

Межрегиональная предметная олимпиада КФУ по астрономии,
заключительный этап, 2021/22 учебный год

10-11 класс

Решение всех задач должно быть максимально подробным, с рисунками и пояснениями!

11.1 Известно, что примерно через 5 миллиардов лет Солнце станет красным гигантом с температурой 3000К и абсолютной звёздной величиной около -1.7^m . Вычислите, какой угловой радиус оно будет иметь на небе Земли (15 баллов).

Решение. Светимость Солнца составит $2.51^{(4.8+1.7)}=400L_0$ (5 баллов). Светимость звезды в приближении АЧТ: $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$ (5 баллов) Запишем отношение светимости Солнца через 5 млрд. лет к современной светимости:

$$L_1/L_0 = (R_1/R_0)^2 (T_1/T_0)^4, \text{ (3 балла)}$$

где индексом 1 обозначены параметры Солнца – красного гиганта.

Найдем R_1/R_0 :

$$R_1/R_0 = (400 \cdot 2^4)^{1/2} = 80.$$

Угловой радиус Солнца- красного гиганта равен:

$$\text{tga} = (80 \cdot 696000) / 149600000 = 0.372, \text{ откуда } \alpha = 20.4^\circ. \text{ (2 балла)}$$

11.2. Предложите алгоритм наблюдений, позволяющих, используя простейшие угломерные инструменты и часы, определить продолжительность года на Земле

Решение: продолжительность года можно определить, наблюдая периодичность изменения

А) азимута восхода/захода Солнца

Б) долготы светового дня/ночи

В) полуденной высоты Солнца

Г) вида звёздного неба в фиксированное местное солнечное время (исторически это было реализовано, например, по наблюдениям гелиактического восхода Сириуса в Вавилоне и Др. Египте) (описание каждого метода - 4 балла, всего 16 баллов максимально)

11.3. В телескоп, предназначенный для наблюдения звезд и имеющий систематическую погрешность хода $-10''$ за минуту времени (т.е. отстающий на $10''$ за минуту от звездного вращения) решили наблюдать Солнце (естественно, используя фильтр!). После того, как на Солнце навелись в 11^h30^m , его скрыли облака, но телескоп продолжал часовое движение. Облака ушли лишь в 15^h30^m . Учтя, что диаметр поля зрения $30'$, а в 11^h30^m Солнце было выставлено точно в его центр, скажите, будет ли в 15^h30^m в окуляр видна хотя бы часть солнечного диска, имеющего радиус $16'$? (19 баллов)

Решение: За 240 минут телескоп «отстанет» относительно звездного вращения на $10 \cdot 240 = 2400'' = 40'$ (4 балла) и, если бы Солнце двигалось с такой же скоростью, что и звездное небо, то оно полностью вышло бы из поля зрения окуляра. Но скорость вращения Солнца относительно звезд $\approx 1^\circ/\text{сутки}$, или $10'$ за 4 часа, при этом Солнце движется относительно звезд в сторону, противоположную суточному вращению (отстает от него) (10 баллов). Таким образом, относительно Солнца телескоп отстал на $10'$ менее, чем относительно звезд, (отставание от Солнца составило $40 - 10 = 30'$) и край солнечного диска (поскольку его диаметр $32'$) будет виден в окуляр (5 баллов).

11.4. 10 июня 2017 года комета 47P прошла ближе всего к Солнцу. Когда эта комета последний раз в XX веке проходила перигелий, если большая полуось её орбиты составляет 4.11 а.е? (20 баллов)

Период обращения кометы $T = \sqrt{a^3}$ (5 балла), численно $T = 4.11^{1.5} = 8.33$ года (5 балла).

*Это означает, что до этого перигелий был в 2009 году, а 2 оборота назад или $8.33 * 2 = 16.66$ года назад в дату $2016.47 - 16.66 = 1999.81$, примерно 21 октября 2000 года (5 баллов при любом верном счете дат, перевод в десятичные доли года не обязателен). Это и есть ответ, поскольку 2000 год – это еще XX век, XXI наступил 1 января 2001 года (5 баллов)*

Примечание. Если перигелий 2000 года считается относящимся к XXI веку, а в ответе фигурирует 1992 год, задача оценивается не выше, чем в 10 балла. Если верный ответ получен иными верными рассуждениями, задача оценивается в 20 баллов. Ошибка ± 10 дней в финальном ответе не влияет на оценку.

11.5 Перед вами фото, снятое 15 июля 2021 года неподвижной камерой в Специальной астрофизической обсерватории РАН, находящейся на широте 43° .

На переднем планет - крупнейший в РФ телескоп БТА с зеркалом диаметром 6 метров. Для съёмки использован объектив "рыбий глаз" с полем зрения около 180° .

Яркий заходящий трек - Луна в возрасте 5 дней после новолуния, а яркий пересекающий суточные параллели звёзд трек - МКС.

По данным снимка определите максимальную широту, на которой МКС может наблюдаться в зените. (30 баллов).

Решение:

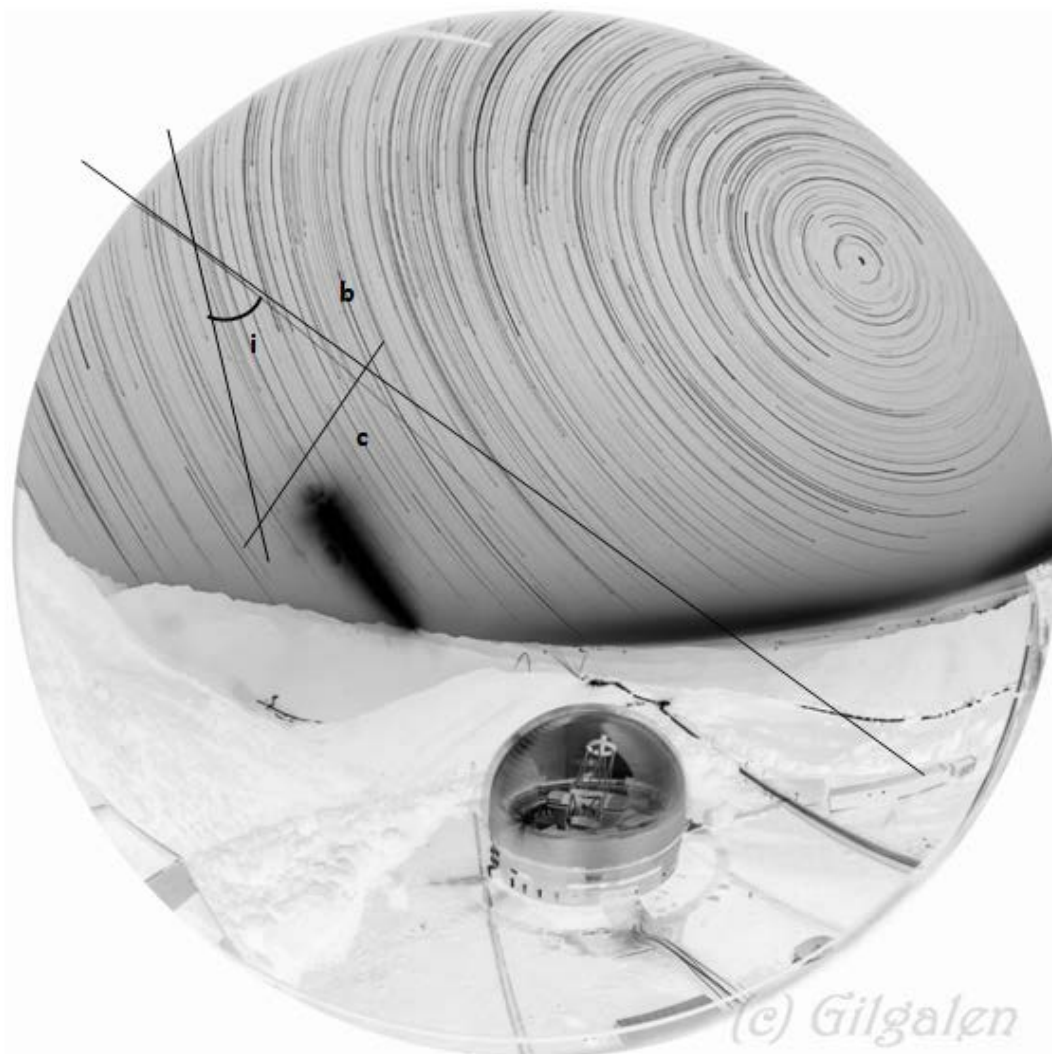
Нахождения МКС в зените будет соответствовать прохождению её через меридиан, поэтому справедлива формула для верхней кульминации светила (хотя сама МКС движется не по суточной параллели), $h_g = 90^\circ - \varphi + \delta$. Для точки зенита $h_g = 90^\circ$, следовательно $\varphi = \delta$ и максимальной широте φ_{max} соответствует максимальное склонение МКС δ_{max} . С другой стороны, максимальное значение геоцентрического склонения спутника (в нашем случае МКС) $\delta_{max} = i$, где i – наклонение орбиты спутника к плоскости небесного экватора. Поэтому $\varphi_{max} = i$ (8 баллов).

Наклонение орбиты равно углу между касательной к траектории МКС и касательной к небесному экватору, проведённой через точку пересечения трека МКС и суточной параллели, соответствующей н.э. (8 баллов).

*Положение небесного экватора на снимке можно найти разными способами. Например, отождествив треки звёзд (мы знаем, что перед нами летнее небо Северного полушария Земли). Но проще сделать это, используя информацию о дате и фазе Луны. Через 5 дней после новолуния Луна опередит Солнце на угол $\Phi_c = 360 * 5 / 29,5^d \approx 65^\circ$. Предполагая, что Луна движется по эклиптике, получим, что склонение Луны будет равно склонению Солнца примерно через 2.3 месяца после даты съёмки то есть близ даты равноденствия, когда склонение Солнца $\delta_c = 0^\circ$. Тогда трек Луны на снимке практически лежит в плоскости небесного экватора. (8 баллов) Ошибка определения склонения составит не более 5° , что даст незначительное (на уровне 1°) изменение искомого в задаче угла. При этом нужно понимать, что точность самого измерения угла составит также несколько градусов и будет определять точность ответа.*

Значит, с хорошей точностью наклонение орбиты МКС к плоскости небесного экватора это угол между треками МКС и продолжением(!) трека Луны на снимке, т.к. плоскость н.э. будет определяться суточной параллелью, продолжающей трек Луны. Т.к. обе орбиты – большие

круги, угол между ними равен углу между касательными. Проведем на рисунке касательные и из прямоугольного треугольника (либо транспортиром) найдем искомый угол: $i \sim 51^\circ$ (на рисунке $i = \arctg(c/b)$) (6 баллов измерения). Допустимая погрешность измерения угла – на уровне 5° .



Справочные данные:

Продолжительность тропического года $T=365.2422$ суток; длительность синодического периода обращения Луны 29.5 дня, сидерического – 27.3 дня; $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^8 \text{ км}$; $1 \text{ пк}=206265 \text{ а.е.}$, наклонение экватора Земли к плоскости эклиптики $\varepsilon=23^\circ 26'$; Масса Солнца $2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$; Масса Земли $6 \cdot 10^{27} \text{ г}$, радиус Земли 6371 км, Луны 1737 км, Солнца – $6.96 \cdot 10^5 \text{ км}$; большая полуось орбиты Луны 385 000 км; Видимая зв. величина Солнца при наблюдении с Земли -26.7^m ; Температура Солнца 5800 К; абсолютная зв. величина Солнца $M_0=+4.8^m$; скорость света в вакууме $c=299792 \text{ км/с}$; гравитационная постоянная $G=6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$, температура абсолютного нуля $0^\circ\text{K}=-273.15^\circ\text{C}$.