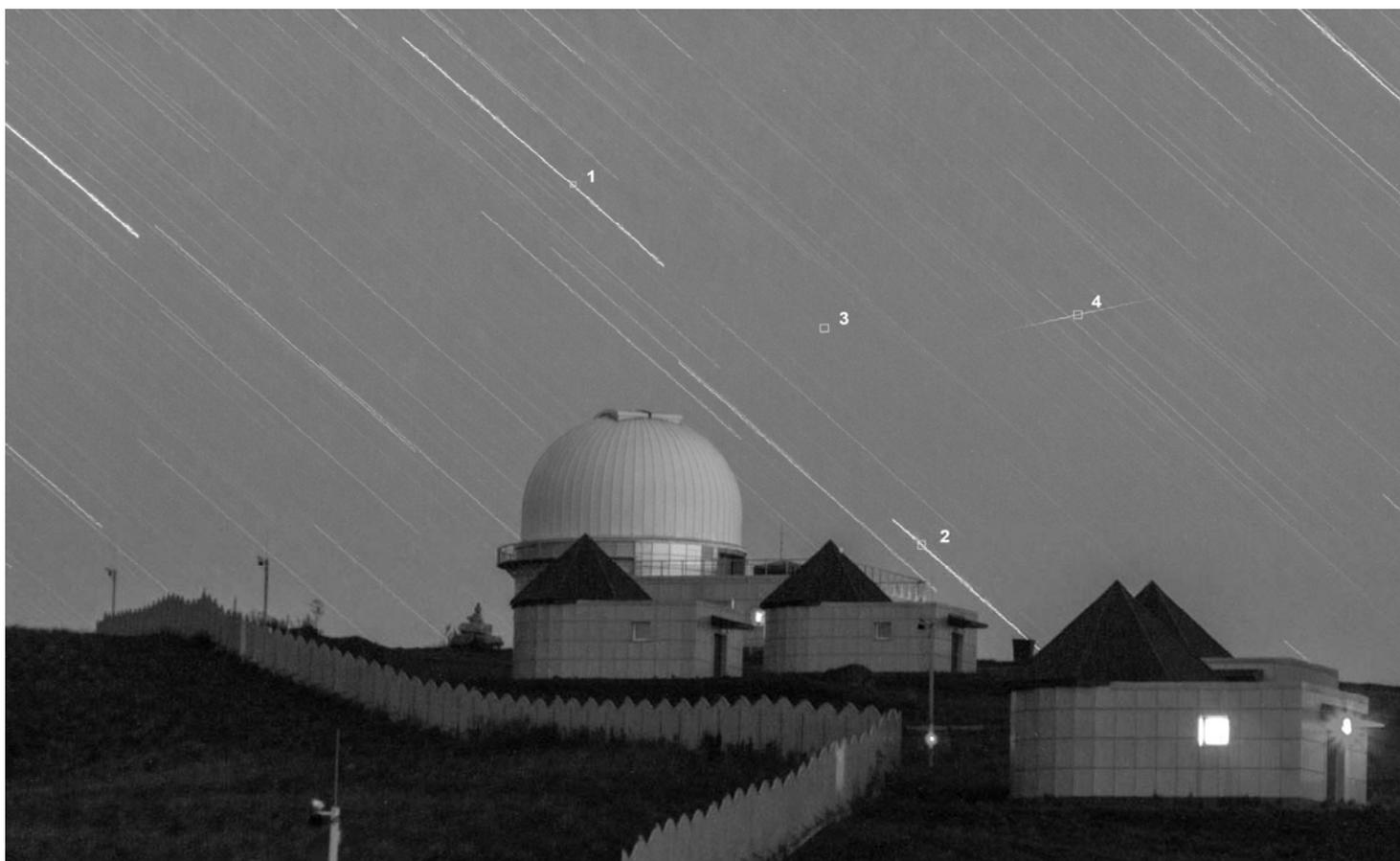
- а) Северный полюс (90° с. ш.)
- б) Сан-Томе (0° с. ш., 7° в. д.)
- в) Науру (1° ю. ш., 167° в. д.)
- г) Южный полюс (90° ю. ш.)

5. Определите минимальную высоту спутника на окололунной орбите, который мог бы попасть в зону видимости полного солнечного затмения.

Задание 7 (12 баллов)

Вам дан снимок, сделанный в Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ с выдержкой 10 минут. Размер матрицы фотоаппарата $22,5 \times 15,0$ мм. А так же количество отсчётов в выделенных точках кадра. Определите фокусное расстояние объектива и видимую звёздную величину метеора, если считать, что длительность его полёта составляла 2 секунды. Звёздная величина звезды, на треке которой стоит точка, 2: $2,8^m$.

| | | | |
|------------|------------|-----------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 213 | 225 | 88 | 190 |



Задание 8 (12 баллов)

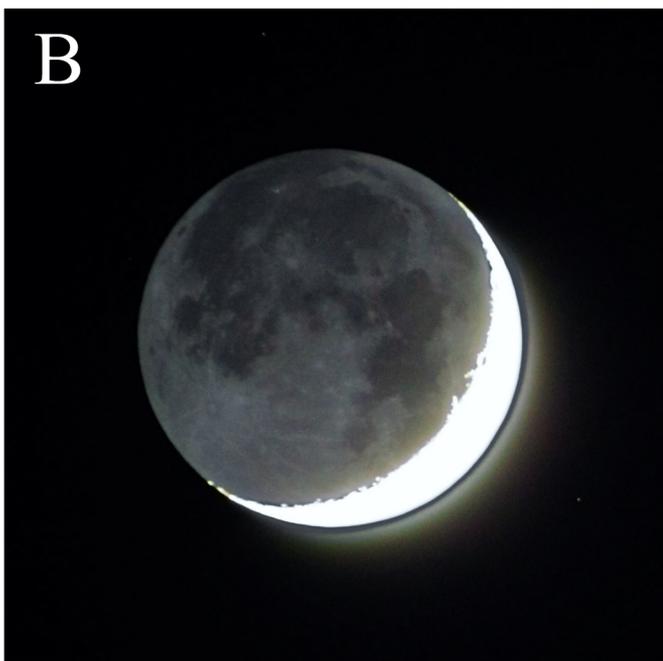
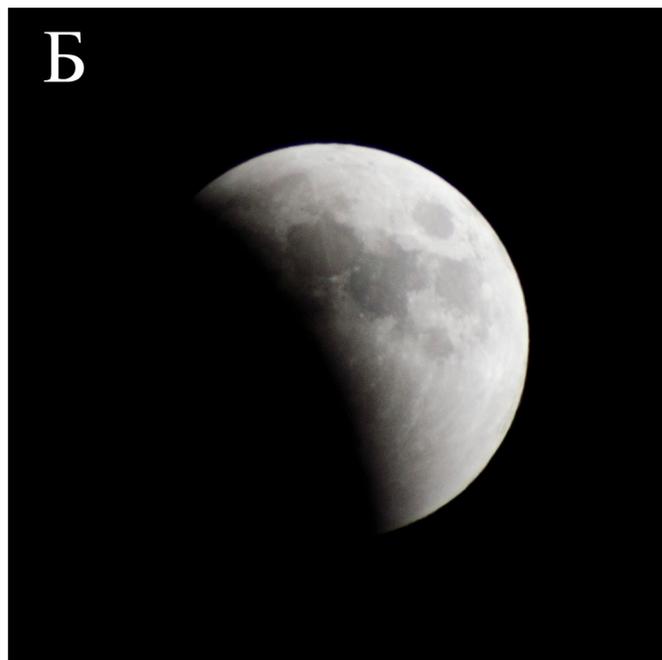
Для выполнения задания используйте вкладку с цветными иллюстрациями.

Во время солнечного затмения, наблюдавшегося вскоре после восхода Солнца, была получена видеозапись пролёта ИСЗ на фоне солнечного диска. После этого полученные кадры были смонтированы на один снимок. Оцените частоту (в кадрах/сек) работы использованной видеокамеры, если известно, что орбита спутника круговая, а её радиус 6800 км.

10-11 класс. Задание 8.



6-7 класс и 8-9 класс - Задание 5. 10-11 класс - Задание 6.



СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$.

Скорость света в вакууме $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$.

Постоянная Планка $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.

Постоянная Стефана–Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$.

Масса протона $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

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 $1 \text{ пк} = 206\,265 \text{ а.е.} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$.

Постоянная Хаббла $H = 67,8 \text{ (км/с)/Мпк}$.

Возраст Вселенной $t_0 = 13,81 \cdot 10^9 \text{ лет}$.

Данные о Солнце

Светимость $3,88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$.

Абсолютная болометрическая звёздная величина $+4,72\text{m}$.

Показатель цвета $(B - V) + 0,67^{\text{m}}$.

Средний горизонтальный параллакс $8,794^\circ$.

Скорость движения в Галактике 230 км/с .

Интегральный поток энергии на расстоянии Земли 1360 Вт/м^2 .

Спектральный класс G2.

Видимая звёздная величина $-26,78\text{m}$.

Эффективная температура 5800 К .

Данные о Земле

Эксцентриситет орбиты $0,017$.

Тропический год $365,242\,19$ суток.

Средняя орбитальная скорость $29,8 \text{ км/с}$.

Период вращения 23 часа 56 минут 04 секунды.

Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000 года: $23^\circ 26'21,45''$.

Экваториальный радиус $6378,14 \text{ км}$.

Полярный радиус $6356,77 \text{ км}$.

Масса $5,974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$.

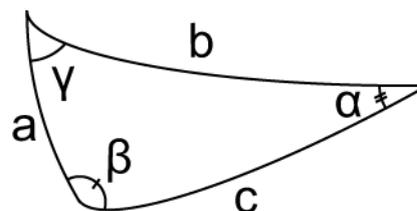
Средняя плотность $5,52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$.

Сферическая тригонометрия

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos \alpha$$

$$\frac{\sin a}{\sin \alpha} = \frac{\sin b}{\sin \beta} = \frac{\sin c}{\sin \gamma}$$

$$\sin a \cos \gamma = \sin b \cos c - \cos b \sin c \cos \alpha$$



ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРБИТ ПЛАНЕТ И ПЛУТОНА

| Планета | Большая полуось | | Эксцентриситет | Наклон к плоскости эклиптики | Период обращения | Синодический период |
|----------|-----------------|---------|----------------|------------------------------|------------------|---------------------|
| | млн км | а.е. | | | | |
| Меркурий | 57,9 | 0,3871 | 0,2056 | 7,004 | 87,97 суток | 115,9 |
| Венера | 108,2 | 0,7233 | 0,0068 | 3,394 | 224,70 суток | 583,9 |
| Земля | 149,6 | 1,0000 | 0,0167 | 0,000 | 365,26 суток | — |
| Марс | 227,9 | 1,5237 | 0,0934 | 1,850 | 686,98 суток | 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 |
| Плутон | 5906,5 | 39,4821 | 0,2488 | 17,14 | 247,92 лет | 366,7 |

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЦА И ПЛАНЕТ

| Планета | Масса | | Радиус | | Плотность | Период вращения вокруг оси | Наклон экватора к плоскости орбиты | Геометрическое альbedo | Вид. звёздная величина* |
|----------|-----------------------|-------------|---------|---------------|-----------|----------------------------|------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| | кг | массы Земли | км | радиусы Земли | | | | | |
| Солнце | $1,989 \cdot 10^{30}$ | 332 946 | 695 000 | 108,97 | 1,41 | 25,380 суток | 7,25 | — | –26,8 |
| Меркурий | $3,302 \cdot 10^{23}$ | 0,05271 | 2439,7 | 0,3825 | 5,42 | 58,646 суток | 0,00 | 0,10 | –0,1 |
| Венера | $4,869 \cdot 10^{24}$ | 0,81476 | 6051,8 | 0,9488 | 5,20 | 243,019 суток** | 177,36 | 0,65 | –4,4 |
| Земля | $5,974 \cdot 10^{24}$ | 1,00000 | 6378,1 | 1,0000 | 5,52 | 23,934 часов | 23,45 | 0,37 | — |
| Марс | $6,419 \cdot 10^{23}$ | 0,10745 | 3397,2 | 0,5326 | 3,93 | 24,623 часов | 25,19 | 0,15 | –2,0 |
| Юпитер | $1,899 \cdot 10^{27}$ | 317,94 | 71492 | 11,209 | 1,33 | 9,924 часов | 3,13 | 0,52 | –2,7 |
| Сатурн | $5,685 \cdot 10^{26}$ | 95,181 | 60268 | 9,4494 | 0,69 | 10,656 часов | 25,33 | 0,47 | 0,4 |
| Уран | $8,683 \cdot 10^{25}$ | 14,535 | 25559 | 4,0073 | 1,32 | 17,24 часов** | 97,86 | 0,51 | 5,7 |
| Нептун | $1,024 \cdot 10^{26}$ | 17,135 | 24746 | 3,8799 | 1,64 | 16,11 часов | 28,31 | 0,41 | 7,8 |

* – Для наибольшей элонгации внутренних планет и среднего противостояния внешних планет.

** – Обратное вращение.