

1. Астрономическая карусель

8 баллов

Игнатьев В.Б.

Вам предоставлены 4 астрономических утверждения. Укажите какие из них верные, а какие нет. Обязательно поясните для каждого случая, почему вы так думаете.

- A. Россия перешла на григорианский календарь в 18 веке, при реформах Петра I
- B. Кольца есть у всех планет гигантов солнечной системы, но только у Сатурна они могут пропадать, а потом заново появляться.
- C. На северном полюсе Полярная звезда кульминирует на высоте $h = 89^\circ$ градусов.
- D. Из ниже перечисленных групп объектов Солнечной системы (Аполлоны, Греки, Кентавры, Плутино, Троянцы) самые удаленные от Солнца являются Плутино.

Решение.

Рассмотрим подробно каждое из четырех утверждений.

- A. Россия перешла на григорианский календарь в 18 веке, при реформах Петра I
Россия перешла на григорианский календарь в 20 веке - 14 февраля 1918 г. 24 января (6 февраля) 1918 г. Совет народных комиссаров «в целях установления в России одинакового почти со всеми культурными народами исчисления времени» принял декрет «О введении в Российской республике западноевропейского календаря». Следовательно данное утверждение - не верно.
- B. Кольца есть у всех планет гигантов солнечной системы, но только у Сатурна они могут пропадать, а потом заново появляться.
Исчезновение колец Сатурна связано с тем, что толщина колец составляет всего несколько около 30 м. Дважды за оборот Сатурна вокруг Солнца, Земля и соответственно наблюдатель оказываются в плоскости колец, поэтому кольца пропадают. Точно такие же явления есть и у колец остальных

планет-гигантов. Только их кольца гораздо менее протяженные чем у Сатурна, Кольца Юпитера почти всегда видны с Земли ребром. Именно по этим причинам кольца Сатурна лучше всего наблюдаются. Пропадание колец связано с пересечением их плоскости наблюдателем, что происходит дважды за период обращения каждой планеты-гиганта. Следовательно данное утверждение - не верно.

- C. На северном полюсе Полярная звезда кульминирует на высоте $h = 89^\circ$ градусов.

На полюсах кульминации не возможны, так как не определено положение небесного меридиана. Следовательно утверждение - не верно.

- D. Из ниже перечисленных групп объектов Солнечной системы (Аполлоны, Греки, Кентавры, Плутинно, Троянцы) самые удаленные от Солнца являются Плутинно.

Из ниже перечисленных групп объектов Солнечной системы (Аполлоны, Греки, Кентавры, Плутинно, Троянцы) самые удаленные от Солнца являются Плутинно. Аполлоны — группа околоземных астероидов, чьи орбиты пересекают земную орбиту с внешней стороны. Троянские астероиды Юпитера (Троянцы и Греки) — это две крупные группы астероидов, движущихся вокруг Солнца почти в окрестностях точек Лагранжа L_4 и L_5 Юпитера в орбитальном резонансе 1 : 1. Эти астероиды называют по именам персонажей Троянской войны, описанных в Илиаде. Кентавры — группа астероидов, находящихся между орбитами Юпитера и Нептуна, переходная по свойствам между астероидами главного пояса и объектами пояса Койпера (также по некоторым свойствам похожи на кометы). Плутинно в астрономии — транснептуновый объект, который находится в орбитальном резонансе 2 : 3 с Нептуном. Другими словами, за время двух оборотов плутинно вокруг Солнца Нептун делает три оборота. Название «плутинно» происходит от названия одного из них — карликовой планеты Плутон. Значит Плутинно - наиболее далекие. Следовательно данное утверждение - верно.

Ответ. А — Неверное, В — Неверное, С — Неверное, D — Верное

Критерии оценивания.

Правильное указание о верности или ложности утверждений А–D	8
за каждое с пояснением	+2
за каждое без пояснений	+1

2. Гигантское молекулярное облако

8 баллов
Игнатьев В.Б.

Гигантское молекулярное облако (состоит из молекул H_2) имеет массу $10^5 M_\odot$ и угловой размер $13.75'$. Расстояние до него 10 кпк. Определите:

- А. Концентрацию частиц в облаке, если оно состоит только из водорода. Ответ дайте в штуках на кубический сантиметр.
- В. Диаметр этого облака
- С. Какое время свет проходит это облако по диаметру. Ответ дайте в годах.

Масса атома водорода равна $1.67 \cdot 10^{-27}$ кг. Масса Солнца равна $2 \cdot 10^{30}$ кг.

Решение.

1. Найдем линейные размеры облака. По определению углового размера и пользуясь формулами приближения:

$$D = 2r \cdot \sin \alpha/2 \approx 2r \cdot \alpha/2 = \frac{10^4 \cdot 13.75 \cdot 60}{206265} = 40 \text{ пк}$$

А радиус молекулярного облака – 20 парсек.

2. Найдем количество молекул в облаке. Напомним, что молекула водорода H_2 – состоит из двух атомов водорода. Масса протона, а следовательно и атома водорода, равна $1.67 \cdot 10^{-27}$ кг.

Тогда число молекул можно получить, разделил массу всех молекул на массу одной молекулы:

$$N = \frac{M_{\text{облака}}}{m_{\text{H}_2}} = \frac{10^5 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}}{2 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}} = 6 \cdot 10^{61} \text{ штук}$$

3. Теперь найдем концентрацию молекул водорода в гигантском молекулярном облаке.

$$n = \frac{N}{V} = \frac{N}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3} = \frac{3 \cdot 6 \cdot 10^{61}}{4\pi(20 \cdot 206265 \cdot 1.5 \cdot 10^{11} \text{ м})^3} = 60 \cdot 10^6 \text{ шт/м}^3 = 60 \text{ шт/см}^3$$

здесь мы использовали те факты, что в 1 парсеке – 206265 астрономических единиц. А в одной астрономической единице – 150 000 000 километров.

4. Ответим на последний вопрос задачи. Сколько времени свет проходит через облако по его диаметру.

$$\Delta t = \frac{D}{c} = \frac{40 \text{ пк}}{300000 \text{ км/с}} = \frac{40 \cdot 206265 \cdot 1.5 \cdot 10^{11} \text{ м}}{300000 \text{ км/с}} = 4125300000 \text{ сек} = 131 \text{ год}$$

Ответ. $D = 40 \text{ пк}$, $n = 60 \text{ шт/см}^3$, $\Delta t = 131 \text{ год}$

Критерии оценивания.

Линейные размеры облака - $D = 40 \text{ пк}$	2
Определение количества молекул в облаке	2
Концентрация	2
Время прохождения светового сигнала	2

3. Искусственный спутник Марса

16 баллов

Кузнецов М.В.

Искусственный спутник Марса находится на круговой Марсостационарной орбите в плоскости экватора планеты. Ответьте на следующие вопросы:

- A. Определите высоту его орбиты над поверхностью Марса.
- B. Сравните его орбиту с Фобосом и Деймосом. Выше или ниже летают эти спутники Марса?
- C. Как часто Фобос и Деймос оказываются в поле зрения камер спутника, если одна из камер всегда направлена вниз, на центр Марса. А вторая, направлена в противоположную сторону от первой.

Решение. Марсостационарная орбита, это такая орбита период обращения на которой будет равен периоду обращения Марса вокруг своей оси и направление движения такое же как и осевое вращение Марса.

Возьмем из справочных данных необходимые данные:

$$P_m = 24 \text{ часа } 36 \text{ минут}$$

$$R_m = 3397 \text{ км}$$

$$T_F = 0.32 \text{ дня}$$

$$a_F = 9380 \text{ км}$$

$$T_D = 1.26 \text{ дня}$$

$$a_D = 23460 \text{ км}$$

Определим радиус марсостационарной орбиты, через III закон Кеплера:

$$\left(\frac{T_s}{T_F}\right)^2 = \left(\frac{a_s}{a_F}\right)^3$$

$$T_s = \frac{24 + \frac{36}{60}}{24} = 1.025 \text{ суток}$$

$$a_s = a_F \left(\frac{T_s}{T_F}\right)^{\frac{2}{3}} = 9380 \left(\frac{24 + \frac{36}{60}}{0.32}\right)^{\frac{2}{3}} = 20382 \text{ км}$$

Высота полета будет меньше на радиус Марса:

$$h = a_s - R_m = 20382 - 3397 = 16985 \approx 17000 \text{ км}$$

Орбита спутника лежит между орбитами Фобоса и Деймоса, ближе к орбите Деймоса. Выше Фобоса и ниже Деймоса.

Чтобы ответить на последний вопрос задачи необходимо определить синодические периоды Фобоса и Деймоса для наблюдателя на спутнике. Синодический период Фобоса:

$$\frac{1}{S_F} = \frac{1}{T_F} - \frac{1}{T_s} \rightarrow S_F = \frac{T_F T_s}{T_s - T_F} = \frac{0.32 \cdot 1.025}{1.025 - 0.32} \approx 0.465 \text{ суток}$$

Синодический период Деймоса:

$$\frac{1}{S_D} = \frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_D} \rightarrow S_D = \frac{T_D T_s}{T_D - T_s} = \frac{1.26 \cdot 1.025}{1.26 - 1.025} \approx 5.496 \text{ суток}$$

Следовательно в первую камеру Фобос будет попадать с периодом $S_F = 0.465$ суток, а Деймос во вторую камеру с периодом $S_D = 5.496$ суток

Ответ. А. Высота полета. $h = 17000$ км В Орбита спутника лежит между орбитами Фобоса и Деймоса, ближе к орбите Деймоса. Выше Фобоса и ниже Деймоса. С. Фобос будет попадать в первую камеру с периодом $S_F = 0.465$ суток, а Деймос во вторую камеру с периодом $S_D = 5.496$ суток.

Критерии оценивания.

16

Определение высоты полета.....	4
Сравнение с орбитами спутников.....	4
Нахождение периода попадания в камеру направленную к Марсу Фобоса....	4
Нахождение периода попадания в камеру направленную от Марса Деймоса..	4

4. Координаты светил

16 баллов

Игнатьев В.Б.

Определите координаты звезд (прямое восхождение и склонение), которые кульминируют с зенитным расстоянием 30° в момент восхода точки осеннего равноденствия для наблюдателя в пункте с географической широтой $\varphi = 60^\circ 30'$ с.ш.

Решение.

Точка осеннего равноденствия имеет координаты $\alpha = 12^h$, $\delta = 0^\circ$. Следовательно на небесном меридиане будет находиться в верхней кульминации звезды будут иметь прямое восхождение $\alpha = 12^h - 6^h = 6^h$. И в нижней кульминации прямое восхождение $\alpha = 12^h + 6^h = 18^h$.

Обратим внимание, что случай когда кульминация происходит к северу от зенита не реализуется, потому что точка полюса мира будет иметь такое же зенитное расстояние 30° .

$$h_{\uparrow} = 90^\circ - \varphi + \delta_1 = 90^\circ - z$$

$$\delta_1 = \varphi - z = 60^\circ 30' - 30^\circ = 30^\circ 30'$$

Получаем координаты первой звезды $\alpha_1 = 6^h$, $\delta_1 = 30^\circ 30'$.

Определим координаты второго светила. Т.к светило имеет зенитное расстояние 30° , что больше чем угол между зенитом и положением оси мира и отвесной линии.

$$h_{\downarrow} = -90^\circ + \varphi + \delta_2 = 90^\circ - z$$

$$\delta_2 = \varphi - z = 60^\circ 30' - 30^\circ = 30^\circ 30'$$

Тогда светило будет иметь координаты $\alpha_2 = 18^h$, $\delta_2 = 89^\circ 30'$.

Ответ. Координаты первой звезды $\alpha_1 = 6^h$, $\delta_1 = 30^\circ 30'$, координаты второй звезды $\alpha_2 = 18^h$, $\delta_2 = 89^\circ 30'$

Критерии оценивания.

16

Нахождение склонения первого светила	3
Нахождение прямого восхождения первого светила.....	5
Нахождение склонения второго светила	3
Нахождение прямого восхождения второго светила.....	5

5. Идеальный мир

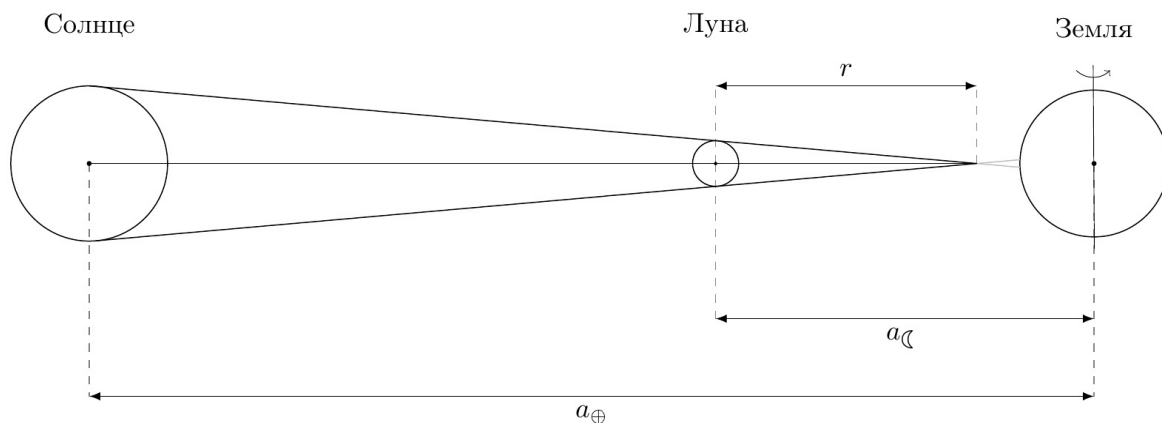
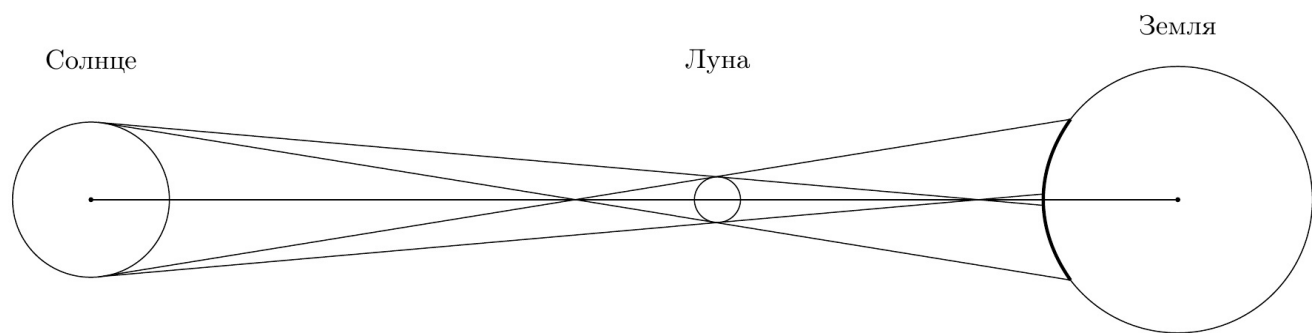
16 баллов

Игнатьев В.Б.

Представьте себе, что все орбиты объектов Солнечной системы (больших планет и их спутников) находятся в одной плоскости и являются круговыми, а оси вращения объектов вокруг своей оси перпендикулярны этой плоскости. Определите на каких широтах Земли можно наблюдать полное солнечное затмение.

Решение.

Первое, что необходимо сделать - это ввести определение полного солнечного затмения. Это момент когда тень Луны попадает на поверхность Земли. Следовательно необходимо определить попадает ли тень на Землю.



Определим длину тени Луны, используя подобные треугольники:

$$\frac{a_{\oplus} - a_{\text{Луны}} + r}{r} = \frac{R_{\odot}}{R_{\text{Луны}}}$$

$$\frac{a_{\oplus} - a_{\text{Луны}}}{r} = \frac{R_{\odot}}{R_{\text{Луны}}} - 1$$

$$r = \frac{a_{\oplus} - a_{\text{Луны}}}{\frac{R_{\odot}}{R_{\text{Луны}}} - 1} = \frac{1.5 \cdot 10^8 - 3.8 \cdot 10^5}{\frac{6.9 \cdot 10^5}{1737} - 1} = 377592 \approx 377600 \text{ км}$$

Самая близкая же точка Земли к тени будет на экваторе в подсолнечной точке. Посчитаем на какой высоте будет заканчиваться тень Луны:

$$a_{\text{Луны}} - r - R_{\oplus} = 384400 - 377600 - 6371 = 429 \text{ км}$$

Следовательно тень не будет доставать до поверхности Земли и полных солнечных затмений наблюдаться не будет ни на каких широтах.

Ответ. Полных солнечных затмений наблюдаться не будет ни на каких широтах

Критерии оценивания.

16

Правильная схема солнечного затмения.....	2
Расчет длины тени Луны.....	6
Учет размера Земли.....	4
Вывод о том, что тень не достанет до поверхности.....	2
Ответ - ни на каких широтах, т.к. не будет полных солнечных затмений.....	2

6. Двойная звезда

16 баллов

Кузнецов М. В.

Для наблюдений двойной звезды используется телескоп диаметром 200 мм, относительным отверстием $1/5$ и окуляром с фокусом 20 мм. Каков минимальный период двойной системы состоящей из звезд типа Солнца, Если годичный параллакс равен $0.02''$. Орбит звезд круговые.

Решение. Телескоп имеет диаметр 200 мм и относительное отверстие $1/5$. Относительное отверстие телескопа это отношение диаметра к его фокусному расстоянию. Следовательно, фокусное расстояние равно 1000 мм. Если фокусное расстояния окуляра равно 20 мм, то увеличение системы объектив-окуляр:

$$\Gamma = \frac{F}{f} = \frac{1000}{20} = 50 \text{ крат}$$

Такое увеличение позволяет разрешить (увидеть по отдельности) двойную систему, если угловое расстояние между компонентами больше или равно

$$\Theta = \frac{60''}{50} = 1.2''$$

Поскольку нам известно расстояние до двойной системы, то возможно определить минимальное линейное расстояние a . Получим выражение для линейного расстояния a между компонентами.

$$\rho'' = \frac{206265'' \cdot a}{r}$$

r — расстояние до системы. Оно не дано в условии, но дан годичный параллакс π'' , который равен $\pi'' = 1/r$ (пк)). Тогда

$$a = \frac{\rho'' \cdot r}{206265} = \frac{\rho''}{\pi'' 206265} \text{ ПК} = \frac{1.2}{0.02} \text{ а.е} = 60 \text{ а.е}$$

Теперь остался последний этап задачи, по уже известной полуоси системы (60 а.е) и полной массе ($2 M_{\odot}$) определить период. Самый простой способ — это записать третий обобщенный закон Кеплера, сравнивая двойную систему с системой Солнце-Земля

$$\frac{T_1^2(M_1 + m_1)}{T_x + 2^2(M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_3^3}$$

подставим

$$\frac{T^2 \cdot 2}{1^2 \cdot 1} = \frac{60^3}{1^3}$$

$$T = \sqrt{60^3/2} \approx 328 \text{ лет}$$

Ответ. Минимальный период системы составит $T = 328$ лет

Критерии оценивания.	16
Определение фокусного расстояния телескопа	2
Верное нахождение увеличения	2
Верное нахождение углового расстояния компонент	4
Верное нахождение расстояния до двойной системы	2
Нахождение большой полуоси системы	2
Нахождение через уточненный 3-й закон Кеплера периода	4

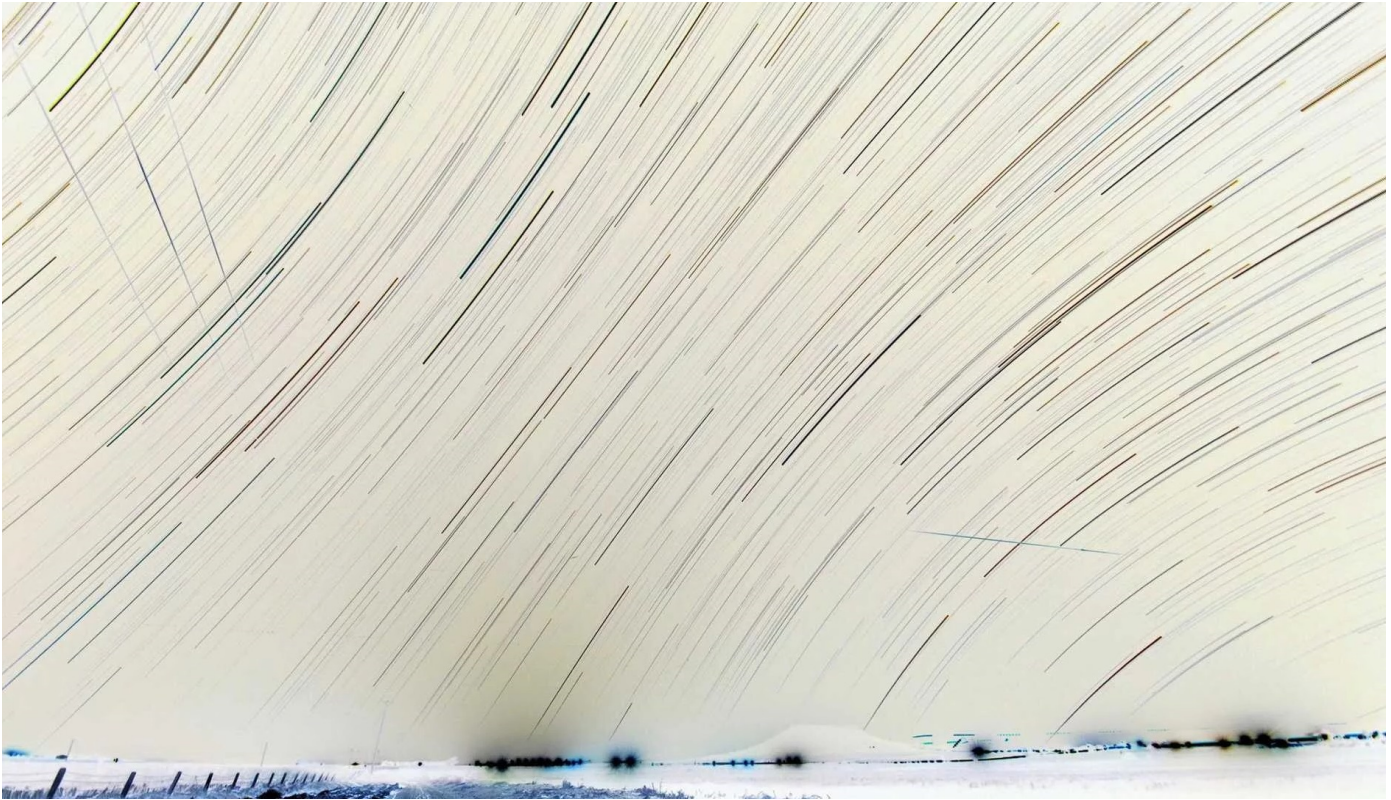
7. Звездные треки

20 баллов
Игнатьев В. Б

Перед вами негатив (цвета инвертированы) фотографии звездных треков. Проведите необходимые построения на фотографии. Определите:

- A. Широту места наблюдения.
- B. Сторону горизонта в направлении которой сделана фотография.

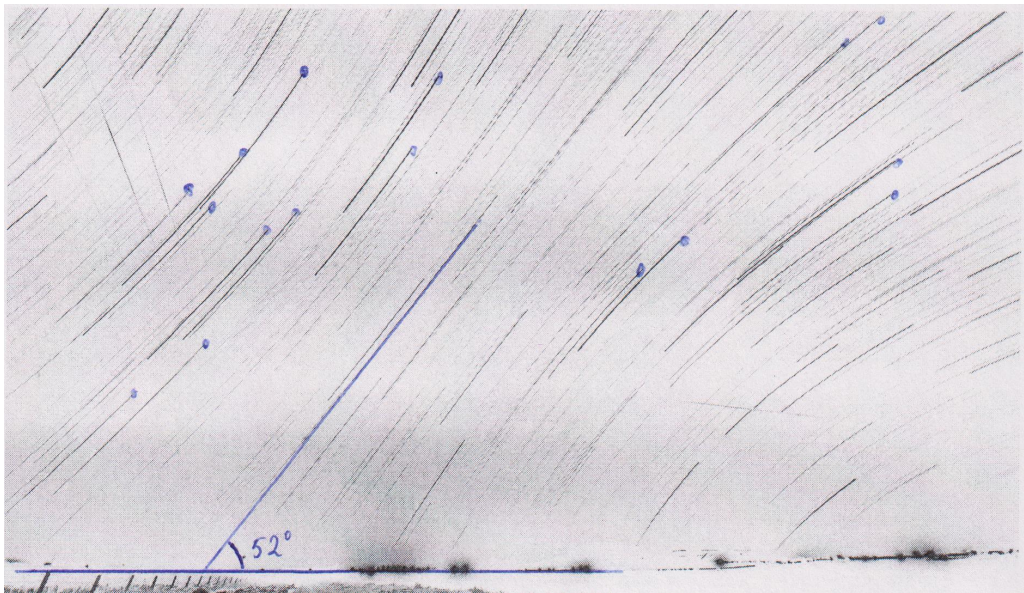
Построение и измерения можно проводить прямо на условии задачи. Лист с условием обязательно сдайте вместе с решениями.



Решение. Так как перед нами негатив, то темные области – это суточные треки звезд. Такую фотографию можно снять, если сделать длительную выдержку.

Проведем линию горизонта.

Найдем треки, которые выглядят наиболее прямыми. Прямые треки у звезд будут вблизи небесного экватора, который пересекает горизонт в точках востока и запада. Чем дальше от точек востока/запада к югу или северу, тем более изогнутыми будут траектории звезд. В итоге в точке севера суточный трек звезды касается горизонта сверху (это будет незаходящая звезда), а в точке юга трек касается горизонта снизу (это — не восходящая звезда).



Вблизи точек востока и запада мы можем воспользоваться плоским приближением для решения задач по геометрии небесной сферы. Угол между горизонтом и направлением на полюс мира равен φ , следовательно угол между суточными треками светил на небесном экваторе и горизонтом равен $90^\circ - \varphi$.

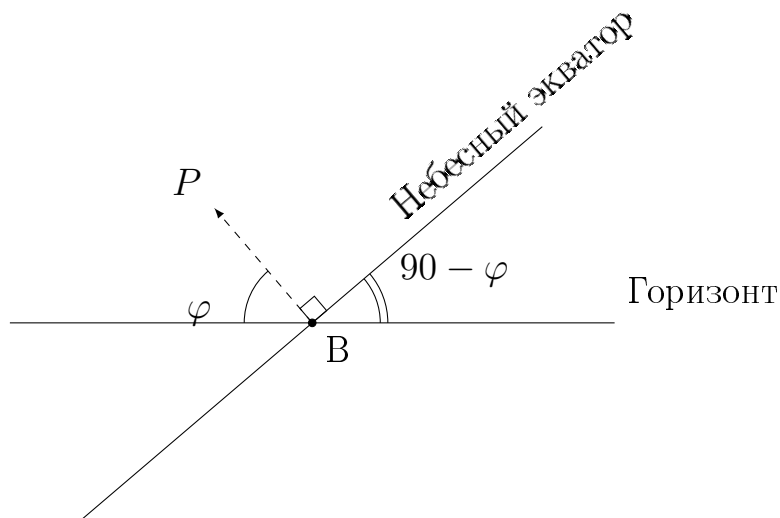


Рис. 1: Северное полушарие

Затем измерим при помощи транспортира угол захода треков.

$$\alpha = 52^\circ$$

Определим широту:

$$\alpha = 90^\circ - \varphi \rightarrow \varphi = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 52^\circ = 38^\circ$$

Теперь определим сторону горизонта. Раз на изображении есть прямые треки, то в кадр попали области небесного экватора. Как известно, небесный экватор пересекается с горизонтом в точках востока и запада. Значит ответом могут быть восток или запад. Но, по данной фотографии ответ можно дать более подробный.

Если автор фотографии находится в северном полушарии, то на кадре находится точка востока. Слева, за кадром, будет точка севера. А на вверх влево, под углом φ направлена ось мира.

А если фотограф находится в южном полушарии, то ответ поменяется. В южном полушарии светила также восходят на восточной стороне, садятся на западной. Но суточное движение происходит справа налево, то есть в противоположную для нас сторону. Тогда здесь изображена точка запада, слева за кадром будет точка юга, а под углом φ вверх налево направлена ось мира и южный полюс мира.

Ответ. А. $\varphi = 38^\circ$ с.ш. В. Восток, А. $\varphi = 38^\circ$ ю.ш. В. Запад

Критерии оценивания.

20

Проведено построение горизонта	2
Обоснование, что прямые треки относятся к небесному экватору	2
Обоснование, что угол между неб.экватором и горизонтом равен $90^\circ - \varphi$	2
Найден и достроен до горизонта прямой трек звезды	2
Определен транспортиром угол захода трека с точностью не хуже 2°	4
ошибка определение угла более 2°	2
ошибка больше 5°	1
ошибка хуже 10°	0
Определено значение широты в обоих полушариях	2
Найдено верное направление стороны горизонта для северного полушария ...	3
Найдено верное направление стороны горизонта для южного полушария	3
Ответ "восток/запад" без привязки к полушариям	1