

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии
2021-2022 учебный год
11 класс
Максимальный балл – 48 баллов**

Уважаемый участник олимпиады!

Вам предстоит выполнить теоретические (письменные) задания.

Время выполнения заданий тура 3,5 астрономических часа (210 минут).

Выполнение теоретических (письменных) заданий целесообразно организовать следующим образом:

- не спеша, внимательно прочитайте задание и определите, наиболее верный и полный ход решения и ответ;

- отвечая на теоретический вопрос, обдумайте и сформулируйте конкретный ответ только на поставленный вопрос;

- если Вы отвечаете на задание, связанное с заполнением таблицы или схемы, не старайтесь чрезмерно детализировать информацию, вписывайте только те сведения или данные, которые указаны в вопросе;

- после выполнения всех предложенных заданий еще раз удостоверьтесь в правильности выбранных Вами ответов и решений.

Не спешите сдавать решения досрочно, еще раз проверьте все решения и ответы.

Задание теоретического тура считается выполненным, если Вы вовремя сдаете его членам жюри.

Таблица выставленных баллов (заполняется при проверке жюри)

Задача №1	Задача №2	Задача №3	Задача №4	Задача №5	Задача №6	Сумма

Задача №1. «Солнечная система». (Максимальный балл – 8 баллов)

Используя только справочные данные, приведенные в условии задачи, определите массу Урана. Известно, что его спутник Титания находится на расстоянии 438000 км от Урана и его период обращения вокруг Урана составляет 8,7 дня. Известно, что Луна располагается на расстоянии 384000 км от Земли, и период обращения ее вокруг Земли равен 27,3 дням. Масса Земли – $6 \cdot 10^{24}$ кг.

Задача №2. «Геометрия в Солнечной системе». (Максимальный балл – 8 баллов)

Орбита Меркурия представляет собой эллипс, перигелий которого 0,31 а.е., а афелий – 0,47 а.е. Наклон орбиты Меркурия к эклиптике равен 7° . На какое максимальное угловое расстояние может удаляться от эклиптики Меркурий для земного наблюдателя?

Задача №3 «Звездное затмение». (Максимальный балл – 8 баллов)

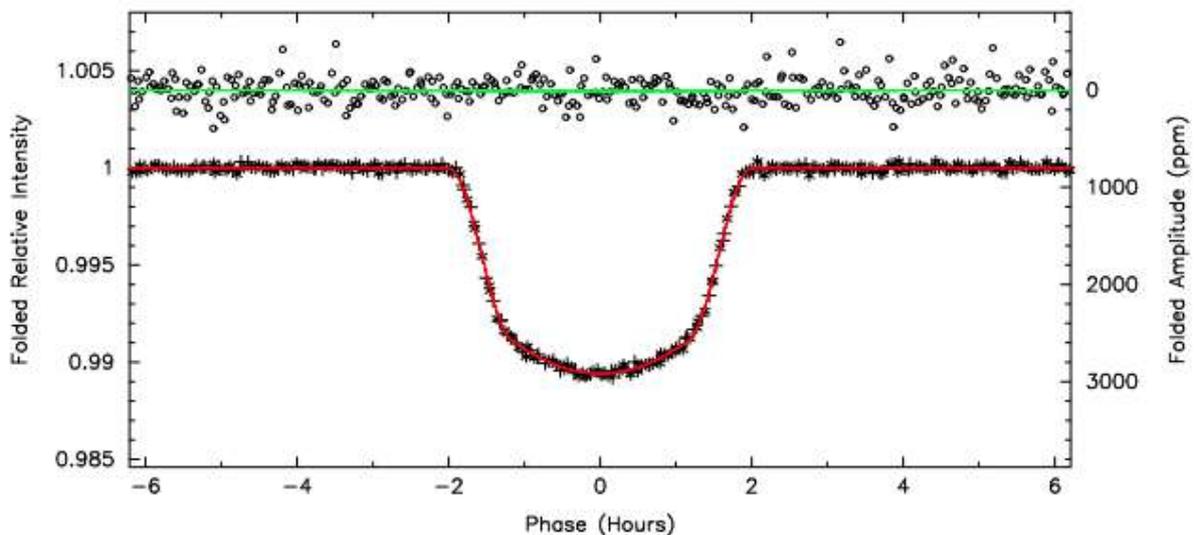
В максимуме затменная переменная звезда имеет блеск 6^m , а минимуме 8^m . Считая затмение центральным и спутник темным, найти отношение объемов компонентов этой пары.

Задача №4. «Прецессия». (Максимальный балл – 8 баллов)

Была бы прецессия более быстрой или медленной, если Земля была бы более сплюснутой с полюсов? Если Луна находилась бы ближе? Если Земля была бы более плотной? Если бы Земля вращалась вокруг своей оси медленнее?

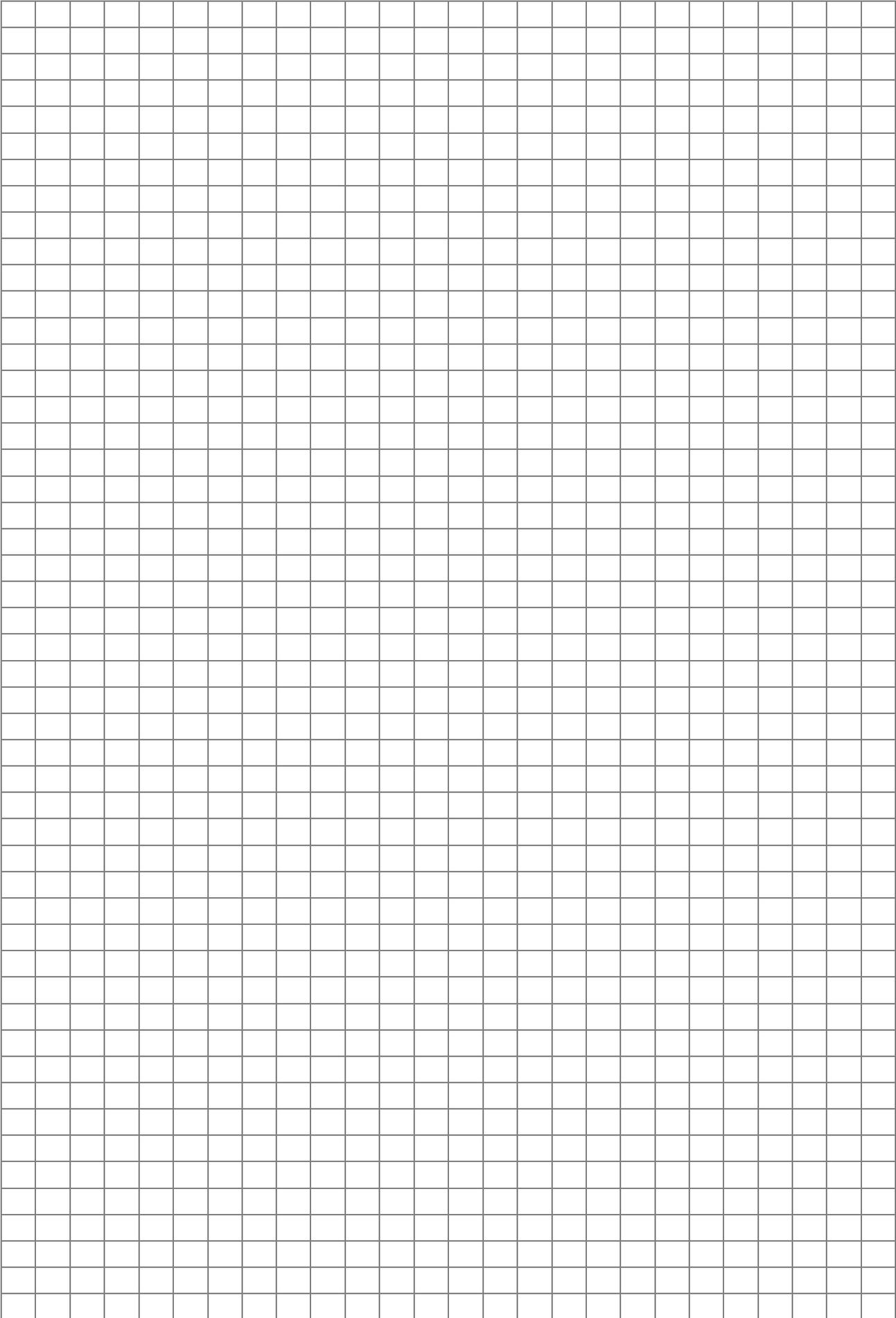
Задача №5 «Звездное затмение». (Максимальный балл – 8 баллов)

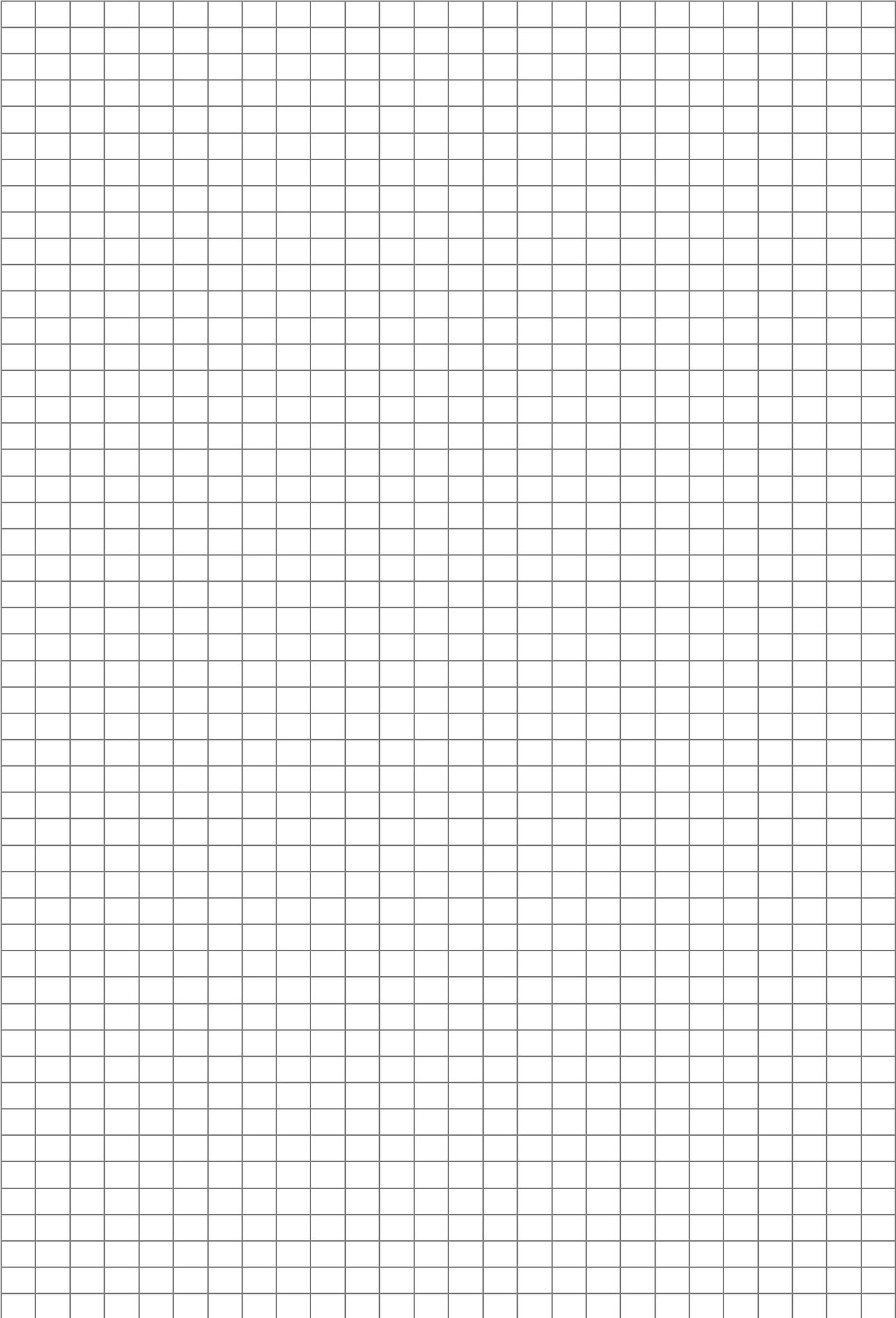
В статье “Kepler-6b: A Transiting Hot Jupiter Orbiting a Metal-Rich Star”, посвященной открытию одной из первых 5 планет космическим аппаратом Кеплер есть занимательный график, на котором нижняя кривая является просуммированной за несколько сеансов измерений интенсивностью одной из звезд (Левая шкала на графике). Оцените изменения звездной величины, зафиксированное телескопом? Что такое экзопланета? Каким методом аппарат Кеплер мог находить экзопланеты? Какие еще методы нахождения экзопланет вы знаете?

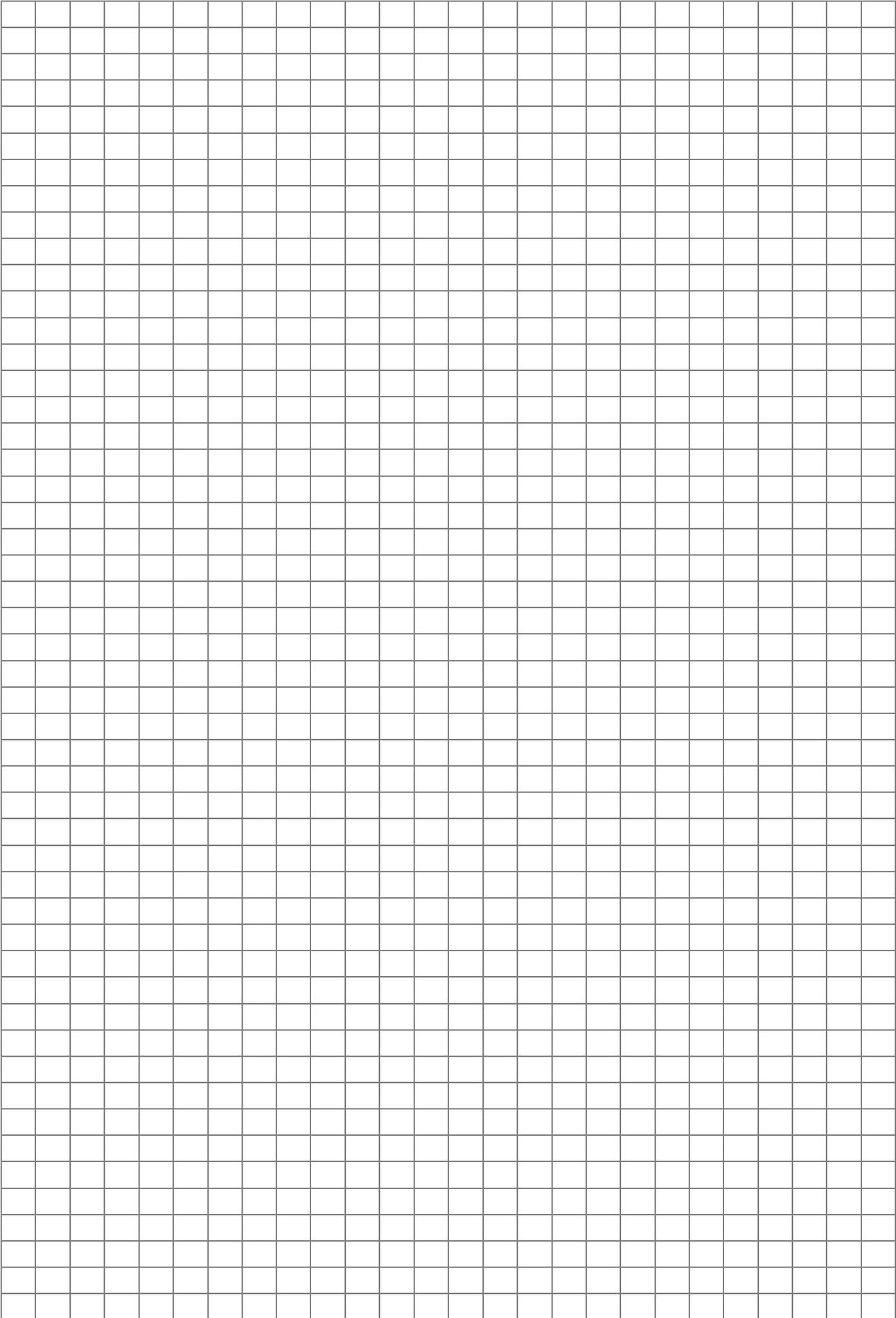


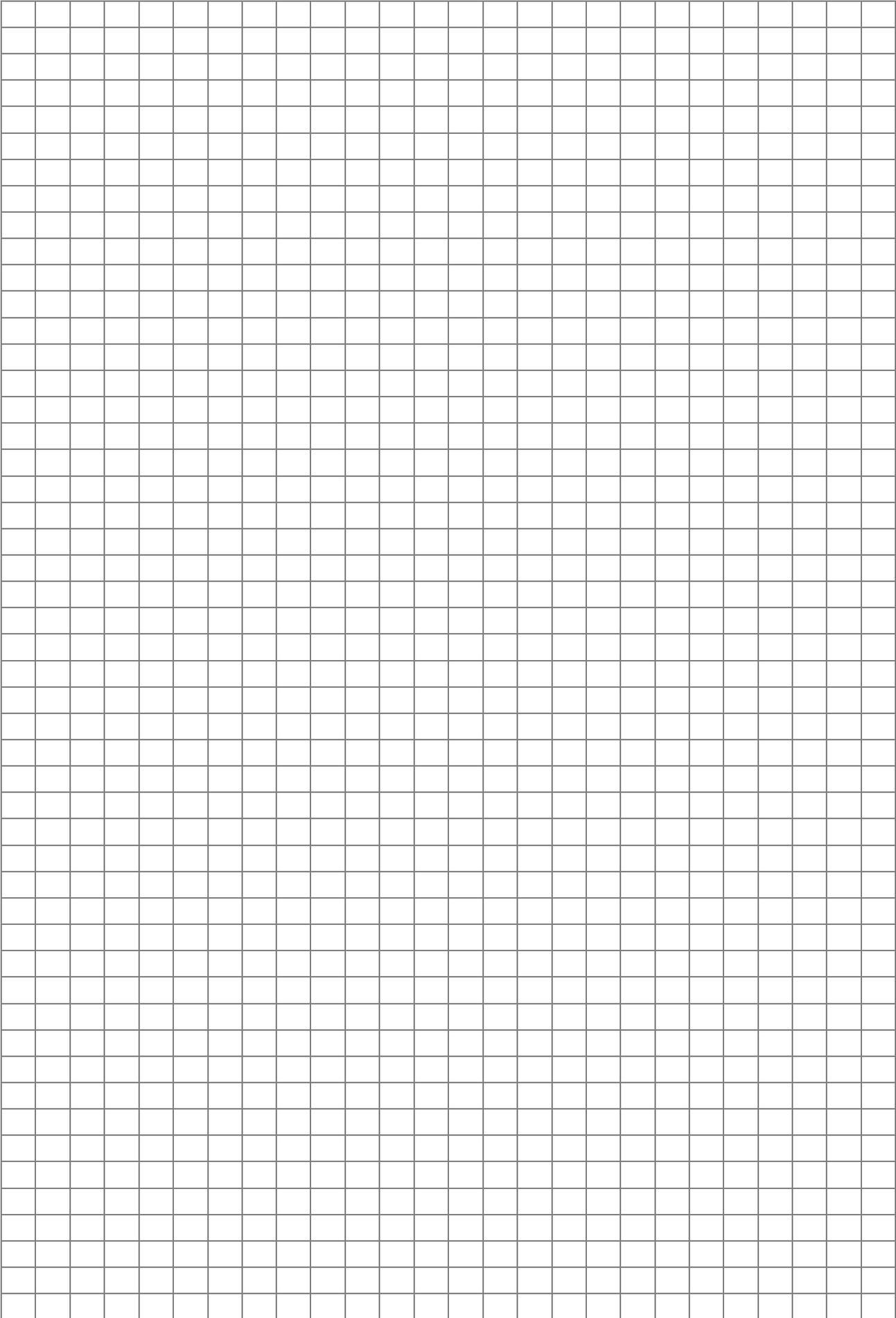
Задача №6 «Земля-Луна». (Максимальный балл – 8 баллов)

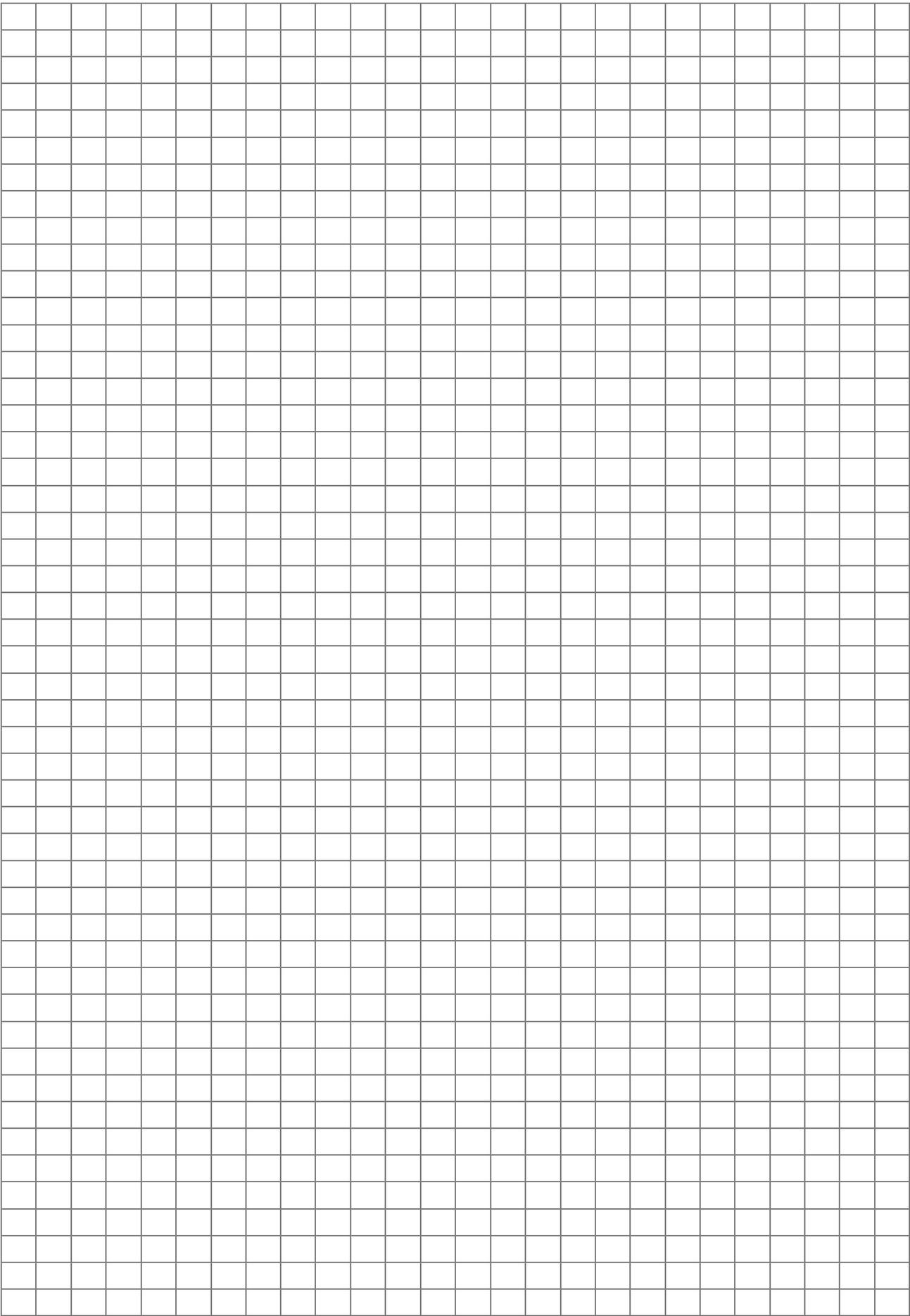
Астроном наблюдает за Луной, у которой фаза 0,56. Определите, какая фаза Земли для астронавта на видимой стороне Луны.











Справочная информация, разрешённая к использованию на олимпиаде

Основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$

Скорость света в вакууме $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$

Универсальная газовая постоянная $\mathcal{R} = 8,31 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$

Постоянная Стефана—Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$

Постоянная Планка $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$

Масса протона $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Масса электрона $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

Элементарный заряд $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

Астрономическая единица $1 \text{ а.е.} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ м}$

Парсек $1 \text{ пк} = 206\,265 \text{ а.е.} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

Постоянная Хаббла $H = 72 \text{ (км/с)/Мпк}$

Данные о Земле

Эксцентриситет орбиты $0,0167$

Тропический год $365,24219 \text{ суток}$

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 года: $23^\circ 26' 21,45''$

Экваториальный радиус $6378,14 \text{ км}$

Полярный радиус $6356,77 \text{ км}$

Масса $5,974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$

Средняя плотность $5,52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$

Объёмный состав атмосферы: N_2 (78%), O_2 (21%), Ar (~1%).

Данные о Солнце

Радиус $697\,000 \text{ км}$

Масса $1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$

Светимость $3,88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$

Спектральный класс $G2$

Видимая звёздная величина $-26,78^m$

Абсолютная болометрическая звёздная величина $+4,72^m$

Показатель цвета (B–V) $+0,67^m$

Эффективная температура 5800 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

Данные о Луне

Среднее расстояние от Земли $384\,400 \text{ км}$

Минимальное расстояние от Земли $356\,410 \text{ км}$

Максимальное расстояние от Земли $406\,700 \text{ км}$

Средний эксцентриситет орбиты $0,055$

Наклон плоскости орбиты к эклиптике $5^\circ 09'$

Сидерический (звёздный) период обращения $27,321\,662 \text{ суток}$

Синодический период обращения $29,530\,589 \text{ суток}$

Радиус 1738 км

Период прецессии узлов орбиты 18,6 лет

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 звёздная величина в полнолуние $-12,7^{\text{m}}$

Видимая звёздная величина в первой/последней четверти $-10,5^{\text{m}}$

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЦА И ПЛАНЕТ

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Геометр. альbedo	Вид. звёздная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1,989 \cdot 10^{30}$	332946	697000	109,3	1,41	25,380 сут.	7,25	—	-26,8
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
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
Юпитер	$1,899 \cdot 10^{27}$	317,94	71492	11,209	1,33	9,924 час	3,13	0,52	-2,7
Сатурн	$5,685 \cdot 10^{26}$	95,181	60268	9,4494	0,69	10,656 час	26,73	0,47	0,4
Уран	$8,683 \cdot 10^{25}$	14,535	25559	4,0073	1,32	17,24 час**	97,86	0,51	5,7
Нептун	$1,024 \cdot 10^{26}$	17,135	24746	3,8799	1,64	16,11 час	28,31	0,41	7,8

* – для наибольшей элонгации внутренних планет и среднего противостояния внешних планет.

** – обратное вращение.

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ СПУТНИКОВ ПЛАНЕТ

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометр. альbedo	Видимая звёздная величина*
	кг	км	г/см ³	км	сут.		m
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							
Тетфия	$7,55 \cdot 10^{20}$	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	0,2	~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 направление вращения.

ФОРМУЛЫ ПРИБЛИЖЁННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ

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

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

$$\cos(\alpha + x) \approx \cos \alpha - x \sin \alpha;$$

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

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

($x \ll 1$, углы выражаются в радианах).