

# LXXIX Московская астрономическая олимпиада

Теоретический тур. 2025 г.

10 класс

---

В решении для всех вычислений должна быть представлена формула, где искомая величина записана как явная функция известных величин, записаны подставляемые значения и только потом ответ. Если численные значения получаются из рисунков/графиков, должно быть показано, что именно измерялось.

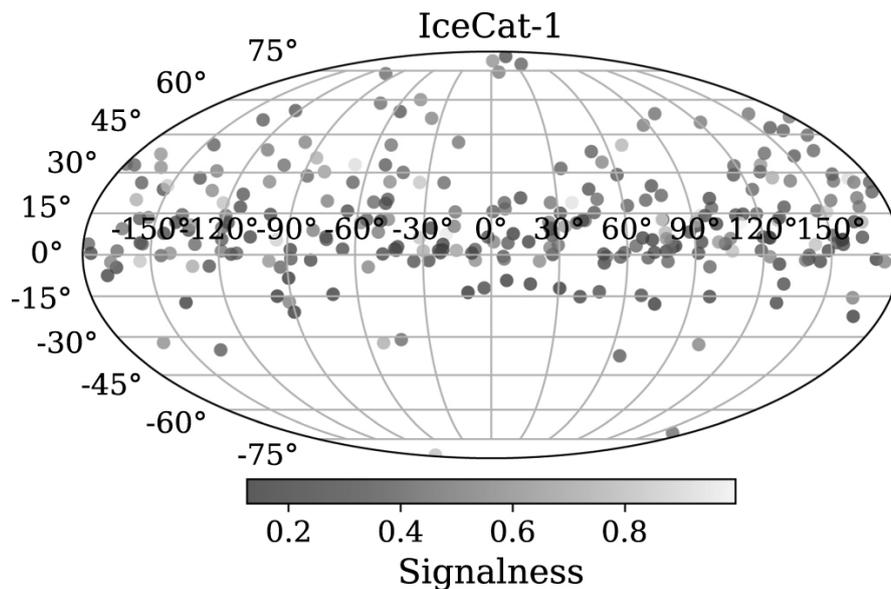
---

## Задача 1

Хорошо известно, что разрешающая способность телескопа тем лучше, чем меньше длина волны наблюдения. Почему же тогда разрешение изображений, полученных космическими телескопами в жёстком рентгеновском и гамма-диапазонах, существенно хуже оптических?

## Задача 2

На Южном полюсе Земли во льду на глубине 1450–2450 м расположены детекторы нейтринной обсерватории IceCube. На рисунке ниже показана карта в экваториальных координатах, на которой отмечены места прихода астрофизических нейтрино высоких энергий, т. е. таких нейтрино, чьи источники находятся за пределами нашей Галактики. Наблюдения велись 9 лет. Почему отметки не заполняют карту равномерно, а группируются вдоль одной полосы?



## Задача 3

Предположим, что наше Солнце вдруг распалось на две одинаковые звезды, которые достаточно быстро вернулись на главную последовательность. На сколько градусов изменится эффективная температуры Земли после этого?

Считайте, что альbedo Земли останется прежним. Звёзды расположены близко друг к другу на месте Солнца, но не деформированы. Перетекания вещества нет. Парниковый эффект не учитывать.

**Задача 4**

В англоязычной литературе, посвящённой исследованиям фона неба, иногда в качестве единиц измерения поверхностной яркости используются единицы  $S_{10}(V)$ , где  $V$  означает спектральный диапазон, в данном случае — визуальный. Одна  $S_{10}(V)$  соответствует поверхностной яркости в видимом диапазоне, создаваемой потоком от одной звезды спектрального типа G2V 10-й звёздной величины в полосе  $V$ , «размазанным» по площади в один квадратный градус. Две единицы  $S_{10}(V)$  соответствуют яркости, создаваемой двумя звёздами и т. д.

В Крымской обсерватории среднее значение фона неба в видимом диапазоне оказалось равно 20 звёздным величинам с квадратной секунды.

1. Чему равно среднее значение яркости фона неба в видимом диапазоне в Крымской обсерватории в единицах  $S_{10}(V)$ ?
2. Галактика M31 (Туманность Андромеды) имеет размеры  $3^\circ \times 1^\circ$  и видимую звёздную величину  $+3.44^m$ . Оцените поверхностную яркость галактики в величинах  $S_{10}(V)$ . Считайте, что форма M31 при наблюдении с Земли близка к эллипсу.

**Задача 5**

Созвездие Хамелеона занимает на небе «прямоугольную» область между от  $-75^\circ$  до  $-82^\circ$  по склонению и от  $7^h 40^m$  до  $13^h 40^m$  по прямому восхождению. На каких широтах можно увидеть это созвездие на небе полностью в один момент времени?

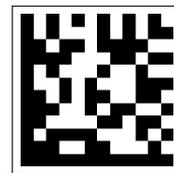
**Задача 6**

Предположим, появилась большая потребность разместить геостационарный спутник Земли ровно в зените над Парижем (широта  $\varphi = 48^\circ 50'$ ). Расстояние до спутника должно быть таким, чтобы время от отправки сигнала из Парижа до получения ответного сигнала от спутника составляло десятую долю секунды. Под каким углом относительно направления на Париж должно быть направлено сопло двигателя, чтобы спутник действительно замер ровно в зените Парижа? Определите величину ускорения, создаваемого двигателем в единицах  $g$  (ускорения свободного падения на поверхности Земли).

10  
класс

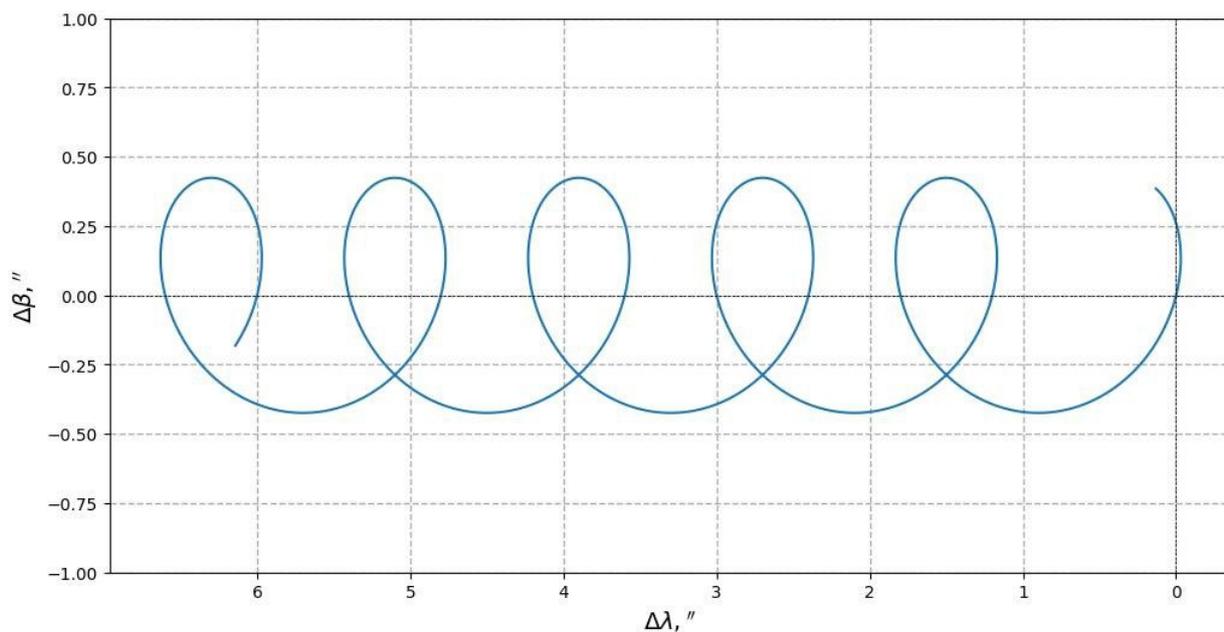
номер работы

лист \_\_\_\_\_ из \_\_\_\_\_



## Задача 7

Вам предоставлена схема видимого перемещения звезды в течение нескольких лет при наблюдении с Земли ( $\Delta\lambda$  — изменение эклиптической долготы,  $\Delta\beta$  — изменение эклиптической широты). Эффекты абберрации света удалены.



Определите следующие величины:

1. расстояние до звезды;
2. собственное движение звезды;
3. эклиптическую широту звезды;
4. период времени, за который произошло перемещение звезды.

**Задача 8**

Подобно тому как звезды мерцают из-за рассеивания света на неоднородностях земной атмосферы, пульсары мерцают вследствие рассеивания радиоизлучения неоднородностями межзвёздной среды. Одна из простейших моделей мерцаний — рассеивание на тонком экране. Пусть  $D$  — расстояние от наблюдателя до пульсара. Расстояние от пульсара до экрана обозначим  $sD$ , а от экрана до наблюдателя —  $(1 - s)D$ ,  $0 < s < 1$ .

Вследствие рассеивания к наблюдателю попадают не только лучи, идущие прямо, но и некоторые лучи, рассеявшиеся на экране, образуя в плоскости наблюдателя сложное распределение областей пониженной и повышенной интенсивности излучения (картина мерцаний). Пульсар быстро движется относительно наблюдателя и экрана, в результате чего излучение проходит через разные части экрана, картина мерцаний движется, а телескоп фиксирует изменение интенсивности с частотой  $f$ .

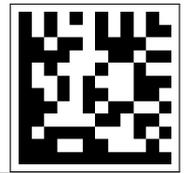
На рисунке на стр. 5 показаны зависимости задержки сигнала  $\tau$ , вызванной рассеянием, от частоты  $f$  для пульсара В1919+10 на четырёх наблюдательных частотах. Аналитическая формула этой зависимости имеет вид

$$\tau = \eta f^2, \quad \eta = 5.15 \cdot 10^5 \frac{Ds(1-s)}{V_{\text{eff}}^2} \lambda^\alpha,$$

где  $D$  измеряется в килопарсеках,  $\lambda$  — длина волны наблюдения в метрах,  $V_{\text{eff}}$  — скорость экрана относительно отрезка наблюдатель — пульсар в км/с.

1. С помощью рисунка определите величину  $\alpha$ .
2. Найдите зависимость скорости  $V_{\text{eff}}$  от тангенциальной скорости пульсара  $V_p$ .
3. Определите угловой и линейный размер рассеянного изображения пульсара.

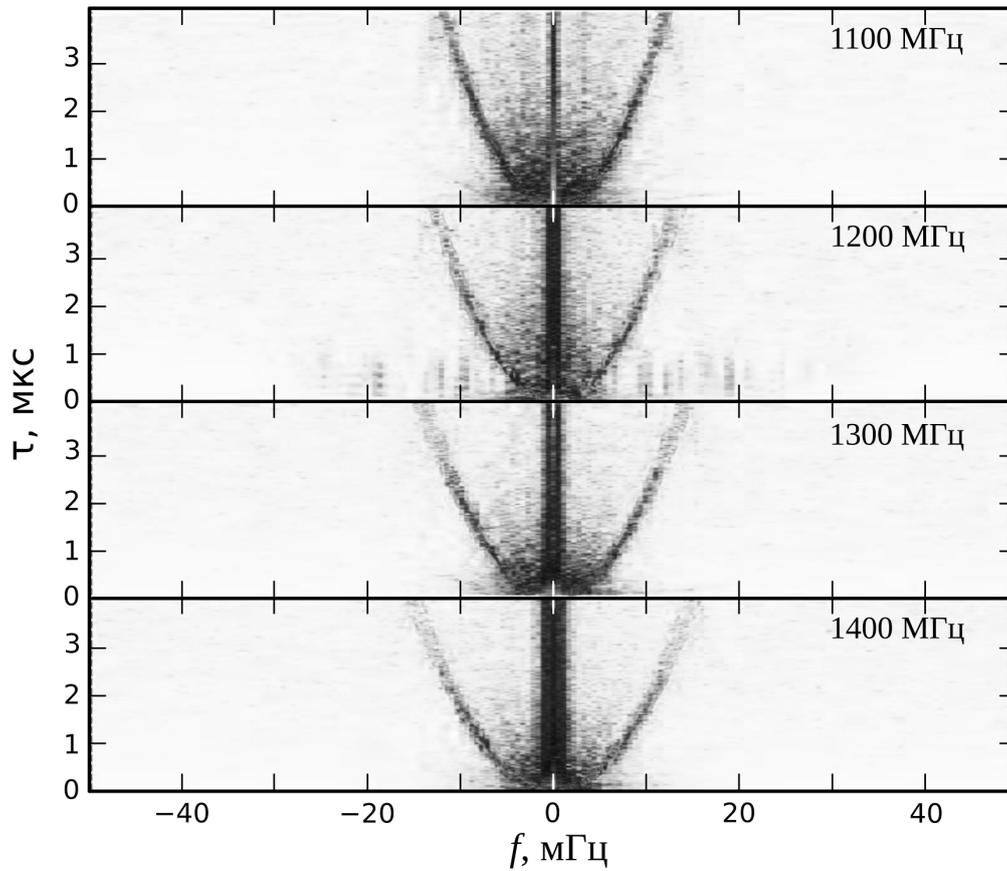
Считайте, что за пределами графиков полезного сигнала нет. Для исследуемого пульсара  $D = 0.36$  кпк,  $V_p = 177$  км/с. Движением наблюдателя и экрана пренебречь.



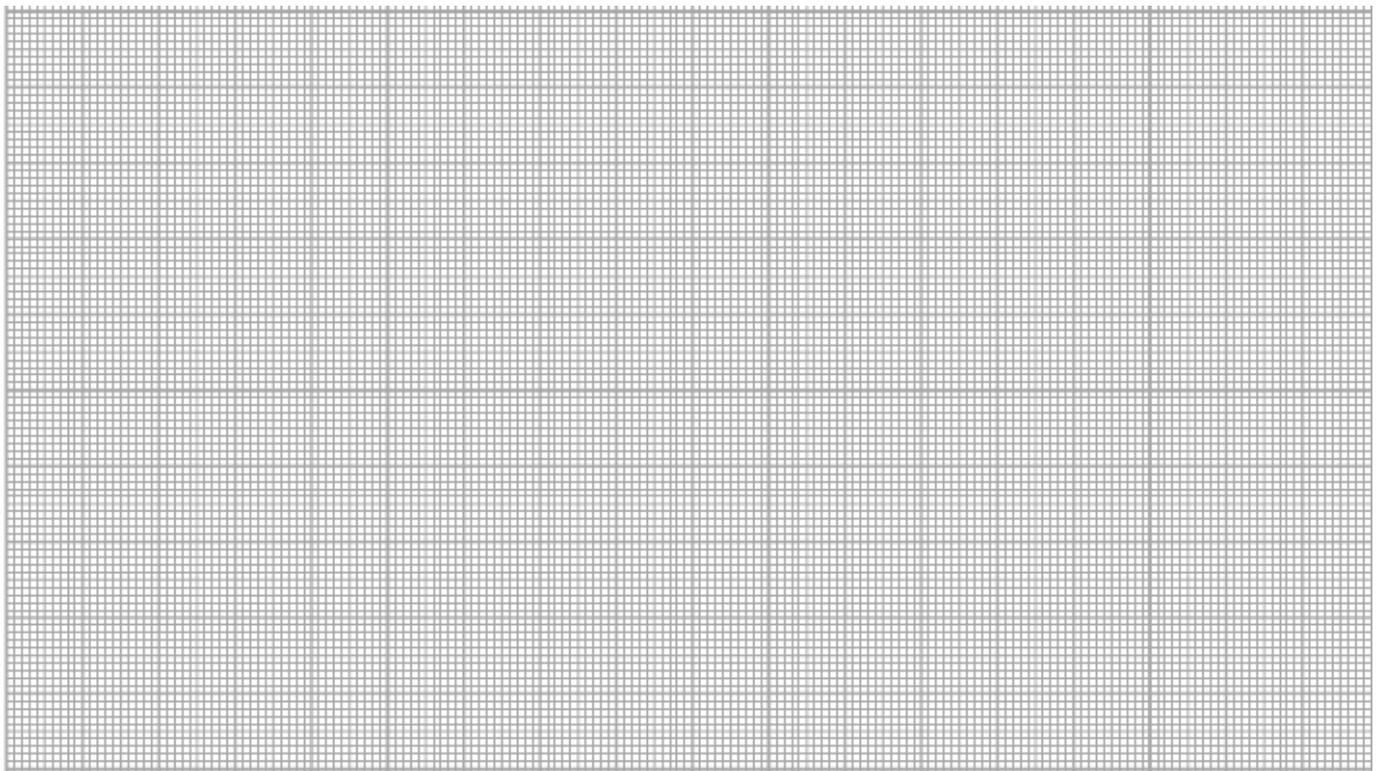
10  
класс

□ □ □ □ □ □ □ □  
номер работы

лист \_\_\_\_ из \_\_\_\_



К задаче 8



## 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	$= 10 \cdot 10^{11}$
Радиус диска нашей Галактики	$= 20 \text{ кпк}$
Масса нашей Галактики (в массах Солнца)	$= 2 \cdot 10^{12}$

## 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	$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж с}$
Масса протона	$m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Астрономическая единица	$1 \text{ а. е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Парсек	$1 \text{ пк} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
Время накопления сигнала глазом	$= 0.05 \text{ с}$

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	Осевого 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