

# LXXX Московская астрономическая олимпиада

Теоретический тур. 2026 г.

## 10 класс

---

В решении для всех вычислений должна быть представлена формула, где ис-комая величина записана в явном «буквенном» виде, записаны подставляемые значения и только потом ответ. Если численные значения получаются из рисунков/графиков, должно быть показано, что именно измерялось.

---

### Задача 1

Некоторые радиопульсары, кроме обычных импульсов, излучают гигантские импульсы (ГИ) — короткие, но часто очень мощные вспышки. ГИ излучаются нерегулярно, но всегда в те моменты, когда ожидаются обычные импульсы.

На графике на странице 4 представлены результаты наблюдений одного такого пульсара. Каждая точка соответствует одному гигантскому импульсу. По горизонтальной оси отложен интервал времени, прошедший с момента регистрации предыдущего ГИ, а по вертикальной оси — мощность полученного сигнала в единицах мощности шума.

Определите период пульсара. Ответ предоставьте с точностью до двух значащих цифр.

### Задача 2

На странице 4 приведена диаграмма, построенная для большой выборки галактик. По вертикальной оси отложен цвет галактики в виде показателя цвета  $u - r$ , а по горизонтальной оси — звёздная масса галактики (масса звёздной компоненты). Чем темнее цвет карты, тем больше точек-галактик находится в данной области. Поясните, почему распределение галактик на этой диаграмме имеет бимодальный характер. Обозначьте на данной диаграмме положение следующих галактик: Большое Магелланово Облако и Галактика Млечный Путь.

Широкополосная фотометрическая система проекта SDSS включает в себя 5 полос. Полоса  $u$  имеет среднюю длину волны 350 нм и ширину 60 нм, а полоса  $r$  — среднюю длину волны 620 нм и ширину 140 нм.

### Задача 3

В марте 1990 года космический аппарат «Вояджер-1» сделал знаменитый снимок «Бледно-голубая точка» — фотографию Земли с рекордного на тот момент расстояния. Аппарат удалялся от Земли в направлении созвездия Геркулеса, вблизи границы с созвездием Змееносец. Радиосигнал от космического аппарата до Земли шёл примерно 5.6 часа. Определите звёздную величину Земли на этой фотографии, если её альбедо равно 0.31.

### Задача 4

Координаты северного полюса мира Марса в земной эклиптической системе:  $\lambda = 353.3^\circ$ ,  $\beta = 63.3^\circ$ . На марсианской небесной сфере точку весеннего равноденствия определяют по тем же правилам, что и на земной. Из-за прецессии марсианская точка равноденствия смещается со скоростью  $7.58''$  в год, причём направление этого смещения совпадает с направлением прецессии земной точки равноденствия. Определите, через какой промежуток времени полюса мира Земли и Марса окажутся наиболее близко друг к другу на небесной сфере и какое угловое расстояние будет их разделять в этот момент. Считать орбиты планет лежащими в одной плоскости.

### Задача 5

Комета движется по параболической орбите в плоскости эклиптики. 1 марта она прошла перигелий на расстоянии 0.5 а. е. от Солнца, находясь в этот момент в нижнем соединении для наблюдателя на Земле. Векторы скоростей Земли и кометы в этот момент были сонаправлены. Спустя 19 дней расстояние от Солнца до кометы увеличилось до 1 а. е.

1. В направлении какого созвездия можно было наблюдать комету с Земли в этот день (через 19 дней после перигелия)?
2. На каком расстоянии от Земли находилась комета в этот момент?
3. С какой стороны от Солнца (западной или восточной) было видно комету?

Орбиту Земли считайте круговой.

*Замечание.* В текст условия этой задачи закралась опечатка: двигаясь по параболической орбите, комета никак не может за 19 дней успеть добраться до орбиты Земли, по крайней мере, если у неё нет двигателя. Правильное значение — 39 дней. Тем не менее, выбранный метод решения остаётся верным.

### Задача 6

Вторая космическая скорость на поверхности сферической планеты равна  $u_0$ . Если подняться на высоту  $h_1 = 1000$  км над поверхностью планеты, то параболическая скорость на этой высоте станет равна первой космической скорости на поверхности планеты. На высоте, в два раза большей, чем  $h_1$ , период обращения вокруг планеты равен  $T_2 = 8$  часам. Определите:

- Вторую космическую скорость на поверхности планеты,
- Радиус планеты,
- Массу планеты,
- Среднюю плотность планеты.

### Задача 7

Это комбинированное негативное изображение окрестностей северного полюса Сатурна составлено из фотографий, полученных космическим аппаратом «Кассини», который работал в системе планеты с 2004 по 2017 год. Этот снимок стал первым изображением знаменитого шестиугольного вихря, выполненным «Кассини» в видимом диапазоне.

1. Когда (год, месяц) могла быть сделана эта фотография?
2. Какой полюс Сатурна (северный или южный) будет доступен для наблюдения с Земли в ближайшем будущем, если в конце марта 2025 года кольца планеты были видны «с ребра»?

Длина стороны шестиугольника составляет около 14 000 км. Наклон оси вращения Сатурна к его плоскости орбиты равен  $27^\circ$ . В момент съёмки «Кассини» располагался на расстоянии, значительно превышающем радиус планеты. Сжатием Сатурна пренебрегите.

### Задача 8

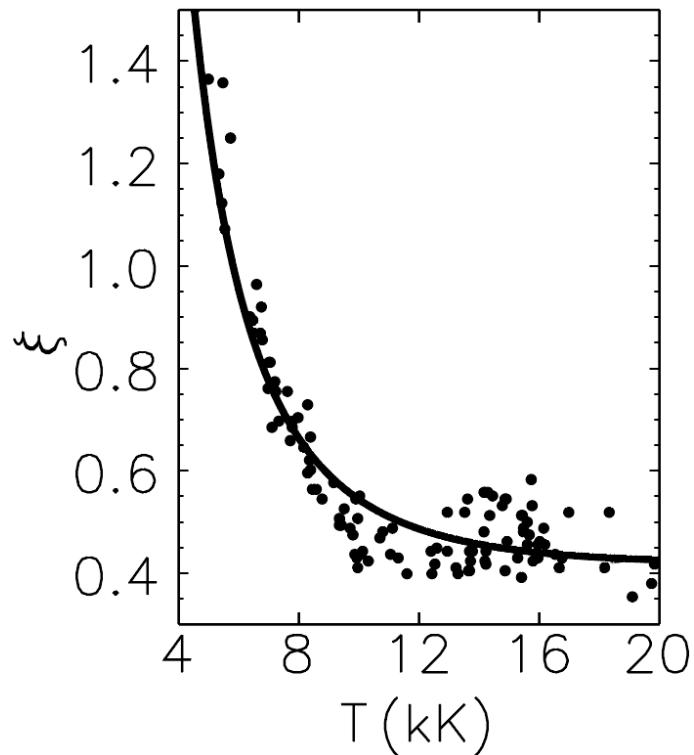
Метод расширяющихся оболочек — это метод определения расстояний до сверхновых второго типа. Метод основан на предположении, что разлетающаяся оболочка сверхновой излучает как чёрное тело, начиная примерно с 5–10-го дня после взрыва. Последующие исследования показали, что излучение оболочки близко к чернотельному и отличается на безразмерный

коэффициент диллюции  $\xi^2$ , который равен отношению принимаемого потока излучения от объекта  $F$  к потоку от абсолютно чёрного тела с такими же температурой и радиусом:

$$\xi^2 = \frac{F}{F_{bb}}.$$

В таблицах вам предоставлены данные фотометрии сверхновой в фильтрах V и B и скорости разлёта оболочки после вспышки, а также зависимость болометрической поправки  $BC$  в полосе V от температуры. Время указано от момента максимума блеска. На графике показана зависимость коэффициента  $\xi$  от температуры, выраженной в тысячах кельвинов.

Время, дни	Скорость, км/с	Видимая зв. вел. в фильтре V	Видимая зв. вел. в фильтре B
7.9	10276	13.81	13.80
8.9	9721	13.79	13.80
9.9	8981	13.79	13.82
10.9	8410	13.79	13.84
11.9	8314	13.81	13.88
12.9	8026	13.84	13.92
13.8	8080	13.84	13.95
14.4	7642	13.86	13.98
15.4	7221	13.85	14.01
16.1	7215	13.84	14.04
26.4	5611	13.86	14.47
29.4	5110	13.88	14.58
31.4	4902	13.90	14.65
35.4	4623	13.94	14.79
39.4	4310	13.93	14.87
42.6	3809	13.92	14.93
45.4	3785	13.93	14.97
49.4	3836	13.91	15.00
42.4	3747	13.93	15.05
54.3	3500	13.94	15.08
81.4	2714	14.04	15.40
70.3	2430	14.26	15.72
101.3	2504	14.28	15.74



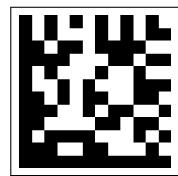
T, K	BC	T, K	BC	T, K	BC
3500	-2.30	7000	0.03	10500	-0.36
4000	-1.12	8000	0.02	11000	-0.47
4500	-0.60	8500	0.00	11500	-0.58
5000	-0.29	9000	-0.06	12000	-0.68
5500	-0.14	9500	-0.15	13000	-0.89
6000	-0.04	10000	-0.25	14000	-1.07

Для оценки температуры абсолютно чёрного тела воспользуйтесь зависимостью

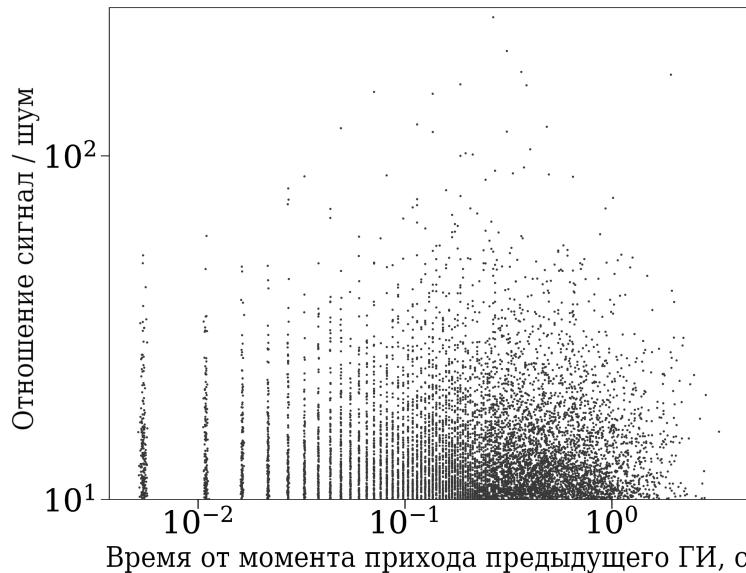
$$T = 4600 \left( \frac{1}{0.92(B - V) + 1.7} + \frac{1}{0.92(B - V) + 0.62} \right).$$

Определите расстояние до сверхновой, считая, что она видна высоко над плоскостью Млечного Пути.

*Подсказка.* В первые десятки дней оболочка расширяется практически в пустоте, не взаимодействуя с межзвёздной средой, так как она была выметена излучением звезды — прародительницы сверхновой.

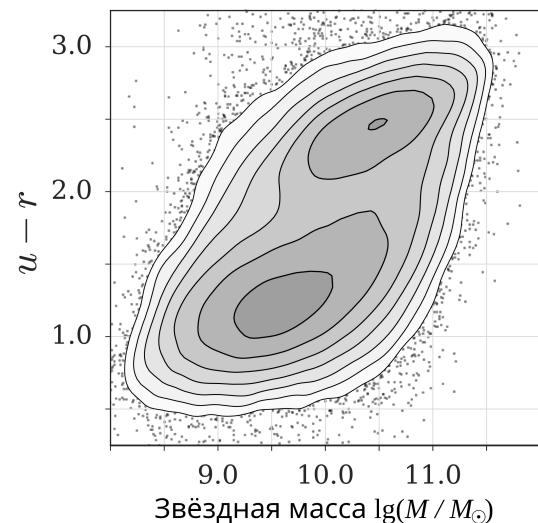


Сдайте этот лист вместе с работой!



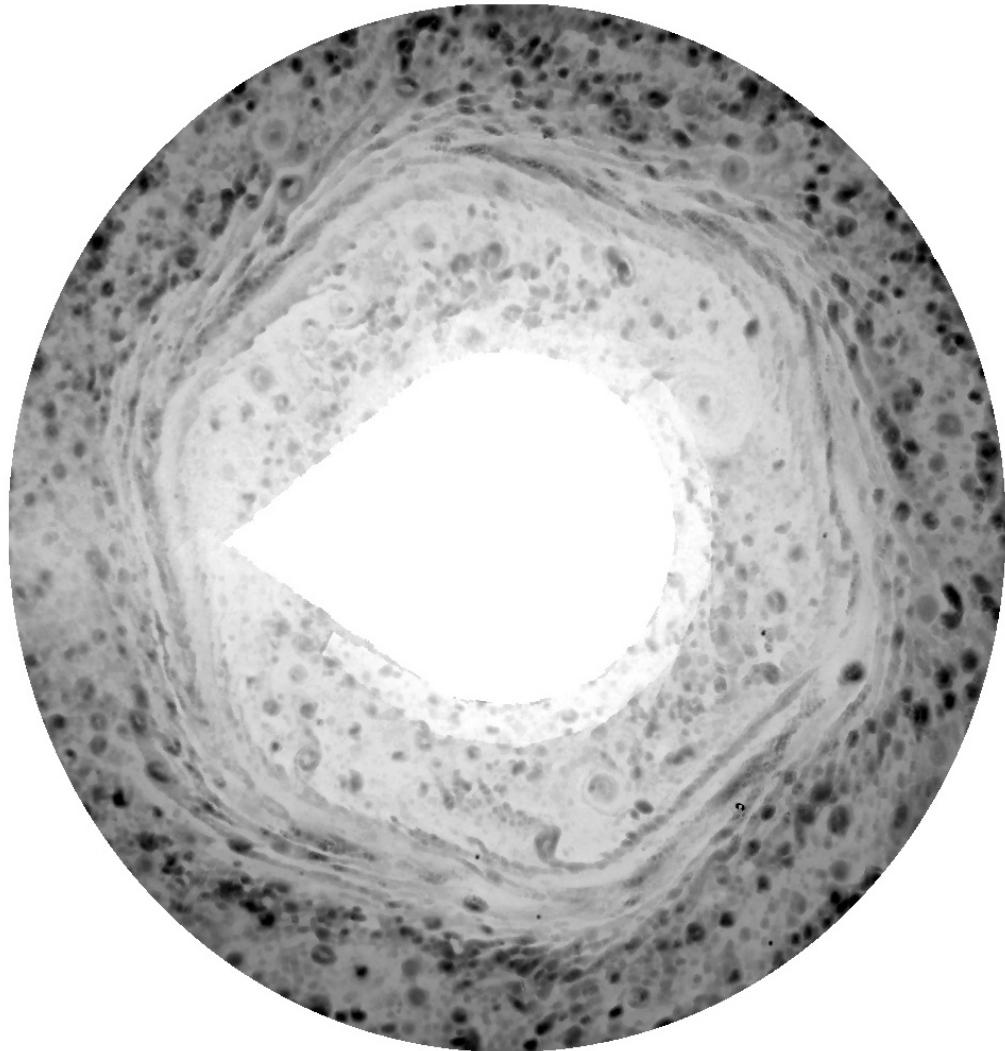
Время от момента прихода предыдущего ГИ, с

К задаче 1



Звёздная масса  $\lg(M/M_\odot)$

К задаче 2



К задаче 7

## Справочные данные

### Данные о Солнце, Земле, Луне и Галактике

Светимость Солнца	$L_{\odot} = 3.827 \cdot 10^{26}$ Вт
Видимая звёздная величина Солнца	$m_{\odot} = -26.78^m$
Абсолютная болометрическая звёздная величина Солнца	$M_{\odot} = 4.72^m$
Эффективная температура Солнца	$T_{\odot} = 5800$ К
Солнечная постоянная	$E_{\odot} = 1360.8 \text{ Вт м}^{-2}$
Поток солнечной энергии в видимых лучах на расстоянии Земли	$= 600 \text{ Вт м}^{-2}$
Тропический год	$= 365.24219$ сут
Звёздные сутки	$= 23 \text{ ч } 56 \text{ мин } 04 \text{ с}$
Наклон экватора к эклиптике	$\varepsilon = 23^{\circ}26'21.45''$
Синодический месяц	$S_{\text{с}} = 29.53059$ сут
Видимая звёздная величина полной Луны	$m_{\text{с}} = -12.7^m$
Число звёзд в нашей Галактике	$= 1 \cdot 10^{11}$
Радиус диска нашей Галактики	$= 20$ кпк
Масса нашей Галактики (в массах Солнца)	$= 2 \cdot 10^{12}$
Абсолютная звёздная величина нашей Галактики	$= -20.9^m$

### Астрономические и физические постоянные

Гравитационная постоянная	$G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$
Скорость света в вакууме	$c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м с}^{-1}$
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг с}^{-3} \text{ К}^{-4}$
Постоянная Планка	$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж с}$
Постоянная Хаббла	$H = 74 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$
Масса протона	$m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Период полураспада свободного нейтрона	$= 609$ с
Астрономическая единица	$1 \text{ а. е.} = 1.496 \cdot 10^{11}$ м
Парсек	$1 \text{ пк} = 3.086 \cdot 10^{16}$ м

**Формулы приближённого вычисления** (при  $x \ll 1$ )

$$\begin{aligned} \sin(x) &\approx x & \cos x &\approx 1 - \frac{x^2}{2} & \operatorname{tg} x &\approx x \\ \ln(1+x) &\approx x & e^x &\approx 1+x & (1+x)^\alpha &\approx 1+\alpha x \end{aligned}$$

### Характеристики Солнца, планет и некоторых спутников

Объект	Большая полуось, а.е.	Эксцентрикитет	Орбитальный период	Масса, кг	Радиус, тыс. км	Осевой период
Солнце				$1.989 \times 10^{30}$	696	25.38 сут
Меркурий	0.3871	0.2056	87.97 сут	$3.302 \times 10^{23}$	2.44	58.65 сут
Венера	0.7233	0.0068	224.70 сут	$4.869 \times 10^{24}$	6.05	243.02 сут
Земля	1	0.0167	365.26 сут	$5.974 \times 10^{24}$	6.37	23.93 ч
Луна	0.00257	0.0549	27.322 сут	$7.348 \times 10^{22}$	1.74	27.32 сут
Марс	1.5237	0.0934	686.98 сут	$6.419 \times 10^{23}$	3.40	24.62 ч
Юпитер	5.2028	0.0483	11.862 лет	$1.899 \times 10^{27}$	69.9	9.92 ч
Сатурн	9.5388	0.0560	29.458 лет	$5.685 \times 10^{26}$	60.3	10.66 ч
Уран	19.1914	0.0461	84.01 лет	$8.683 \times 10^{25}$	25.6	17.24 ч
Нептун	30.0611	0.0097	164.79 лет	$1.024 \times 10^{26}$	24.7	16.11 ч