

Рекомендации к решению городской олимпиады по учебному предмету «Астрономия»

для учащихся 9 – 10 – х классов

2023/2024 учебный год

Задание 1. Тунгусская загадка.

Условие. 30 июня 1908 года в $7^{\text{ч}}17^{\text{мин}}00^{\text{с}}$ по местному времени в бассейне реки Подкаменная Тунгуска (Енисейская губерния Российской империи) на высоте около 10 км произошло уникальное природное явление – мощный взрыв космического тела, которое двигалось с юго-востока на северо-запад. Такое событие получило название «Тунгусский метеорит». Координаты эпицентра взрыва $\phi = 60^{\circ}54'07''$ с.ш. и $\lambda = 101^{\circ}55'40''$ в.д. Огромный столб дыма поднялся в атмосферу на высоту $H_{\text{max}} = 30$ км от поверхности Земли.

а) определите максимальное расстояние, с которого был виден столб дыма от взрыва метеорита, если средний радиус Земли $R_3 = 6378$ км.

Решение:

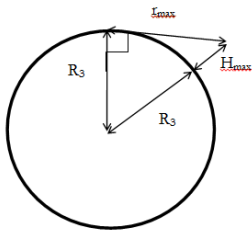


Рисунок [2 балла]

б) определите, в какую дату года произошло это событие по новому стилю.

Решение:

30 июня 1908 г. – это дата по «старому» стилю (Юлианский календарь);

к 30 июня добавляем 13 суток = 13 июля 1908 г. – дата события по «новому» стилю

(Григорианский календарь) (Ответ) [2 балла]

в) каким было значение всемирного времени в момент взрыва метеорита?

Решение:

$$\lambda = 101^{\circ}55'40'' \text{ в.д.} = 6^{\text{ч}}47^{\text{мин}}43^{\text{с}}; [2 \text{ балла}]$$

$$T_0 = T_{\lambda} - \lambda = 7^{\text{ч}}17^{\text{мин}}00^{\text{с}} - 6^{\text{ч}}47^{\text{мин}}43^{\text{с}} = 00^{\text{ч}}29^{\text{мин}}17^{\text{с}} \text{ (всемирное время) (Ответ) [2 балла]}$$

г) определите в этот момент значения среднего солнечного и поясного времени в г. Могилеве ($n = +3; \lambda_{\text{м}} = 30^{\circ}20'41,6''$).

Решение:

$$\lambda_{\text{Могилев}} = 30^{\circ}20'41,6'' = 2^{\text{ч}}1^{\text{мин}}23^{\text{с}}; [2 \text{ балла}]$$

$$T_{\lambda_{\text{Могилев}}} = T_0 + \lambda_{\text{Могилев}} = 00^{\text{ч}}29^{\text{мин}}17^{\text{с}} + 2^{\text{ч}}1^{\text{мин}}23^{\text{с}} = 2^{\text{ч}}30^{\text{мин}}40^{\text{с}} \text{ (местное или среднее солнечное время) (Ответ) [2 балла]}$$

$$T_{\text{п}} = T_0 + n = 00^{\text{ч}}29^{\text{мин}}17^{\text{с}} + 3^{\text{ч}}00^{\text{мин}}00^{\text{с}} = 3^{\text{ч}}29^{\text{мин}}17^{\text{с}} \text{ (поясное время) (Ответ) [2 балла]}$$

д) каким было истинное солнечное и звездное время в г. Могилеве, если уравнение времени в этот день составило $\eta = -0,59^{\text{мин}}$?

Решение:

$$\eta = T_{\text{ср}} - T_{\text{ис}} = T_{\lambda} - T_{\odot} \text{ - уравнение времени; [1 балл]}$$

$$T_{\odot} = T_{\lambda} - \eta = 2^{\text{ч}}30^{\text{мин}}40^{\text{с}} + 0,59^{\text{мин}} = 2^{\text{ч}}30,59^{\text{мин}}40^{\text{с}} \text{ (истинное солнечное время) (Ответ) [2 балла]}$$

$S = T_{\lambda} + \Delta t$ – звездное время для наблюдателя, находящегося на Земле;

$\Delta t = n \cdot 3^{\text{мин}}56^{\text{с}}$, где n – число суток, прошедших с момента осеннего равноденствия до указанной даты (30 июня 1908 года);

22 сентября 1907 г. – дата осеннего равноденствия:

$n = 282$ суток;

$$\Delta t = 282 \cdot 3^{\text{мин}}56^{\text{с}} = 18^{\text{ч}}29^{\text{мин}}13^{\text{с}};$$

$S = T_{\lambda_{\text{Могилев}}} + \Delta t = 2^{\text{ч}}30^{\text{мин}}40,59^{\text{с}} + 18^{\text{ч}}29^{\text{мин}}13^{\text{с}} = 20^{\text{ч}}59^{\text{мин}}53,59^{\text{с}}$ – звездное время в Могилеве; (Ответ) [5 баллов]

е) определите значение средней плотности Тунгусского метеорита, если считать его форму максимально приближенной к шарообразной (масса метеорита $M = 30$ кт, диаметр по оценкам экспертов составил $d = 20$ м).

Решение:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ – формула плотности тела; [1 балл]}$$

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \text{ – формула объема шара; [1 балл]}$$

$$V = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (10)^3 = 4186,67 \text{ м}^3;$$

$$\rho = \frac{30 \cdot 10^6}{4186,67} = 7165,6 \text{ кг/м}^3 \text{ (Ответ) [2 балла]}$$

ж) какая энергия выделилась в момент взрыва метеорита, если его скорость составила $v = 20$ км/с?

Решение:

Полагаем, что механическая энергия метеорита перешла в энергию взрыва. Тогда:

$$W_{\text{полн}} = W_{\text{к}} = E_{\text{взрыва}};$$

$W_k = \frac{mv^2}{2}$ – кинетическая энергия метеорита; [1 балл]

$E_{взрыва} = \frac{30 \cdot 10^6 \cdot 20000^2}{2} = 6 \cdot 10^{15}$ Дж (Ответ) [1 балл]

Задание 2. Первое весеннее полнолуние.

Условие. Первое весеннее полнолуние в 2024 году произошло 25 марта в 7^ч00^м00^с по всемирному времени.

а) в каком созвездии находилась Луна в этот день?

Решение:

Определяем по подвижной карте звездного неба (далее ПКЗН) положение Солнца на эклиптике в эту дату: созвездие Рыбы; [2 балла]

В полнолуние Луна находится напротив Солнца возле эклиптики. Определяем положение Луны при помощи ПКЗН в этот день: созвездие Девы (Ответ) [2 балла]

б) в каком созвездии находилось Солнце в этот день? Каковы были его экваториальные координаты?

Решение:

Солнце находится в созвездии Рыбы (Ответ) [1 балл]

Экваториальные координаты Солнца: $\alpha_{\odot} = 0^{\text{ч}}10^{\text{м}}00^{\text{с}}$; $\delta_{\odot} = 2^{\circ}$ (Ответ) [2 балла]

в) какова продолжительность дневного времени суток в эту дату?

Решение:

Определяем время восхода и захода Солнца 25 марта:

$t_{\text{восх}} = 6^{\text{ч}}05^{\text{м}}00^{\text{с}}$; $t_{\text{зах}} = 17^{\text{ч}}50^{\text{м}}00^{\text{с}}$; [2 балла]

продолжительность дневного времени суток $\Delta t = t_{\text{зах}} - t_{\text{восх}} = 17^{\text{ч}}50^{\text{м}}00^{\text{с}} - 6^{\text{ч}}05^{\text{м}}00^{\text{с}} = 11^{\text{ч}}45^{\text{м}}00^{\text{с}}$ (Ответ) [1 балл]

г) в какой фазе и в каком созвездии находилась Луна 17 марта?

Решение:

17 марта – дата, которая меньше даты 25 марта примерно на 7,5 суток. Данный временной промежуток равен четвертой части синодического периода Луны ($S = 29,5$ сут.). Поэтому наш спутник 17 марта находился в 1-й четверти (Ответ); [3 балла]

На ПКЗН Луна в 1-й четверти располагается восточнее относительно Солнца на угловом расстоянии 90° от него. Определяем положение Солнца на эклиптике 17 марта (созвездие Рыбы). Луна находится в созвездии Тельца (Ответ) [2 балла]

д) определите горизонтальный параллакс и угловой диаметр Луны 25 марта, если расстояние до нее составило 403353 км, а линейный диаметр нашего спутника равен $d = 3476$ км. Средний радиус Земли $R_3 = 6378$ км.

Решение:

$D = \frac{206265 \cdot R_3}{p}$ – расстояние до небесного тела в пределах Солнечной системы; [1 балл]

$p'' = \frac{206265 \cdot R_3}{D}$ – формула горизонтального параллакса; [1 балл]

$p'' = \frac{206265 \cdot 6378 \text{ км}}{403353} = 3261,56'' = 54,36'$ - горизонтальный параллакс Луны (Ответ); [1 балл]

$R = \frac{p}{p''} R_3$ – линейный радиус небесного тела; [1 балл]

$R = \frac{d}{2} = \frac{3476 \text{ км}}{2} = 1738 \text{ км}$ – линейный радиус Луны; [1 балл]

$\rho'' = \frac{R \cdot p''}{R_3} = \frac{1738 \text{ км} \cdot 3261,56''}{6378 \text{ км}} = 888,77'' = 14,81'$ - угловой радиус Луны; [1 балл]

$\theta'' = 2 \cdot \rho'' = 1777,55'' = 29,63'$ - угловой диаметр Луны (Ответ) [1 балл]

е) какое название имеет первое весеннее полнолуние в году?

Решение:

Первое весеннее полнолуние в году носит название «Червивая» Луна или Луна Червя. Такое название обусловлено тем, что в это время почва размягчается, и из нее появляются дождевые черви (Ответ) [3 балла]

Задание 3. «Небесный царь зверей».

Условие. Созвездие Льва – зодиакальное созвездие, находящееся в Северном полушарии. Занимает 12-е место по площади на небесной сфере. На подвижной карте звездного неба найдите это созвездие и выполните следующие задания:

а) назовите самые яркие звезды в созвездии Льва (не менее пяти). Приведите собственные названия этих звезд и их названия по каталогу Байера.

Решение:

собственное название звезды	название звезды по каталогу Байера
Регул [1 балл]	α Льва [1 балл]
Денебола [1 балл]	β Льва [1 балл]
Альгинеба (Альджеба) [2 балла]	γ Льва [2 балла]
Зосма [2 балла]	δ Льва [2 балла]
Альгенуби [2 балла]	ϵ Льва [2 балла]

(Ответ)

б) перечислите все известные астеризмы, входящие в созвездие Льва.

Решение:

«Серп» или «Грива» (состоит из звезд Регул, Альджеба и Альгенуби);

«Кисточка» («Хвост») (новое созвездие Волосы Вероники); (Ответ) [6 баллов]

в) укажите дату и время наилучшей видимости второй по яркости звезды в созвездии Льва.

Решение:

Вторая по яркости звезда в созвездии Льва – это Денебола (β Льва);

Время наилучшей видимости звезды – это момент ее верхней кульминации в полночь (00^ч00^м) (Ответ) [3 балла]

По ПКЗН определяем дату: 18 марта (Ответ) [1 балл]

г) определите горизонтальные и экваториальные координаты (основные и дополнительные) звезды в эту дату и время (широта Могилева $\phi = 53^{\circ}54'$).

Решение:

экваториальные координаты				горизонтальные координаты		
склонение δ	прямое восхождение α	часовой угол t	полярное расстояние ρ	высота h	азимут A	зенитное расстояние z
+16 ⁰	11 ^ч 50 ^м	0 ^ч	+74 ⁰	52 ⁰ 16'	0 ⁰	37 ⁰ 44'

(Ответ)

$h_{\beta} = 90^{\circ} - \phi + \delta = 90^{\circ} - 53^{\circ}54' + 16^{\circ} = 52^{\circ}16'$ - высота β Льва в момент верхней кульминации;

Высоту звезды можно также определить по ПКЗН ($h \approx 51^{\circ}$) (Ответ) [10 баллов]

д) сколько времени можно наблюдать эту звезду на небе в этот день?

Решение:

По ПКЗН определим время восхода и захода Солнца:

$t_{\text{восх}} = 6^{\text{ч}}30^{\text{мин}}$; $t_{\text{зах}} = 17^{\text{ч}}40^{\text{мин}}$; [2 балла]

По ПКЗН определим время восхода и захода звезды:

$t_{\text{восх}} = 16^{\text{ч}}50^{\text{мин}}$; $t_{\text{зах}} = 7^{\text{ч}}20^{\text{мин}}$; [2 балла]

Время видимости звезды на небе:

$\Delta t = 12^{\text{ч}}50^{\text{мин}}$ – время видимости звезды на ночном небе 18 марта (Ответ) [2 балла]

е) во сколько раз отличается блеск первой и второй по яркости звезд в созвездии Льва, если их звездные величины равны соответственно $m_1 = +1,35^m$ и $m_2 = +2,14^m$?

Решение:

$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{m_2 - m_1}$ - формула Погсона; [1 балл]

$\frac{E_1}{E_2} = 2,07$ (Ответ) [1 балл]

ж) определите расстояние до самой яркой звезды в созвездии Льва, если ее годичный параллакс $\pi = 42 \text{ mas}$. Ответ выразите в километрах, астрономических единицах и световых годах.

Решение:

$r = \frac{1}{\pi}$ – формула годичного параллакса; [1 балл]

$\pi = 42 \text{ mas} = 0,042''$ - перевод годичного параллакса в угловые секунды (mas = milli angular seconds, милли угловые секунды); [2 балла]

$r = \frac{1}{\pi} = 23,81 \text{ пк} = 23,81 \cdot 3,09 \cdot 10^{13} = 73,57 \cdot 10^{13} \text{ км} = 4911169,65 \text{ а.е.} = 77,62 \text{ св.г.}$ (Ответ) [7 баллов]

Задание 4. Миссия «Марс 2020».

Условие. В рамках исследования Марса 30 июля 2020 года в 11^ч50^м по Гринвичскому времени с мыса Канаверал был осуществлен запуск ракеты-носителя, на борту которой находились марсоход «Perseverance» и вертолетный дрон «Ingenuity». Посадка на Марс была произведена 10 февраля 2021 года в районе кратера Езеро. За пять суток до этого ракета-носитель достигла постоянной орбиты вокруг Марса.

а) определите, на сколько суток отличался бы полет ракеты-носителя к Марсу, если бы перелет осуществлялся по гомановской орбите?

Решение:

$T^2 = a^3$ – третий закон Кеплера для систем «Земля-Солнце» и «Марс-Солнце»;

$a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{1,88^2} = 1,523 \text{ а.е.}$ – большая полуось орбиты Марса; [2 балла]

$a_r = \frac{a+a_3}{2} = \frac{1,523+1}{2} = 1,2615 \text{ а.е.}$ – большая полуось гомановской орбиты; [2 балла]

$T = \sqrt{a^3} = \sqrt{1,2615^3} = 1,417 \text{ лет}$ – период вращения тела по гомановской орбите; [2 балла]

$t = \frac{T}{2} = \frac{1,417}{2} = 0,7085 \text{ года} = 258,787 \text{ суток}$ - время полета к Марсу по гомановской орбите; [1 балл]

5 февраля 2021 года – дата, когда ракета-носитель достигла эллиптической орбиты вокруг Марса;

С 30 июля 2020 года по 5 февраля 2021 года прошло 191 суток. [2 балла]

$\Delta t = 258,787$ суток – 191 суток = 67,787 суток – отличие времени полета по гомановской орбите к Марсу от реально затраченного времени (Ответ) [1 балл]

б) перед тем, как спустить зонд с марсоходом и дроном на поверхность Марса, ракета-носитель вышла на постоянную эллиптическую орбиту вокруг планеты. Максимальное удаление от поверхности Марса составило $r_{\max} = 34450$ км, а минимальное $r_{\min} = 9620$ км.

Вычислите:

- Перигелическое и апоцентрическое расстояния ракеты;

Решение:

$Q = r_{\max} + R = 37839$ км – апоцентрическое расстояние от ракеты до Марса; (Ответ) [2 балла]

$q = r_{\min} + R = 13009$ км – перигелическое расстояние от ракеты до Марса; (Ответ) [2 балла]

- Большую полуось и эксцентриситет орбиты ракеты;

Решение:

$a = \frac{Q+q}{2} = 25424$ км – большая полуось орбиты ракеты; (Ответ) [2 балла]

$e = \frac{Q}{a} - 1 = 0,488$ – эксцентриситет орбиты; (Ответ) [2 балла]

- Малую полуось и фокальный параметр орбиты ракеты;

Решение:

$b = a\sqrt{1 - e^2} = 22191,18$ км – малая полуось орбиты; (Ответ) [3 балла]

$p = a(1 - e^2) = 19369,43$ км – фокальный параметр орбиты; (Ответ) [3 балла]

- Круговую, минимальную и максимальную скорости ракеты при ее движении по орбите;

Решение:

$v_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{GM_M}{a}} = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 6,42 \cdot 10^{23}}{25424000}} = 1,298$ км/с – круговая скорость ракеты; (Ответ) [2 балла]

$v_Q = v_{\text{кр}} \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} = 1,298 \cdot 0,587 = 0,76$ км/с – минимальная скорость ракеты в апоцентре;

(Ответ) [3 балла]

$v_q = v_{\text{кр}} \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} = 1,298 \cdot 1,705 = 2,213$ км/с – максимальная скорость ракеты в перигентре;

(Ответ) [3 балла]

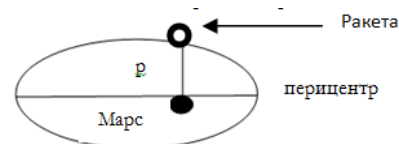
- Полную механическую энергию ракеты в точке орбиты, в которой истинная аномалия $\theta = 90^\circ$.

Решение:

$W = \frac{M_p v^2}{2} - G \frac{M_M M_p}{r}$ – полная механическая энергия ракеты в данной точке орбиты; [5 баллов]

$v^2 = GM_M \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$ – квадрат скорости тела в данной точке орбиты; [4 балла]

$r = p = 19369,43$ км – расстояние до ракеты равно фокальному параметру, т.к. истинная аномалия $\theta = 90^\circ$; [5 балла]



$v^2 = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 6,42 \cdot 10^{23} \left(\frac{2}{19369430} - \frac{1}{25424000} \right) = 2737254,237$ м²/с²; [2 балла]

$W = \frac{36500 \cdot 2737254,237}{2} - 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{6,42 \cdot 10^{23} \cdot 36500}{19369430} = -3,074 \cdot 10^{10}$ Дж; (Ответ) [3 балла]

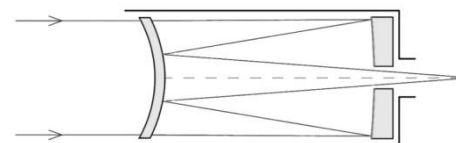
Справочные данные: сидерический период обращения Марса $T = 1,88$ года, радиус Марса $R = 3389$ км, масса Марса $M_M = 6,42 \cdot 10^{23}$ кг, сухая масса ракеты-носителя с полезным грузом на орбите вокруг Марса $M_p = 36,5$ т, большая полуось Земли $a = 1$ а.е. гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$.

Задание 5. Обсерватория Мауна-Кеа.

Условие. «Мауна-Кеа» – это международный наблюдательный астрономический комплекс, расположенный на вершине вулкана Мауна-Кеа на острове Гавайи. Включает в себя ряд телескопов, осуществляющих наблюдения космоса в инфракрасном и оптическом диапазонах. Одним из самых крупных телескопов является телескоп-рефлектор «Subaru» национальной японской обсерватории. «Subaru» - это рефлектор системы Ричи-Кретьена. Выполните следующие задания:

а) изобразите оптическую схему телескопа «Subaru» и ход световых лучей в нем. Подсказка: система Ричи-Кретьена – это вариация оптической схемы телескопа Кассегрена.

Решение:



(Ответ) [5 баллов]

б) определите увеличение телескопа, его разрешающую способность, проникающую силу и относительное отверстие, если фокусные расстояния объектива и одного из четырех окуляров равны соответственно $F_{об} = 15$ м и $F_{ок} = 12,2$ см, апертура телескопа $D = 8,2$ м.

Решение:

$$\Gamma = \frac{F_{об}}{F_{ок}} = 122,95 - \text{увеличение телескопа; (Ответ) [1 балл]}$$

$$\alpha = \frac{140''}{D_{мм}} = 0,017'' - \text{разрешающая способность телескопа; (Ответ) [1 балл]}$$

$$m = 2,1 + 5lgD_{мм} = 21,67^m - \text{проникающая сила телескопа; (Ответ) [2 балла]}$$

$$A = \frac{D}{F_{об}} = 0,547 - \text{относительное отверстие телескопа; (Ответ) [2 балла]}$$

в) что в переводе на русский язык означает слово «Subaru» (подсказка: это астрономический термин).

Решение:

В переводе на русский язык «Subaru» - плеяды (скопление звезд). Вспомните значок



автомобиля марки «Subaru» SUBARU (Ответ) [4 балла]

Задание 6. Эпициклы и деференты.

Условие. Термины «Эпицикл» и «Деферент» наиболее широко были использованы этим древнегреческим ученым для объяснения движения планет и Солнца на небесной сфере. Этот мыслитель также является автором геоцентрической системы построения мира.

а) назовите имя этого ученого.

Решение:

Клавдий Птолемей (или просто Птолемей); (Ответ) [2 балла]

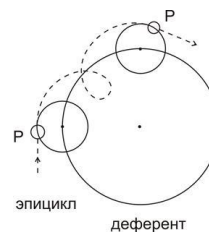
б) назовите его астрономический трактат, который является одним из самых влиятельных научных текстов не только в астрономии, но и во всей истории.

Решение:

Название трактата «Альмагест»; (Ответ) [3 балла]

в) изобразите кривые эпициклов и деферентов.

Решение:



P - планета

(Ответ) [5 баллов]






г) как называется временное нестандартное для того времени движение планет по небесной сфере, которое объясняли при помощи эпициклов.

Решение:

Ретроградное или «попятное» движение планет; (Ответ) [3 балла]

д) во времена этого ученого было известно всего пять планет. Перечислите их в порядке удаления от Солнца и укажите их астрономические символы.

Решение:

Название планеты	Астрономический символ
Меркурий [1 балл]	 [1 балл]
Венера [1 балл]	 [1 балл]
Земля [1 балл]	 [1 балл]
Марс [1 балл]	 [1 балл]
Юпитер [1 балл]	 [1 балл]

Всего: 200 баллов