

XXI Международная астрономическая олимпиада  
XXI International Astronomy Olympiad

Болгария, Пампорово-Смолян 5 – 13. X. 2016 Pamporovo-Smolyan, Bulgaria

ЯЗЫК  
language

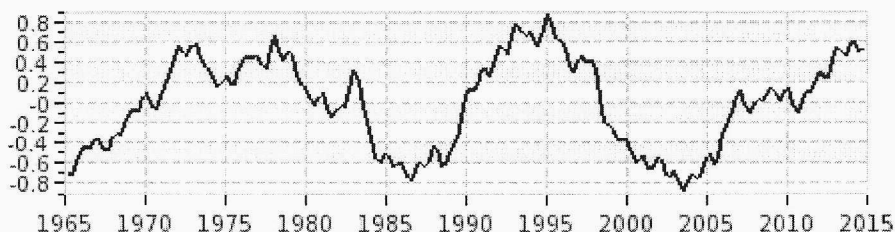
**Русский**

### Задачи теоретического тура

1. **Спутник Марса.** На орбиту вокруг Марса предполагается запустить искусственный спутник с аппаратурой для наблюдения солнечных затмений, аналогичных тем, что мы наблюдаем на Земле. Затмевающим объектом была бы сама планета Марс. Оцените, возможно ли это, и каким мог бы быть период обращения такого спутника. Нарисуйте чертёж, наглядно объясняющий Ваше решение.

2. **Продолжительность суток.**

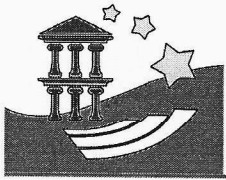
Из-за влияния Луны вращение Земли постепенно замедляется, увеличивая продолжительность суток на 16 миллисекунд за каждое тысячелетие. Однако кроме этого



наблюдаются значительные вариации этой продолжительности с периодом от года до нескольких сотен лет. На графике представлены так называемые «субдекадные» вариации продолжительности суток за последние 50 лет, по вертикальной оси – отклонения в миллисекундах. Согласно одной из теорий, единственной причиной этих вариаций являются колебания уровня мирового океана. В рамках этой модели найдите, насколько бы поднялся ( $\Delta h = +\dots$ ) или опустился ( $\Delta h = -\dots$ ) уровень мирового океана с 1995 по 2003 год.

Задачи 3, 4, 5 – см. стр. 2.

Problems 3, 4, 5 – see page 2.



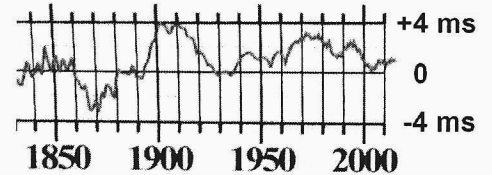
XXI Международная астрономическая олимпиада  
XXI International Astronomy Olympiad

Болгария, Пампорово-Смолян 5 – 13. X. 2016 Pamporovo-Smolyan, Bulgaria

Язык language	<b>Русский</b>
------------------	----------------

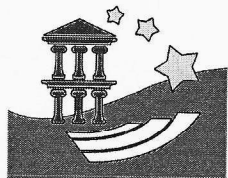
### Задачи теоретического тура

- 1. Сфера Дайсона.** Существует фантастическая гипотеза, что Бетельгейзе – это не красный сверхгигант, а искусственная конструкция, сфера Дайсона, сооружённая вокруг своей звезды сверх-высоко-температурной цивилизацией. Естественно, радиус построенной сферы стал таким, каким ранее был радиус орбиты их прежней планеты. Оцените орбитальный период их прежней планеты.
- 2. Продолжительность суток.** Из-за влияния Луны вращение Земли постепенно замедляется, увеличивая продолжительность суток на 16 миллисекунд за каждое тысячелетие. Однако кроме этого наблюдаются значительные вариации этой продолжительности с периодом от года до нескольких сотен лет. На графике представлено изменение продолжительности суток с учётом так называемых «субдекадных» вариаций в период с 1830 по 2014 год, по вертикальной оси – отклонения в миллисекундах. Согласно одной из теорий, единственной причиной этих вариаций являются колебания уровня мирового океана. В рамках этой модели оцените, как изменялся уровень мирового океана в эти годы. Постройте примерный график этих изменений (по горизонтальной оси – годы, по вертикальной – изменения уровня океана в нужном масштабе).



Задачи 3, 4, 5 – см. стр. 2.

Problems 3, 4, 5 – see page 2.



XXI Международная астрономическая олимпиада  
XXI International Astronomy Olympiad

Болгария, Пампорово-Смолян 5 – 13. X. 2016 Pamporovo-Smolyan, Bulgaria

Язык	<b><u>Русский</u></b>
language	

## Задачи теоретического тура. Продолжение

**Общее введение к задачам 3 и 4. Небесное предзнаменование.** 22 июня 813 года н.э., после 15 дней стояния друг напротив друга, болгарский хан Крум разбил византийскую армию императора Михаила I Рангави близ Адрианополя (современный Эдирне, Турция) и взял город. После этой победы болгарское войско двинулось на Константинополь и осадило столицу Византии. Не исключено, что на исход битвы повлияло суеверие военачальников, боязнь астрономического события, описанного в византийских хрониках: «Когда две армии, болгарская на северо-западе и греческая на юго-востоке, сошлись, страшное небесное предзнаменование явилось взору воинов: две кометы, яркие как луны, отделились одна от другой». Ряд историков астрономии полагает, что это одно из первых описаний разделения кометного ядра. Однако возможны и другие варианты.

**3. Небесное предзнаменование. Две кометы.** Представим себе две кометы, движущиеся одна за другой строго по одной траектории. Возьмём период обращения комет ровно 3 года, предположим, что они вступают в противостояние для наблюдателя на Земле при прохождении афелия своей орбиты (достигая середины пояса астероидов), но их видимые положения при этом так близки друг к другу, что для невооружённого глаза кометы сливаются в одну видимую точку. На каком максимальном угловом расстоянии друг от друга могут наблюдаться эти кометы в момент прохождения ими перигелия? (Возможно, на таком угловом расстоянии, две кометы и наблюдались в июне 813 года).

**4. Небесное предзнаменование. Луна и комета.** Ещё более удивительным, но, тем не менее, возможным объяснением этого явления может быть окончание покрытия яркой кометы Луной в фазе тонкого серпика. Тогда воины могли видеть, как комета выходит из-за освещённой части Луны и два серпа расходятся на небе. В таком случае:

**4.1.** В какое время суток могло наблюдаться это явление?

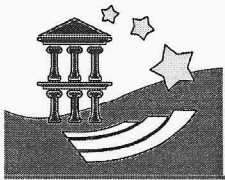
**4.2.** В какой созвездии могло наблюдаться это явление?

**4.3.** Какую из двух армий предзнаменование напугало больше? Почему?

**4.4.** Сопроводите решение художественным рисунком воинов перед сражением. Укажите на рисунке необходимые линейные или угловые размеры.

**4.5.** Вычислите (или объясните, каких данных не хватает для вычисления), в какие из 15 суток стояния армий перед битвой, могло наблюдаться данное явление.

**5. Поиски астероидов.** Современным телескопом среднего размера можно зарегистрировать астероид из главного пояса астероидов размером до 2,5 км. Какого размера объекты пояса Койпера можно зарегистрировать этим же телескопом этими же методами? Все необходимые характеристики астероидов главного пояса и пояса Койпера вспомните самостоятельно.



XXI Международная астрономическая олимпиада  
XXI International Astronomy Olympiad

Болгария, Пампорово-Смолян 5 – 13. X. 2016 Pamporovo-Smolyan, Bulgaria

язык	<b><u>Русский</u></b>
language	
язык	<b><u>English</u></b>
language	

Элементы орбит и физические характеристики  
планет, некоторых карликовых планет, Солнца и Луны

Parameters of orbits and physical characteristics of  
planets, some dwarf planets, Sun and Moon

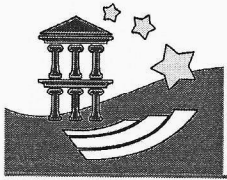
Небесное тело, планета	Среднее расстояние от центрального тела		Сидерический период обращения		Эксцентриситет, e	Экваториальн. диаметр, км	Масса, 10 <sup>24</sup> кг	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Ускор. своб. пад. у пов. м/с <sup>2</sup>	Макс. блеск, вид. с Земли (**)	Альбедо
	в астр. ед.	в млн. км	в тропич. годах	в средних сутках							
Body, planet	Average distance to central body		Sidereal (or analogous) period		Eccentricity e	Equat. diameter km	Mass 10 <sup>24</sup> kg	Av. density g/cm <sup>3</sup>	Grav. acceler. at surf. m/s <sup>2</sup>	Max. magn. from Earth (**)	Albedo
	in astr. units	in mln. km	in tropical years	in days							
Солнце Sun	1,6 · 10 <sup>9</sup>	2,5 · 10 <sup>11</sup>	2,2 · 10 <sup>8</sup>	8 · 10 <sup>10</sup>		1392000	1989000	1,409		-26,8 <sup>m</sup>	
Меркурий Mercury	0,387	57,9	0,241	87,969	0,206	4 879	0,3302	5,43	3,70	-2,2 <sup>m</sup>	0,06
Венера Venus	0,723	108,2	0,615	224,701	0,007	12 104	4,8690	5,24	8,87	-4,7 <sup>m</sup>	0,78
Земля Earth	1,000	149,6	1,000	365,256	0,017	12 756	5,9742	5,515	9,81		0,36
Луна Moon	0,00257	0,38440	0,0748	27,3217	0,055	3 475	0,0735	3,34	1,62	-12,7 <sup>m</sup>	0,07
Марс Mars	1,524	227,9	1,880	686,980	0,093	6 794	0,6419	3,94	3,71	-2,0 <sup>m</sup>	0,15
Церера Ceres	2,77	414	4,60	1 681	0,077	963	0,0009	2,16	0,27	6,7 <sup>m</sup>	0,09
Юпитер Jupiter	5,204	778,6	11,862	4 332,59	0,048	142 984	1899,8	1,33	24,86	-2,7 <sup>m</sup>	0,66
Сатурн Saturn	9,584	1433,7	29,458	10 759,20	0,054	120 536	568,50	0,70	10,41	0,7 <sup>m</sup>	0,68
Уран Uranus	19,191	2871,0	84,015	30 685,93	0,046	51 118	86,625	1,30	8,44	5,5 <sup>m</sup>	0,74
Нептун Neptune	30,071	4498,6	164,778	60 187,64	0,008	49 532	102,78	1,76	11,20	7,8 <sup>m</sup>	0,58
Плутон Pluto	39,482	5906,4	248,09	90 613	0,249	2 374	0,0130	1,86	0,61	15,1 <sup>m</sup>	0,6
Макемаке Makemake	45,436	5906,4	306,28	111 867	0,163	1 502	0,003	1,70	0,40		0,77
Эрида Eris	67,668	10210	557	203 500	0,441	2 326	0,0167	2,52	0,68		0,90

\*\*) Для внешних планет и Луны – в среднем противостоянии.  
\*\*) For outer planets and Moon – in mean opposition.

Данные о некоторых звёздах

Data of some stars

			R.A.	DEC	Расстояние Distance	Зв. вел. Mag.	Температура Temperature	Масса Mass
Солнце Sun	☉	0 <sup>h</sup> – 24 <sup>h</sup>	-23°26' – +23°26'	1 au	-26 <sup>m</sup> .74	5777 K	1 M <sub>☉</sub>	
Бетельгейзе Betelgeuse	α Ori	05 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup>	07° 24' 25"	197 pc	0 <sup>m</sup> .5	3590 K	11.6 M <sub>☉</sub>	
Альфа Центавра Alpha Centauri	α Cen	14 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> 36 <sup>s</sup>	-60° 50' 07"	1.33 pc	-0 <sup>m</sup> .01 1 <sup>m</sup> .33	5810 K 5260 K	1.11 M <sub>☉</sub> 0.93 M <sub>☉</sub>	



XXI Международная астрономическая олимпиада  
XXI International Astronomy Olympiad

Болгария, Пампорово-Смолян 5 - 13. X. 2016 Pamporovo-Smolyan, Bulgaria

ЯЗЫК	<b><u>Русский</u></b>
language	
ЯЗЫК	<b><u>English</u></b>
language	

Некоторые константы и формулы

Some constants and formulae

Скорость света в вакууме, $c$ (м/с)	299 792 458	Speed of light in vacuum, $c$ (m/s)
Гравитационная постоянная, $G$ ( $\text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ )	$6.674 \cdot 10^{-11}$	Constant of gravitation, $G$ ( $\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ )
Солнечная постоянная, $A$ ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ )	1367	Solar constant, $A$ ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
Параметр Хаббла, среднее значение $H_0$ (км/с/Мпк) диапазон значений	68 50-100	mean value Hubble parameter, diapason of values $H_0$ (km/s/Mpc)
Постоянная Планка, $h$ (Дж·с)	$6.626 \cdot 10^{-34}$	Plank constant, $h$ (J·s)
Заряд электрона, $e$ (Кл)	$1.602 \cdot 10^{-19}$	Charge of electron, $e$ (C)
Масса электрона, $m_e$ (кг)	$9.109 \cdot 10^{-31}$	Mass of electron, $m_e$ (kg)
Соотношение масс протона и электрона	1836.15	Proton-to-electron mass ratio
Постоянная Фарадея, $F$ (Кл/моль)	96 485	Faraday constant, $F$ (C/mol)
Магнитная постоянная, $\mu_0$ (Гн/м)	$1.257 \cdot 10^{-6}$	Magnetic constant, $\mu_0$ (H/m)
Универсальная газовая постоянная, $R$ (Дж/моль/К)	8.314	Universal gas constant, $R$ (J/mol/K)
Постоянная Больцмана, $k$ (Дж/К)	$1.381 \cdot 10^{-23}$	Boltzmann constant, $k$ (J/K)
Постоянная Стефана-Больцмана, $\sigma$ ( $\text{Вт}/\text{м}^2/\text{К}^4$ )	$5.670 \cdot 10^{-8}$	Stefan-Boltzmann constant, $\sigma$ ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{K}^4$ )
Константа смещения Вина, $b$ (м·К)	0.002897	Wien's displacement constant, $b$ (m·K)
Лабораторная длина волны $H\alpha$ (Å)	6562.81	Laboratory wavelength of $H\alpha$ (Å)
Длина тропического года, $T$ (сут)	365.242199	Tropical year length, $T$ (days)
Длина сидерического года, $T$ (сут)	365.25636	Sidereal year length, $T$ (days)
Длина аномалистического года, $T$ (сут)	365.259636	Anomalistic year length, $T$ (days)
Период обращения узлов лунной орбиты (лет)	-18.6	Nodal period of lunar orbit (years)
Стандартная атмосфера (Па)	101 325	Standard atmosphere (Pa)
Ослабление видимого света слоем 1 атмосферы (минимально)	19%, $0.23^m$	Visible light extinction by the terrestrial atmosphere in zenith (minimum)
Высота однородной атмосферы (м)	7991	Height of homogeneous atmosphere (m)
Показатель преломления воды при 20°C, $n$	1.334	Refractive index of water for 20°C, $n$
Момент инерции шара	$I = \frac{2}{5} MR^2$	Moment of inertia of a solid ball
Момент инерции сферы	$I = \frac{2}{3} MR^2$	Moment of inertia of sphere
Объём шара	$V = \frac{4}{3} \pi R^3$	Volume of a ball
Площадь сферы	$S = 4\pi R^2$	Area of sphere
$\pi$	3.14159265	$\pi$
$e$	2.71828183	$e$
Золотое сечение, $\phi$	1.61803399	Golden ratio, $\phi$