Астрономия. Ответы и решения

11 класс | Москва | Муниципальный этап ВсОШ 2026-2027

Авторский разбор по предоставленным заданиям. Не является официальным ключом жюри. Разобраны все напечатанные числовые варианты. Графические оценки и неоднозначные формулировки отмечены явно. Оригинальные задания в этот файл не включены.

Принятые константы: 1 а. е. = 149,6 млн км; c = 300000 км/с; 1 радиан = 206264,806″. Приоритет имеют числовые данные конкретного задания. Нумерация утверждений соответствует порядку пунктов в оригинале.

Задание 1. Положения планеты на кривой блеска

Ответ: Соответствия по всем четырём вариантам - в таблице.

Решение. А - глубокий транзит перед звездой; Б - тёмная сторона после транзита; В - квадратура; Г - почти полный диск перед уходом за звезду; Д - вторичное затмение. Между вариантами меняется нумерация положений на схеме, поэтому нельзя переносить один ряд ответов во все варианты.

Вар.	А	Б	В	Г	Д
1	2	4	5	3	1
2	2	1	5	3	4
3	3	4	5	2	1
4	3	4	1	2	5

Задание 2. Угловое расстояние планета - звезда

Ответ: Варианты 1-4: 0,08″; 0,06″; 0,09″; 0,04″.

Решение. Для a в а. е. и p в угловых секундах максимальная сепарация θ = a p. Пары данных: (4; 0,02), (3; 0,02), (3; 0,03), (2; 0,02).

Задание 3. Барицентр Земли и Луны

Ответ: Порог увеличения массы Луны - примерно в 1,37 раза.

Решение. Расстояние от центра Земли до барицентра x = r m/(M+m). На границе x = R3: mпорог = M R3/(r−R3). Коэффициент k = $6{,}0\times10^{24} \times 6370 / [(384400-6370) \times 7{,}4\times10^{22}] = 1{,}36626$. Чтобы барицентр оказался строго вне Земли, k должен быть больше этого значения; 1,37 соответствует требуемому округлению. Увеличение - примерно на 37%, а не в 0,37 раза.

Задание 4. Изменение длины плеча интерферометра

Ответ: Меньше радиуса протона (вариант 5).

Решение. С графика относительная деформация порядка 10^{-21}. При L = 4 км = 4000 м абсолютное изменение $\Delta L \approx 4000 \times 10^{-21} = 4\times10^{-18}$ м. Это примерно в 250 раз меньше принятого в условии масштаба радиуса протона 10^{-15} м.

Задание 5. Энергия слияния чёрных дыр

Ответ: Вариант 1: $5{,}4\times10^{47}$ Дж; вариант 2: $7{,}2\times10^{47}$ Дж; вариант 3: $3{,}6\times10^{47}$ Дж.

Решение. Энергия унесена преимущественно гравитационными волнами: $E = \Delta m\, c^2$. Суммарная начальная масса 29+36 = 65 масс Солнца. Дефекты масс соответственно 3, 4 и 2 $M_\odot$. При $M_\odot = 2\times10^{30}$ кг и $c = 3\times10^8$ м/с одна солнечная масса соответствует $1{,}8\times10^{47}$ Дж.

Задание 6. Минимальный диаметр телескопа

Ответ: Около 750 мм; оценка по графику.

Решение. Нужно видеть не только максимумы, но и самые слабые минимумы: на рисунке mпред ≈ 16,5. Телескоп собирает в (D/6 мм)² раз больше света, чем зрачок. По шкале Погсона mпред−6 = 5 lg(D/6 мм), поэтому D = 6 × 10^((16,5−6)/5) ≈ 755 мм. Это идеальная светосила без учёта потерь и состояния неба; при mпред = 16 получились бы 600 мм, но нижняя часть графика уходит слабее 16m.

Задание 7. Светимость цефеиды с периодом 10 суток

Ответ: Примерно $1{,}1\times10^4$ светимостей Солнца.

Решение. При lg P = 1 по верхней, более яркой ветви графика mmax ≈ 13,5. d = 60,0 кпк = 60000 пк, модуль расстояния 5 lg(60000/10) = 18,8908. Тогда M ≈ −5,3908; L/L⊙ = 10^[0,4(4,74−M)] ≈ 11280. Это графическая оценка без поправки на межзвёздное поглощение, которого условие не задаёт. Считывание 13,4 вместо 13,5 даёт около $1{,}24\times10^4$: точность ограничена рисунком.

Задание 8. Тип цефеиды

Ответ: Жёлтый сверхгигант.

Решение. L/L⊙ = (R/R⊙)²(T/T⊙)⁴, поэтому T = 5800 × (20000/90²)^(1/4) ≈ 7270 K. Большой радиус и высокая светимость исключают карлик и обычную главную последовательность. Среди перечисленных типов цефеиде соответствует жёлтый сверхгигант.

Задание 9. Типы затмений на фотографиях

Ответ: А - 2; Б - 1.

Решение. На А вокруг тёмного диска Луны остаётся тонкое яркое кольцо солнечной фотосферы: кольцеобразное солнечное затмение. На Б фотосфера закрыта и видна солнечная корона: полное солнечное затмение.

Задание 10. Угловой диаметр Солнца

Ответ: Варианты 1-5 приведены в таблице.

Решение. Для малого угла $\theta \approx 2R_\odot/r$ радиан. В угловых секундах $\theta'' = (2\times 696000/r) \times 206264{,}806$. В формулу входит диаметр, то есть удвоенный радиус.

Вар.	r, млн км	θ, угл. с
1	147,6	1945
2	148,6	1932
3	149,6	1919
4	150,3	1910
5	151,4	1896

Задание 11. Фаза Луны во время солнечного затмения

Ответ: 0,0.

Решение. Солнечное затмение происходит в новолуние, когда Луна находится между Землёй и Солнцем. Фаза здесь означает долю освещённого видимого лунного диска, а не долю закрытого Солнца. И при полном, и при кольцеобразном затмении она округляется до 0,0.

Задание 12. Фаза Луны во время солнечного затмения

Ответ: 0,0.

Решение. Солнечное затмение происходит в новолуние, когда Луна находится между Землёй и Солнцем. Фаза здесь означает долю освещённого видимого лунного диска, а не долю закрытого Солнца. И при полном, и при кольцеобразном затмении она округляется до 0,0.

Задание 13. Положение Луны на орбите

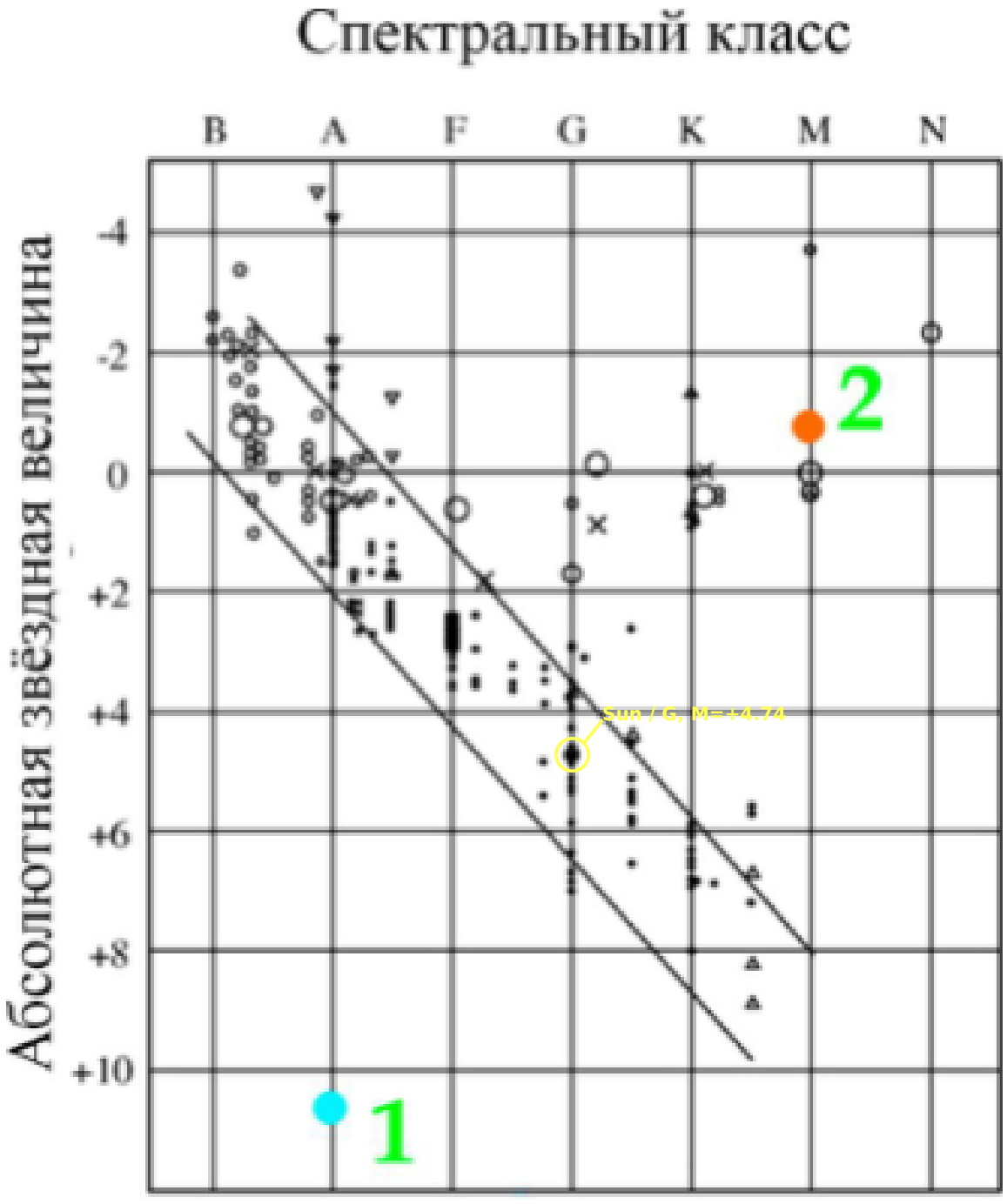
Ответ: Вблизи перигея.

Решение. На фотографии полное солнечное затмение. При расстоянии до Солнца 147,6 млн км его диаметр $\approx 1945''$. Чтобы полностью закрыть его, Луна должна иметь достаточно большой угловой диаметр, что соответствует относительно малому расстоянию до Земли. Условие перекрытия даёт $\Delta Л \lesssim R Л\, rC/RC \approx 369000$ км при $R Л \approx 1740$ км. Это ближе к перигею, чем к апогею. Фотография не доказывает нахождение точно в перигее; перигелий и афелий относятся к орбите вокруг Солнца.

Задание 14. Положение Солнца на диаграмме

Ответ: Спектральный класс G, абсолютная величина около +4,7…+4,8m, внутри полосы главной последовательности.

Решение. На оси класса выбираем G. На вертикальной оси более слабые абсолютные величины идут вниз; солнечное M ≈ +4,74m, то есть между отметками +4 и +6, ближе к +4. Не ставим Солнце рядом с красными гигантами или белыми карликами.



Задание 15. Объект № 1 на диаграмме

Ответ: Белый карлик.

Решение. Объект имеет относительно горячий спектральный класс A, но крайне малую светимость: M около +10,5. При $L \propto R^2T^4$ высокая температура и низкая светимость означают очень малый радиус.

Задание 16. Объект № 2 на диаграмме

Ответ: Красный гигант.

Решение. Спектральный класс M соответствует низкой температуре. Абсолютная величина около −1 указывает на большую светимость, следовательно, радиус должен быть большим. Это красный гигант, а не красный карлик.

Задание 17. Эволюция звёзд

Ответ: Верны 2, 5, 6.

Решение. Перенос звезды на другое расстояние меняет видимую, но не абсолютную величину и не её собственный спектральный класс. Солнце не останется на главной последовательности навсегда: пройдёт стадию красного гиганта, сбросит оболочку и завершит эволюцию белым карликом. Оно не превратится в массивную голубую звезду, двигаясь вверх вдоль главной последовательности.

Задание 18. Солнечные сутки на экзопланете

Ответ: Варианты 1-4 приведены в таблице.

Решение. Осевая и орбитальная угловые скорости направлены одинаково. Поэтому $1/S = 1/P - 1/T$, где T выражен в тех же единицах, что P. Получаем $S = P\,T/(T-P)$, причём $T(\text{ч}) = 24\,T(\text{сут})$. Солнечные сутки длиннее периода осевого вращения.

Вар.	Орбита, земн. сут	Вращение, ч	Солнечн. сутки, ч
1	51,5	20,25	20,6
2	50,5	22,25	22,7
3	84,5	16,75	16,9
4	82,5	15,75	15,9

Задание 19. Эллиптическая орбита Мерка

Ответ: Отношения угловых диаметров и большие полуоси - в таблице.

Решение. Угловой размер обратно пропорционален расстоянию. Перицентр rmin = a(1−e), апоцентр rmax = a(1+e), поэтому θmax/θmin = (1+e)/(1−e). Для звезды солнечной массы третий закон Кеплера даёт $a^3 = T^2$ и a = T^(2/3), если годы и а. е. Масса планеты пренебрежимо мала; описание «похожа на Солнце» интерпретируем как Мзв ≈ M☉.

Вар.	T, годы	e	θmax/θmin	a, а. е.
1	3,4	0,22	1,6	2,3
2	4,6	0,16	1,4	2,8
3	7,3	0,28	1,8	3,8
4	9,8	0,37	2,2	4,6
5	12,4	0,41	2,4	5,4

Задание 20. Угловое расстояние на экваторе

Ответ: 22°.

Решение. 13ч11м − 11ч42м = 1ч29м = 89 минут времени. Угол равен 89 × 0,25° = 22,25°, после округления 22°.

Задание 21. Звезда α = 13ч02м, δ = +56°

Ответ: Алиот, ε Большой Медведицы.

Решение. Яркая звезда ручки Ковша, ближайшая к чаше. Приведённые координаты приблизительные; каталожное прямое восхождение Алиота около 12ч54м, склонение +56°.



Задание 22. Звезда α = 10ч19м, δ = +43°

Ответ: Тания Бореалис, λ Большой Медведицы.

Решение. Звезда расположена вне семи основных звёзд Ковша, у одной из ног Большой Медведицы. Координаты близки к 10ч17м, +43°.



Задание 23. Фаза Земли в точках Лагранжа

Ответ: Верны 1 и 4: в L1 фаза Земли 1, в L2 - 0.

Решение. Порядок на общей прямой: Солнце - L1 - Земля - L2. Из L1 видна освещённая сторона Земли, из L2 - ночная. Это идеализация точек на прямой; реальные аппараты движутся по орбитам около точек и могут видеть небольшое отклонение от этих предельных фаз.

Задание 24. Максимальная длина земной тени

Ответ: Около 1 384 020 км от центра Земли. От ночной поверхности - около 1 377 640 км.

Решение. По подобию треугольников для конуса полной тени R3/L = (RC−R3)/r, поэтому L = r R3/(RC−R3). При r = 149600000 км, R3 = 6380 км и RC = 696000 км получаем L = 1384020,185 км. В задачах расстояние от Земли обычно отсчитывают от центра. Если требуется высота над поверхностью, вычитаем R3. Полутень распространяется дальше; здесь речь о полной тени, конечном конусе. Значение 1 а. е. в самом вопросе не напечатано, поэтому используем стандартное школьное 149,6 млн км.

Задание 25. Орбита оптического и УФ-телескопа

Ответ: Предпочтительна орбита около L2 системы Солнце - Земля.

Решение. 1) Низкая орбита, 500 км: доступнее запуск и связь; основная поглощающая атмосфера уже ниже, оптические и многие УФ-наблюдения возможны. Минусы: Земля закрывает часть неба, рассеянный свет, свечение верхней атмосферы, смены нагрева и охлаждения, радиационные области и сопротивление остаточной атмосферы.
2) L1: нет земных затенений для антисолнечных направлений, возможны длительные наблюдения; однако освещённая Земля находится со стороны антисолнечного поля, добавляя фон и усложняя экранирование. L1 особенно удобна для наблюдений Солнца, а здесь задача иная.
3) L2: Солнце, Земля и Луна находятся примерно в одном направлении, их можно экранировать общим экраном; ниже паразитный свет и стабильнее тепловой режим, доступны длинные серии. Минусы: дорогой запуск, задержка связи и ограниченная передача данных, коррекции орбиты, сложность обслуживания и ограничения направления наведения.
Рабочую орбиту выбирают около L2, а не в неподвижной точке: L2 неустойчива, нужны коррекции. L2 находится дальше вершины земного конуса полной тени, рассчитанного в задании 24; преимуществом является экранирование, а не постоянная земная тень. Для слабых оптических и УФ-объектов это лучший общий компромисс из предложенных.

Справочные источники и проверка

CDS / SIMBAD: каталог звёзд (идентификация по координатам)
https://simbad.cds.unistra.fr/simbad/

ESA: преимущества орбиты около L2 и отсутствие постоянного земного затмения
https://esawebb.org/about/general/orbit/