

## 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. В зените возможна только верхняя кульминация.
- B. На обратной стороне Луны всегда ночь.
- C. Ближайшая к нашей галактике спиральная галактика называется – Большое Магелланово Облако.
- D. Шаровые звездные скопления – самые молодые объекты в нашей Галактике.

### Решение.

Рассмотрим подробно каждое из четырех утверждений.

- A. В зените возможна только верхняя кульминация.  
В определении верхней кульминации сказано, что она происходит при пересечении суточного трека звезды с небесным меридианом. А поскольку таких пересечения два, то указывается, что со стороны зенита от оси мира. Следовательно данное утверждение – верное. Верность этого утверждения можно подкрепить и по другому, методом от противного. Если бы в зените была нижняя кульминация светила, то где бы находилась верхняя кульминация? Поскольку высоты выше  $90^\circ$  (зенита) не существует, то в этом случае высота верхней кульминации была бы равна высоте нижней кульминации. Но, тогда мы находимся на одном из полюсов, а для них кульминации неопределены, так как на полюсах не определен небесный меридиан. Итого – выражение верно.
- B. На обратной стороне Луны всегда ночь  
Тут опять же стоит действовать методом от противного.  
Первый вариант рассуждений. Если это было бы так, то на видимой стороне Луны всегда был бы день. А мы с вами, жители Земли, тогда видели Луну (и ее видимую сторону), которая всегда бы освещалась. То есть, изменение фаз Луны не происходило и мы всегда видели полную Луну.

Второй вариант рассуждений. Если на обратной стороне Луны всегда ночь, то это накладывает ряд ограничений на движения Луны. Движение и вращение Луны состоит из трех вращений. (1) Вращение Луны вокруг своей оси. (2) Вращение Луны вокруг Земли, а точнее вокруг центра масс системы Земля-Луна. Периоды первого и второго вращения совпадают, и поэтому Луна к нам повернута всегда одной стороной. (3) Вращение Земли и Луны вокруг Солнца. Чтобы на обратной стороне Луны всегда была ночь, необходимо, чтобы период обращения Луны вокруг Земли (и вокруг своей оси) стал равен 1 году. А он равен 27.3 дней. В чем можно убедиться, открыв справочные данные. Следовательно данное утверждение – не верно.

С. Ближайшая к нашей галактике спиральная галактика называется - Большое Магелланово Облако.

Ближайшая к нашей галактике спиральная галактика – Туманность Андромеды. Большое Магелланово облако - неправильна галактика, спутник Млечного Пути. Следовательно утверждение – не верно.

Д. Шаровые звездные скопления - самые молодые объекты в нашей Галактике. Шаровые звездные скопления, это старожилы Галактики. Их возраст от 10 до 11 млрд.лет. Все они ровесники Млечного Пути. В них не наблюдается молодых голубых звезд. Следовательно данное утверждение – не верно.

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

### Критерии оценивания.

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

## 2. Параллели и меридианы

8 баллов

*Титенский А.И.*

Радиус Земли составляет 6371 км, считая форму Земли шаром — определите:

- На каких широтах параллели короче, чем меридианы?
- Какова будет протяженность  $1^\circ$  такой параллели на самой близкой к экватору широте, где длина параллели будет равна, длине меридиана?
- Какова будет протяженность  $1^\circ$  меридиана на самой близкой к экватору широте, где длина параллели будет равна, длине меридиана?

**Решение.**

Последовательно ответим на вопросы задачи.

- А. Определим с какой широты длина параллели станет равной длине меридиана.

$$2\pi R_p = \frac{1}{2}2\pi R_{\oplus}$$

$$2\pi R_{\oplus} \cos \varphi = \frac{1}{2}2\pi R_{\oplus}$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{2}$$

$$\varphi = 60^\circ \text{ с.ш. и ю.ш.}$$

Следовательно начиная с 60 параллели и далее к полюсам длины параллелей становятся меньше длин меридианов.

- В. Определим протяженность  $1^\circ$  такой параллели.

$$l_{60} = \frac{1^\circ}{360^\circ} \cdot 2\pi R_{\oplus} \cos \varphi = \frac{1^\circ}{360^\circ} \cdot 2\pi \cdot 6371 \cos(60^\circ) = 55.6 \approx 56 \text{ км}$$

- С. Определим протяженность  $1^\circ$  меридиана

$$l_m = \frac{1^\circ}{180^\circ} \pi R_{\oplus} = 111.2 \approx 111 \text{ км}$$

**Ответ.** 1. —  $\varphi \geq 60^\circ$  с. и ю. ш. , 2. —  $l_{60} = 55.6 \approx 56$  км, 3. —  $l_m = 111.2 \approx 111$  км

**Критерии оценивания.****8**

- |   |   |
|---|---|
| 1. — $\varphi \geq 60^\circ$ с. и ю. ш..... | 4 |
| 2. — $l_{60} = 55.6 \approx 56$ км .....    | 2 |
| 3. — $l_m = 111.2 \approx 111$ км .....     | 2 |

**3. Гигантское молекулярное облако**

16 баллов

*Игнатьев В.Б.*

Гигантское молекулярное облако (состоит из молекул  $\text{H}_2$ ) 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. Концентрация равна  $n = \frac{N}{V}$ , где  $N$  - число объектов,  $V$  - объем.

### 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:

$$N = \frac{M_{\text{облака}}}{m_{H_2}} = \frac{10^5 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}}{2 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}} = 6 \cdot 10^{61} \text{ штук}$$

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.  $D = 40$  пк,  $n = 60$  шт/см<sup>3</sup>,  $\Delta t = 131$  год

### Критерии оценивания.

16

Линейные размеры облака - $D = 40$ пк .....	4
Определение количества молекул в облаке .....	4
Концентрация .....	4
Время прохождения светового сигнала .....	4

## 4. Звезда

16 баллов

*Кузнецов М.В.*

Звезда для наблюдателя в России кульминирует в верхней кульминации на высоте  $h_{\uparrow} = 70^{\circ}$  градусов, а в нижней кульминации зенитное расстояние так же становится равным  $z_{\downarrow} = 70^{\circ}$ . Ответьте на следующие вопросы:

- Определите широту места наблюдения.
- Определите склонение звезды.

Обязательно нарисуйте поясняющий задачу рисунок с небесной сферой.

### Решение.

Нарисуем рисунок к нашей задаче. Отметим на нем два альмукантарата ( $h_1 = 70^{\circ}$  и  $h_2 = 20^{\circ}$ ). Здесь и далее мы сразу перешли от  $z_{\downarrow} = 70^{\circ}$  к  $h_2 = 20^{\circ}$ .

В северном полушарии (по условию задачи, наблюдатель находится в РФ), нижняя кульминация (точка В1) светила может быть только над точкой севера, а верхняя кульминация как над точкой юга (А1), так и над точкой севера (А2). Рассмотрим оба случая.

Сначала решим задачу, когда верхняя кульминация происходит к югу от зенита.

$$\begin{cases} h_{\uparrow} = 90^{\circ} - \varphi + \delta = 70^{\circ} \\ h_{\downarrow} = -90^{\circ} + \varphi + \delta = 20^{\circ} \end{cases}$$

Вычтем из верхнего уравнения нижнее:

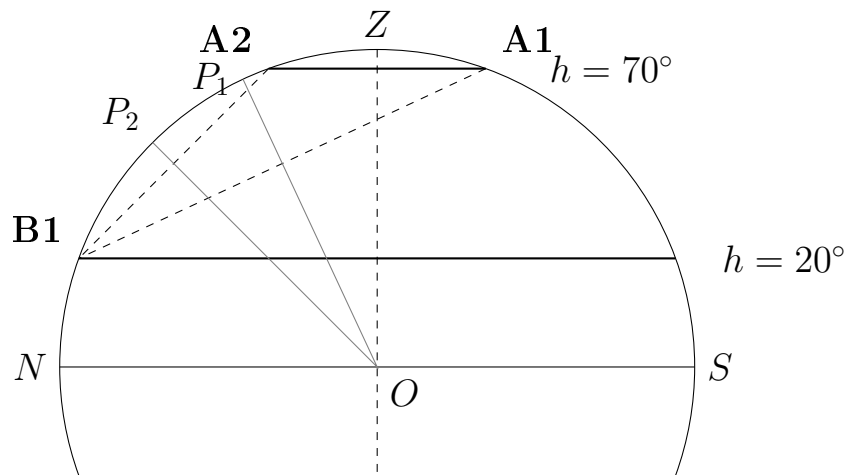


Рис. 1: Рисунок к задаче 8.4

$$180^\circ - 2\varphi = 50^\circ$$

$$\varphi = 65^\circ$$

Сразу же определим склонение звезды

$$\delta = h_{\uparrow} - 90^\circ + \varphi = 70^\circ - 90^\circ + 65^\circ = 45^\circ$$

Теперь рассмотрим вариант, когда верхняя кульминация происходит с другой стороны от зенита:

$$\begin{cases} h_{\uparrow} = 90^\circ + \varphi - \delta = 70^\circ \\ h_{\downarrow} = -90^\circ + \varphi + \delta = 20^\circ \end{cases}$$

Решим его относительно  $\varphi$ , для этого сложим верхнее и нижнее уравнения:

$$2\varphi = 90^\circ$$

$$\varphi = 45^\circ$$

В этом случае склонение звезды  $\delta = 65^\circ$

Стоит отметить, что будут желающие записать ответ в виде  $\pm 65^\circ$ , но это неверно. Так как в условии задачи сказано, что наблюдатель находится на территории Российской Федерации. Поэтому ответы с отрицательными широтами будут отдельно штрафоваться.

Ответ. (1):  $\varphi_1 = 65^\circ$  и  $\delta_1 = 45^\circ$ . (2):  $\varphi_2 = 45^\circ$  и  $\delta_2 = 65^\circ$ .

### Критерии оценивания.

16

Рисунок поясняющий задачу .....	2
Утверждение, что в задаче два случая .....	2
Переход от зенитного расстояния нижней кульминации к высоте .....	2
Нахождение 2 широт и 2 склонений .....	$4 \times 2$
Запись итогового ответа .....	2

## 5. Идеальный мир

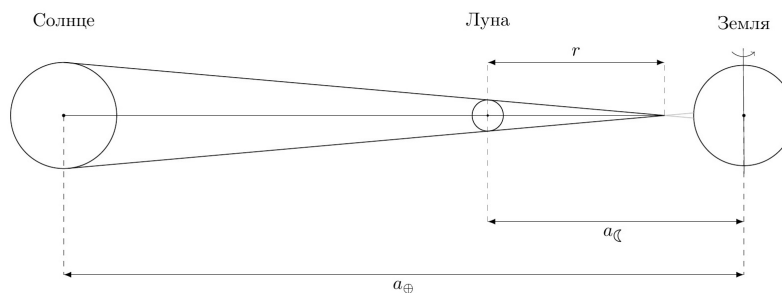
16 баллов

*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. Красный карлик

16 баллов

*Кузнецов М. В.*

У некоторой звезды радиусом в 14% радиуса Солнца, обнаружили две экзопланеты, А и В, с одинаковыми радиусами 1.2 радиуса Земли каждая. Вращающиеся вокруг звезды со скоростью 60.9 км/сек и 47.3 км/сек. Первая планета делает один оборот вокруг звезды за 5.2 дня, а вторая за 11.2 дня. Ответьте на следующие вопросы:

- Каков максимальный угловой размер планеты А и В при наблюдениях невооруженным глазом, с поверхности любой из планет А или В?
- Виден ли диск планеты невооруженным глазом, с поверхности любой из планет А или В?
- Каков угловой размер планеты А и В при наблюдениях невооруженным глазом, с поверхности звезды?
- Каков угловой размер звезды при наблюдении с планет А и В?



Считайте, что планеты движутся в одной плоскости по круговым орбитам.

**Решение.** Параметры взяты из реальной экзопланетной системы звезды Проксима Центавра. Определим радиусы орбит планет:

$$T = \frac{2\pi a}{V} \rightarrow a_A = \frac{V_A T_A}{2\pi}$$

$$a_A = \frac{V_A T_A}{2\pi} = \frac{60.9 \cdot 5.2}{2\pi} = 0.029 \text{ а.е.}$$

$$a_B = \frac{V_B T_B}{2\pi} = \frac{47.3 \cdot 11.2}{2\pi} = 0.049 \text{ а.е.}$$

Максимальный угловой размер будет при минимальном расстоянии между планетами. Минимальное расстояние между планетами будет тогда, когда они расположатся на одной прямой с одной стороны от звезды:

$$\Delta_{min} = a_B - a_A = 0.049 - 0.029 = 0.02 \text{ а.е.}$$

Найдем угловой размер планеты В на небе планеты А. Вспомним, что в одном радиане  $1 \text{ рад} = 57.3^\circ = 3438' = 206265''$ :

$$\theta = 3438' \frac{2R_\oplus}{\Delta_{min}} = 3438' \frac{2 \cdot 1.2 \cdot 6371}{\Delta_{min}} = 17.5'$$

Найдем угловой размер планеты А со звезды, пренебрежем радиусом звезды, он много меньше чем расстояние от звезды до планеты:

$$\alpha_A = 3438' \frac{2R_\oplus}{a_A} = 3438' \frac{2 \cdot 1.2 \cdot 6371}{0.029 \cdot 1.5 \cdot 10^8} = 12'$$

Найдем угловой размер планеты В со звезды, пренебрежем радиусом звезды, он много меньше чем расстояние от звезды до планеты:

$$\alpha_B = 3438' \frac{2R_\oplus}{a_B} = 3438' \frac{2 \cdot 1.2 \cdot 6371}{0.049 \cdot 1.5 \cdot 10^8} = 7.2'$$

Угловой размер звезды с планеты А:

$$\beta_A = 3438' \frac{2R_{\odot}}{a_A} = 3438' \frac{2 \cdot 0.14 \cdot 7 \cdot 10^5}{0.029 \cdot 1.5 \cdot 10^8} = 155' \approx 2.6^{\circ}$$

Угловой размер звезды с планеты В:

$$\beta_B = 3438' \frac{2R_{\odot}}{a_B} = 3438' \frac{2 \cdot 0.14 \cdot 7 \cdot 10^5}{0.049 \cdot 1.5 \cdot 10^8} = 92' \approx 1.5^{\circ}$$

**Ответ.** Угловой размер А на небе В и В на небе А -  $\theta = 17.5'$ , да диск будет виден невооруженным глазом, угловой размер планеты А со звезды  $\alpha_A = 12'$ , угловой размер планеты В со звезды  $\alpha_B = 7.2'$ , Угловой размер звезды с планеты А  $\beta_A = 2.6^{\circ}$ , Угловой размер звезды с планеты В  $\beta_B = 1.5^{\circ}$

### Критерии оценивания.

16

Радиус орбиты планеты А.....	2
Радиус орбиты планеты В.....	2
Минимальное расстояние между планетами.....	1
Найден угловой размер одной планеты с другой.....	1
Диск планеты виден невооруженным глазом.....	2
Угловой размер планеты А со звезды.....	2
Угловой размер планеты В со звезды.....	2
Угловой размер звезды с планеты А.....	2
Угловой размер звезды с планеты В.....	2

## 7. Звездные треки

20 баллов

*Игнатъев В. Б*

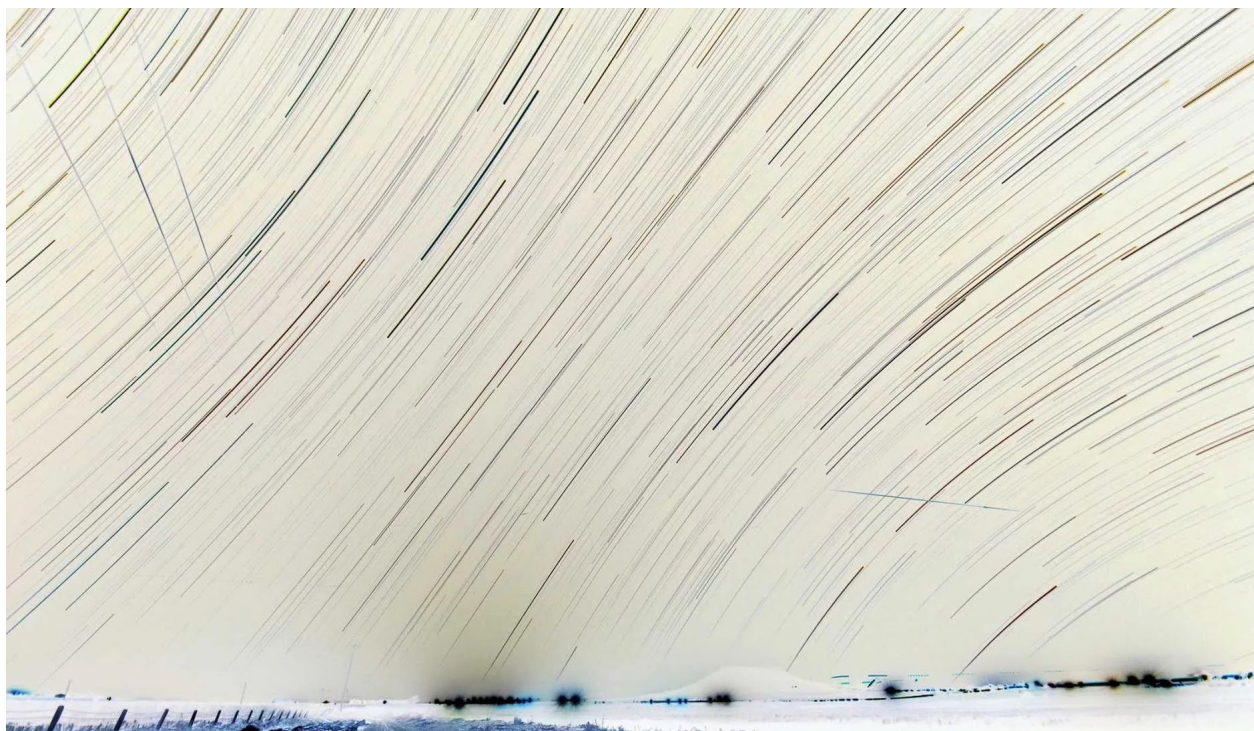
Перед вами негатив (цвета инвертированы) фотографии звездных треков. Проведите необходимые построения на фотографии. Определите:

А. Широту места наблюдения.

В. 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. Таковую 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  $\varphi$ , следовательно угол между суточными треками светил на небесном экваторе и горизонтом равен  $90^\circ - \varphi$ .

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

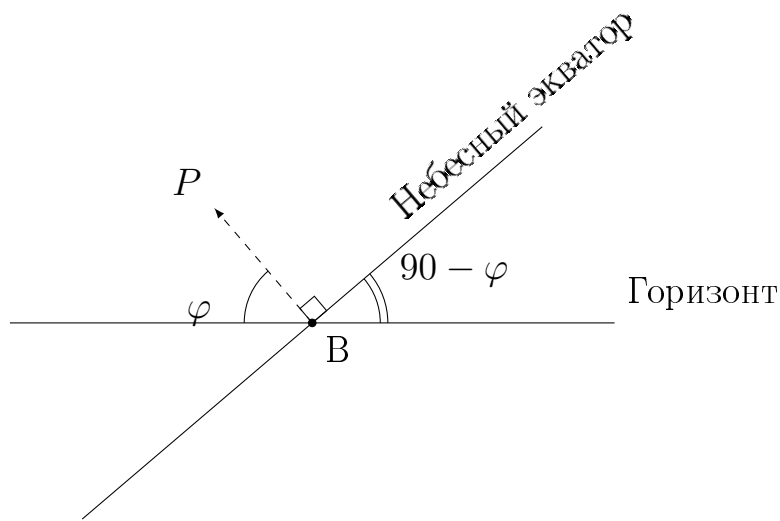
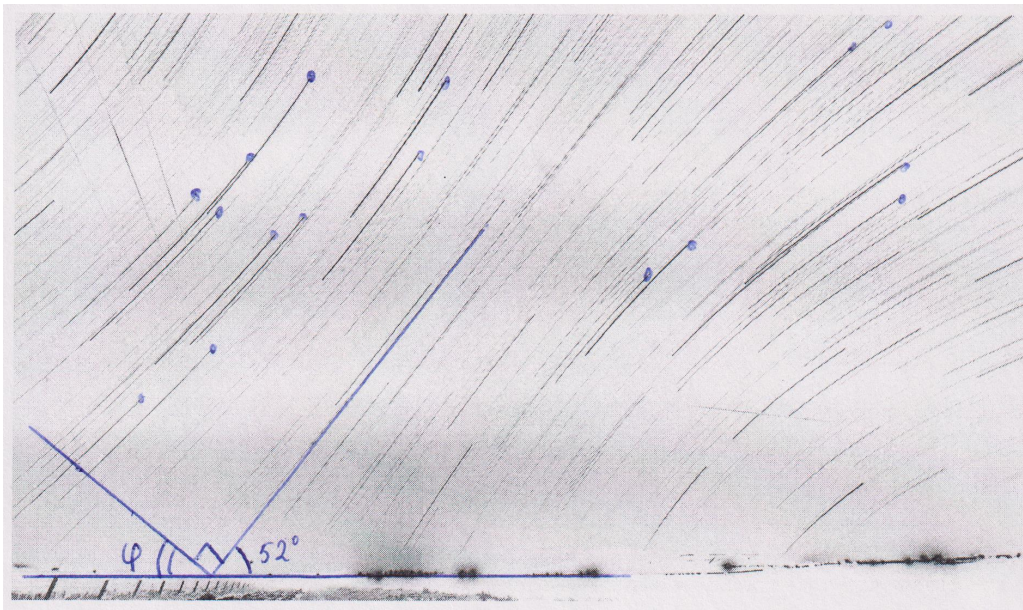


Рис. 2: Северное полушарие

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  $\varphi$  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  $\varphi$  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 $2^\circ$ .....	4
ошибка определение угла более $2^\circ$ .....	2
ошибка больше $5^\circ$ .....	1
ошибка хуже $10^\circ$ .....	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