

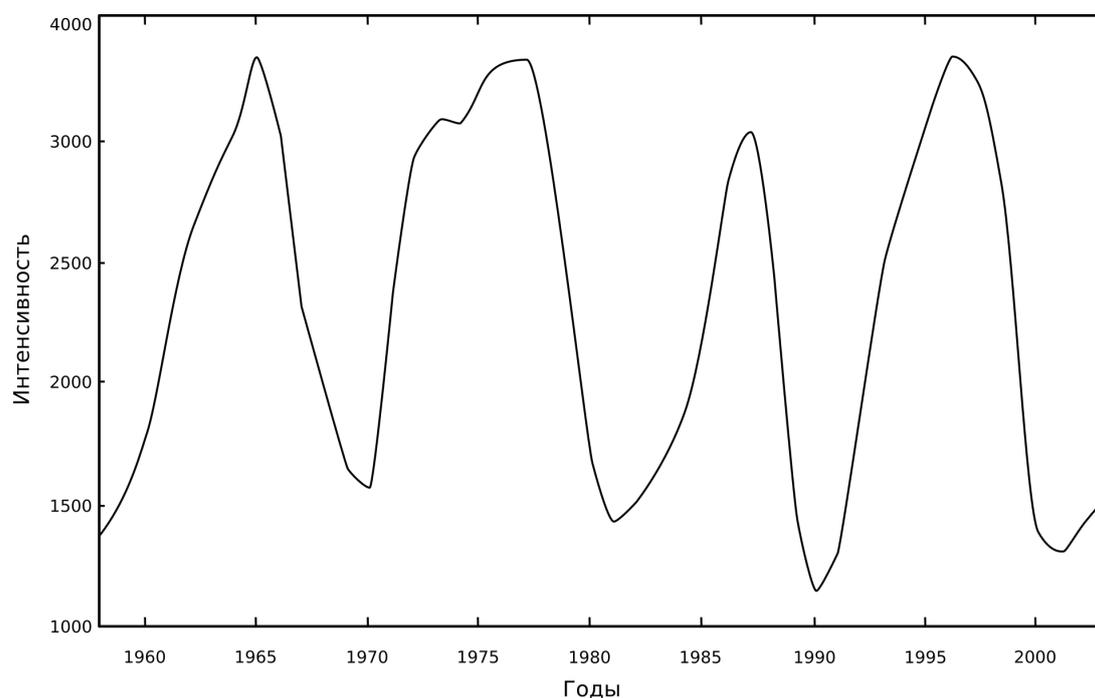
# LXXVII Московская астрономическая олимпиада

Теоретический тур. 2023 г.

10 класс

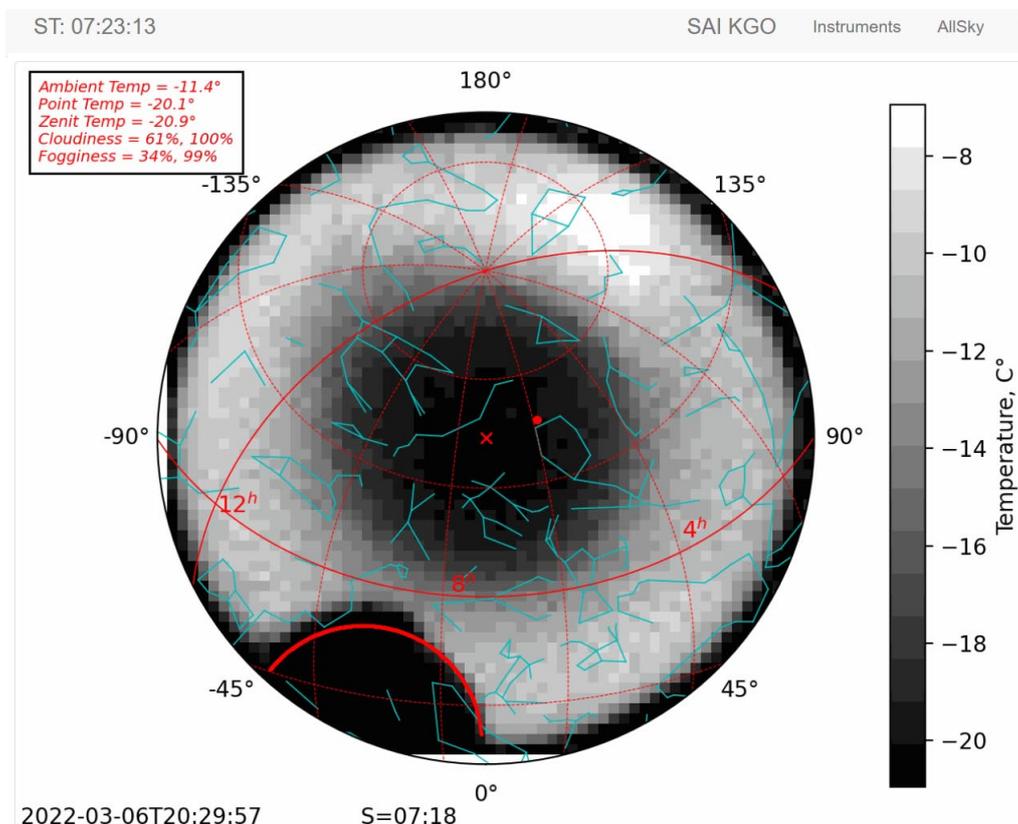
## Задача 1

На графике показана зависимость интенсивности (частиц на  $\text{см}^2$  в секунду со стерадиана) галактических космических лучей с энергией выше 100 МэВ от времени на Земле. Объясните причину переменной. Когда наблюдаются минимумы, а когда — максимумы интенсивности?



## Задача 2

На Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ для мониторинга облачности установлен специальный прибор, который измеряет температуру разных участков неба и выводит на экран её распределение по небесной сфере. Облака имеют более высокую температуру, чем чистое небо, поэтому их легко увидеть в инфракрасном диапазоне: чем плотнее облака, тем ярче они в этом диапазоне длин волн. В один из дней в течение нескольких часов прибор демонстрировал распределение яркости схожее с кольцом, показанное на приложенном рисунке. Чёрное пятно внизу изображения между 0 и  $-45$  азимутами — купол телескопа. Объясните наблюдаемую картину.



### Задача 3

Красная и оранжевая звёзды составляют затменную двойную систему. Красная звезда на  $0.5^m$  ярче оранжевой, а её радиус в 2.6 раза больше. Определите падение блеска двойной в главном и вторичном минимуме, если затмения в системе центральные. Чему равно отношение температур звёзд? Потемнением дисков звёзд к краю пренебречь.

### Задача 4

При наблюдении за Венерой на некотором угловом удалении  $\varepsilon$  от Солнца её угловой размер может различаться в 2 раза. Определите фазы Венеры в эти моменты. Орбиты Венеры и Земли круговые и лежат в одной плоскости.

### Задача 5

Вокруг далёкой звезды движется звезда-спутник с орбитальным периодом 160 лет. Видимая орбита спутника имеет эллиптическую форму с большой полуосью, равной  $0.5''$ , и малой полуосью —  $0.35''$ . Главная звезда находится на угловом расстоянии  $0.2''$  от центра эллипса на его видимой большой оси. Определите большую полуось (в астрономических единицах), эксцентриситет орбиты системы, наклон орбитальной плоскости к картинной и сумму масс звёзд (в массах Солнца), если параллакс этой двойной равен  $0.0125''$ , а линия апсид лежит в картинной плоскости.

### Задача 6

Технологически развитая цивилизация способна отправить автономный звездолёт-поселение к ближайшей соседней звезде. Звездолёт имеет скорость 10% от скорости света. После прибытия к звезде за время 200 лет экипаж звездолёта построит два аналогичных звездолёта, используя найденное вокруг звезды вещество, а население первого звездолёта увеличится достаточно, чтобы составить команду новых звездолётов. Они отправятся к двум ближайшим звёздам, которые представители этой цивилизации ещё не посещали, и около них история повторится (спустя 200 лет после прибытия от каждой звезды отправятся два новых звездолёта). Необходимо оценить минимальное время, которое потребуется, чтобы звездолёты этой цивилизации побывали около каждой звезды из диска нашей Галактики. Считать, что звёзды в диске распределены однородно.

## Задача 7

На рисунке представлен разложенный по отдельным кадрам видеофрагмент. Он был получен в средних широтах Земли в день равноденствия. На видеозаписи запечатлён полёт белоголового орлана, длина тела которого (от кончика клюва до конца хвоста) составляет 130 см. Частота следования кадров на видеозаписи была стандартной — 25 кадров/с. Угловой диаметр диска Солнца равен  $32'$ .



1. На каком расстоянии от птицы находилась камера?
2. Чему была равна частота взмахов крыльями?
3. Затмение какого типа наблюдал автор фотографии (дайте подробный ответ с обоснованием)?
4. На какой угловой высоте происходил пролёт орлана по диску небесного тела?

Опишите все сделанные измерения и операции полученными значениями.

$h, ^\circ$	$\rho, '$						
90	0	30	1.7	5	9.9	2	18.4
70	0.4	20	2.6	4	11.8	1	24.7
50	0.8	10	5.3	3	14.4	0	35.4

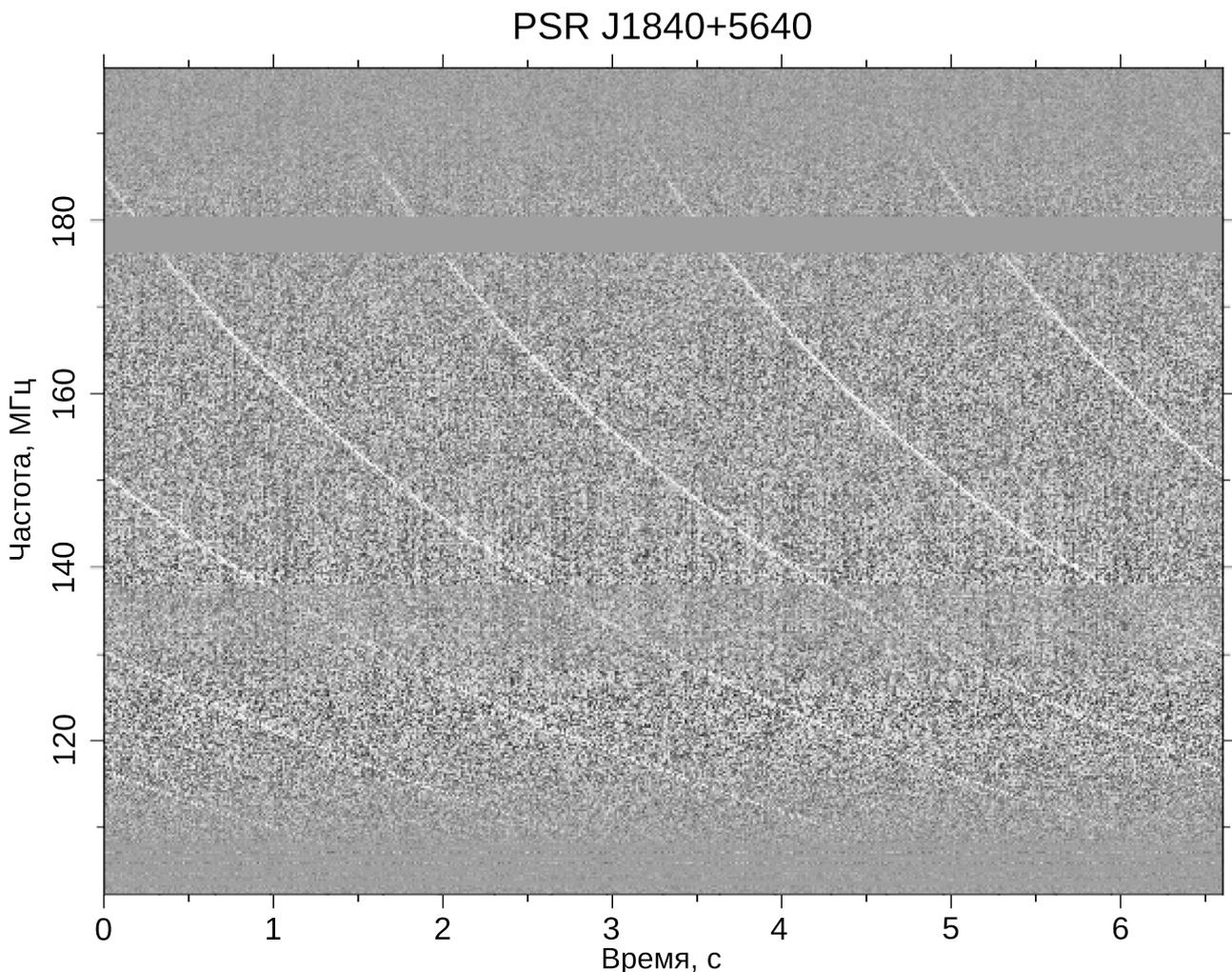
$h$  — Видимая (искажённая рефракцией) высота в градусах,  $\rho$  — величина рефракции в угловых минутах.

## Задача 8

Радиоизлучение пульсаров распространяется через межзвёздную среду со скоростью  $v = (1 - (f_p/f)^2)^{0.5} c$ , где  $f$  — частота излучения,  $f_p = 8.98 \text{ кГц} \times \sqrt{n_e}$  — плазменная частота,  $n_e$  — электронная плотность, выраженная в  $\text{см}^{-3}$ ,  $c$  — скорость света. В результате импульсы пульсаров приходят не одновременно на разных частотах. На рисунке показана зависимость времени прихода импульсов от частоты для пульсара J1840+5640. Определите:

1. период пульсара в секундах;
2. меру дисперсии (произведение электронной плотности на расстояние до пульсара) в  $\text{пк}/\text{см}^3$ ;
3. электронную плотность в направлении пульсара в  $\text{см}^{-3}$ ;
4. какая должна быть ширина полосы пропускания приёмника, центрированная на 110 МГц, чтобы последовательные импульсы не накладывались друг на друга?

Тригонометрический параллакс пульсара равен  $0.66 \pm 0.06$  миллисекунд. Для всех четырёх величин укажите погрешности измерения.



## Справочные данные

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

Светимость Солнца	$L_{\odot} = 3.827 \times 10^{26} \text{ Вт}$
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	$E_{\odot} = 1360.8 \text{ Вт м}^{-2}$
Тропический год	$= 365.24219 \text{ сут}$
Звёздные сутки	$T_{\zeta} = 23 \text{ ч } 56 \text{ мин } 04 \text{ с}$
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	$= 10 \times 10^{11}$
Радиус диска нашей Галактики	$= 20 \text{ кпк}$
Масса нашей Галактики (в массах Солнца)	$= 2 \times 10^{12}$

### Астрономические и физические постоянные

Гравитационная постоянная	$G = 6.674 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$
Скорость света в вакууме	$c = 2.998 \times 10^8 \text{ м с}^{-1}$
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ кг с}^{-3} \text{ К}^{-4}$
Масса протона	$m_{\text{p}} = 1.67 \times 10^{-27} \text{ кг}$
Астрономическая единица	$1 \text{ а.е.} = 1.496 \times 10^{11} \text{ м}$
Парсек	$1 \text{ пк} = 3.086 \times 10^{16} \text{ м}$

### Формулы приближенного 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				$1.989 \times 10^{30}$	697	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	$1.899 \times 10^{27}$	71.5	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