

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады
школьников по астрономии
2025-2026 учебный год
11 класс**

Задание 1. 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. (Максимальный балл – 8 баллов)

Возможное решение задания. Запишем обобщенный третий закон Кеплера: $\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{T_1^2(M_1+m_1)}{T_2^2(M_2+m_2)}$.

Принимая за первую пару Уран с Титанией, а за вторую – Землю с Луной, и пренебрегая массой спутников по сравнению с массой планет, получаем:

$$M_1 = \frac{a_1^3}{a_2^3} \cdot \frac{T_2^2}{T_1^2} \cdot M_2 = \frac{438000^3}{384000^3} \cdot \frac{27,3^2}{8,7^2} \cdot 6 \cdot 10^{24} = 87,7 \cdot 10^{24} \text{ кг.}$$

Система оценивания задания:

Баллы	Критерии оценивания
3 балла	Обобщенный третий закон Кеплера
3 балла	Пренебрежение массами спутников по сравнению с массами планет
2 балла	Нахождение массы Урана

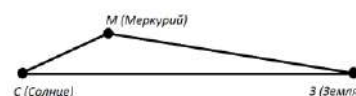
Задание 2. Орбита Меркурия представляет собой эллипс, перигелий которого 0,31 а.е., а афелий – 0,47 а.е. Наклон орбиты Меркурия к эклиптике равен 7° . На какое максимальное угловое расстояние может удаляться от эклиптики Меркурий для земного наблюдателя? (Максимальный балл – 8 баллов)

Возможное решение задания. В приведенном треугольнике $СЗ=1$ а.е., $СМ=0,47$ а.е., угол $МСЗ$ равен 7° . Из теоремы синусов:

$$\frac{1 \text{ а.е.}}{\sin(180-7-\alpha)} = \frac{0,47 \text{ а.е.}}{\sin \alpha},$$

Получаем: $\sin \alpha = 0,47 \sin(7+\alpha)$. В результате:

$$\tan \alpha = \frac{0,47 \sin 7}{1 - 0,47 \cos 7} = 0,107. \text{ Окончательный результат: } \alpha \approx 6,1^\circ$$

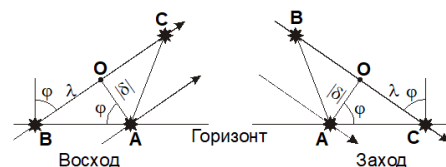


Система оценивания задания:

Баллы	Критерии оценивания
3 балла	Идея решения (чертеж, словесное описание)
3 балла	Теорема синусов
2 балла	Нахождение угла

Задание 3. При наблюдении с широты $+69$ с.ш. звезда А со склонением -2° взошла одновременно со звездой В, а зашла одновременно со звездой С. Выполните геометрические пояснения к решению задачи, указав расположение звезд при восходе и заходе звезды А. Определите (в часовой мере), чему равна разность прямых восхождений звезд В и С, если они находятся на небесном экваторе. В условиях задачи рефракцией можно пренебречь. (Максимальный балл – 8 баллов)

Возможное решение задания. Изобразим конфигурацию звезд во время восхода и захода звезды А. Угловые расстояния между звездами малы, поэтому картину можно считать плоской. Обозначим точку О — точку небесного экватора, имеющую то же прямое восхождение, что и звезда А. Тогда точка О и звезда А лежат на одном круге склонения. Отрезок ОА перпендикулярен проекции небесного экватора на плоскость листа, содержащей саму точку О и звезды В и С. Длина отрезка ОА равна модулю склонения звезды А, $|\delta|$. Из рисунка видно, что при восходе и заходе этот отрезок образует с горизонтом угол, равный широте места наблюдения φ . Тогда $\alpha = \angle BOA = \angle COA =$



$|\delta| \operatorname{tg} \varphi$; $BC = 2\alpha = 2 |\delta| \operatorname{tg} \varphi = 10,4^\circ$. Переводя эту величину в часовую меру, в которой обычно выражается прямое восхождение, получаем 41,6 минуты. Звезда B восходит и заходит позже звезды C , и ее прямое восхождение на 41,6 минуты больше, чем у звезды C .

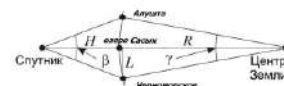
Система оценивания задания:

Баллы	Критерии оценивания
2 балла	Верно выполнен рисунок взаимного расположения звезд при восходе звезды A
2 балла	Верно выполнен рисунок взаимного расположения звезд при заходе звезды A
2 балла	Верно записано геометрическое соотношение для BC как разности прямых восхождений
2 балла	Получено верное числовое значение в часовой мере для разности прямых восхождений

Задание 4. В определенный момент времени искусственный спутник Земли на круговой орбите оказался над живописным озером Сасык, расположенным посередине между Алуштой и Черноморское. Угловое расстояние между двумя городами наблюдения со спутника было равно 10° . Определите орбитальный период спутника. Расстояние между Алуштой и Черноморское составляет около 288 км по прямой. Выполните рисунок, геометрически поясняющий ваше решение. (Максимальный балл – 8 баллов)

Возможное решение задания. Выполним рисунок, поясняющий решение. Определим высоту спутника над поверхностью Земли H . Будем считать угол β , под которым со спутника видно расстояние S (Алушта — Черноморское), малым ($10^\circ = 0,17544$ рад): $H = \frac{S}{\beta} = \frac{288 \text{ км}}{0,17544 \text{ рад}} = 1641,58 \text{ км}$. Запишем соотношение для орбитального периода

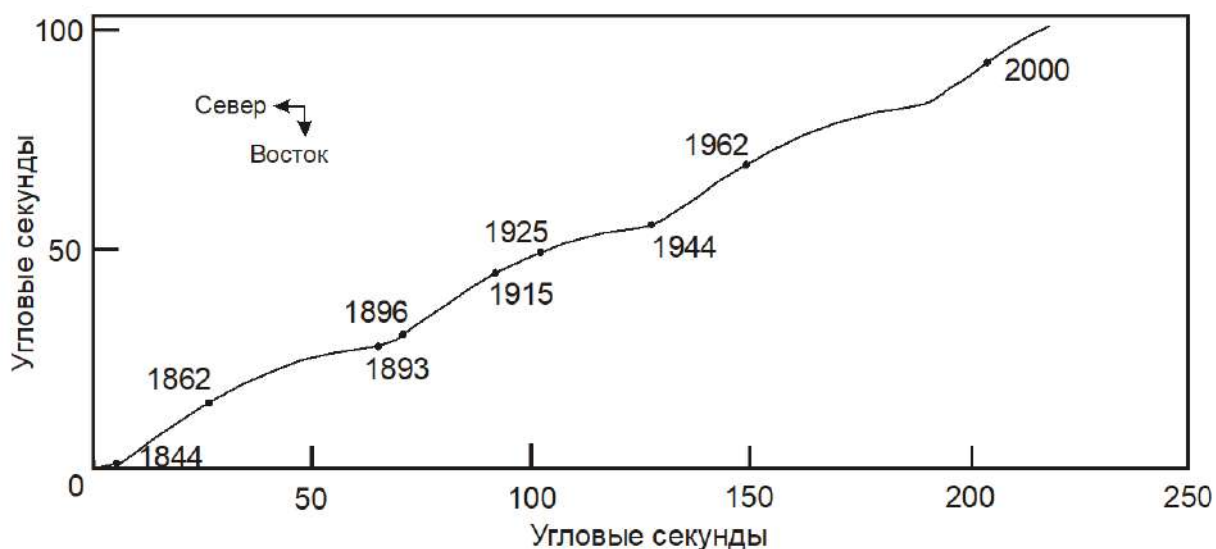
спутника: $T = 2\pi \sqrt{\frac{(R+H)^3}{GM}}$ Орбитальный период получается равным 7139 с или около 1,98 часа.



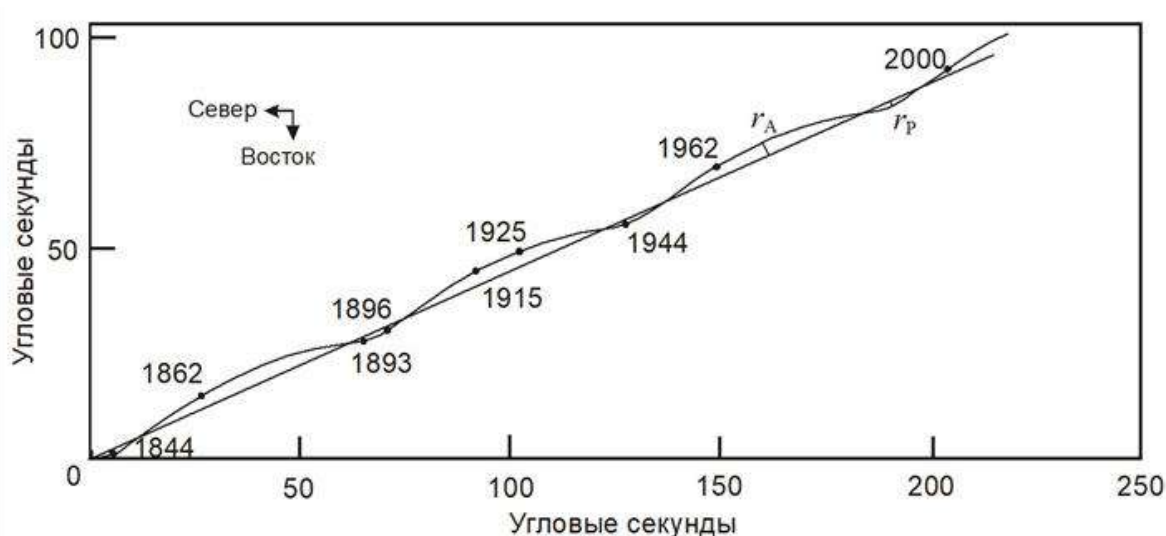
Система оценивания задания:

Баллы	Критерии оценивания
2 балла	Определена высота спутника над поверхностью Земли
2 балла	Использован метод малых углов
2 балла	Записано соотношение для определения орбитального периода
2 балла	Получен верный числовой ответ для величины периода

Задание 5. Сириус — ярчайшая звезда ночного неба, светимость которой в 25 раз превышает светимость Солнца, а масса превышает нашу звезду лишь в 2 раза. Это одна из самых близких к нам звезд — расстояние до нее около 8,6 св. года. На фотографии, полученной телескопом «Хаббл», представлено две звезды. Вторую невидимую компоненту обнаружили лишь в 1862 году, поэтому видимую звезду называют Сириус А, а звезду-компаньон белый карлик — Сириус В. На графике показано перемещение Сириуса А среди далеких звезд с момента начала наблюдений. При этом вычтены годовые параллактические колебания. Именно на графике хорошо заметен эффект наличия Сириуса В. Оцените массу этого спутника, считая её существенно меньшей массы Сириуса А, а орбиту — лежащей в плоскости рисунка. (Максимальный балл – 8 баллов)



Возможное решение задания. Траектория Сириуса А отличается от прямой линии из-за того, что звезда вращается вместе с Сириусом В вокруг общего центра масс. По графику можно найти период этого вращения $T \approx 50$ лет. По условию вращение происходит в плоскости рисунка, как видно, по эллипсу. Скорость движения звезды по своей траектории примерно постоянна, для упрощения можно предположить, что линия аписд, соединяющая точки перигентра и апоцентра, перпендикулярна собственному движению Сириуса А. Проведем на графике прямую линию, соответствующую движению центра масс системы. Тогда можно отметить перигентрическое (r_p) и апоцентрическое (r_A) расстояния Сириуса А.



Большая полуось Сириуса А составляет $A = (r_p + r_A)/2$. Расстояние до Сириуса А составляет 8,6 св. года: $3,26 \approx 2,64$ пк. Поэтому одна угловая секунда в плоскости рисунка соответствует расстоянию в 2,64 а.е. По рисунку большая полуось составляет $2,5''$, что соответствует 6,6 а.е. на расстоянии Сириуса А. Из определения центра масс $AM = am$, тогда среднее расстояние между компонентами системы $a_0 = a + A = A(M+m)/m$. По третьему закону Кеплера $a_0^3 = \frac{G(M+m)T^3}{4\pi^2} = \frac{A^3(M+m)^3}{m^3}$. Отсюда найдем массу спутника:

$$m = A^3 \sqrt{\frac{1}{G} \left(\frac{2\pi(M+m)}{T} \right)^2} \approx A^3 \sqrt{\frac{1}{G} \left(\frac{2\pi M}{T} \right)^2} \approx 1,5 \cdot 10^{30} \text{ кг}.$$

Примечание: результат будет варьироваться в зависимости от измерения большой полуоси орбиты Сириуса А по рисунку. Допустимы отклонения до 50 % от приведенного значения.

Система оценивания задания:

Баллы Критерии оценивания

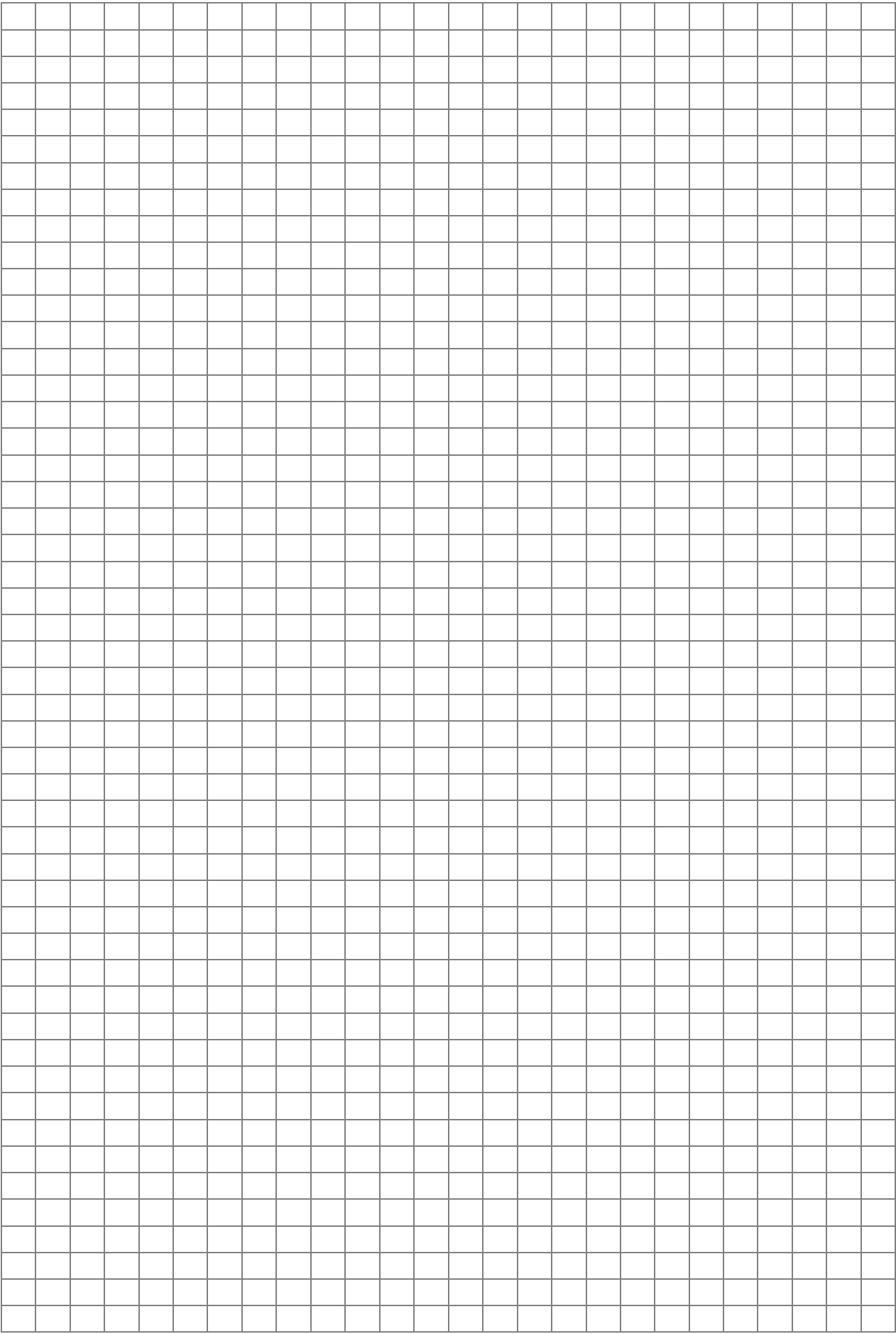
- 1 балл Определена по рисунку большая полуось Сириуса А
- 1 балл Определена величина большой полуоси в угловых секундах
- 2 балла Определена величина большой полуоси в а.е.
- 1 балл Определен по рисунку орбитальный период Сириуса А
- 1 балл Использован третий закон Кеплера
- 1 балл Получено соотношение для массы Сириуса В
- 1 балл Получено числовое значение массы Сириуса В

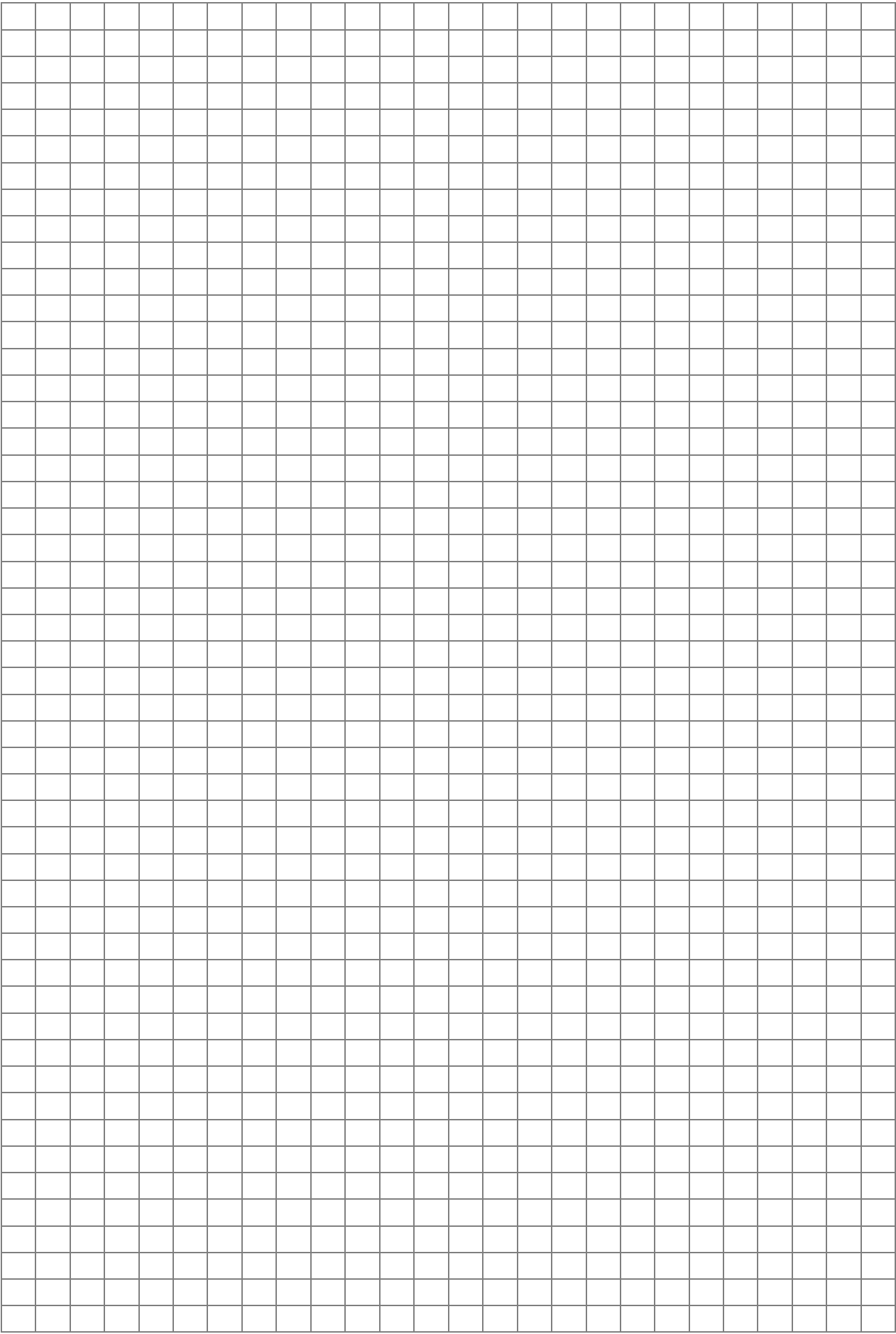
Задание 6. Квазар имеет угловой размер $0'',03$. Линия излучения водорода квазара с длиной волны $486,1$ нм при измерениях на Земле равна $522,1$ нм. Определите лучевую скорость квазара, расстояние до него и линейный размер. Постоянную Хаббла принять равной 70 (км/с)/Мпк. *(Максимальный балл – 8 баллов).*

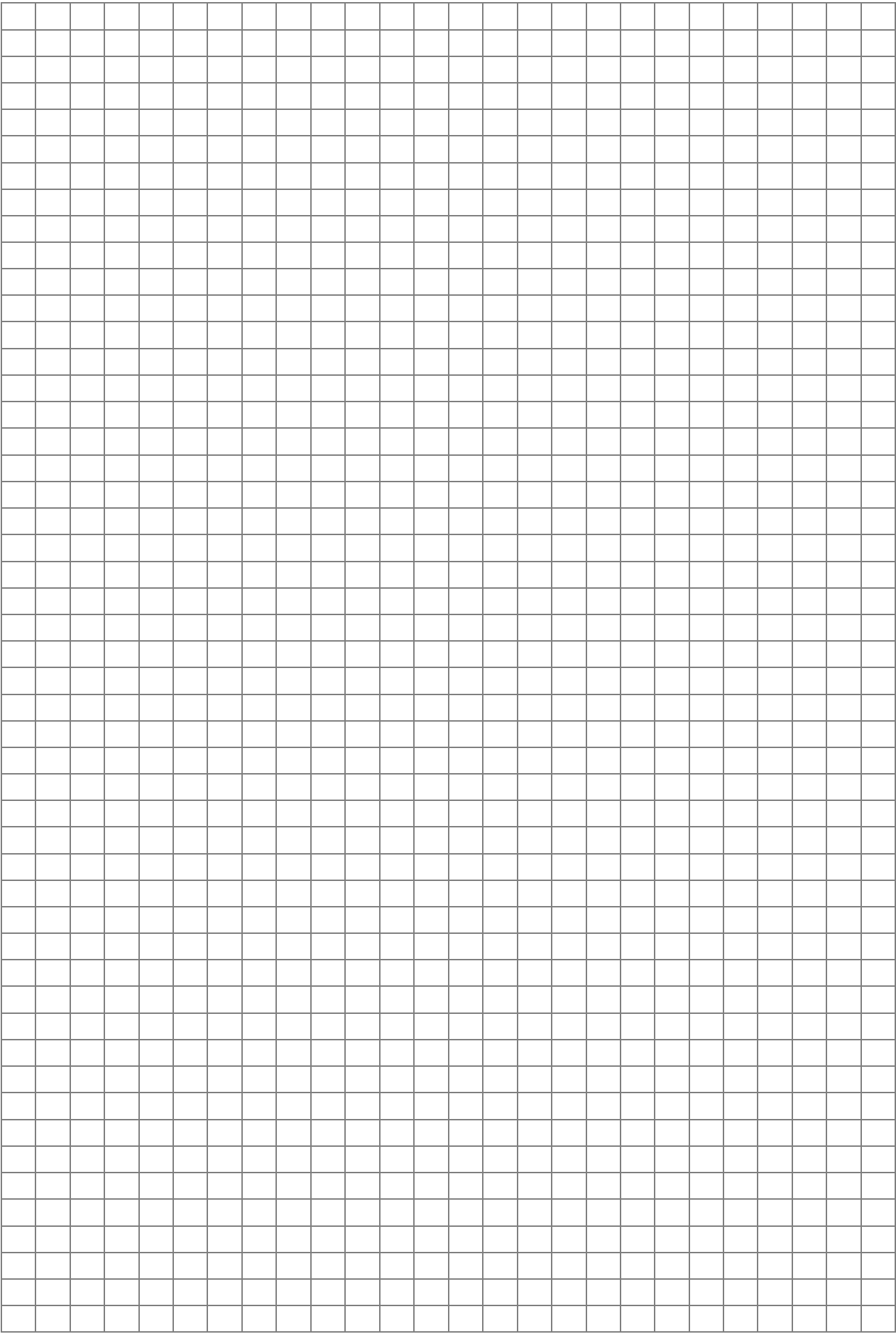
Система оценивания задания:

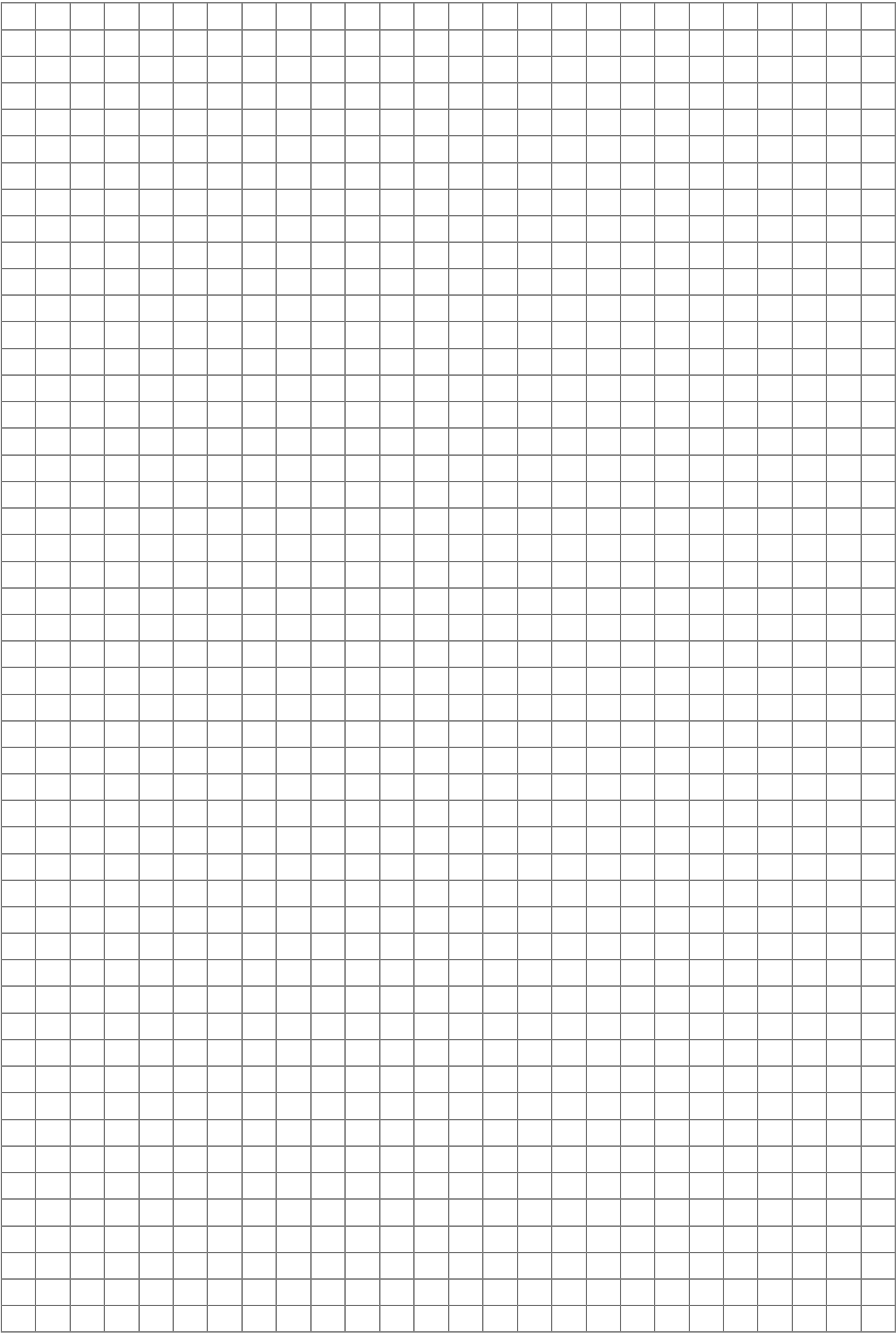
1. Доплеровский сдвиг линии излучения равен $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 522,1 - 486,1 = 36$ нм **(1 балл)**.
2. Относительный сдвиг равен $z = \Delta\lambda/\lambda = 36/486,1 = 0,074$ **(1 балл)**.
3. По теории эффекта Доплера лучевая скорость квазара приближённо равна произведению сдвига z на скорость света c : $V = zc = 0,074 \cdot 300\,000$ км/с $= 22\,200$ км/с **(2 балла)**.
4. По теории расширяющейся Вселенной с учетом постоянной Хаббла H находим расстояние до квазара: $r = V/H = 22\,200/70 = 317$ Мпк **(2 балла)**.
5. Линейный размер квазара D вычисляем по угловому размеру $\Delta'' = 0'',03$:
 $D = r\Delta''/206265'' = 317 \cdot 0'',03/206265'' = 46,1$ пк $= 46,1 \cdot 3,26 = 150$ св. г. **(2 балла)**.

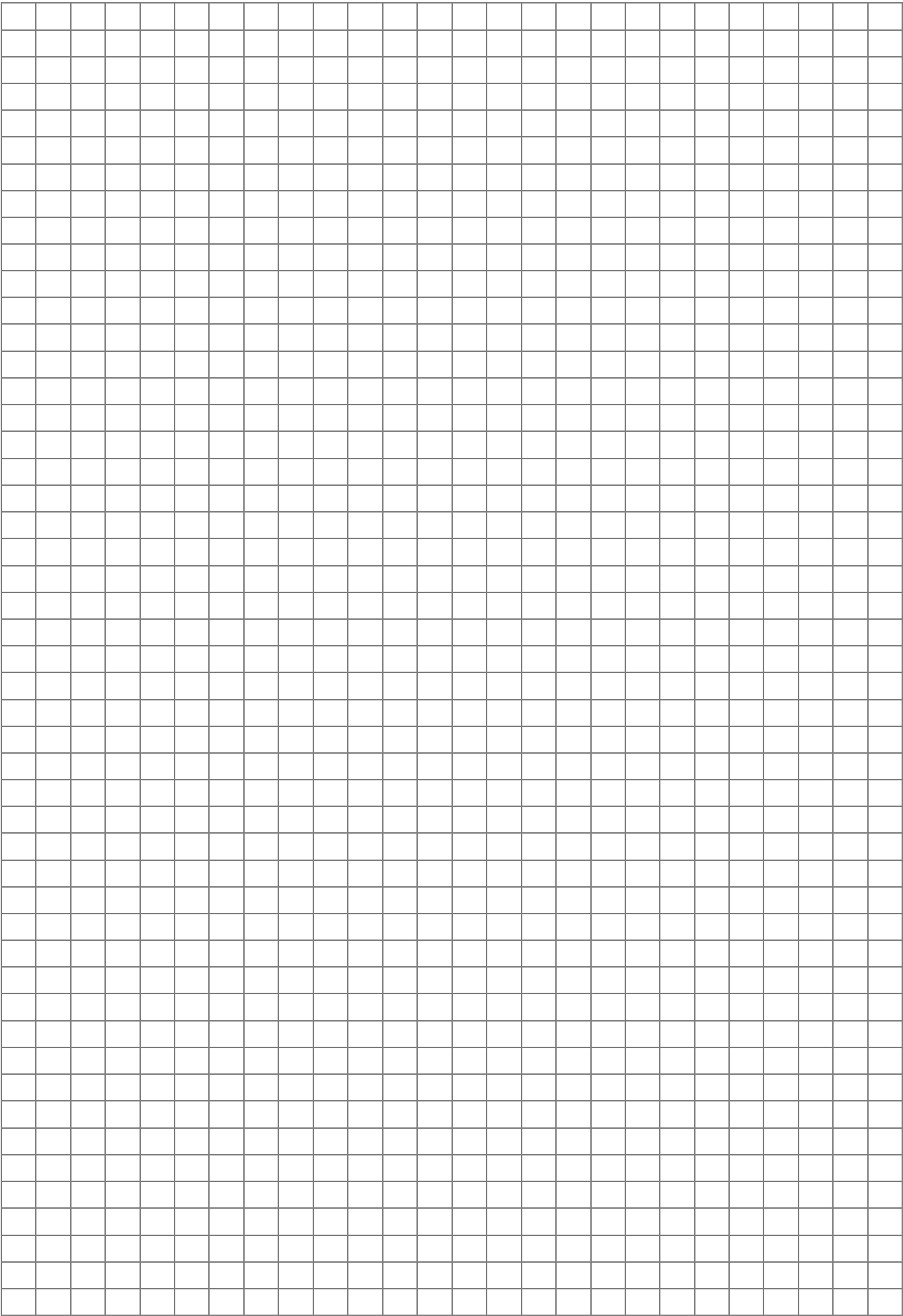
This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of small, equal-sized squares formed by thin, light gray lines. There are 20 columns and 20 rows of squares, creating a total of 400 square units. The background is white, and the grid covers the entire area of the page without any margins or additional markings.











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

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 суток

Средняя орбитальная скорость 29,8 км/с

Период вращения 23 часа 56 минут 04 секунды

Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000 года: $23^\circ 26' 21,45''$

Экваториальный радиус 6378,14 км

Полярный радиус 6356,77 км

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

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

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

Данные о Солнце

Радиус 697 000 км

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

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

Спектральный класс G2

Видимая звёздная величина $-26,78^{\text{m}}$

Абсолютная болометрическая звёздная величина $+4,72^{\text{m}}$

Показатель цвета (B–V) $+0,67^{\text{m}}$

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 км

Минимальное расстояние от Земли 356 410 км

Максимальное расстояние от Земли 406 700 км

Средний эксцентриситет орбиты 0,055

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

Сидерический (звёздный) период обращения 27,321 662 суток

Синодический период обращения 29,530 589 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. звездная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли	г/см ³		градусы		
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.		градусы		сут.
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 звездная величина*
	кг	км	г/см ³	км	сут.		т
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	0,2	~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

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

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

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

$$\operatorname{tg}(\alpha + x) \approx \operatorname{tg} \alpha +$$

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

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