

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ  
(МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП)  
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР  
возрастная группа (**11 класс**)

Максимальная оценка – 48 балла.

**ЗАДАНИЕ 1.**

На рисунке (*Приложение 1*) представлен снимок звездного неба, сделанный перед восходом Солнца 7 декабря 2023 г. во Владимире. На снимке отмечены астеризмы.

Найдите астеризмы созвездий:

- |               |              |
|---------------|--------------|
| 1) Кассиопея; | 4) Близнецы; |
| 2) Цефей;     | 5) Волопас.  |
| 3) Лебедь;    |              |

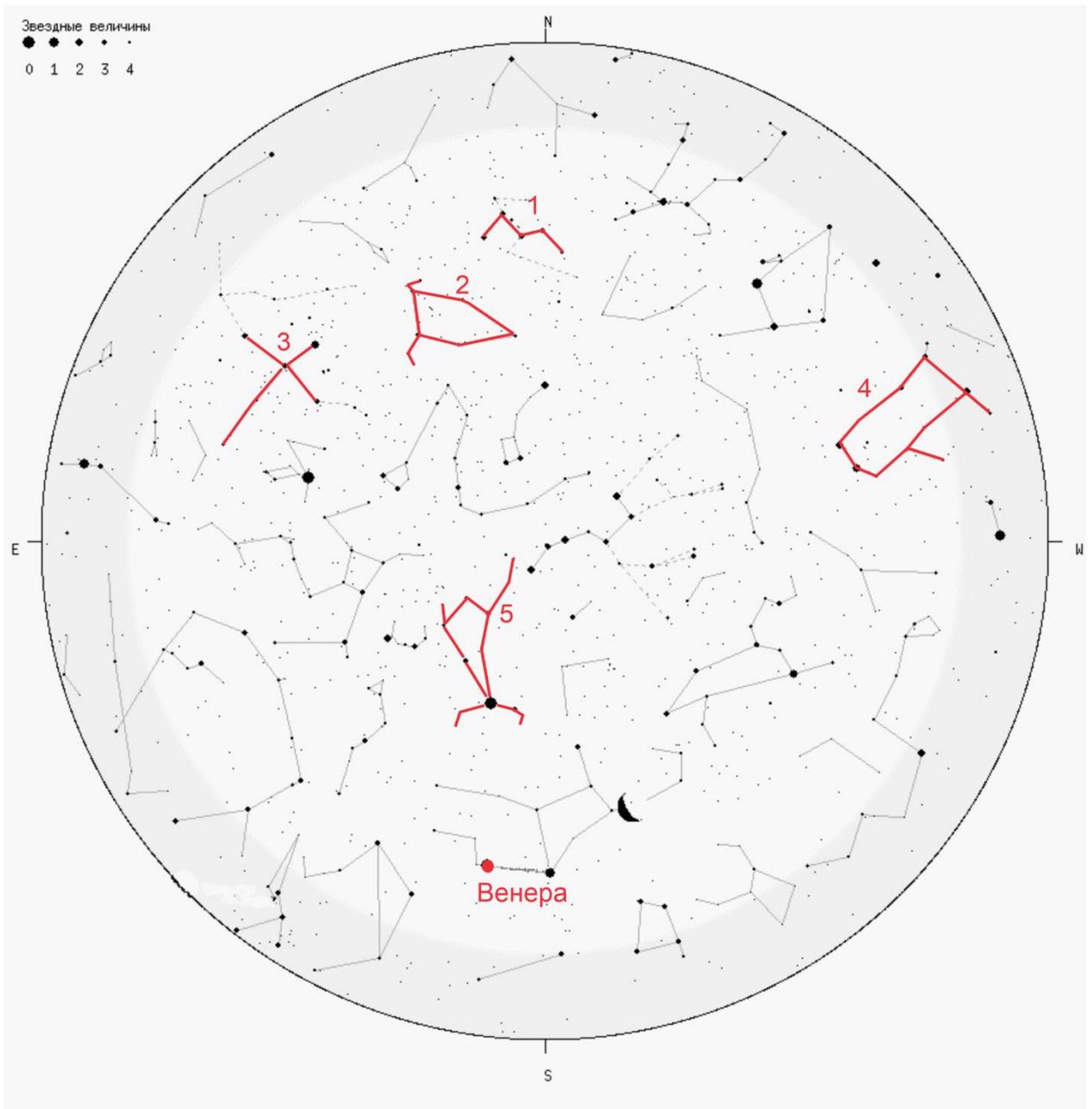
Обведите астеризмы на рисунке и подпишите соответствующие цифры созвездий на рисунке. Какая планета видна на небе? Ответ обоснуйте. Отметьте ее на рисунке. Как называется созвездие, в котором она находится?

*Приложение 1 сдается вместе с решениями.*

*Максимальный балл – 8*

**Решение.**

Решение представлено на рисунке ниже. На небе наблюдается Венера («утренняя звезда») в созвездии Девы. Поскольку Венера ближе к Солнцу, чем Земля, она никогда не удаляется от Солнца более чем на  $47,8^\circ$ . Поэтому планета видна незадолго до восхода в восточной части небосклона или через некоторое время после захода Солнца в западной.



***Критерии оценивания***

За каждый верно отмеченный и подписанный астеризм по 1 баллу.	5 баллов
Обоснованно названа верная планета	1 балл
Ответ без обоснования оценивается в 0 баллов	
Планета верно отмечена	1 балл
Дано название созвездия, в котором находится Венера	1 балл
Всего	8 баллов

## ЗАДАНИЕ 2.

Юный астроном из Владимира ( $56^{\circ}08'$  с. ш.), наблюдая Альдебаран в созвездии Тельца ( $\delta = 16^{\circ}31'$ ,  $\alpha = 04^{\text{h}}36^{\text{m}}$ ), заметил, что в момент, когда звезда находилась в кульминации, другая, неизвестная звезда, так же находилась в кульминации. В дневник наблюдений, он внес данные о высотах звезд в этот момент, и оказалось, что сумма высот составила  $95^{\circ}$ . Определите склонение второй звезды.

Максимальный балл – 8

### Решение.

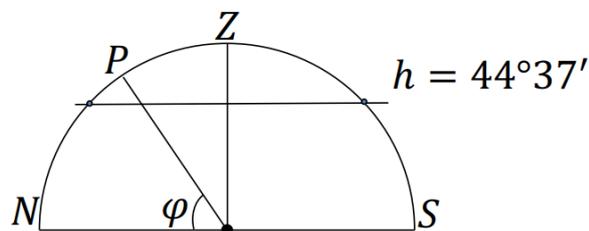
Не указано, о какой кульминации звезды Альдебаран идет речь, проверим высоту и в верхней и в нижней кульминациях

$$h_{\text{в1}} = 90^{\circ} - |\varphi - \delta| = 90^{\circ} - |56^{\circ}08' - 16^{\circ}31'| = 90^{\circ} - 39^{\circ}37' = 50^{\circ}23',$$

$$h_{\text{н1}} = \varphi + \delta - 90^{\circ} = 56^{\circ}08' + 16^{\circ}31' - 90^{\circ} = 72^{\circ}39' - 90^{\circ} = -17^{\circ}21'.$$

Нижняя кульминация звезды происходит под горизонтом, значит, астроном мог наблюдать во Владимире только верхнюю кульминацию звезды Альдебаран.

Сумма высот звезд составила  $100^{\circ}$ , значит высота в кульминации второй звезды  $h = 95^{\circ} - 50^{\circ}23' = 44^{\circ}37'$ . Из рисунка видно, что для второй звезды можно наблюдать как верхнюю кульминацию, причем к югу от зенита, так и нижнюю кульминацию.



Тогда для второй звезды

$$h_{\text{в2}} = 90^{\circ} - \varphi + \delta_2,$$

$$\delta_2 = h_{\text{в2}} + \varphi - 90^{\circ} = 44^{\circ}37' + 56^{\circ}08' - 90^{\circ} = 10^{\circ}45'.$$

Или

$$h_{\text{н2}} = \varphi + \delta_2 - 90^{\circ},$$

$$\delta_2 = h_{\text{н2}} + 90^{\circ} - \varphi = 44^{\circ}37' + 90^{\circ} - 56^{\circ}08' = 78^{\circ}29'.$$

Ответ. Склонение звезды  $10^{\circ}45'$  или  $78^{\circ}29'$ .

### Критерии оценивания

Указано, что в задаче не говорится, о том, какая кульминация рассматривается для Альдебарана	1 балл
Выполнен расчет высот для звезды Альдебаран для нижней и верхней кульминации	1 балл
Указано, что нижняя кульминация звезды Альдебаран во Владимире не наблюдается	1 балл
Рассчитана высота в кульминации для второй звезды	1 балл
Обоснованно указано, что полученная высота для второй звезды, может быть как в нижней кульминации, так и в верхней к югу от зенита.	2 балла
Верно получены два варианта склонения для второй звезды (по 1 баллу за каждый вариант).	2 балла
Всего	8 баллов

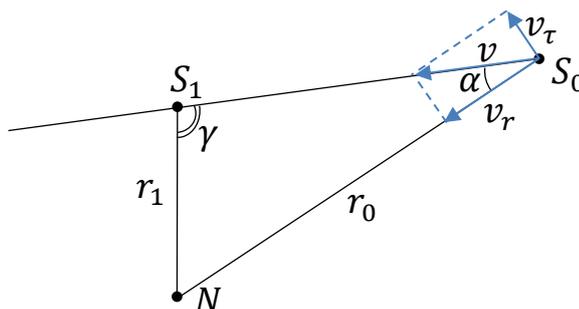
### ЗАДАНИЕ 3.

Звезда Барнарда в созвездии Змееносца обладает самой большой среди известных звезд скоростью перемещения по небесной сфере. Известно, что её годичный параллакс  $0,547''$ , собственное движение составляет  $10,35''$  в год и лучевая скорость  $-106,6 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . Через сколько лет звезда Барнарда окажется к нам в два раза ближе, чем сейчас?

Максимальный балл – 8

### Решение.

Пусть  $S_0$  первоначальное положение звезды на расстоянии  $r_0$  от наблюдателя  $N$ , тогда  $S_1$  – положение на расстоянии  $r_1$  в два раза меньшем от наблюдателя  $N$  (см. рисунок).



$$v_{\tau} = 4,74 \frac{\mu}{\pi} = 4,74 \cdot \frac{10,35}{0,547} = 89,69 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

$$v = \sqrt{v_{\tau}^2 + v_r^2} = 139,3 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

$$\sin \alpha = \frac{v_{\tau}}{v} = \frac{89,69}{139,3} = 0,643.$$

По теореме синусов

$$\frac{r_1}{\sin \alpha} = \frac{r_0}{\sin \gamma}, \sin \gamma = \frac{r_0}{r_1} \sin \alpha = 2 \cdot 0,643 = 1,286.$$

Такого значения синуса быть не может, значит, звезда Барнарда никогда не будет к нам в два раза ближе.

Ответ. Звезда Барнарда не может приблизиться к нам в 2 раза.

#### ***Критерии оценивания***

Определена трансверсальная скорость звезды	2 балл
Определена полная скорость звезды	2 балл
Определено значение синусов углов в треугольнике $S_0S_1N$	2 балла
Получено противоречие, определено, что звезда не может быть к нам в два раза ближе	2 балла
Всего	8 баллов

#### **ЗАДАНИЕ 4.**

3 ноября 2023 года произошло противостояние Юпитера. Расстояние до Юпитера в это время составляет 4 а.е. Будет ли видно в школьный телескоп с увеличением в 20 раз Большое красное пятно на Юпитере, если его протяженность составляет 16 500 км. Считать, что человеческий глаз может различать детали, видимые под углом в  $1'$ .

*Максимальный балл – 8*

#### **Решение.**

Увеличение телескопа равно отношению угловых размеров объекта, наблюдаемых с телескопом и без него  $\Gamma = \frac{\beta}{\alpha} = 20$ . Предельный угловой размер, получаемый на выходе из телескопа должен составлять  $\beta = 1'$ , тогда

$\alpha'' = \frac{\beta''}{\Gamma} = \frac{60''}{20} = 3''$ . Это соответствует линейному размеру объекта  $l = \frac{\alpha'' \cdot r}{206265}$ , где  $r$  – расстояние до объекта, 206265 – количество секунд в радиане.

$$l = \frac{3'' \cdot 4 \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ км}}{206265''} = 8\,727 \text{ км.}$$

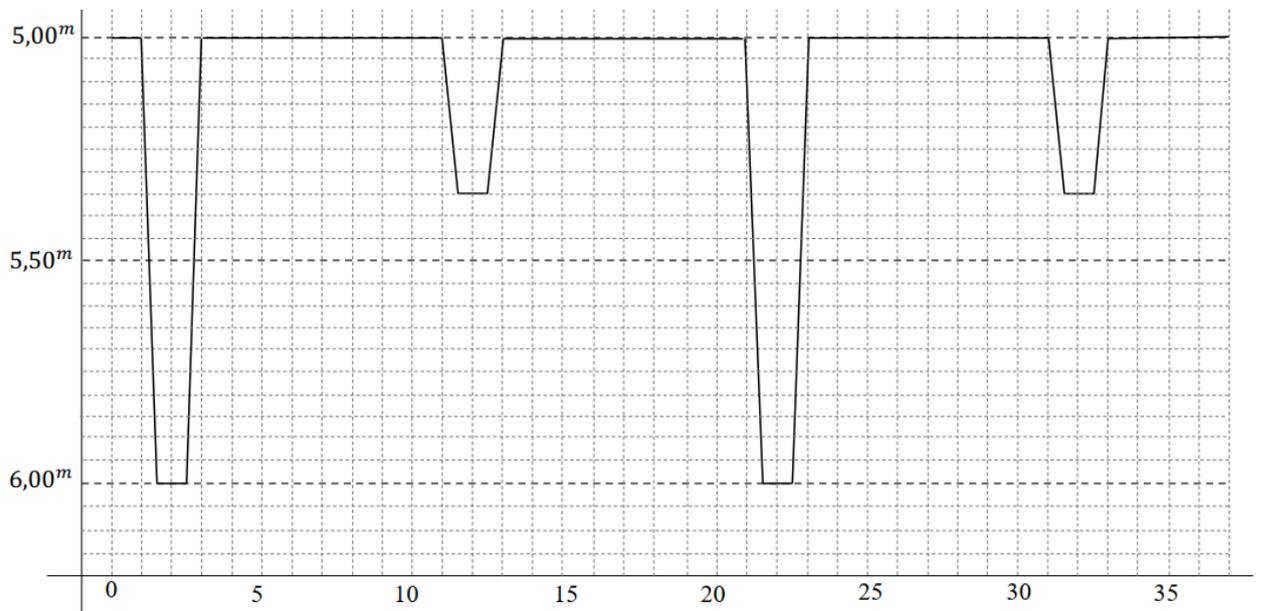
Т.е. в школьный телескоп будут видны объекты, линейный размер которых больше 8 727 км. Так как размер Большого красного пятна составляет 16 500 км, то его можно различить в школьный телескоп с 20 кратным увеличением.

#### ***Критерии оценивания***

Записана формула для увеличения телескопа	1 балл
Определен предельный угловой размер $\alpha$ объектов различимых в телескоп	2 балла
Определен линейный размер объектов, соответствующий угловому размеру $\alpha$	1 балл
Сделан вывод о возможности наблюдения Большого красного пятна в телескоп с увеличением в 20 раз	1 балл
Всего	8 баллов
<b><i>Ответ без решения не учитывается.</i></b>	

#### **ЗАДАНИЕ 5.**

Наблюдатель построил кривую блеска затменно-переменной звезды (по горизонтальной оси отложено время в сутках, по вертикальной оси — видимая звездная величина системы). Определите видимые звездные величины звезд, входящих в систему. Ответ дать с точностью до сотых.



Максимальный балл – 8

### Решение.

Из графика видно, что суммарный блеск двух звезд (т.е. блеск системы вне затмений) составляет  $m_{\Sigma} = 5,00^m$ . На кривой есть два вида минимумов: в главном минимуме  $m' = 6,00^m$ , во вторичном  $m'' = 5,35^m$ . Заметим, что в минимумах есть периоды постоянного блеска (плато). Это говорит о том, что одна из звезд полностью скрывается за другой и находится за ней некоторое время, а так же, что размеры звезд разные.

Один из минимумов должен соответствовать случаю, когда одна звезда находится за другой. Рассмотрим два случая.

1) Вторичный минимум может соответствовать случаю, когда более яркая звезда с видимой звездной величиной  $m_1 = 5,35^m$  крупнее и закрывает менее яркую звезду. По формуле Погсона  $m_{\Sigma} - m_1 = -2,5 \lg \left( \frac{E_1 + E_2}{E_1} \right) = -2,5 \lg \left( 1 + \frac{E_2}{E_1} \right)$ , где  $E_1 + E_2$  – суммарная освещенность, создаваемая двумя звездами, когда они не закрывают друг друга,  $E_1$  и  $E_2$  – освещенности, создаваемые соответственно каждой звездой в отдельности. Откуда получаем  $\frac{E_2}{E_1} = 10^{-0,4(m_{\Sigma} - m_1)} - 1 = 10^{-0,4(5,00^m - 5,35^m)} - 1 = 0,380$ , тогда  $m_2 - m_1 =$

$$-2,5 \lg \frac{E_2}{E_1} = -2,5 \lg 0,380 = 1,05^m \quad \text{и} \quad m_2 = 1,05^m + m_1 = 1,05^m + 5,35^m = 6,40^m.$$

2) Главный минимум может соответствовать случаю, когда менее яркая звезда с видимой звездной величиной  $m_1 = 6,00^m$  крупнее и закрывает более яркую звезду. По формуле Погсона  $m_\Sigma - m_1 = -2,5 \lg \left( \frac{E_1 + E_2}{E_1} \right) = -2,5 \lg \left( 1 + \frac{E_2}{E_1} \right)$ , где  $E_1 + E_2$  – суммарная освещенность, создаваемая двумя звездами, когда они не закрывают друг друга,  $E_1$  и  $E_2$  – освещенности, создаваемые соответственно каждой звездой в отдельности. Откуда получаем  $\frac{E_2}{E_1} = 10^{-0,4(m_\Sigma - m_1)} - 1 = 10^{-0,4(5,00^m - 6,00^m)} - 1 = 1,512$ , тогда  $m_2 - m_1 = -2,5 \lg \frac{E_2}{E_1} = -2,5 \lg 1,521 = -0,45^m$  и  $m_2 = -0,45^m + m_1 = -0,45^m + 6,00^m = 5,55^m$ .

Ответ. Система состоит из двух звезд, видимая звездная величина которых 1)  $5,35^m$  и  $6,40^m$ , или 2)  $6,00^m$  и  $5,55^m$ .

### ***Критерии оценивания***

Получение информации из графика	1 балл
Описание возможных случаев	2 балла
Расчет звездных величин в первом случае	2 балл
Расчет звездных величин во втором случае	2 балл
Формулировка окончательного ответа	1 балл
Всего	8 баллов

### **ЗАДАНИЕ 6.**

Первый Искусственный спутник Луны — советская автоматическая станция «Луна-10», запущенная 31 марта 1966. Его период обращения вокруг Луны составлял 3 часа, в перигентре орбиты его высота составляла 350 км над поверхностью Луны, а в апоцентре 1017 км. По движению спутника оцените массу Луны в массах Земли.

*Максимальный балл – 8*

### Решение.

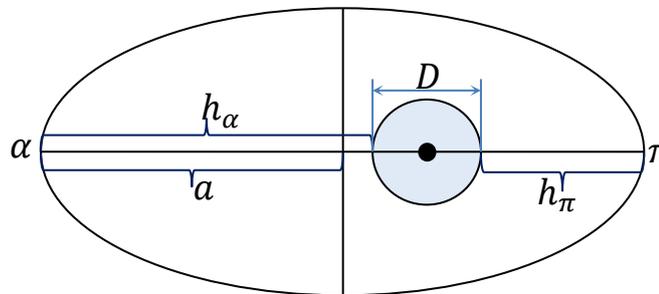
Запишем третий обобщенный закона Кеплера  $\frac{T^2(m+M)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G}$  для движения спутника вокруг Луны (пренебрегая массой спутника) и для движения Луны вокруг Земли (пренебрегая массой Луны), приравняем

$$\frac{T_c^2 M_L}{a_c^3} = \frac{T_L^2 M_Z}{a_L^3},$$

отсюда

$$M_L = \frac{T_L^2 a_c^3}{T_c^2 a_L^3} \cdot M_Z.$$

Рассчитаем большую полуось орбиты спутника (см.рисунок).



$$a_c = \frac{h_\alpha + h_\pi + 2R_L}{2} = \frac{1017\text{км} + 350\text{км} + 2 \cdot 1738\text{км}}{2} = 2421,5 \text{ км}.$$

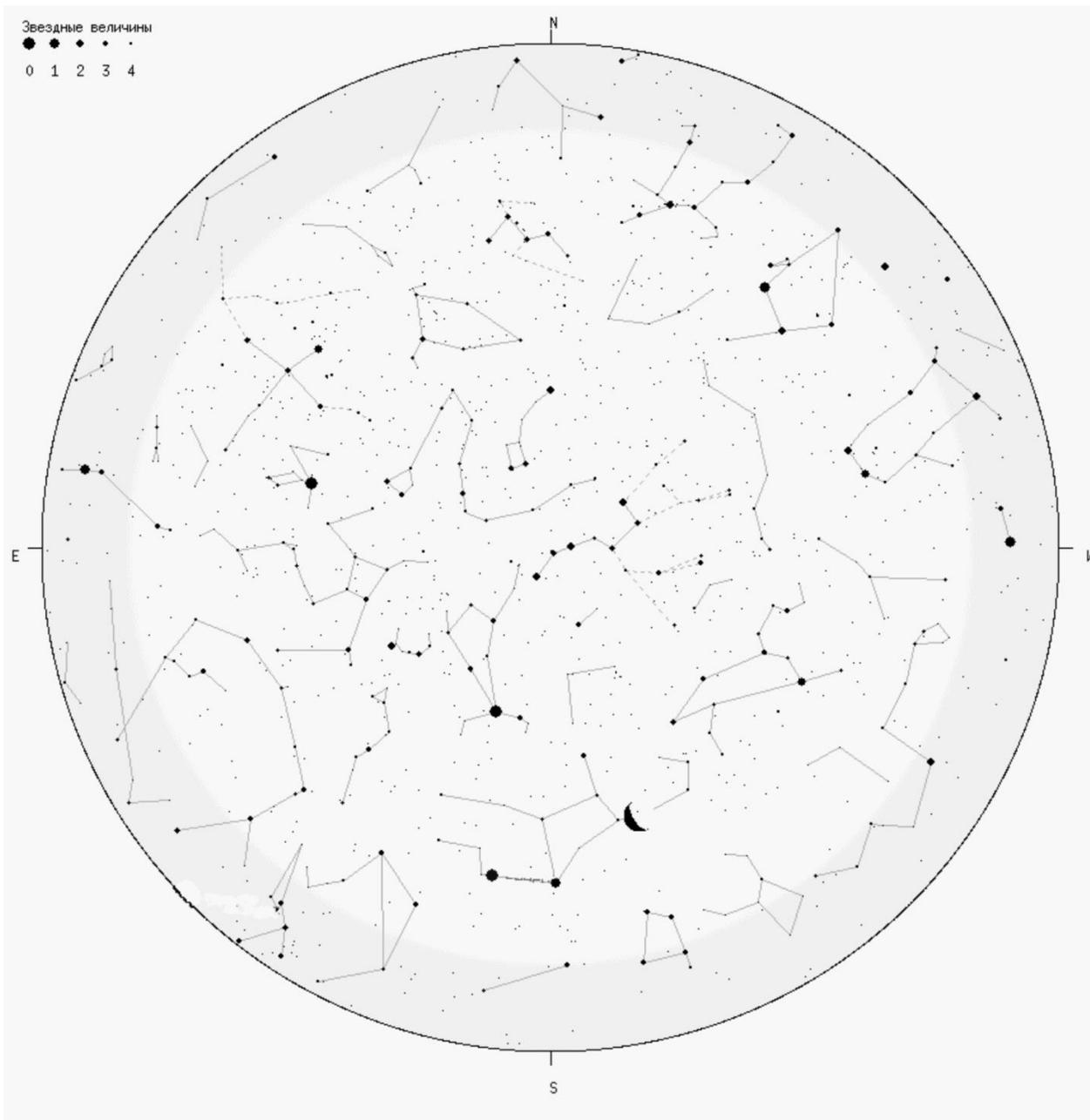
Из справочных данных  $a_L = 384400 \text{ км}$ ,  $T_L = 27,321662 \text{ сут} \approx 656 \text{ ч}$ .

$$M_L = \frac{(656 \text{ ч})^2 (2421,5 \text{ км})^3}{(3 \text{ ч})^2 (384400 \text{ км})^3} \cdot M_Z = 0,012 \cdot M_Z.$$

Ответ.  $M_L = 0,012 \cdot M_Z$ .

### Критерии оценивания

Записан III обобщенный закон Кеплера	2 балл
Применение III обобщенный закона Кеплера для движения спутника вокруг Луны, и Луны вокруг Земли	2 балла
Расчет большой полуоси орбиты спутника	2 балл
Определение массы Луны в массах Земли	2 балл
Всего	8 баллов



## Справочные материалы

### 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  $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Астрономическая единица  $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$

Парсек  $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

#### Данные о Луне

Среднее расстояние от Земли 384400 км

Сидерический (звездный) период обращения 27.321662 суток

Синодический период обращения 29.530589 суток

Радиус Луны 1738 км

#### Характеристики орбит планет

Планета	Расстояние от Солнца	Масса	Радиус	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты
	а.е.	кг	км		градусы
Солнце		$1.989 \cdot 10^{30}$	697000	25.380 сут	7.25
Меркурий	0,4	$3.302 \cdot 10^{23}$	2439.7	58.646 сут	0.00
Венера	0,7	$4.869 \cdot 10^{24}$	6051.8	243.019 сут**	177.36
Земля	1,0	$5.974 \cdot 10^{24}$	6378.1	23.934 час	23.45
Марс	1,5	$6.419 \cdot 10^{23}$	3397.2	24.623 час	25.19
Юпитер	5,2	$1.899 \cdot 10^{27}$	71492	9.924 час	3.13
Сатурн	9,6	$5.685 \cdot 10^{26}$	60268	10.656 час	26.73
Уран	19,2	$8.683 \cdot 10^{25}$	25559	17.24 час	97.86
Нептун	30,0	$1.024 \cdot 10^{26}$	24746	16.11 час	28.31

#### Физические характеристики Солнца и планет

Планета	Масса	Радиус	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Видимая звездная величина
	кг	км		градусы	
Солнце	$1.989 \cdot 10^{30}$	697000	25.380 сут	7.25	-26.8
Меркурий	$3.302 \cdot 10^{23}$	2439.7	58.646 сут	0.00	-0.1
Венера	$4.869 \cdot 10^{24}$	6051.8	243.019 сут	177.36	-4.4
Земля	$5.974 \cdot 10^{24}$	6378.1	23.934 час	23.45	-
Марс	$6.419 \cdot 10^{23}$	3397.2	24.623 час	25.19	-2.0
Юпитер	$1.899 \cdot 10^{27}$	71492	9.924 час	3.13	-2.7
Сатурн	$5.685 \cdot 10^{26}$	60268	10.656 час	26.73	0.4
Уран	$8.683 \cdot 10^{25}$	25559	17.24 час	97.86	5.7
Нептун	$1.024 \cdot 10^{26}$	24746	16.11 час	28.31	7.8