

# LXXX Московская астрономическая олимпиада

Теоретический тур. 2026 г.

## 11 класс

---

В решении для всех вычислений должна быть представлена формула, где искомая 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 5 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 5 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

При наблюдении галактики, полностью аналогичной Млечному Пути, была обнаружена вспышка новой звезды на расстоянии 6 кпк от её центра. Видимая звёздная величина галактики составляет  $10^m$ , а сама галактика наблюдается в виде эллипса с соотношением полуосей 5 : 3. Определите:

- расстояние до галактики;
- возможные значения наблюдаемой лучевой скорости новой;
- возможные угловые расстояния между центром галактики и новой.

Межзвёздным и межгалактическим поглощением, а также влиянием других галактик на наблюдаемую пренебречь.

### Задача 4

Космические пираты, приближаясь к мирной космической станции, выстрелили в неё с расстояния 10 а.е. из нейтронной пушки. Заряд содержит 1 моль нейтронов. Полная энергия каждого нейтрона — 5 ГэВ. Угол расхождения пучка —  $1'$ . Во сколько раз возрастёт поток нейтронов на станции на 1 секунду по сравнению с потоком космических лучей такой же энергии ( $8000 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ )? А протонов? Сколько времени будет у обитателей станции, чтобы спрятаться в убежищах, если выстрел сопровождался вспышкой света?

### Задача 5

В далёком будущем был осуществлён амбициозный проект, позволивший увеличить площадь земной поверхности: на расстоянии  $\frac{3}{4}R$  от центра Земли вырыли две диаметрально противоположные полости радиусами  $\frac{R}{4}$ , а получившееся вещество равномерно распределили по всей поверхности. Считая, что Земля состоит из несжимаемого однородного материала, оцените, во сколько раз изменилась площадь поверхности Земли. Чему будет равна новая вторая космическая скорость на поверхности планеты и из какой точки планеты нужно будет стартовать?

### Задача 6

Во время лунного затмения 7 сентября 2025 года Луна находилась в перигее орбиты, а минимальное расстояние центра Луны от оси тени составило 0.275 радиуса Земли (гамма-фактор затмения  $\gamma = -0.275$ ). Момент максимальной фазы пришёлся на 18:11 по всемирному времени. Считайте орбиту Земли круговой, наклоном орбиты Луны к плоскости эклиптики пренебрегите.

Для фотографирования затмения астроном решил использовать телескоп с диаметром объектива  $D = 200 \text{ мм}$  и фокусным расстоянием  $F = 1 \text{ м}$ , установленный в точке с координатами  $\varphi = 44^\circ$  с. ш.,  $\lambda = 43^\circ$  в. д. Телескоп оснащён ПЗС-матрицей  $1024 \times 1024$  пикселей со стороной 10 мкм каждый. К несчастью, в день затмения автоматическое управление телескопом вышло из строя и телескоп раз в минуту снимал случайную область неба над горизонтом. Оцените вероятность того, что Луна в полной фазе затмения, пусть даже частично, всё же попала хотя бы на 1 кадр.

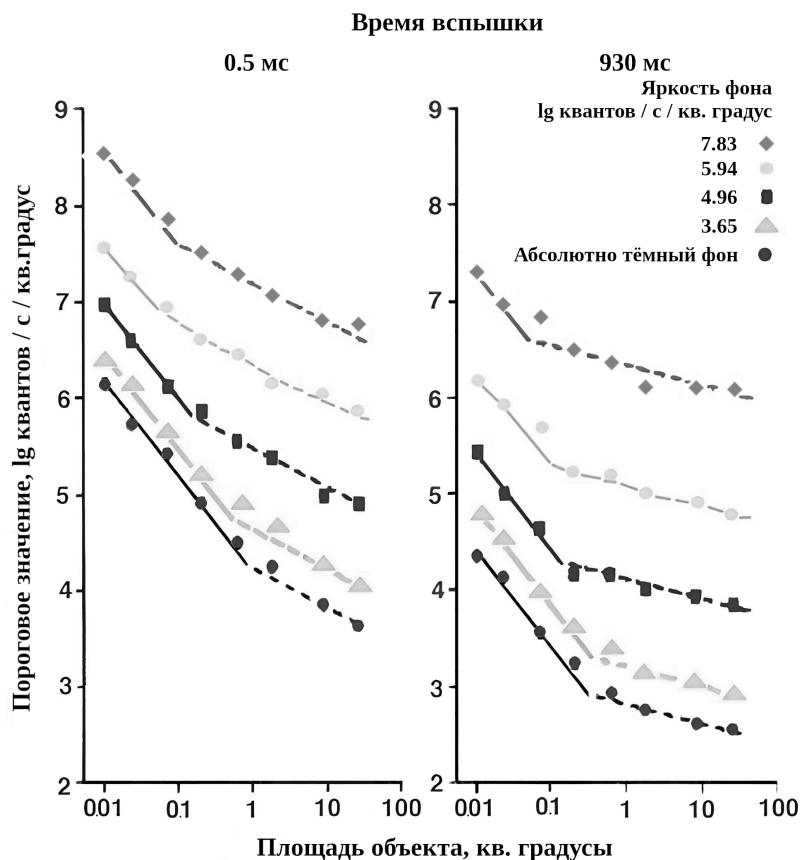
### Задача 7

Вы находитесь под очень тёмным небом с поверхностной яркостью  $22^{\text{м}}$  с квадратной угловой секунды. Для оценки ваших наблюдательных способностей воспользуйтесь экспериментальной зависимостью предельной яркости объектов, воспринимаемых человеческим глазом, от их углового размера, представленной на рисунке. Для построения этих графиков был проведён эксперимент, в котором фиксировались вспыхивающие объекты разного углового размера и яркости на разном фоне. На левом графике представлены результаты для коротких вспышек (0.5 мс), а на правом — для длинных (930 мс).

1. Определите поверхностную яркость самых тусклых «больших» объектов, например облаков в Млечном Пути, которые вы можете наблюдать на этом небе. Выразите эту поверхностную яркость в звёздных величинах с квадратной угловой минуты.
2. Это прекрасное небо вдохновило вас на наблюдения Очень Красивой Планетарной Туманности, для нашей задачи представляющей равномерно освещённый круг диаметром  $3'$

и полной яркостью  $11.9^m$ . Найдите минимальный диаметр объектива телескопа, который вам для этого необходим.

Для расчётов считайте, что диаметр зрачка равен 6 мм, и что поток от Веги в видимом диапазоне составляет  $10^6$  фотонов на  $1 \text{ см}^2$  в секунду.



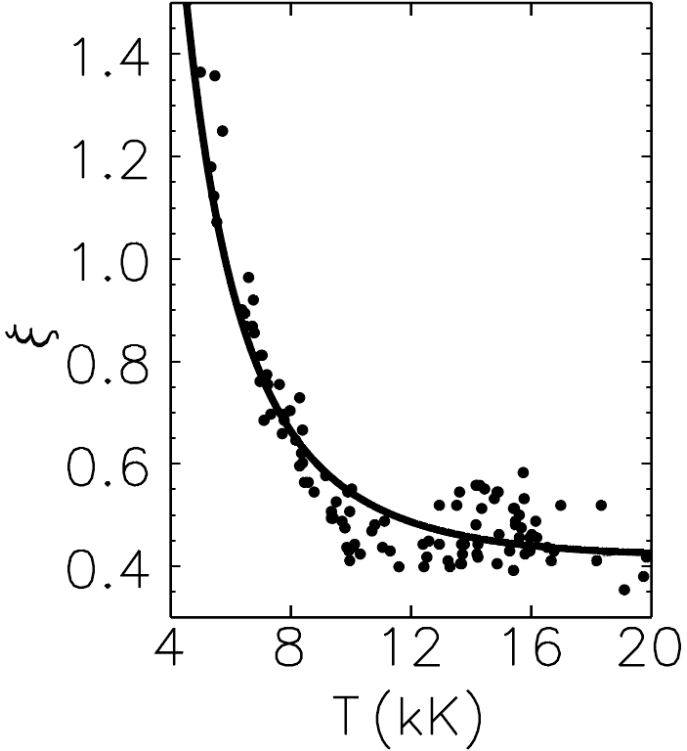
### Задача 8

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 дилуции  $\xi^2$ , 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 кельвин.

| Время,<br>дни | Скорость,<br>км/с | Видимая<br>зв. вел. в<br>фильтре<br>V | Видимая<br>зв. вел. в<br>фильтре<br>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 абсолютного 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.

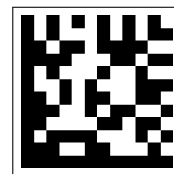
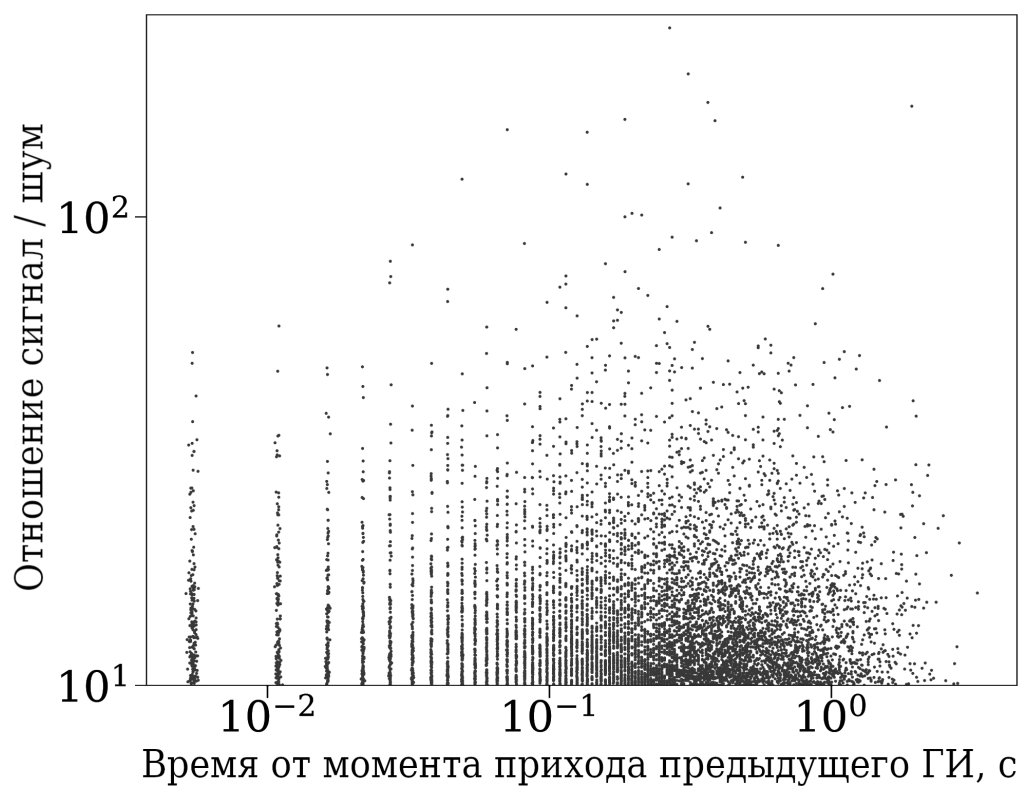
*Подсказка.* В первые десятки дней оболочка расширяется практически в пустоте, не взаимодействуя с межзвёздной средой, так как она была выметена излучением звезды — прародительницы сверхновой.

11  
класс

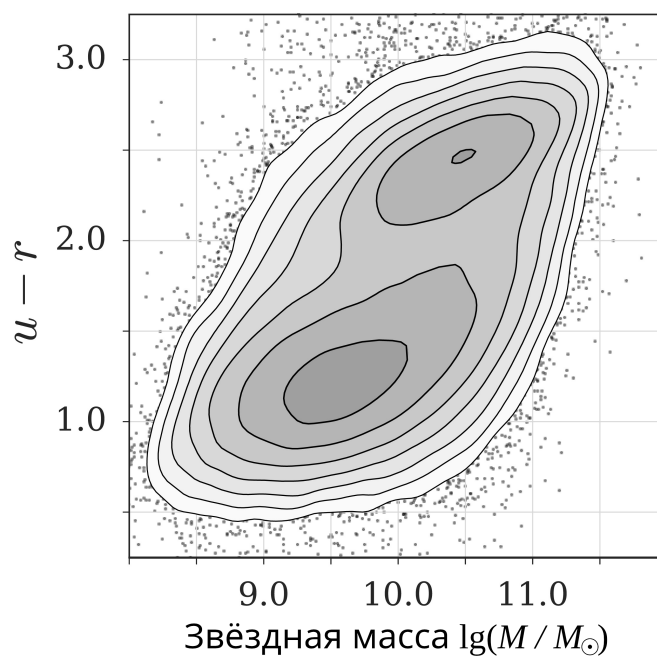
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|

ID заявки

ЛИСТ \_\_\_\_\_ ИЗ \_\_\_\_\_

*Сдайте этот лист вместе с работой!*

К задаче 1



К задаче 2

## Справочные данные

## Данные о Солнце, Земле, Луне и Галактике

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

## 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                          | $m_{\text{p}} = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$                       |
| Период полураспада свободного нейтрона | $= 609 \text{ с}$   |
| Астрономическая единица                | $1 \text{ а. е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$                     |
| Парсек                                 | $1 \text{ пк} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$                        |

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. | Эксцентриситет | 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       |