

Условия задач
Открытой межрегиональной олимпиады
по астрономии имени Ф.А. Бредихина
10-11 класс

№ 1. «Вега и Капелла»

Определите долю части поверхности Земли, с любой точки которой, Вега ($\alpha_{\text{В}} = 18^{\text{h}}37^{\text{m}}$, $\delta_{\text{В}} = 38^{\circ}47'$) видна лишь в верхней кульминации, а Капелла ($\alpha_{\text{К}} = 05^{\text{h}}17^{\text{m}}$, $\delta_{\text{К}} = 46^{\circ}00'$) – видна в двух кульминациях? В качестве формы Земли принять шар.

№ 2. «Взгляд на систему «Земля-Луна» из окрестностей Красной планеты»

На рис. 1 представлена фотография системы «Земля-Луна», полученная космическим аппаратом Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), пребывающим в окрестности Красной планеты. В какой конфигурации находилась система относительно MRO? В какой конфигурации располагалась Красная планета для земного наблюдателя в этот момент? Оцените с использованием данной фотографии а) расстояние от КА до данной системы (в а.е.) в момент съемки; б) угловые диаметры Земли и Луны в этом положении (в угл. сек.), в) максимально возможное угловое расстояние между телами системы (в угл. мин.) с позиции Красной планеты в этот момент. Следует полагать орбиты всех рассматриваемых планет круговыми и лежащими в одной плоскости.

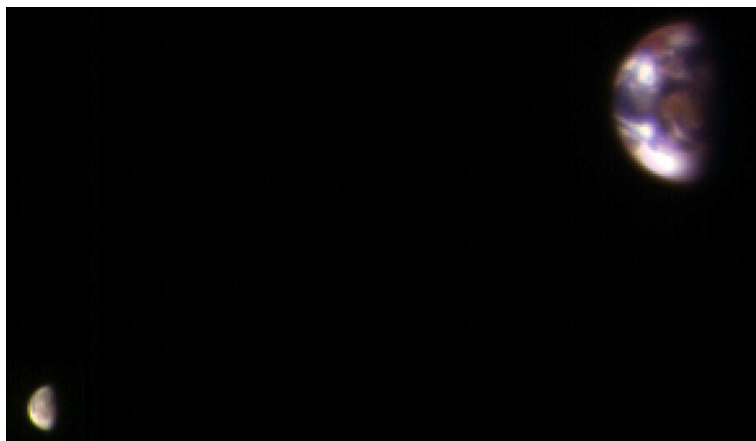


Рис. 1: фотография системы «Земля-Луна», полученная КА MRO.

№ 3. «Блеск космопоезда Starlink»

Условие. 18 марта 2020 года компания Space X запустила новую серию спутников Starlink-5 на промежуточную, почти круговую околоземную орбиту высотой 300 км и наклонением $i = 53^{\circ}$. В ночь на 20 марта 2020 года 59 спутников данной серии, расположившись цепочкой на данной орбите, на приблизительно одинаковом расстоянии друг от друга, прошли на минимально возможном расстоянии от зенита г. Самары ($\varphi = 53^{\circ}12'$) вблизи местной истинной полуночи. Определите интегральный блеск 59 спутников Starlink-5 в тот момент, когда 30-й спутник прошел через меридиан? В этот момент его звездная величина составила $m_{30} = +3.0^{\text{m}}$, а блеск остальных спутников равномерно возрастал на одну и ту же величину (при переходе между соседними спутниками) в направлении к первому и 59-му спутникам. Блеск последних составил $m_1 = m_{59} = +5.0^{\text{m}}$. Определите также фазовый угол и зенитное расстояние 30-го спутника в этот момент для жителя Самары?

№ 4. «Где Луна не восходит сутки?»

Определите значения географической широты точек поверхности Земли, где Луна полностью находится за горизонтом, хотя бы в течение одних средних солнечных суток? В расчетах необходимо учесть конечность размеров видимого диска Луны и атмосферную рефракцию. Орбиту Луны считать круговой.

№ 5. «Вероятность детектирования экзопланеты»

Вокруг звезды спектрального класса G2 главной последовательности движется по круговой орбите экзопланета с температурой поверхности, равной $T = 350$ К, альбедо $A = 0.47$ и радиусом, подобным радиусу Земли. Оцените вероятность обнаружения такой экзопланеты транзитным методом с Земли в случае длительных наблюдений.

№ 6. «Сатурн и его спутник»

На рис. 2 представлена фотография Сатурна и его спутника (обладающего атмосферой, более плотной чем земная), которая получена автоматической межпланетной станцией (АМС) «Кассини». Какой именно спутник Сатурна изображен на фото? Определите по фотографии: а) угол падения солнечного света на кольца Сатурна, если экваториальный и полярный радиусы Сатурна равны $R_e = 60268$ км, $R_p = 54364$ км, а внутренний радиус кольца $C - r = 74500$ км; б) значения ширины колец А, В, С планеты, тени от которых отчетливо видны на диске планеты, в) ширину щели Кассини между кольцами А и В, г) расстояние от центра планеты до АМС на момент съемки.

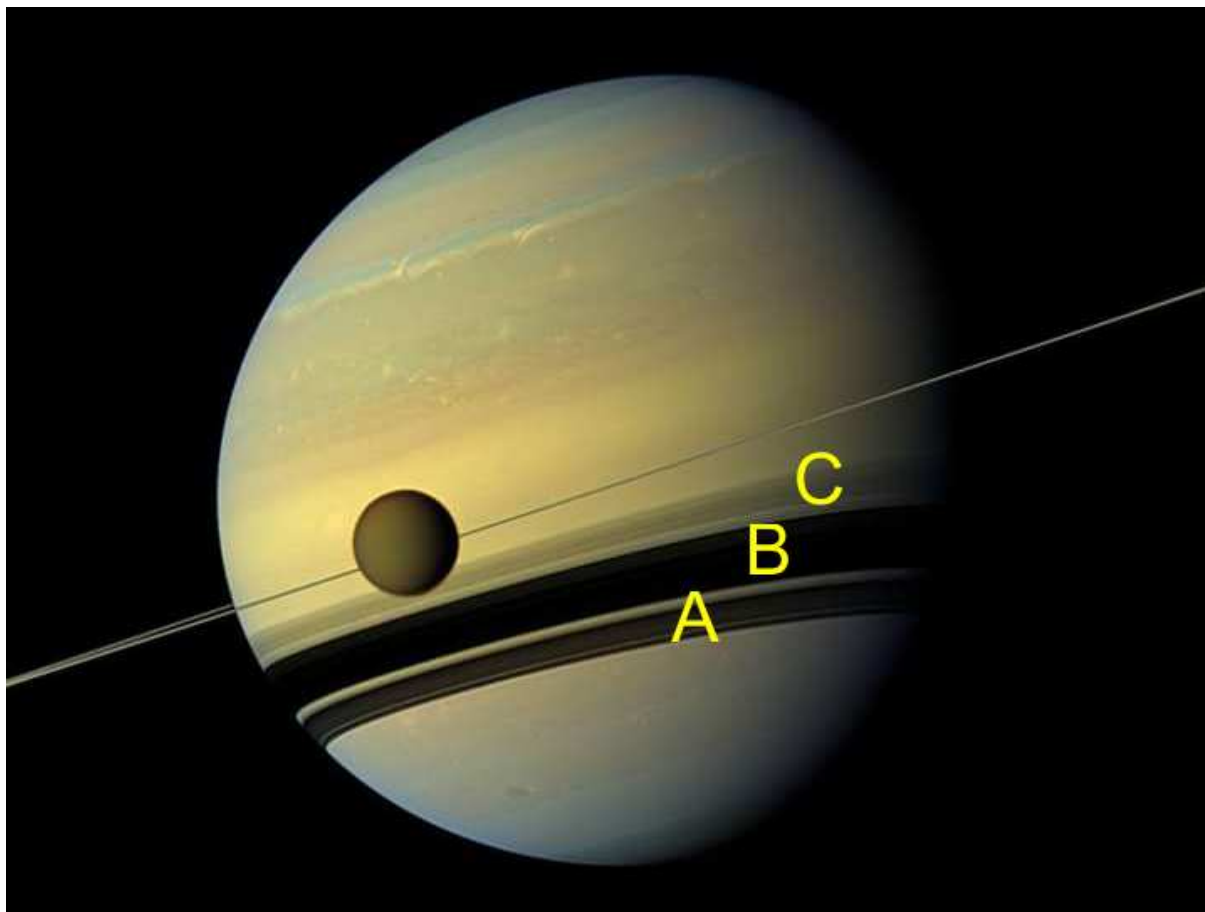


Рис. 2: фотография Сатурна и его спутника, полученная с борта АМС "Кассини".

На решение задач данного этапа Олимпиады участникам отводится 4 часа.

Основные справочные данные

§1. Основные физические и астрономические постоянные

- Гравитационная постоянная – $G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
- Скорость света в вакууме – $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
- Универсальная газовая постоянная – $R = 8.31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
- Постоянная Стефана-Больцмана – $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$
- Масса протона – $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
- Масса электрона – $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
- Астрономическая единица – $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
- Парсек – $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
- Световой год – $1 \text{ св. г.} = 9.461 \cdot 10^{15} \text{ м}$
- Постоянная Хаббла – $H = 72 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$

§2. Данные о Солнце

- Радиус – $6.955 \cdot 10^5 \text{ км}$
- Масса – $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
- Светимость – $3.827 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
- Спектральный класс – G2
- Видимая звездная величина – -26.74^m
- Абсолютная болометрическая звездная величина – $+4.83^m$
- Показатель цвета (B-V) – $+0.67^m$
- Эффективная температура – 5778 К
- Средний горизонтальный параллакс – $8.794''$
- Интегральный поток энергии на расстоянии Земли – 1360 Вт/м^2
- Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли – 600 Вт/м^2

§3. Данные о Земле

- Эксцентриситет орбиты – 0.017
- Тропический год – 365.24219 сут
- Средняя орбитальная скорость – 29.8 км/с
- Период вращения – $23 \text{ часа } 56 \text{ минут } 04 \text{ секунды}$
- Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000.0 – $23^\circ 26' 21.45''$
- Экваториальный радиус – 6378.14 км
- Полярный радиус – 6356.77 км
- Масса – $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
- Средняя плотность – $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
- Объемный состав атмосферы – N_2 (78%), O_2 (21%), Ar ($\sim 1\%$)

§4. Данные о Луне

- Среднее расстояние от Земли – 384400 км
- Минимальное расстояние от Земли – 356410 км
- Максимальное расстояние от Земли – 406700 км
- Эксцентриситет орбиты – 0.055
- Наклон плоскости орбиты к эклиптике – $5^\circ 09'$
- Сидерический (звездный) период обращения – 27.321662 сут

- Синодический период обращения – 29.530589 сут
- Радиус – 1738 км
- Масса – $7.348 \cdot 10^{22}$ кг или 1/81.3 массы Земли
- Средняя плотность – $3.34 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$
- Визуальное геометрическое альbedo – 0.12
- Видимая звездная величина в полнолуние – -12.7^m

§5. Физические характеристики Солнца и планет

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Геометрич. альbedo	Вид. звездная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1.989 \cdot 10^{30}$	332946	695500	108.97	1.41	25.380 сут	7.25	–	-26.8^m
Меркурий	$3.302 \cdot 10^{23}$	0.05271	2439.7	0.3825	5.42	58.646 сут	0.00	0.10	–0.1
Венера	$4.869 \cdot 10^{24}$	0.81476	6051.8	0.9488	5.20	243.019 сут [†]	177.36	0.65	-4.4^m
Земля	$5.974 \cdot 10^{24}$	1.00000	6378.1	1.0000	5.52	23.934 час	23.45	0.37	–
Марс	$6.419 \cdot 10^{23}$	0.10745	3397.2	0.5326	3.93	24.623 час	25.19	0.15	-2.0^m
Юпитер	$1.899 \cdot 10^{27}$	317.94	71492	11.209	1.33	9.924 час	3.13	0.52	-2.7^m
Сатурн	$5.685 \cdot 10^{26}$	95.181	60268	9.4494	0.69	10.656 час	25.33	0.47	0.4^m
Уран	$8.683 \cdot 10^{25}$	14.535	25559	4.0073	1.32	17.24 час [†]	97.86	0.51	5.7^m
Нептун	$1.024 \cdot 10^{26}$	17.135	24746	3.8799	1.64	16.11 час	28.31	0.41	7.8^m

* для наибольшей элонгации Меркурия и Венеры и среднего противостояния внешних планет;

[†] – обратное вращение.

§6. Характеристики орбит планет

Планета	Большая полуось		Эксцентриситет	Наклон к плоскости эклиптики	Период обращения	Синодический период
	млн. км	а.е.				
Меркурий	57.9	0.3871	0.2056	7.004	87.97 сут	115.9
Венера	108.2	0.7233	0.0068	3.394	224.70 сут	583.9
Земля	149.6	1.0000	0.0167	0.000	365.26 сут	–
Марс	227.9	1.5237	0.0934	1.850	686.98 сут	780.0
Юпитер	778.3	5.2028	0.0483	1.308	11.862 лет	398.9
Сатурн	1429.4	9.5388	0.0560	2.488	29.458 лет	378.1
Уран	2871.0	19.1914	0.0461	0.774	84.01 лет	369.7
Нептун	4504.3	30.0611	0.0097	1.774	164.79 лет	367.5

§7. Характеристики некоторых спутников планет

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрич. альбедо	Вид. звездная величина*
	кг	км	г·см ⁻³	км	сут		
Земля							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
Марс							
Фобос	$1.08 \cdot 10^{16}$	~ 10	2.0	9380	0.31910	0.06	11.3
Деймос	$1.8 \cdot 10^{15}$	~ 6	1.7	23460	1.26244	0.07	12.4
Юпитер							
Ио	$8.94 \cdot 10^{22}$	1815	3.55	421800	1.769138	0.61	5.0
Европа	$4.8 \cdot 10^{22}$	1569	3.01	671100	3.551181	0.64	5.3
Ганимед	$1.48 \cdot 10^{23}$	2631	1.94	1070400	7.154553	0.42	4.6
Каллисто	$1.08 \cdot 10^{23}$	2400	1.86	1882800	16.68902	0.20	5.7
Сатурн							
Тефия	$7.55 \cdot 10^{20}$	530	1.21	294660	1.887802	0.9	10.2
Диона	$1.05 \cdot 10^{21}$	560	1.43	377400	2.736915	0.7	10.4
Рея	$2.49 \cdot 10^{21}$	765	1.33	527040	4.517500	0.7	9.7
Титан	$1.35 \cdot 10^{23}$	2575	1.88	1221850	15.94542	0.21	8.2
Япет	$1.88 \cdot 10^{21}$	730	1.21	3560800	79.33018	0.20	~ 11.0
Уран							
Миранда	$6.33 \cdot 10^{19}$	235.8	1.15	129900	1.413479	0.27	16.3
Ариэль	$1.7 \cdot 10^{21}$	578.9	1.56	190900	2.520379	0.34	14.2
Умбриэль	$1.27 \cdot 10^{21}$	584.7	1.52	266000	4.144177	0.18	14.8
Титания	$3.49 \cdot 10^{21}$	788.9	1.70	436300	8.705872	0.27	13.7
Оберон	$3.03 \cdot 10^{21}$	761.4	1.64	583500	13.46324	0.24	13.9
Нептун							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	1350	2.07	354800	5.87685 [†]	0.7	13.5

* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

§8. Формулы приближенного вычисления

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x;$$

$$\sin(x \pm \alpha) \approx \sin \alpha \pm x \cos \alpha;$$

$$\cos(x \pm \alpha) \approx \cos \alpha \mp x \sin \alpha;$$

$$\operatorname{tg}(x \pm \alpha) \approx \operatorname{tg} \alpha \pm \frac{x}{\cos^2 \alpha};$$

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx;$$

здесь $x \ll 1$, все углы выражаются в радианах.