

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

№ 1. «Объекты глубокого космоса и их некоторые свойства»

На рис. 1 представлены фотографии пяти объектов глубокого космоса. Определите

- I. Тип каждого объекта;
- II. Созвездие, в котором находится объект;
- III. Время года, в которое условия наблюдений данного объекта являются оптимальными;
- IV. Статус возможности его наблюдения (в условиях, близких к идеальным) невооруженным глазом.

Заполните табл. 1 (Вы можете вырезать эту таблицу ножницами из условия и наклеить ее на свой бланк в целях экономии времени!). В строках (I)-(II) необходимо прописать буквенное обозначение данного объекта согласно рисунку. В строке (III) необходимо указать одно из времен года (весна, лето, осень, зима). В строке (IV) необходимо написать «да», если объект можно увидеть невооруженным глазом (в условиях, близких к идеальным), «нет» – если нельзя увидеть.

	Тип объекта	Рассеянное скопление	Туманность эмиссионная + область звездообразования	Шаровое скопление	Галактика	Планетарная туманность
I	Обозначение					
	Созвездие	Треугольник	Геркулес	Орион	Лира	Персей
II	Обозначение					
	Обозначение	а)	б)	в)	г)	д)
III	Время года					
	Обозначение	а)	б)	в)	г)	д)
IV	Видимость невооруженным глазом					

Таблица 1. Возможные типы объектов, их принадлежность созвездиям и сезоны оптимальных наблюдений, возможность их наблюдения невооруженным глазом.

№ 2. «Есть точки на поверхности Земли...»

1. Чему равны значения географической широты точек поверхности Земли, линейное расстояние от которых до плоскости ее орбиты, такое же как и расстояние от северного (или южного) географического полюса до той же плоскости? Чему равно это расстояние в км?

2. Что именно можно наблюдать в истинную полночь из данной точки (северного полушария!) поверхности Земли в день летнего солнцестояния: сумерки (гражданские, навигационные, астрономические) или астрономическую ночь? Свой ответ поясните.

3. Оцените продолжительность этих видов сумерек (или астрономической ночи) в эти сутки.

4. Во сколько раз отличаются максимальный поток солнечного излучения, падающего в истинный полдень на единичную площадку поверхности Земли на данной широте от минимального в течение года?

Атмосферным поглощением света и его рефракцией, а также влиянием Луны на орбитальное движение Земли пренебречь. Землю считать шаром, ее орбиту – окружностью.

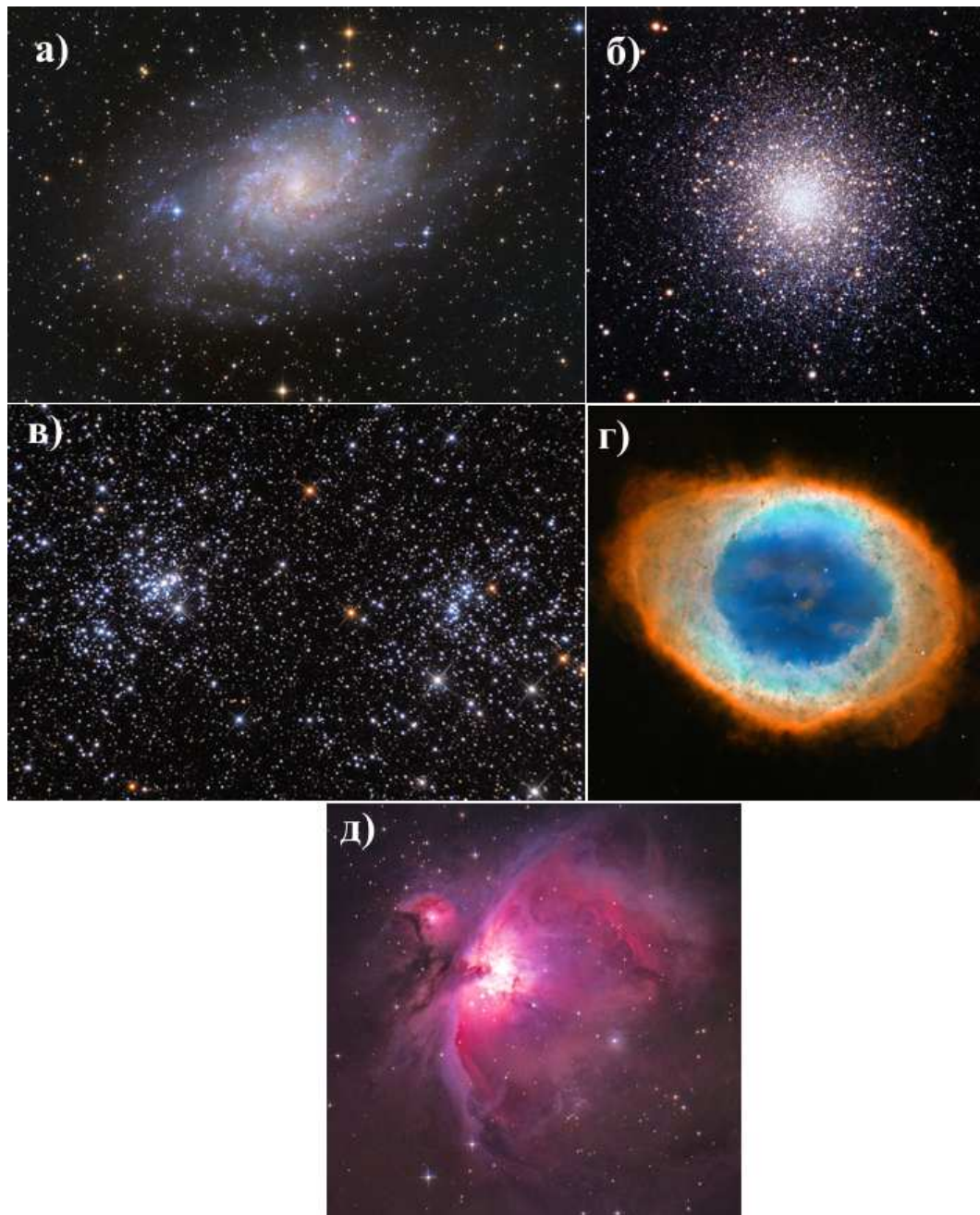


Рис. 1. Объекты глубокого космоса.

Задача № 3. «Планета-"бродяга"и ее будущее»

Планета-"бродяга" – это планета, преодолевшая гравитационное притяжение материнской звезды и ушедшая в межзвездное пространство. Причиной выхода из планетарной системы, как правило, служит гравитационный маневр, совершаемый близко расположенной планетой-гигантом, подобной Юпитеру. В 2011 году исследования ученых показали, что на данных планетах могут быть условия, пригодные для существования жизни. Как показывают исследования, температура поверхности этих планет является низкой и составляет около $T_s = 30$ К, при этом температура в центре такой планеты может достигать значений $T_c = 10^4$ К. Основным источником энергии в теле таких планет являются реакции радиоактивного распада. Будем представлять планету однородным шаром радиуса R , с равномерным распределением радиоактивного вещества по всему ее объему. Атмосфера у планеты отсутствует, и последняя непрерывно излучает энергию в межзвездное пространство. Период полураспада радиоактивных элементов составляет $\tau_{1/2} = 3.387 \cdot 10^8$ лет. Полагая, что поверхность планеты излучает подобно абсолютно черному телу, а поток тепловой энергии внутри данного тела пропорционален радиальному перепаду температуры $\Delta T/\Delta r$, определите:

1. Настоящую температуру (в кельвинах) в точке планеты, отстоящей от ее центра на $r = R/2$;

2. Температуру (в кельвинах) на поверхности планеты (T'_s) через 4.5 млрд лет;
3. Температуру (в кельвинах) в центре планеты (T'_c) через 4.5 млрд лет.

Изменением размеров планеты в течение 4.5 млрд лет пренебречь.

№ 4. «Самая далекая галактика HD1»

В апреле 2022 года широкой огласке была представлена новость об открытии уникальной далекой галактики HD1. Согласно данным исследований, спектральное смещение этой галактики достигает рекордного значения $z = 13.27!$

1. С использованием формулы (1) для релятивистского эффекта Доплера получите формулу для лучевой скорости удаления галактики HD1, обусловленного расширением Вселенной, как функцию спектрального смещения (z). Вычислите лучевую скорость HD1 (в км/с). Какую долю она составляет от скорости света?

$$\nu = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 - v/c \cos \theta}, \quad (1)$$

где ν, ν_0 – частоты излучения в системах отсчета, связанных с приемником и источником излучения соответственно; v – скорость источника, в системе отсчета приемника излучения; θ – угол между вектором скорости источника (определенной в системе отсчета приемника) и направлением на приемник.

2. Оцените расстояние до галактики в парсеках (пк). Образ галактики какой давности ученые сегодня наблюдают?

3. Оцените какое количество лет спустя после Большого взрыва галактика была такой, какой сегодня ее наблюдают земные астрономы.

4. Данная галактика излучает в основном в УФ-части спектра. При этом абсолютная звездная величина галактики в данном свете равна $M_{UV} = -22.1^m$. Оцените а) светимость данной галактики (в светимостях Солнца); б) долю от первоначальной массы галактики (на момент наблюдения), которую она потеряла (лишь за счет электромагнитного излучения) к настоящему моменту, если полагать, что данный параметр составляет $10^{12} M_{\odot}$ (M_{\odot} – масса Солнца), а светимость галактики – постоянная величина.

№ 5. «Поток высокоэнергетических протонов»

Астрофизики (специалисты по космическим лучам) зафиксировали поток протонов с колоссальной энергией, равной 10^{20} эВ. Согласно их предположению, источником протонов может быть релятивистский джет (выброс) материи из активного ядра галактики, красное смещение которой $z = 0.05$. Последняя находится на угловом расстоянии $\alpha = 5^\circ$ на небесной сфере от «радианта» приходящего пучка протонов. Оцените:

1. Величину индукции (B) магнитного поля, перпендикулярная составляющая которой (B_{\perp}) к начальной скорости движения данных частиц может быть причиной их отклонения от первоначального движения. Следует полагать, что параллельная составляющая (B_{\parallel}) индукции межгалактического магнитного поля к направлению начальной скорости равна B_{\perp} . Следует полагать межгалактическое магнитное поле однородным.

2. Докажите математически, что траектория движения протона из пучка в межгалактическом пространстве есть окружность. Оцените радиус этой окружности.

3. Оцените угол γ между направлением джета материи в пространстве и направлением на Землю.

№ 6. «Возраст молодой Луны»

На рис. 2 представлена фотография молодой Луны, полученная в начале апреля этого года, где-то в РФ на широте $\varphi = 50^\circ$. Определите:

1. Максимально возможный угол элонгации Луны относительно истинного Солнца в момент съемки.

2. Максимально возможное значение "возраста" Луны (время, прошедшее от последнего новолуния в сутках).



Рис. 2. Молодой месяц. Фотография получена в начале апреля 2022 года (автор – А. Красильников).

- 3.** С использованием полученного возраста, оцените фазу Луны на момент съемки. Орбиту Луны считать круговой.

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 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
- Средний (по объему) радиус – 6371.01 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 – 363300 км
- Максимальное расстояние от Земли – 405500 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. альбедо	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. альбе-до	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.