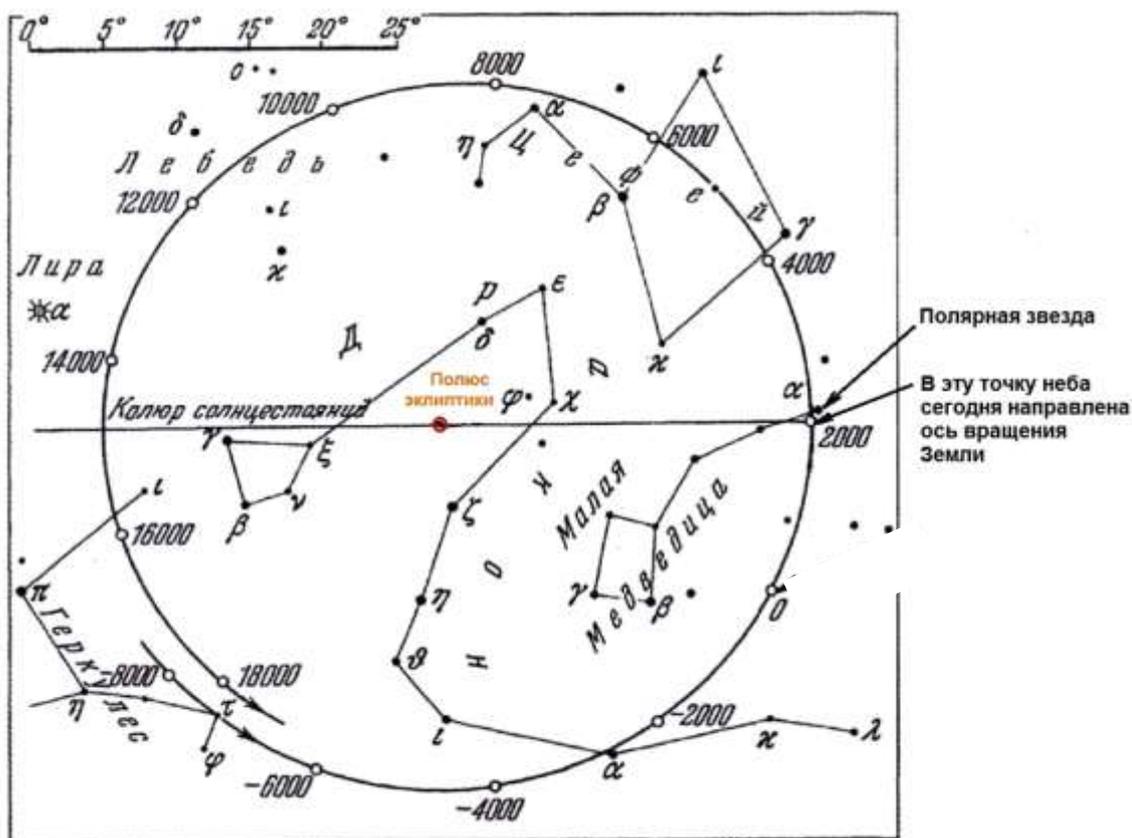


**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии  
2022-2023 учебный год  
11 класс  
Максимальный балл – 50 баллов**

**Задача №1. «Прецессия».** (Максимальный балл – 10 баллов)  
За сколько лет Северный полюс мира опишет дугу в  $5^{\circ}$ ?



**Возможное решение:**

Период прецессии земной оси составляет примерно 25500 лет (см. рисунок). При этом полный поворот составляет  $360^{\circ}$ . Тогда, для того чтобы Северный полюс мира описал дугу в  $5^{\circ}$ , необходимо:

$$t = \frac{5 \cdot 25500}{360} = 354.1 \text{ года}$$

**Схема оценивания:**

№	Этап решения	Балл
1	Найден период прецессии земной оси	5
2	Найдено время, необходимое для поворота Северного полюса мира на $5^{\circ}$	5
	<b>Итого:</b>	<b>10</b>

**Задача №2. «И дольше века...». (Максимальный балл – 10 баллов)**

Космонавт подпрыгнул на железном не вращающемся астероиде радиусом 500 метров с начальной скоростью 1 м/с вертикально вверх. Через какое время после прыжка он вернется на прежнее место? Объем шара считаем по формуле  $V=4/3 \pi R^3$ , плотность железа 7800 кг/м<sup>3</sup>.

**Возможное решение:**

Запишем закон сохранения энергии для прыгнувшего космонавта

$$-G \frac{Mm}{R} + \frac{mv^2}{2} = -G \frac{Mm}{R+H}$$

где  $M$  – масса астероида,  $m$  – масса космонавта,  $R$  – радиус астероида,  $H$  – высота прыжка,  $v$  – скорость прыжка. После преобразований найдем высоту прыжка космонавта  $H$ .

Движение космонавта после прыжка можно представить как движение по очень вытянутому эллипсу с большой полуосью, равной  $H/2$ . Применим 3 закон Кеплера к движению космонавта по круговой орбите вблизи поверхности астероида и к движению по эллипсу после прыжка:

$$\frac{T_{\text{круг}}^2}{T_{\text{эл}}^2} = \frac{R^3}{\left(\frac{H}{2}\right)^3}$$

где  $T_{\text{круг}}$  – период обращения на низкой круговой орбите,  $T_{\text{эл}}$  – период обращения по эллипсу после прыжка. Для нахождения  $T_{\text{круг}}$  запишем закон всемирного тяготения и второй закон Ньютона:

$$G \frac{Mm}{R^2} = \frac{mv_{\text{круг}}^2}{R}$$

С учетом того, что:

$$T_{\text{круг}} = \frac{2\pi R}{v_{\text{круг}}}$$

Получим:

$$T_{\text{круг}} = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$$

Откуда

$$T_{\text{эл}} = \sqrt{\frac{3\pi H^3}{8G\rho R^3}}$$

Произведя необходимые вычисления, получим  $T_{\text{эл}} = 17,6$  час.

**Схема оценивания:**

№	Этап решения	Балл
1	Записан закон сохранения энергии для движения космонавта	2
2	Нахождение высоты, на которую подпрыгнул космонавт	1
3	Идея, о том, что после прыжка космонавт движется по эллипсу	1

4	Использование 3 закона Кеплера	2
5	Нахождение первой космической скорости для движения по круговой орбите	2
6	Нахождение времени движения после прыжка	2
	<b>Итого:</b>	<b>10</b>

**Задача №3 «Уравнение времени».** (Максимальный балл – 10 баллов)

Уравнение времени ( $\eta$ ) – это разница между средним солнечным временем и истинным солнечным временем в один и тот же момент. Уравнение времени можно аппроксимировать следующим выражением

$$\eta = 7,53\cos(B) + 1,5\sin(B) - 9,87\sin(2B)$$

где  $B = 360^0 \cdot (N-81)/365$ ,  $N$  – порядковый номер дня, начиная с 1 января. С чем связана такая сложная зависимость?

**Возможное решение:**

Вращение Земли вокруг Солнца происходит по эллиптической орбите. Для наблюдателя, находящегося на Земле, это выражается в том, что видимое движение Солнца по эклиптике относительно неподвижных звезд то ускоряется, то замедляется.

Проекция суточного движения Солнца на небесный экватор меняется в течении года.

**Схема оценивания:**

№	Этап решения	Балл
1	Учет эллиптичности орбиты Земли	5
2	От угла наклона плоскости эклиптики к небесному экватору	5
	<b>Итого:</b>	<b>10</b>

**Задача №4. «Земля, Луна, Солнце».** (Максимальный балл – 10 баллов)

Известно, что Луна совершает 13 оборотов вокруг Земли в течение земного года. Кроме того, Солнце примерно в 330 тыс. раз тяжелее Земли. Во сколько раз расстояние от Земли до Солнца больше расстояния от Земли до Луны?

**Возможное решение:**

Закон всемирного тяготения для Земли, вращающейся вокруг Солнца:

$$G \frac{M_3 M_C}{R^2} = M_3 \frac{v_3^2}{R}$$

Период обращения Земли при этом:

$$T = \frac{2\pi R}{v_3}$$

Получаем, что расстояние от Земли до Солнца:

$$R = \sqrt[3]{\frac{GM_C T^2}{4\pi^2}}$$

Закон всемирного тяготения для Луны, вращающейся вокруг Земли:

$$G \frac{M_L M_3}{r^2} = M_L \frac{v_L^2}{r}$$

Период обращения Луны при этом:

$$\frac{T}{13} = \frac{2\pi r}{v_L}$$

Получаем, что расстояние от Луны до Земли:

$$r = \sqrt[3]{\frac{GM_3 T^2}{4\pi^2 13^2}}$$

В результате:

$$\frac{R}{r} = \sqrt[3]{\frac{M_C}{M_3} \cdot 13^2} \approx \mathbf{382} \text{ раза}$$

**Схема оценивания:**

№	Этап решения	Балл
1	Закон всемирного тяготения для Земли, вращающейся вокруг Солнца	2
2	Период обращения Земли	1
3	Расстояние от Земли до Солнца	1
4	Закон всемирного тяготения для Луны, вращающейся вокруг Земли	3
5	Период обращения Луны	1

6	Расстояние от Луны до Земли	1
7	Численный ответ	1
	<b>Итого:</b>	<b>10</b>

Если при решении задачи были использованы численные значения величин из таблиц со справочными материалами, то в сумме выставляется не более 3-х баллов.

**Задача №5 «Двойные звезды».** (Максимальный балл – 10 баллов)

Определите период обращения компонентов двойной звезды друг относительно друга, если известны следующие параметры данной системы: их суммарная масса примерно 4,1 массы Солнца, годичный параллакс двойной звезды 0,379", угловой размер большой полуоси видимой орбиты 7,56"

**Возможное решение:**

По третьему обобщенному закону Кеплера следует

$$M_1 + M_2 = \frac{a^3}{T^2}$$

где  $M_1 + M_2$  - суммарная масса компонентов, выраженная в массах Солнца,  $T$  – период обращения,  $a$  – большая полуось, выраженная в а.е.

При этом:

$$a = \frac{a''}{\pi}$$

Получаем:

$$T = \sqrt{\frac{\left(\frac{a''}{\pi}\right)^3}{M_1 + M_2}} = \sqrt{\frac{(7,56)^3}{(0,379)^3 \cdot 4,1}} = 44,5 \text{ года}$$

**Схема оценивания:**

№	Этап решения	Балл
1	Записан обобщенный 3 закон Кеплера	3
2	Из геометрических соображений найдена большая полуось	3
3	Найдено численное значение периода обращения	4
	<b>Итого:</b>	<b>10</b>