

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

**№ 1. «Оптические инструменты и их возможности»**

Вашему вниманию представлены оптические инструменты, которые астроном-любитель может использовать для наблюдения объектов земного небосвода.

Оптические инструменты				
А) Невооруженный глаз	В) Театральный бинокль $2.5 \times 30$	С) Полевой бинокль $7 \times 50$	D) Телескоп Ньютона ( $D = 150$ мм, $F = 750$ мм)	E) Телескоп Максутова-Кассегрена ( $D = 127$ мм, $F = 1300$ мм)
разрешающая способность = $1'$		+ солнечный фильтр	+ редуктор фокуса 0.85 + окуляр 25 мм	+ линза Барлоу $3\times$ + окуляр 15 мм

Таблица 1. К определению оптических инструментов, используемых астрономом-любителем.

Ответьте на следующие вопросы (в соответствующую ячейку запишите латинскую букву выбранного инструмента):

1.	В поле зрения какого оптического инструмента может полностью поместиться радуга?	2 балла	
2.	Какой оптический инструмент следует использовать для наблюдения Солнца?	2 балла	
3.	Какой оптический инструмент является оптимальным для близорукого человека, стремящегося рассмотреть звездные поля и целые созвездия?	2 балла	
4.	Какой из представленных инструментов обладает наибольшей проникающей силой?	2 балла	
5.	Какой из представленных инструментов наибольшей апертуры еще можно использовать в наблюдениях без штатива?	2 балла	
6.	Какой из представленных инструментов является оптимальным для наблюдений классических планет и планетарных туманностей?	2 балла	
7.	У какого инструмента с уменьшением яркости объекта ухудшается разрешающая способность?	2 балла	
8.	Какой из представленных инструментов обладает лучшей разрешающей способностью?	2 балла	
9.	В какой из инструментов (не считая глаз) невозможно рассмотреть Сатурн (без колец, в противостоянии) как неточечный объект?	2 балла	
10.	В поле зрения какого инструмента полностью не войдет диск Луны в полнолуние?	2 балла	

**№ 2. «Солнечное гало на экваторе в день равноденствия»**

На рис. 1 представлена фотография малого солнечного гало – атмосферного оптического метеорологического явления, представляющего собой светящееся кольцо, образующееся вокруг Солнца, имеющее угловой радиус  $22^\circ$  и являющееся результатом рассеяния света на гексагональных кристаллах водяного льда. Предположим, что в результате влажной прохладной погоды данный феномен наблюдался в некоторой точке земного экватора все светлое время, в сутки равноденствия. Определите моменты местного среднего солнечного времени (уравнением времени

Часть суток				
День	Гражданские су- мерки	Навигационные сумерки	Астрономические сумерки	Астрономическая ночь

Таблица 2. К определению части суток в моменты начала «восхода»/окончания «захода» малого гало за горизонт.

пренебречь), соответствующие

1. Началу «восхода» и окончанию «захода» гало за горизонт. (6 баллов) Какая часть суток должна наблюдаться в эти моменты? Свой ответ укажите знаком «+» в ячейке под соответствующей частью суток в табл. 2. (2 балла)

2. Окончанию «восхода» и началу «захода» гало за горизонт. (4 балла) Чему равны продолжительность «восхода/захода» гало + время его пребывания полностью над горизонтом? (2 балла)

3. Чему равен телесный угол области небосвода, которую «замечает» солнечное гало в результате суточного движения Солнца, полностью пребывая над горизонтом. (6 баллов)

Атмосферной рефракцией и искажениями образа гало вблизи горизонта пренебречь.

### № 3. «Угол между суточной параллелью Солнца и горизонтом»

Как известно, в течение года угол между суточной параллелью Солнца и горизонтом в точках его восхода и захода не остается постоянным.

1. Получите аналитическую формулу, устанавливающую связь между указанным углом, наклоном Солнца и широтой места наблюдения. (8 баллов)

2. Определите интервал возможных значений для данного угла, достигаемых им в течение года в г. Самаре (широта –  $53^{\circ}12'$ , долгота –  $50^{\circ}06'$ ). (6 баллов)

3. Представьте данный угол как функцию времени, прошедшего с момента весеннего равноденствия. (6 баллов)

### № 4. «Незнайка на МКС и запуск наноспутников»

Незнайка отправился на Международную космическую станцию (МКС) в качестве космического туриста. Желая создать свою собственную сеть наноспутников, Незнайка решил самовольно запустить четыре наноспутника собственной сборки с помощью пневматической пушки с борта станции. Запуск был выполнен в четырех различных направлениях, со скоростью  $V_0 = 50$  м/с относительно МКС: 1-ый – по направлению движения МКС, 2-ой – против направления движения МКС. В направлении, перпендикулярном плоскости орбиты, в северную полусферу небосвода был запущен 3-ий спутник, а 4-ый – перпендикулярно плоскости орбиты, в южную полусферу. Физику и астрономию Незнайка в школе, как известно, толком не учил, и потому не догадывался, что создал серьезную опасность столкновения МКС и запущенных спутников. Определите:

1. Какой(ие) из запущенных спутников представляе(ю)т опасность столкновения с МКС спустя один ее полный оборот? Сближение с МКС следует считать опасным, если расстояние между МКС и наноспутником меньше 5 км. Свой ответ обоснуйте строго математически.

2. Чему равны эксцентриситеты орбит, большие полуоси и сидерические периоды этих наноспутников? Орбиту МКС считать круговой, высота которой  $h = 418$  км. (20 баллов)

### № 5. «Линзовидная галактика и темная материя»

Существует крупная линзовидная галактика с диаметром  $D = 40$  кпк. Доминирующая часть звезд галактики входит в сферическую подсистему – звездный балдж, диаметр которого  $d = 4$  кпк. Диск галактики состоит из звезд с пренебрежимо малой массой по сравнению с балджем. В балдже звезды распределены равномерно, а в диске звезды движутся по орбитам, близким к круговым. Наблюдения показали, что зависимость линейной скорости движения звезд в галактике относительно ее центра от расстояния до него (в пределах балджа) возрастает по линейному



Рис. 1. К определению малого солнечного гало.

закону, а далее (в диске) уже не зависит от расстояния до центра галактики (вплоть до границы) и равна  $v_0 = 220$  км/с. Такое явление может быть объяснено наличием «темной материи», распределенной сферически симметрично относительно центра галактики. Определите:

1. Массу  $M_B$  балджа галактики (в кг и в массах Солнца), полагая, что количество темной материи в нем пренебрежимо мало. (4 балла)
2. Среднюю плотность  $\bar{\rho}_B$  вещества балджа (в кг/м<sup>3</sup>) галактики и концентрацию звезд  $n_B$  (в пк<sup>-3</sup>) в нем, полагая, что он состоит из звезд, подобных Солнцу. (6 баллов)
3. Постройте график зависимости (в линейном или логарифмическом масштабе) средней массовой плотности галактики от расстояния до ее центра. (6 баллов)
4. Определите полную массу всей галактики (в кг и в массах Солнца). Какую долю (в %) составляет масса «темной материи», расположенной за пределами балджа от массы галактики. (4 балла)

#### № 6. «Сатурн и Рея в кадре АМС Кассини»

Во второй декаде 21 века автоматической межпланетной станцией (АМС) Кассини в процессе движения вокруг Сатурна по орбите, близкой к круговой, был получен любопытный снимок (см.

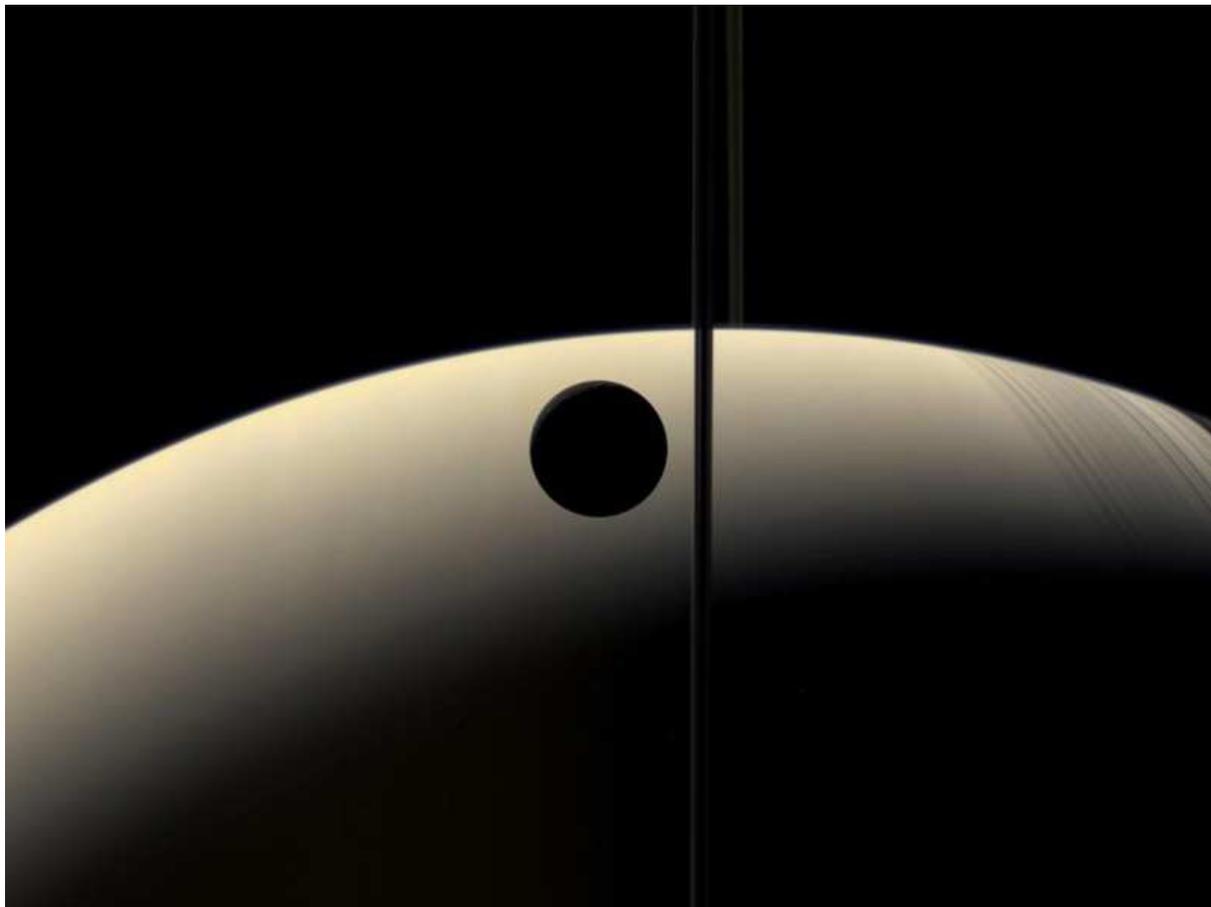


Рис. 2. Сатурн и его спутник Рея. Кадр, получен АМС Кассини (Источник – NASA/Goddard Space Flight Center).

рис. 2) центральной планеты и его второго по размерам спутника – Реи. Определите:

1. Радиус (в км) круговой орбиты АМС на момент съемки. (9 баллов)
2. Планетоцентрическую орбитальную скорость АМС (в км/с) и период ее обращения вокруг Сатурна (в сут.). (3+3 баллов)
3. Расстояние (в км), на котором находилась АМС от Реи на момент съемки. Орбиту Реи следует считать круговой. (3 балла)
4. Чему равен угловой диаметр Реи (в угловых минутах) на фотографии? (2 балла)

*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 –  $H = 70.0 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$

### §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 визуальная звездная величина –  $-26.74^m$
- Видимая болометрическая звездная величина –  $-26.80^m$
- Абсолютная болометрическая звездная величина –  $+4.83^m$
- Показатель цвета (B-V) –  $+0.67^m$
- Эффективная температура –  $5778 \text{ К}$
- Средний горизонтальный параллакс –  $8.794''$
- Интегральный поток энергии на расстоянии Земли –  $1360 \text{ Вт/м}^2$
- Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли –  $600 \text{ Вт/м}^2$

### §3. Данные о Земле

- Эксцентриситет орбиты –  $0.017$
- Тропический год –  $365.24219 \text{ сут}$
- Средняя орбитальная скорость –  $29.8 \text{ км/с}$
- 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 –  $6378.14 \text{ км}$
- Полярный радиус –  $6356.77 \text{ км}$
- Средний (по объему) радиус –  $6371.01 \text{ км}$
- Масса –  $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
- Средняя плотность –  $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
- Объемный состав атмосферы –  $\text{N}_2$  (78%),  $\text{O}_2$  (21%),  $\text{Ar}$  ( $\sim 1\%$ )

### §4. Данные о Луне

- Среднее расстояние от Земли –  $384400 \text{ км}$
- Минимальное расстояние от Земли –  $363300 \text{ км}$
- Максимальное расстояние от Земли –  $405500 \text{ км}$
- 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 г·см <sup>-3</sup>	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты градусы	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 <sup>†</sup>	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 <sup>†</sup>	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 градусы	Период обращения	Синодический период сут
	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. альбе-до	Вид. звездная величина*
	кг	км	г·см <sup>-3</sup>	км	сут		
<b>Земля</b>							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
<b>Марс</b>							
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
<b>Юпитер</b>							
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
<b>Сатурн</b>							
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
<b>Уран</b>							
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
<b>Нептун</b>							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	1350	2.07	354800	5.87685 <sup>†</sup>	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.