

## ОЛИМПИАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПО АСТРОНОМИИ I

И.Н. Жукова, В.С. Малых

Адыгейский государственный университет, г. Майкоп

В статье рассматриваются задачи второго (муниципального) этапа Всероссийской олимпиады школьников по астрономии, проведенной в Республике Адыгея в 2012-2013 учебном году. При составлении заданий учитывалось, что к этому времени Астрономия, как учебный предмет, в среднюю школу еще не была возвращена, и можно было опираться только на астрономическую составляющую смежных предметов: географии, физики, химии. Материал статьи может быть использован при подготовке школьников к астрономическим олимпиадам.

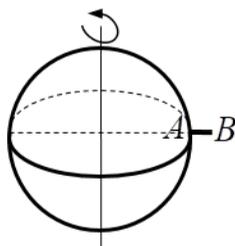
## Задачи XX Всероссийской олимпиады школьников по астрономии (2012-2013 г.г., II этап)

## 7 класс

1. С древнейших времен люди выделили на небе созвездия зодиакального пояса- именно вдоль него проходит линия годового движения Солнца- эклиптика. По звездной карте составьте график движения Солнца по поясу Зодиака: когда Солнце входит в каждое созвездие и когда выходит из него? Сколько Вы насчитали созвездий?

	Созвездия	Дата вхождения в созвездие	Дата выхода из созвездия
1.			
2.			
...			

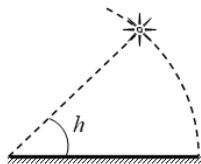
2. На географическом экваторе построена башня высотой  $H = 100\text{ м}$ . Из-за суточного вращения Земли башня движется относительно звезд. Что движется быстрее: вершина башни  $B$  или ее основание  $A$ ? Насколько быстрее? Ответ запишите с точностью до трех значащих цифр.



3. Для главных дат годового движения Солнца укажите название дня, высоту полуденного Солнца и продолжительность дня для г. Майкопа.

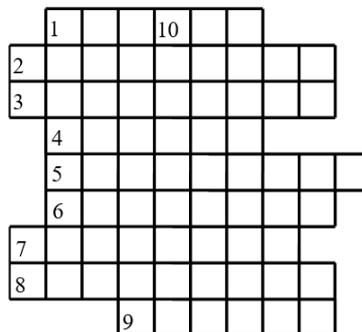
	Название дня. Варианты: (весеннее, зимнее, летнее, осеннее) (солнцестояние, равноденствие)	Высота в полдень Варианты: ( $22^\circ$ , $45^\circ$ , $68^\circ$ )	Продолжительность дня Варианты: ( $8^{\text{ч}}30^{\text{м}}$ , $12^{\text{ч}}$ , $15^{\text{ч}}30^{\text{м}}$ )
21 марта			
22 июня			
23 сентября			
22 декабря			

Замечание. Высота светила – это угол между направлением на него и плоскостью горизонта.



4. Разгадав кроссворд, запишите под номерами 1, 2, ..., 10 соответствующие термины.

1. Одноместный космический корабль.
2. Участок неба.
3. фаза- невидимка.
4. Самая яркая планета.
5. Созвездие в виде буквы W.
6. Самая быстрая планета.
7. Камень с неба.
8. Путь Солнца среди звезд.
9. ...светила над горизонтом (какое слово пропущено?).
10. Основные инструменты астрономов.



5. Толковый словарь русского языка двояко трактует слово «месяц»:  
 1) как одну двенадцатую часть года; 2) как диск Луны, или его часть.  
 Связаны или нет приведенные трактовки между собой? Ответ нужно обосновать

**8 класс**

1. Светящиеся образования из раскалённых газов, наблюдаемые на краю диска Солнца называются протуберанцами. На рисунке приведены три последовательных фотографии протуберанца на Солнце. Определите высоту дуги протуберанца Н в каждом из трех случаев. Определите также скорость подъема протуберанца (в км/с). Радиус Солнца равен  $R_C = 6,96 \cdot 10^8$  м.



$4^h 7^m 19^s$

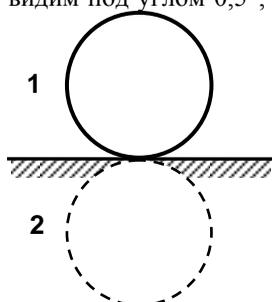
2. Луна все время повернута к Земле одной стороной. С какой скоростью центр Земли движется относительно Луны? С какой скоростью центр Луны движется относительно Земли? Период смены лунных фаз (синодический месяц) 29,5 суток.



$3^h 51^m 50^s$

3. Приближаясь к Солнцу, комета потеряла 10% своей массы. При этом средняя плотность ее уменьшилась на 20%. Увеличился или уменьшился объем кометы? На сколько процентов? Укажите возможные причины потери массы.

4. На экваторе Солнце во время захода уходит под горизонт по отвесной линии. На рисунке: 1 – начало захода, 2 – конец захода. Зная, что солнечный диск мы видим под углом  $0,5^\circ$ , найдите продолжительность захода Солнца на экваторе. А в г. Майкопе продолжительность захода Солнца больше или меньше, чем на экваторе? Ответ надо обосновать.



$3^h 8^m 2^s$

5. Зимой Земля ближе к Солнцу, чем летом. Почему же зимой холодно, а летом жарко? Укажите все причины (все астрономические факторы).

## 9 класс

1. На фотографии окрестностей лунного кратера Теофил точка К - это освещенная Солнцем вершина горы. Определите высоту этой горы, если известно, что угол, под которым мы видим кратер с Земли составляет  $\alpha = 59,5''$ , что означает, что кратер находится на пределе возможности увидеть его при наблюдении диска Луны невооруженным глазом.

*Указание.* С помощью миллиметровой линейки на фотографии можно измерить диаметр  $d$  изображения кратера и расстояние  $\ell$  от вершины горы до терминатора (границы света и тени).



2. Когда полуденное Солнце над горизонтом города Майкопа выше: в день летнего солнцестояния (22 июня) или в день зимнего солнцестояния (22 декабря)?

Когда полная Луна в полночь выше: 22 июня или 22 декабря? Ответы нужно обосновать (желательно с рисунками).

3. На вопрос «Почему в предутренние часы наблюдается больше метеоров, чем с вечера?» предложено два ответа:

- 1) на утреннюю сторону земного шара падают как те метеоры, которые летят ей навстречу, так и те, которые она нагоняет, а на вечернюю же сторону Земли падают только те метеоры, которые нагоняют Землю;
- 2) на утреннюю сторону земного шара попадают как те метеорные тела, которые летят ей навстречу, так и те, которые её нагоняют, на вечернюю сторону попадают только те метеоры, которые нагоняют Землю.

В чем эти два ответа противоречат друг другу? Объясните смысл терминов: метеоры, метеорные тела. На заданный вопрос запишите свой полный законченный ответ. Подтвердите свой ответ рисунком.

4. В качестве модели Солнца предложен шаровой светильник диаметром 20 см. Какой диаметр должен иметь при этом шар, изображающий Землю? На каком расстоянии от светильника он должен находиться? Какими должны быть диаметр модели Луны и её расстояние от модели Земли?

5. Звезда взошла, то есть пересекла горизонт, в 21 час 30 минут, а в 23 часа 45 минут прокульминировала (достигла наибольшей высоты над горизонтом). В какой момент времени звезда зайдет за горизонт? В какой части горизонта: северо-восточной или юго-восточной расположена точка восхода звезды? Ответ нужно обосновать.

*Справочные данные:* широта Майкопа  $45^\circ$ , радиус Солнца 696 тыс. км, радиус Земли 6370 км, расстояние от Земли до Солнца 150 млн. км, радиус Луны 1737 км, расстояние от Земли до Луны 384 тыс. км.

## 10 класс

1. С помощью подвижной карты, на которой изображено звездное небо в координатной сетке ( $\alpha$  - прямое восхождение,  $\delta$  - склонение) охарактеризуйте вид звездного неба в г. Майкопе сегодня в 19 часов 00 минут московского времени:

- 1) какие созвездия в данный момент восходят?
- 2) какие - заходят?
- 3) какие полностью находятся над горизонтом?

- 4) какие светила, координаты которых указаны в таблице, можно будет увидеть при ясной погоде? В каком созвездии? В какой стороне горизонта?

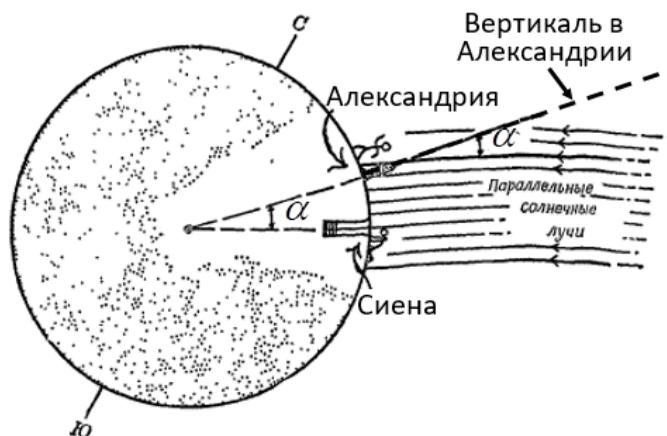
	Солнце	Луна	Меркурий	Венера	Марс	Юпитер	Сатурн
$\alpha$	17 час	12 час	15,5 час	15 час	19 час	4,5 час	14,5 час
$\delta$	-23°	-7°	-16,5°	-15,5°	-24°	+21°	-12°

*Примечание.* Подвижную карту устанавливают на нужную дату по времени географического меридиана места наблюдения (местное время). Из курса географии известно, что разность местных времен на двух разных меридианах равна разности долгот этих меридианов. Долгота Майкопа равна  $40^\circ=2$  часа 40 мин. Московское время опережает время нулевого (Гринвичского) меридиана на 4 часа.

Таблица для ответов к задаче 1 (10 класс)

1	какие созвездия в г. Майкопе восходят в $19^{00}$	
2	какие созвездия в г. Майкопе заходят в $19^{00}$	
3	какие созвездия полностью находятся над горизонтом?	
4	Какие светила, координаты которых указаны в таблице,	
4а	а) можно будет увидеть при ясной погоде?	
4б	б) в каком созвездии их можно будет увидеть?	
4в	в) в какой стороне горизонта их можно будет увидеть?	

2. На Земле и на Луне проводят такой опыт: с одной и той же высоты (примерно 10 м) отпускают свободно падать большой камень и одновременно вытряхивают мешок пыли. Расположите в порядке возрастания следующие величины:  $t_1$  - время падения камня на Земле,  $t_2$  - время падения пылинок на Земле,  $t_3$  - время падения камня на Луне,  $t_4$  - время падения пылинок на Луне.
3. Зачерненная свинцовая ( $c = 130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ) пластинка массой  $m = 50\text{г}$  и площадью  $S = 100\text{см}^2$  выставляется за пределами атмосферы перпендикулярно солнечным лучам. На сколько повысится температура пластинки через  $t = 1\text{с}$  сразу после этого? Мощность излучения Солнца  $P = 3,85 \cdot 10^{26} \text{Вт}$ , расстояние от пластинки до Солнца  $r = 150\text{млн.км}$ .
4. Первое достаточно точное определение размеров Земли провел греческий ученый Эратосфен (~235 г. до н.э.). Идея, положенная в основу его измерений, представлена на рисунке. Какое значение радиуса Земли получил Эратосфен, если считать, что расстояние от Сиены до Александрии равно 5000 греческих стадий, а 1 стадия равна 160 м? На рисунке  $\alpha = 7,5^\circ$ .



Замечание. Древнегреческая мера длины «стадия» произошла от слова stadion (стадион) - продолговатая площадка для состязаний.

5. Видеокамера, установленная на высоте 10 м, фиксирует все метеоры, появляющиеся над площадью радиусом 300 км. Ежечасно фиксируется в среднем 30 метеоров. Сколько их падает на Землю за сутки? Решение проведите с учетом дальности видимого горизонта для высоты 10 м.

*Справочные данные:* объем шара:  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ , площадь поверхности сферы:  $S = 4\pi R^2$ ; радиус Земли

6370 км, масса Земли  $5,98 \cdot 10^{24}$  кг, масса Луны  $7,35 \cdot 10^{22}$  кг.

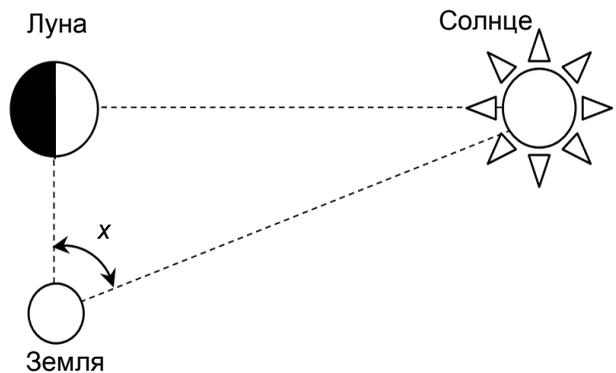
### 11 класс

1. На звездной карте изображена эклиптика - траектория Солнца (точнее, центра солнечного диска) на фоне звездного неба. Определите по карте прямое восхождение  $\alpha$  (по горизонтальной оси, в часах) и склонение  $\delta$  Солнца (по вертикальной оси, в градусах) в моменты равноденствий и солнцестояний (21 марта, 22 июня, 23 сентября, 22 декабря). В какие дни года склонение Солнца изменяется быстрее всего? Медленнее всего? Те же вопросы для прямого восхождения Солнца.

Указание. Можно пренебречь некоторой неравномерностью шкалы календарных дат, т.е. считать, что эклиптическая синусоида на карте отражает функциональную зависимость склонения Солнца  $\delta$  не только от его прямого восхождения  $\alpha$ , но и от времени. Движение Солнца по эклиптике считать равномерным.

2. Экваториальный радиус Сатурна на уровне атмосферного давления  $10^5$  Па составляет 60268 км. Чему равно ускорение свободного падения на этом уровне, если масса планеты равна  $568,50 \cdot 10^{24}$  кг, а период вращения вокруг оси  $10^4 39^m 22^s$ ? Гравитационная постоянная  $G = 6,6726 \cdot 10^{-11}$  кг<sup>-1</sup>м<sup>3</sup>с<sup>-2</sup>. Какую плотность должен иметь межпланетный зонд, чтобы свободно плавать в атмосфере Сатурна на указанном уровне, если температура там равна 97 К? Считать, что атмосфера Сатурна состоит из газообразного молекулярного водорода.

3. Луна находится точно в фазе первой четверти (на рисунке масштаб не соблюден). Наблюдая в этот момент Солнце и Луну, греческий ученый Аристарх в 265 году до н.э. измерил угол  $x$  между направлениями на эти светила. По оценке Аристарха он получился равным  $87^\circ$ . Исходя из этого результата, зная, что углы, под которыми с Земли видны Солнце и Луна почти одинаковы, Аристарх вычислил отношение диаметра Солнца  $d_C$  к диаметру



Луны  $d_L$ . Проведите расчет отношения  $\frac{d_C}{d_L}$

в приближенном варианте (по Аристарху) и

по уточненным данным:  $x = 89^\circ 51' 10''$ , угловой диаметр Солнца  $\delta_C = 31' 59,3''$ , угловой диаметр Луны  $\delta_L = 31' 5''$ .

4. Марс делает один оборот вокруг Солнца за 1,88 года. Через какие промежутки времени повторяются противостояния Марса (то есть, положения, когда направления на Солнце и на Марс противоположны)? Орбиты Земли и Марса считать круговыми и лежащими в одной плоскости.

5. В таблице приведены термодинамические параметры водородо-гелиевой плазмы в зоне термоядерных реакций на различных расстояниях  $r$  от центра Солнца ( $R$  - радиус Солнца). Для каждого расстояния от 0 до  $0,4 R$  рассчитайте молярную массу плазмы и процентное содержание  $\alpha$  водорода (по массе) в этой плазме. Объясните полученные результаты.

$\frac{r}{R}$	$P$ , Па	$T$ , К	$\rho$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
0	$2,244 \cdot 10^{16}$	$1,462 \cdot 10^7$	$134,3 \cdot 10^3$
0,1	$1,365 \cdot 10^{16}$	$1,265 \cdot 10^7$	$85,51 \cdot 10^3$
0,2	$4,645 \cdot 10^{15}$	$9,354 \cdot 10^6$	$36,39 \cdot 10^3$
0,3	$1,180 \cdot 10^{15}$	$6,653 \cdot 10^6$	$12,85 \cdot 10^3$
0,4	$2,704 \cdot 10^{14}$	$4,742 \cdot 10^6$	$4,130 \cdot 10^3$

**Указание.** Считайте, что плазма состоит из водорода и гелия, все атомы которых полностью раздроблены на электроны, протоны и ядра атомов гелия (размеры ядер  $\sim 10^{-15} \text{ м}$ ). Оцените для такого состояния вещества возможность применения уравнения Менделеева-Клапейрона.

### Решения 7 класс

1. Каждый участник олимпиады получил карту экваториальных созвездий с нанесенной на ней эклиптической и со шкалой дат календаря. Ошибки определения искомым дат порядка 4-5 суток считались допустимыми, но за пропуск Змееносца снижалось число баллов. Правильный ответ: 13 созвездий. Приблизительные даты вхождения Солнца в созвездие и выхода из него приведены в таблице:

	Созвездие	Дата вхождения в созвездие	Дата выхода из созвездия
1.	Рыбы	11 марта	18 марта
2.	Овен	18 марта	13 мая
3.	Телец	13 мая	21 июня
4.	Близнецы	21 июня	20 июля
5.	Рак	20 июля	10 августа
6.	Лев	10 августа	16 сентября
7.	Дева	16 сентября	30 октября
8.	Весы	30 октября	23 ноября
9.	Скорпион	23 ноября	29 ноября
10.	Змееносец	29 ноября	17 декабря
11.	Стрелец	17 декабря	20 января
12.	Козерог	20 января	16 февраля
13.	Водолей	16 февраля	11 марта

2. В системе отсчета, связанной с неподвижными звездами, скорости точек А и В равны:

$v_A = \frac{2\pi R}{T}$ ,  $v_B = \frac{2\pi(R+H)}{T}$ , где  $R$  - радиус Земли,  $T$  - период вращения Земли вокруг собственной оси (звездные сутки). Из курса географии известно, что продолжительность звездных суток приблизительно на 4 минуты меньше средних солнечных суток, равных 24-м часам и составляет приблизительно 86160 секунд. Поэтому правильным будет ответ:

$v_B - v_A = \frac{2\pi H}{T} = \frac{2\pi \cdot 100 \text{ м}}{86160 \text{ с}} = 7,29 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$ . Если семиклассник использовал средние солнечные сутки и

получил ответ  $v_B - v_A = \frac{2\pi H}{T} = \frac{2\pi \cdot 100 \text{ м}}{86400 \text{ с}} = 7,27 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$ , один балл снимался.

**Замечание.** При использовании звездных суток подразумевается геоцентрическая звездная система отсчета (начало системы координат находится в центре Земли, координатные оси направлены на неподвижные звезды). При использовании средних солнечных суток подразуме-

вается геоцентрическая солнечная система отсчета (начало системы координат находится в центре Земли, одна из координатных осей направлена на Солнце).

3.

	Название дня)	Высота в полдень	Продолжительность дня
21 марта	весеннее равноденствие	45°	12 <sup>ч</sup>
22 июня	летнее солнцестояние	68°	15 <sup>ч</sup> 30 <sup>м</sup>
23 сентября	осеннее равноденствие	45°	12 <sup>ч</sup>
22 декабря	зимнее солнцестояние	22°	8 <sup>ч</sup> 30 <sup>м</sup>

4. 1 – Восток; 2 – созвездие; 3 – новолуние; 4 – Венера; 5 – Кассиопея; 6 – Меркурий; 7 – метеорит; 8 – эклиптика; 9 – высота, 10 – телескопы.

5. Взаимосвязь приведенных трактовок в том, что форма лунного диска, изменяясь, повторяется приблизительно через месяц, точнее через 29,5 суток (синодический месяц).

### 8 класс

1. Радиус изображения сегмента солнечного диска можно определить, измерив его высоту  $h$  и длину  $\ell$  (по фотографии). Согласно теореме

Пифагора для треугольника АОС:  $R^2 = \left(\frac{\ell}{2}\right)^2 + (R-h)^2$ .

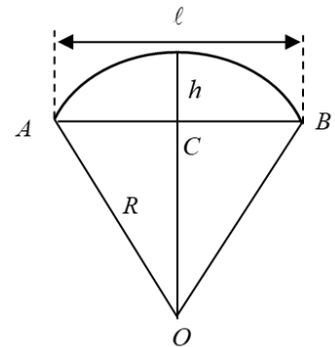
Получаем:  $R = \frac{\ell^2 + 4h^2}{8h}$ . Масштаб фотографии  $K = \frac{R_C}{R}$ .

Средняя скорость: от  $t_1 = 3^u 8^M 2^C$  до  $t_2 = 3^u 51^M 56^C$  равна

$$v_{12} = \frac{K(H_2 - H_1)}{2634 c} = 70 \frac{\text{км}}{c},$$

от  $t_2$  до  $t_3 = 4^u 7^M 19^C$  она равна  $v_{23} = \frac{K(H_3 - H_2)}{923 c} \approx 200 \frac{\text{км}}{c}$ .

Скорость подъема возросла от  $70 \frac{\text{км}}{c}$  до  $200 \frac{\text{км}}{c}$ .



2. 1). Для наблюдателя, находящегося в центре видимого с Земли лунного диска, Земля все время в зените. Считая расстояние от Земли до Луны неизменным, получаем, что Земля относительно Луны неподвижна  $v_{ЗЛ} = 0$ . Примечание. Здесь пренебрегли также либрацией Луны, о которой учащимся 8 классов вряд ли что известно.

2). Наблюдая с Земли, мы замечаем, что Солнце за одни сутки  $T_c$  делает полный оборот, т.е. перемещается по часовой стрелке на  $360^\circ$ , или на  $\frac{360^\circ}{T_c}$  в секунду. В свою очередь, Луна относительно

оси, направленной с Земли на Солнце, делает один оборот за один месяц  $T_m = 29,5$  суток, но в противоположную сторону, т.е. перемещается против часовой стрелки на  $\frac{360^\circ}{T_m}$  в секунду. Таким образом, направление с Земли на Луну поворачивается по часовой стрелке на  $\left(\frac{360^\circ}{T_c} - \frac{360^\circ}{T_m}\right)$  в се-

кунду. На  $360^\circ$  это направление повернется за время, равное  $\frac{360^\circ}{\left(\frac{360^\circ}{T_c} - \frac{360^\circ}{T_m}\right)}$  секундам, которое и

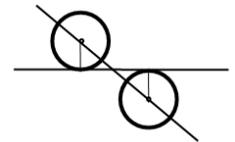
будет периодом обращения Луны вокруг Земли:

$$T = \frac{360^\circ}{\left(\frac{360^\circ}{T_c} - \frac{360^\circ}{T_m}\right)} = \frac{T_c T_m}{T_m - T_c}.$$

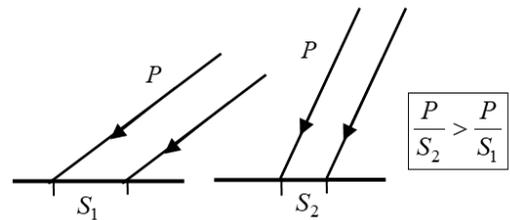
Скорость Луны относительно Земли  $v_{ЛЗ} = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi r(T_m - T_c)}{T_c T_m} = 26,98 \frac{км}{с} \approx 27 \frac{км}{с}$ .

3. Объем  $V = \frac{m}{\rho} = \frac{m_0 - 0,1m_0}{\rho_0 - 0,2\rho_0} = 1,125V_0$ , следовательно, объем увеличился на 12,5%. Возможные причины потери массы: а) испарение, усиливающееся из-за разогрева вещества кометы под действием излучения Солнца, б) давление этого излучения (свет и солнечный ветер, которые сдувают газообразные фракции с кометы), в) вращение кометы вокруг продольной оси.

4. На экваторе Солнце при заходе перемещается на  $0,5^\circ$ . За сутки Солнце перемещается по небесной сфере на  $360^\circ$ . Отсюда продолжительность захода Солнца на экваторе равна:  $\frac{0,5^\circ \cdot 24 \cdot 60 мин}{360^\circ} = 2 мин$ . На широте Майкопа заход Солнца длится дольше, чем на экваторе, так как за время захода Солнце передвинется больше, чем на  $0,5^\circ$ .



5. Первый фактор: летом Солнце над горизонтом выше, чем зимой, и солнечные лучи падают на горизонтальную поверхность более круто, чем зимой. Поэтому тепловая мощность, приходящаяся на единицу площади поверхности возрастает (см. рис.)



Второй фактор: летом продолжительность дня больше, чем зимой и горизонтальная поверхность получает за сутки больше солнечной энергии.

Третий фактор: лето в северном полушарии длится дольше, чем зима, а именно: лето- 186 суток, зима- 179 суток.

**9 класс**

1. Из  $\Delta KTO : (R + h)^2 = R^2 + KT^2 \Rightarrow h = \sqrt{R^2 + KT^2} - R$  (см.рис.1).

На рисунке 2:  $D$  - диаметр кратера,  $\alpha$  - его угловой диаметр,  $r$  - расстояние от наблюдателя на Земле до кратера,  $tg \frac{\alpha}{2} = \frac{D}{2r}$

$$\Rightarrow D = 2rtg \frac{\alpha}{2}.$$

Т.к. отношение линейных размеров на фотографии и в действительности одинаковы, то  $\frac{\ell}{d} = \frac{KT}{D}$ .

$$\text{Получаем: } h = \sqrt{R^2 + r^2 4 \left(\frac{\ell}{d}\right)^2 tg^2 \frac{\alpha}{2}} - R = 3,5 км.$$

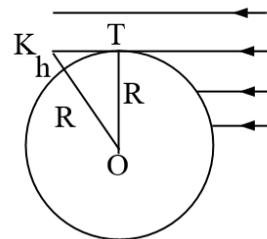


Рис.1

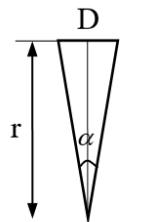


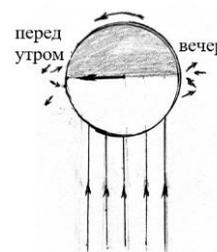
Рис.2

2. Расположение Земли и ее оси вращения по отношению к направлению солнечных лучей меняется: летом Земля наклонена к Солнцу северным полушарием, а зимой северное полушарие от Солнца «отворачивается». Поэтому высота Солнца  $h$  летом больше, чем зимой  $h'$ .

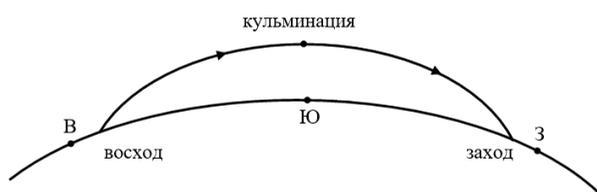


Полная Луна находится в стороне, противоположной Солнцу. Для нее- наоборот: 22 июня в полночь она ниже над горизонтом, чем 22 декабря.

3. Противоречие в том, что в первом ответе сказано, что Земля нагоняет метеоры, а во втором - что метеорные тела нагоняют Землю. Правильный ответ:  
на утреннюю сторону земного шара падают как те *метеорные тела*, которые летят ей навстречу, так и те, которые *она нагоняет*, а на вечернюю же сторону Земли падают только те метеорные тела, которые нагоняют Землю.  
Метеор- вспышка метеорного тела (малой твердой частицы), влетевшего из межпланетного пространства в земную атмосферу.



4. Диаметр модели Земли 1,8 мм. Диаметр модели Луны 0,50 мм. Расстояние от модели Солнца до модели Земли 21,6 м. Расстояние от модели Луны до модели Земли 5,5 см.  
5.



Время от восхода до кульминации (такое же как от кульминации до захода) равно:

$$23^{\circ}45' - 21^{\circ}30' = 2^{\circ}15' < 6 \text{ часов.}$$

Значит, точка восхода южнее точки Востока, т.е., в юго-восточной части.

Момент захода  $23^{\circ}45' + 2^{\circ}15' = 26^{\circ}$ . Таким образом, звезда зайдет в 2 часа ночи.

### 10 класс

1. Каждому участнику выдавалась карта, подготовленная к работе на широте  $45^{\circ}$ . При оценке выполнения задания учитывалось число правильно указанных созвездий: восходящих, заходящих, находящихся над горизонтом, а также число светил, местонахождение которых относительно звезд и относительно горизонта участником были найдены без ошибки.

Таблица для ответов к задаче 1 (10 класс)

1	какие созвездия в г. Майкопе восходят в $19^{00}$	Рак, Малый Пес
2	какие созвездия в г. Майкопе заходят в $19^{00}$	Орел, Козерог
3	какие созвездия полностью находятся над горизонтом?	Телец, Пегас, Лира
4	Какие светила, координаты которых указаны в таблице,	

4а	а) можно будет увидеть при ясной погоде?	Юпитер
4б	б) в каком созвездии их можно будет увидеть?	В созвездии Тельца
4в	в) в какой стороне горизонта их можно будет увидеть?	В юго-восточной

2. На основе формулы  $g = \frac{GM}{R^2}$  находим ускорение свободного падения на Луне:

$$g_l = \frac{M_l}{M_3} \left( \frac{R_3}{R_l} \right)^2 = 1,6 \frac{M}{c^2}.$$

На Луне (в пустоте) время падения камня и пылинок одинаково:  $t_3 = t_4 = \sqrt{\frac{2h}{g_l}} \approx 3,5c$ .

Время падения камня на Земле без учета сопротивления воздуха  $t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}} \approx 1,4c < 3,5c$ , чтобы увеличить это время до 3,5 с сила сопротивления воздуха должна составлять не менее 80% от силы тяжести!

На движение пылинки воздух влияет гораздо сильнее, можно даже наблюдать броуновское движение пылинок при освещении их Солнцем. Поэтому:  $t_1 < t_3 = t_4 < t_2$ .

3. Толщина пластинки  $h = \frac{m}{\rho S} = 0,4 \text{ мм}$ . Посредством солнечного излучения и хорошей теплопроводности температура пластинки возрастает, а потери внутренней энергии за время  $\tau = 1c$  будут ничтожны, и их можно не учитывать. За счет энергии, полученной от Солнца, внутренняя энергия пластинки увеличивается:

$$\frac{P}{4\pi r^2} \cdot S \cdot \tau = cm\Delta t \Rightarrow \Delta t = 2^\circ C.$$

4. Составим пропорцию:

$$\left. \begin{array}{l} \ell - 7,5^\circ \\ 2\pi R - 360^\circ \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{2\pi R}{360^\circ} = \frac{\ell}{7,5^\circ} \Rightarrow R = 6112 \text{ км},$$

что на 4% меньше современного значения 6370 км.

5. Дальность видимого горизонта определяем из треугольника ODK (рис.1):

$$d^2 = (R+h)^2 - R^2 \Rightarrow d = 11,3 \text{ км}.$$

Это не означает, что нельзя увидеть метеоры на расстоянии большем, чем 11,3 км. Нужно учесть, что метеоры вспыхивают в атмосфере на большой высоте (OM на рис. 2), на много порядков превышающей 10 м. Область, над которой появляются метеоры, является поверхностью сегмента земного шара. В данном случае ее можно считать плоским кругом радиуса R. За сутки над площадью  $\pi R^2$  фиксируется  $30 \cdot 24$  метеоров, над всем земным шаром - x метеоров. Составляем пропорцию:

$$\left. \begin{array}{l} \pi R^2 - 30 \cdot 24 \\ 4\pi R_3^2 - x \end{array} \right\} \Rightarrow x = \frac{4R_3^2 \cdot 30 \cdot 24}{R^2} = 1,3 \cdot 10^6$$

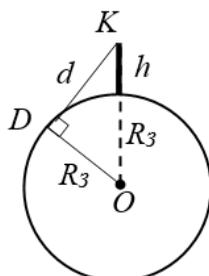


Рис.1

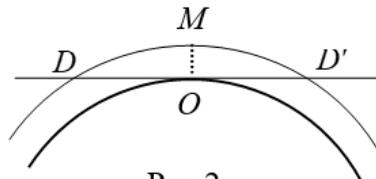


Рис.2

11 класс

1. 21 марта:  $\alpha = 0$ ,  $\delta = 0$ .

22 июня:  $\alpha = 6ч$ ,  $\delta = 23,5^\circ$ .

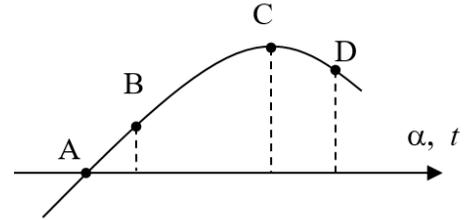
23 сентября:  $\alpha = 12ч$ ,  $\delta = 0$ .

22 декабря:  $\alpha = 18ч$ ,  $\delta = -23,5^\circ$ .

Быстрее всего склонение  $\delta$  изменяется в дни равноденствий, так как в эти моменты крутизна зависимости  $\delta$  от времени наибольшая, медленнее всего – в дни солнцестояний.

Прямое восхождение  $\alpha$  быстрее всего изменяется в дни солнцестояний (см. рис.). На рисунке  $AB=CD$ , но проекция  $AB$  на ось времени меньше, чем проекция  $CD$ .

Каждый участник имел в своем распоряжении карту экваториальных созвездий с нанесенной на ней эклипстикой и шкалой календарных дат. При оценке работ погрешности, не превышающие 5 минут в определении прямого восхождения  $\alpha$  и  $0,5^\circ$  в определении склонения  $\delta$ , не принимались во внимание (баллы не снижались).



2. Как и для вращающейся Земли ускорение свободного падения  $g_C = \frac{Gm}{r} - \frac{4\pi^2}{T^2}r$ , где  $m$  - масса

Сатурна,  $r$  - радиус Сатурна,  $T$  - период вращения Сатурна вокруг оси. Вычисления дают:

$$g_C = 8,827 \frac{M}{c^2}.$$

Плотность зонда должна быть равна плотности окружающей среды.

Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона:  $\rho = \frac{PM}{RT} = 0,25 \frac{кг}{м^3}$ .

3. Из треугольника Аристарха ЛЗС:  $\cos x = \frac{r_L}{r_C}$ , где  $r_L$  - расстояние от Земли до Луны,  $r_C$  - рас-

стояние от Земли до Солнца. Вследствие малости углов (в радианной мере):  $\delta_C = \frac{d_C}{r_C}$ ,

$$\delta_L = \frac{d_L}{r_L}.$$

Из трех уравнений получаем:

$$\frac{d_C}{d_L} = \frac{\delta_C}{\delta_L \cos x} = \frac{1919,3''}{1860,5'' \cos 89,85277778^\circ} = 401,472 \approx 400.$$

По Аристарху ( $\delta_C = \delta_L$ ):  $\frac{d_C}{d_L} = \frac{1}{\cos 87^\circ} = 19,1$ .

4. От одного противостояния до следующего Земля сделает  $x$  оборотов вокруг Солнца и обгонит Марс ровно на один оборот. Это произойдет через  $x$  лет. Марс за это время сделает  $\frac{x}{1,88}$  оборотов, так как по условию его радиус-вектор поворачивается в 1,88 раза медленнее, чем радиус-вектор Земли. Получаем:

$$x - \frac{x}{1,88} = 1 \Rightarrow x = \frac{1,88}{0,88} = 2,136,$$

т.е., противостояния повторяются через 2,14 года.

5. Оценим собственный объем частиц водородо-гелиевой плазмы (по порядку величины). Масса одного атома равна  $\frac{M}{N_A}$ . В нашем случае  $M \approx 3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ , тогда  $m \sim 10^{-26} \text{кг}$ . Число атомов в единице объема равно:

$$n_{\text{атомов}} = \frac{N}{V} = \frac{m_{\text{плазмы}}}{mV} = \frac{\rho}{m} = \frac{134,3 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{10^{-26} \text{кг}} \sim 10^{31} \text{м}^{-3},$$

число частиц в единице объема в 2-3 раза больше, но является величиной такого же порядка:  $n \sim 10^{31} \text{м}^{-3}$ . Средний объем одной частицы  $V_1 \sim (10^{-15})^3 \text{м}^3$ . В одном кубометре все частицы, сжатые вплотную, заняли бы объем  $V_{\text{собств}} = V_1 \cdot n$ , тогда  $V_{\text{собств}} \sim 10^{-14} \text{м}^3$ , что значительно меньше одного кубометра. Таким образом, собственным объемом частиц можно пренебречь.

Сравним потенциальную и кинетическую энергии частиц. Кинетическая энергия частицы  $\frac{3}{2} kT \approx 10^{-16} \text{Дж}$ , потенциальная энергия взаимодействия двух частиц:  $W_n = k' \frac{Ze^2}{r}$ . На одну

частицу в плазме приходится объем, равный  $\frac{1}{n} \sim 10^{-31} \text{м}^3$ , соответственно среднее расстояние

между частицами  $r = \sqrt[3]{10^{-31}} \sim 10^{-10} \text{м}$ , тогда

$$W_n = k' \frac{Ze^2}{r} \sim 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{10^{-10}} \sim 10^{-18} \text{Дж}.$$

Вывод: изменением потенциальной энергии частицы по сравнению с изменением ее кинетической энергии можно пренебречь. Следовательно, плазму можно считать идеальным газом, то есть допускается применение уравнения Менделеева-Клапейрона.

Найдем молярную массу плазмы.

Из уравнения Менделеева-Клапейрона молярная масса идеального газа равна:  $M = \frac{\rho RT}{P}$ . Из таблицы, приведенной в условии получаем молярную массу для различных расстояний от центра Солнца:

$\frac{r}{R}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4
М, г/моль	0,726	0,659	0,609	0,602	0,602

Вычислим массовую долю водорода. В плазме массой  $m$  находится  $\alpha m$  водорода и  $(1-\alpha)m$  гелия. Рассмотрим отдельно водородную и гелиевую составляющие.

1) Масса водородной плазмы, равная молярной массе атомарного водорода  $M_H$ , содержит  $2N_A$  частиц, а масса, равная  $\alpha m$ , содержит  $2N_A \cdot \frac{\alpha m}{M_H}$  частиц.

2) Масса гелиевой плазмы, равная молярной массе гелия  $M_{He}$ , содержит  $3N_A$  частиц, а масса, равная  $(1-\alpha)m$ , содержит  $3N_A \cdot \frac{(1-\alpha)m}{M_{He}}$  частиц.

Количество частиц в водородо-гелиевой плазме массой  $m$  находим суммированием числа частиц отдельных составляющих плазмы:  $mN_A \cdot \left( \frac{2\alpha}{M_H} + \frac{3(1-\alpha)}{M_{He}} \right)$ .

В плазме массой  $M$  находится  $N_A$  частиц.

Получаем пропорцию:  $\frac{m}{M} = \frac{mN_A}{N_A} \cdot \left( \frac{2\alpha M_{He} + 3(1-\alpha)M_H}{M_H M_{He}} \right)$ , откуда следует:

$$\alpha = \frac{M_H(M_{He} - 3M)}{M(2M_{He} - 3M_H)}$$

Полученные значения  $\alpha$  занесем в исходную таблицу.

$\frac{r}{R}$	$P$ , Па	$T$ , К	$\rho$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$M$ , $\frac{\text{г}}{\text{моль}}$	$\alpha$
0	$2,244 \cdot 10^{16}$	$1,462 \cdot 10^7$	$134,3 \cdot 10^3$	0,726	0,502
0,1	$1,365 \cdot 10^{16}$	$1,265 \cdot 10^7$	$85,51 \cdot 10^3$	0,659	0,614
0,2	$4,645 \cdot 10^{15}$	$9,354 \cdot 10^6$	$36,39 \cdot 10^3$	0,609	0,714
0,3	$1,180 \cdot 10^{15}$	$6,653 \cdot 10^6$	$12,85 \cdot 10^3$	0,602	0,729
0,4	$2,704 \cdot 10^{14}$	$4,742 \cdot 10^6$	$4,130 \cdot 10^3$	0,602	0,729

Выводы. По мере приближения к центру Солнца доля водорода уменьшается, соответственно, доля гелия возрастает. Это говорит о том, что в зоне термоядерных реакций водород превращается в гелий. Радиус зоны приблизительно  $0,3R_c$ .

В данной статье авторы несколько преувеличили уровень сложности некоторых задач по сравнению с тем, что был в представленных для школьников заданиях на самой олимпиаде. Так, в условии задачи 2 для 8-го класса вместо сидерического в статье дан синодический месяц. Это сделано для того, чтобы нацелить учащихся, готовящихся к олимпиаде по астрономии, на уровень заданий регионального этапа.

### Литература

1. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 688 с.
2. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1977. – 272 с.
3. Гусев Е.Б. Сборник вопросов и качественных задач по астрономии. Книга для учащихся. – М.: Просвещение, 2002. – 173 с.
4. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 504 с.

## TASKS OF ASTRONOMY OLYMPIAD

I.N. Zhukova, V.S. Malykh

The article presents with the tasks of the second (municipal) stage of the All-Russian Olympiad of Schoolchildren in Astronomy, held in the Republic of Adygea in the 2012-2013 academic year. When drawing up tasks, it was taken into account that by this time Astronomy, as an academic subject, had not yet been returned to secondary school, and it was possible to rely only on the astronomical component of related subjects: geography, physics, chemistry. The material of the article can be used in preparing schoolchildren for astronomical Olympiads.