8 класс

8.1 Где карта, Билли?

Путь из точки А в точку Б на поверхности Земли описан так: «Пройдите 10 км на юг, потом 10 км на восток, затем 10 км на север». Найдите минимальное и максимальное возможное расстояние между точками А и Б по прямой.

Возможное решение. Представим себе путь из точки А в точку Б: сначала мы движемся на юг, затем на восток, затем на север, на каждом участке пути проходя одно и то же расстояние и поворачивая под прямыми углами. Можно подумать, что мы лишь движемся по квадрату со стороной 10 км, выйдя из верхней левой вершины и обходя квадрат против часовой стрелки (рис. 5). Тогда по окончании пути мы окажемся в верхней правой вершине квадрата, расстояние между пунктами А и Б окажется равным 10 км, не больше и не меньше… В чём недостаток такого рассуждения? Мы пренебрегли кривизной поверхности Земли: наш маршрут не лежит на плоскости!

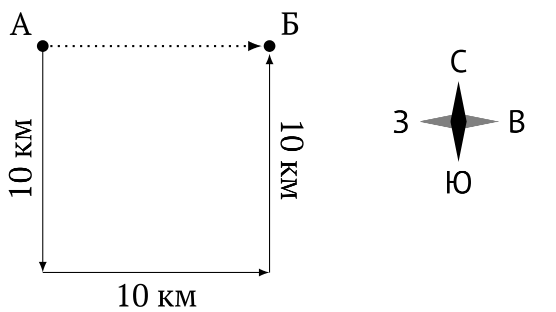


Рис. 5: «Плоский» маршрут из А в Б

Смещение на юг и север соответствует движению по меридиану (по широте), смещение на восток — движению по параллели (по долготе). Поскольку широтные перемещения (на юг и на север) одинаковы, точки А и Б находятся на одной широте. Заметим, что чем ближе к полюсам, тем меньшую длину имеют параллели: пространственный радиус параллели тем меньше, чем больше модуль географической широты. Следовательно, чем ближе к полюсу проходит маршрут, тем больше отличие рисунка маршрута от плоского. Близ Северного полюса расстояние *вдоль параллели* между точками А и Б меньше 10 км: «верхняя» сторона «квадрата» севернее — то есть короче — южной. Близ Южного полюса ситуация противоположная: расстояние *вдоль параллели* между точками А и Б окажется больше 10 км.

Покажем, что пункты А и Б могут совпадать, для этого начнём движение с Северного полюса. Сначала мы смещаемся на 10 км к югу (юг — в любом направлении), затем проходим на восток, то есть вдоль некоторой параллели, 10 км, а потом, пройдя 10 км к северу, оказываемся снова на Северном полюсе, поскольку расстояние от любой точки этой параллели до Северного полюса равно 10 км (рис. 6). Следовательно, наименьшее возможное расстояние между точками А и Б — **0 км.**

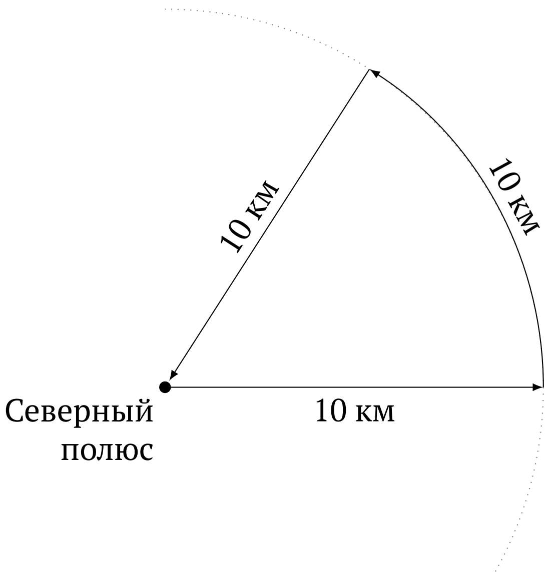


Рис. 6: Замкнутый северный «полярный» маршрут

Получим оценку наибольшего расстояния. При приближении точек к Южному полюсу различие между сторонами «квадрата» будет возрастать. Насколько следует приблизиться к Южному полюсу? После смещения на 10 км к югу мы должны оказаться на параллели, при перемещении вдоль которой на 10 км к востоку общий сдвиг составляет не более половины этой параллели. При более южном расположении параллели кратчайшее расстояние между точками *будет уменьшаться:* дуга сменяется её дополнением до окружности, а затем возможно обнаружить и южное (бесконечное) семейство замкнутых маршрутов (рис. 7).

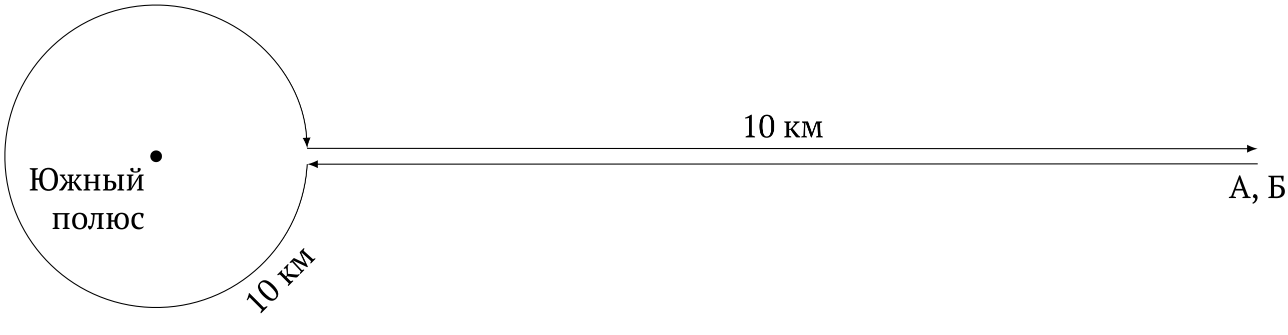


Рис. 7: Первый замкнутый южный «полярный» маршрут

Рис. 8: «Максимальный» маршрут

В оптимальном случае после смещения к югу от точки А мы окажемся на параллели длиной 20 км и диаметром $\frac{20}{\pi}$ км. Эта параллель очень мала и близка к Южному полюсу, поэтому можно считать, что расстояние от полюса до параллели примерно равно радиусу параллели — $\frac{10}{\pi}$ км. Смещение на 10 км к северу приведет на параллель радиусом $\left(10 + \frac{10}{\pi}\right)$ км, причём точки А и Б окажутся расположенными диаметрально противоположно (рис. 8), так что расстояние между ними по прямой составит

$$\left(10 + \frac{10}{\pi}\right) \text{ км} \times 2 \approx \mathbf{26.4\ км.}$$

Также отметим, что по условию требовалось найти расстояние между пунктами по прямой (по хорде), а не вдоль параллели (по дуге). Тем не менее, отличие этих расстояний настолько мало, что им в условиях задачи, как и несферичностью земной поверхности, следует пренебречь†.

Критерии оценивания:

1	**Минимальное расстояние.** Описание маршрута и правильный ответ	5
	Максимальное расстояние:	
2	Описание маршрута	2
3	Расчёт максимального расстояния	2
4	Обоснование максимальности	1
	Всего	**10**

†См., например, дополнение к заданию 7.1 на с. 8.

8.2 Великий год Сотиса

Особо важным астрономическим событием для древних египтян был первый после периода невидимости — *гелиакический* — восход Сириуса (Сотиса), который в то время приходился на летнее солнцестояние и предвещал скорый разлив Нила.

В древнеегипетском календарном году было ровно 365 дней, причём египтяне заметили, что гелиакический восход Сириуса смещался на 1 день за 4 календарных года, так что через $365 \times 4 = 1460$ лет приходился на тот же самый день года. Период в 1460 лет назывался сотическим циклом или Великим годом Сотиса.

Используя современные астрономические данные, уточните продолжительность сотического цикла. Считайте, что условия наблюдения Сириуса не изменяются.

Возможное решение. Несмотря на относительную близость Сириуса к Солнцу по сравнению с другими звёздами, расстояния от Земли до Солнца и до Сириуса существенно различны, поэтому для земного наблюдателя в течение года Сириус практически не меняет своё положение на фоне далёких объектов. Условия видимости Сириуса определяются взаимным положением звезды и Солнца на земном небе, которое, в свою очередь, зависит от положения Земли на орбите вокруг Солнца: для земного наблюдателя Солнце смещается вдоль эклиптики, отражая годичное движение Земли по орбите.

Следовательно, между гелиакическими восходами Сириуса, соответствующими фиксированному взаимному положению Сириуса и Солнца, проходит ровно 1 звёздный (сидерический) год — промежуток времени, за который Земля совершает 1 оборот вокруг Солнца. Звёздный год равен 365.25636 суток, эта величина приведена в справочных данных как «сидерический (орбитальный) период [Земли]».

Разные определения «года». Отметим, что период повторения условий восхода связан именно со звёздным годом, *а не с тропическим.* Тропический год определяется как промежуток времени, за который Солнце завершает один цикл смены времён года. Именно продолжительность тропического года приближают календари — это отражение сезонно-хозяйственной деятельности человека.

Для простоты можно считать, что величина тропического года совпадает с периодичностью наступления, например, весенних равноденствий. Но положение точки весеннего равноденствия в пространстве меняется со временем вследствие прецессии оси вращения Земли. Как следствие, длительность тропического года составляет 365.24219 суток, меньше длительности звёздного года: примерно за 26 тысяч лет точка весеннего равноденствия совершает полный оборот по эклиптике навстречу видимому годичному движению Солнца.

Таким образом, каждый год в древнеегипетском календаре гелиакический восход Сириуса запаздывал на 0.25636 суток относительно предыдущего календарного года, а не на 0.25 суток, как считали древние египтяне, поэтому продолжительность сотического цикла составляет не

$$\frac{365}{0.25} = 1\,460 \text{ лет},$$

а, с учётом уточнения данных,

$$\left[\frac{365}{0.25636}\right] \approx \mathbf{1\,424 \text{ года.}}$$

Полученная величина — лишь простая оценка, поскольку мы не учитывали эффекты, проявляющиеся на длительных интервалах времени. Так, собственное движение Сириуса превышает угловую секунду в год, то есть вследствие ненулевой относительной скорости Сириуса и Солнца звезда смещается по небу относительно далёких объектов фона. Также вследствие прецессии оси вращения Земли изменяется положение небесного экватора относительно звёзд, что приводит к изменению условий наблюдения Сириуса в конкретном месте на Земле.

Альтернативное решение. Из условия задачи напрямую не следует, что сопоставлять звёздный год следует именно с древнеегипетским календарным годом. Поэтому допустимо рассматривать и современный григорианский календарь.

Средняя продолжительность года в григорианском календаре равна 365.2425 суток. Это значение можно вспомнить или же вычислить исходя из «конструкции» григорианского календаря:

$$365 + \frac{1}{4} - \frac{1}{100} + \frac{1}{400} = 365\frac{97}{400} = 365.2425.$$

В таком случае длительность уточнённого сотического цикла составит

$$\left[\frac{365.2425}{365.25636 - 365.2425}\right] \approx 26\,352 \text{ года.}$$

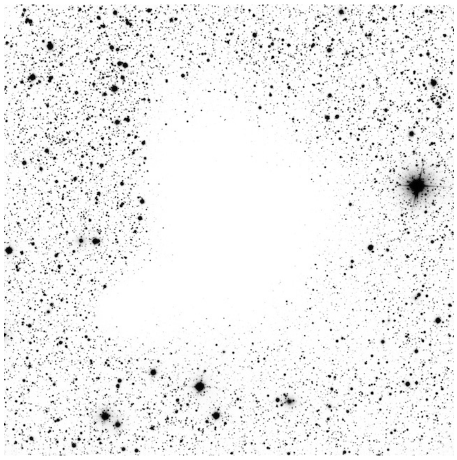
Из-за малой разности в знаменателе дроби результат оказывается чувствителен к точности исходных данных и округлениям, однако погрешность (порядка века) несущественна по сравнению с длительностью самого цикла и точностью модели.

Критерии оценивания:

1	Упоминание звёздного года в связи с гелиакическим восходом		2
2	Указание на разницу между календарным (365 или 365.2425 сут.) и [современным] звёздным годом		3
	Вместо календарного года тропический	*−1*	
	Вместо звёздного года тропический	*−1*	
	Вместо современного значения звёздного года «древнеегипетское»	*−1*	
3	Расчёт, сколько «разниц» соответствуют календарному году		3
4	Наличие ответа, адекватного расчётам		2
	Результат не округлён до целого числа лет	*−1*	
		Всего	**10**

8.3 Глобулы Бока

Глобулы Бока — тёмные туманности из газа и пыли, практически непрозрачные для излучения. Они выделяются на фоне далёких звёзд и светлых туманностей как тёмные облака.



Барнард 68 (негатив)

Одна из таких туманностей, Барнард 68 обладает диаметром 0.5 светового года и массой, равной 2 массам Солнца. Считая облако однородным шаром, состоящим в основном из молекулярного водорода, оцените концентрацию молекул (количество молекул в кубическом сантиметре) такого облака. Чему равно отношение плотности глобулы к плотности воздуха в комнате?

Средняя молярная масса воздуха $\mu_{\text{air}} = 29$ г/моль.

Возможное решение. Для начала определим плотность глобулы. Масса глобулы $M = 2M_{\odot}$, то есть $4 \cdot 10^{30}$ кг. Радиус глобулы равен 0.25 св. года, что составляет в сантиметрах

$$R = 0.25 \times 9.461 \cdot 10^{15}\ \text{м} = 2.4 \cdot 10^{15}\ \text{м} = 2.4 \cdot 10^{17}\ \text{см}.$$

Плотность глобулы оценим по массе и объёму, считая глобулу однородным шаром:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{4 \cdot 10^{30}\ \text{кг}}{\frac{4}{3}\pi \cdot \left(2.4 \cdot 10^{17}\ \text{см}\right)^3} = 7 \cdot 10^{-23}\ \text{кг/см}^3.$$

Молекула водорода состоит из двух атомов, причём основная масса заключена в протонах, поэтому масса одной молекулы водорода равна примерно удвоенной массе протона:

$$m_0 = 3.3 \cdot 10^{-27}\ \text{кг}.$$

Следовательно, концентрация, то есть число молекул в 1 см^3 вещества глобулы, составляет

$$n = \frac{\rho}{m_0} = \frac{7 \cdot 10^{-23}\ \text{кг/см}^3}{3.3 \cdot 10^{-27}\ \text{кг}} = 2 \cdot 10^4\ \text{см}^{-3}.$$

Определим теперь плотность воздуха. Вспомним, что при нормальных условиях 1 моль газа имеет объём 22.4 литра (и немногим больше при комнатной температуре), тогда плотность воздуха в комнате составляет

$$\rho_{\text{air}} \approx \frac{0.029\ \text{кг}}{22.4 \cdot 10^{-3}\ \text{м}^3} = 1.3\ \text{кг/м}^3.$$

Отношение плотностей глобулы и воздуха равно

$$k = \frac{\rho}{\rho_{\text{air}}} = \frac{7 \cdot 10^{-17}\ \text{кг/м}^3}{1.3\ \text{кг/м}^3} \approx 5 \cdot 10^{-17}.$$

Плотность глобулы оказывается пренебрежимо малой по сравнению с плотностью воздуха.

Посмотрите на иллюстрацию к условию задачи: звёзды фона за глобулой совершенно не видны! На всём луче зрения встречается большое количество частиц пыли, поглощающих и рассеивающих излучение этих звёзд. Масса пыли существенно меньше массы газа туманности, но именно пыль в основном обуславливает оптическую непрозрачность глобулы.

Критерии оценивания:

1	Масса и размер глобулы в метрических единицах	1 + 1
2	Объём глобулы	1
3	Плотность глобулы	1
4	Учёт двухатомности молекулы водорода	1
5	Концентрация молекул *Единицы измерения, отличные от требуемых — см$^{-3}$*	2 *−1*
6	Плотность воздуха: расчёт или указание данной величины	2
7	Отношение плотностей глобулы и воздуха *Найдено обратное отношение*	1 *−1*
	Всего	**10**

Замечание. На каждом этапе должен получаться физически осмысленный результат. В противном случае дальнейшие результаты не засчитываются (п. 3 принципов оценивания, с. 4).

8.4 Жирафы

Масайский жираф, самый крупный подвид жирафа, в естественной среде обитания живёт на территории южной Кении и Танзании, на широтах примерно от 10° ю. ш. до 1° ю. ш. Северное созвездие Жираф занимает на небе область по склонению от +52.5° до +86.5°. На всей ли территории обитания масайских жирафов небесного Жирафа можно наблюдать целиком? Подтвердите ответ вычислениями. Что ещё вы знаете об этом созвездии?

Возможное решение. Для того, чтобы созвездие наблюдалось целиком, необходимо, чтобы по крайней мере в верхней кульминации (в момент достижения наибольшей возможной высоты) над горизонтом находились и северная, и южная границы созвездия.

Вычислим высоты верхних кульминаций северной и южной границ созвездия для северной и южной границ ареала (территории обитания) по формуле

$$h_{\text{ВК}} = 90^\circ - |\varphi - \delta|\,,$$

где φ — широта места наблюдения (отрицательная для пунктов в Южном полушарии), δ — склонение светила. Результаты вычислений сведём в таблицу:

		δ	
		+52.5°	+86.5°
φ	−10°	+27.5°	**−6.5°**
	−1°	+36.5°	+2.5°

Высоты верхних кульминаций

Заметим, что на южной границе ареала ангольских жирафов северная граница созвездия кульминирует под горизонтом, то есть наблюдаться не может. В результате приходим к выводу, что созвездие Жирафа целиком на всей территории обитания его земные собратья – масайские жирафы пронаблюдать **не могут.** Частично же созвездие будет доступно для наблюдения, поскольку его южная граница является восходящей для всего ареала (а на севере ареала созвездие восходит целиком, хотя и низко над горизонтом).

Отметим, что созвездие Жирафа — крупное (18-е по площади) околополярное созвездие, граничащее с Малой и Большой Медведицами, Возничим и рядом других созвездий. При этом звёзды созвездия Жирафа довольно слабые, вследствие чего наблюдать созвездие следует вдали от городской засветки неба.

Альтернативный способ. Небольшое дополнительное рассуждение позволяет сократить расчёты. Заметим, что если в некоторой точке Южного полушария видна северная граница созвездия, его южная граница также должна быть видна. Так, можно рассчитать минимальную широту, на которой северная граница созвездия ещё будет кульминировать над горизонтом (на высоте +0°), а затем сравнить её с южной границей ареала жирафов:

$$90^\circ - \left|\varphi_0 - 86.5^\circ\right| = 0^\circ \qquad \Longrightarrow \qquad \varphi_0 = -3.5^\circ.$$

Южная граница ареала жирафа находится южнее полученной широты, следовательно, на всей территории обитания полностью созвездие Жирафа увидеть не удастся, а только в области от 3.5° ю. ш. до 1° ю. ш.

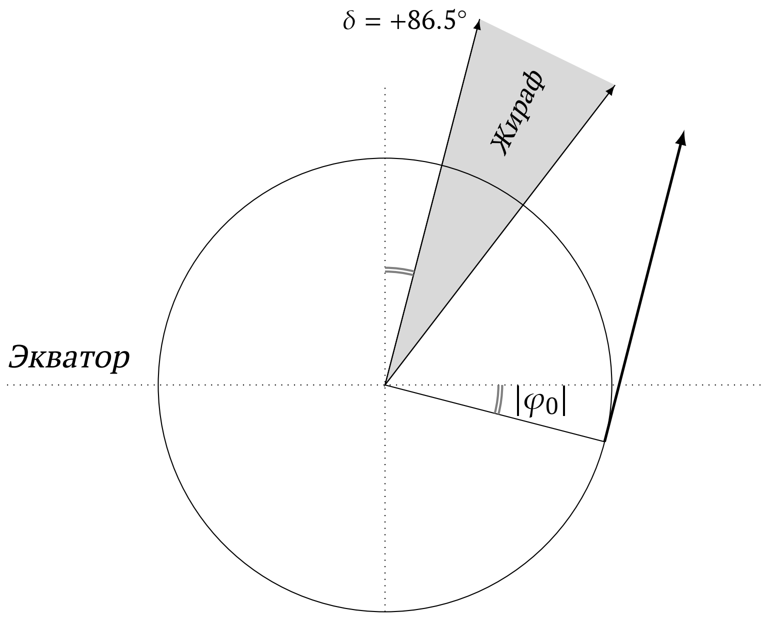


Рис. 9: Чертёж для любителей геометрии[‡]

[‡]Полярное расстояние северной границы Жирафа увеличено для удобства восприятия.

Для любителей геометрии. Решить задачу можно без применения формулы для высоты верхней кульминации, на основе общих представлений об устройстве систем небесных координат. Склонение δ — аналог географической широты — угол, отсчитываемый от небесного экватора до объекта на небесной сфере, или же *широта* точки на Земле, на которую проецируется изображение светила для наблюдателя в центре Земли (см. рис. 9), то есть через зенит проходят объекты, склонение которых равно широте места наблюдения ($\delta = \varphi$).

Из чертежа непосредственно получаем $\varphi_0 = -(90° - 86.5°) = -3.5°$, что совпадает с ранее полученным результатом.

Возможно ограничить не только широту, но и склонение. Над математическим горизонтом хотя бы в момент достижения наибольшей высоты находятся объекты с $\delta_0 \geq -(90° - \varphi)$ в случае Северного полушария и $\delta_0 \leq 90° - |\varphi|$ в случае Южного полушария. Для южной границы территории обитания жирафов получаем ограничение на склонение

$$\delta_0 \leq 90° - 10° = +80°.$$

Северная граница созвездия имеет большее склонение, следовательно, не видна.

Критерии оценивания:

1а	Расчёт высот кульминаций границ созвездия на границах ареала жирафа: формула + подстановки	$1+2\times 2$
1б	*ИЛИ* оценка граничной широты, на которой созвездие видно целиком, с обоснованием выбора границы созвездия и указанием типа граничной широты	5
1в	*ИЛИ* иной обоснованный способ оценки граничной широты или граничного склонения	5
2	Вывод о невозможности наблюдения созвездия целиком, в случае верного обоснования	3
3	Факты о созвездии Жирафа: граничащие с ним созвездия (не менее двух), сложность для наблюдения, примечательные объекты (или равноценные)	$1+1$
	Всего	**10**

8.5 От океана до моря

Самолёт вылетел из Владивостока (132° в. д.) в 5 утра по местному времени 21 марта и прилетел в Анапу (37° в. д.) в 7 утра по местному времени того же дня. Маршрут полёта проходил вдоль параллели 45° с. ш. Как долго на протяжении полёта центр Солнца для наблюдателей на борту самолёта наблюдался выше математического горизонта?

Возможное решение. Для начала поймём, что под местным временем в астрономии понимается среднее солнечное время на меридиане указанного географического пункта. Местное время характеризует угол между меридианом наблюдателя и направлением на Солнце (рис. 10). Терминатор (граница дня и ночи) проходит прямо через полюс, поскольку 21 марта — день весеннего равноденствия. На всех параллелях Солнце пересекает математический горизонт ровно в 6 часов утра.

Отметим на рисунке положения городов в моменты вылета и прилёта самолёта.

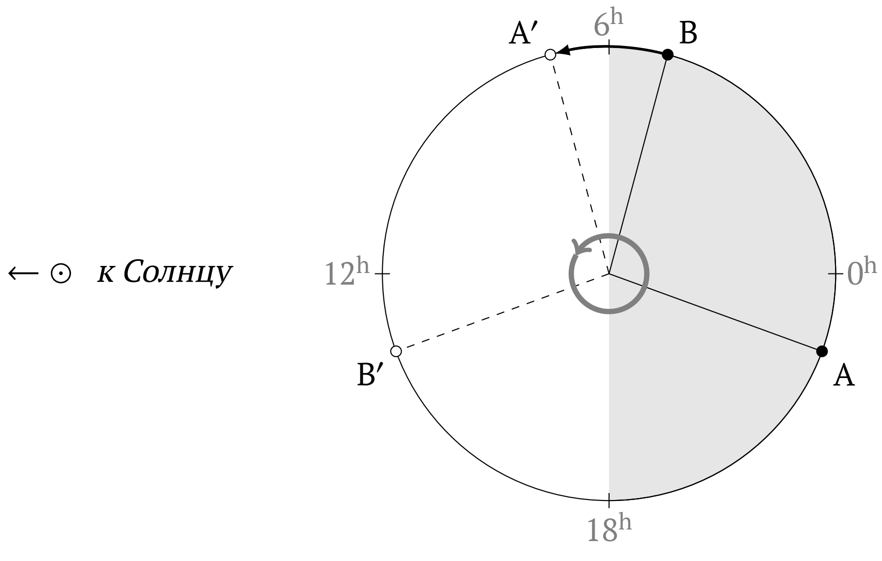


Рис. 10: Взаимное положение меридианов городов и Солнца. Вид с Северного полюса. A — Анапа, B — Владивосток. ○ — в момент вылета, ● — в момент прилёта. Долгота увеличивается в направлении вращения Земли.

Вычислим продолжительность полёта. Для начала представим, что самолёт прибывает в Анапу в то же местное время, в которое он вылетел из Владивостока. Тогда продолжительность полёта равнялась бы промежутку времени, за который наблюдатель на меридиане Анапы (долгота λ_2) окажется в том же положении относительно Солнца, в котором был наблюдатель на меридиане Владивостока (долгота λ_1):

$$\tau_1 = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{360^\circ} \times 24^\mathrm{h} = \frac{132^\circ - 37^\circ}{360^\circ} \times 24^\mathrm{h} = 6^\mathrm{h}\,20^\mathrm{m}.$$

К этому времени следует добавить разность местных времён моментов прилёта и вылета:

$$\tau_2 = 7^\mathrm{h} - 5^\mathrm{h} = 2^\mathrm{h}.$$

Тогда искомая продолжительность

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = 6^\mathrm{h}\,20^\mathrm{m} + 2^\mathrm{h} = 8^\mathrm{h}\,20^\mathrm{m}.$$

Самолёт движется равномерно вдоль параллели, с востока на запад, против направления суточного вращения Земли. Можно считать, что он тоже вращается вокруг центра Земли, как и точки на поверхности, но с другой скоростью. Поэтому видимая угловая скорость Солнца для наблюдателя на самолёте окажется также постоянной, но меньше 15°/h. Из рис. 10 очевидно, что «светлое» время на самолёте при полёте по маршруту B → A′ длится ровно половину продолжительности полёта.

Ответ: $4^\mathrm{h}\,10^\mathrm{m}$.

Аналитическое решение. Вычислим продолжительность полёта, переведя времена вылета и прибытия в единую шкалу, например, ко всемирному времени. Местное время t связано со всемирным временем U и долготой пункта λ соотношением

$$t = U + \lambda,$$

причём 15° долготы соответствует 1^h времени (поскольку 360° — 24^h), так что

$$\begin{aligned}\tau &= U_2 - U_1 = (t_2 - \lambda_2) - (t_1 - \lambda_1) = \\ &= \left(7^\mathrm{h} - \frac{37^\circ}{15^\circ/\mathrm{h}}\right) - \left(5^\mathrm{h} - \frac{132^\circ}{15^\circ/\mathrm{h}}\right) = 4^\mathrm{h}\,32^\mathrm{m} - (-3^\mathrm{h}\,48^\mathrm{m}) = 8^\mathrm{h}\,20^\mathrm{m}.\end{aligned}$$

Найдём видимую угловую скорость Солнца для наблюдателя на самолёте как разность угловой скорости вращения Земли и угловой скорости движения самолёта:

$$\omega_c = \frac{360^\circ}{24^\mathrm{h}} - \frac{132^\circ - 37^\circ}{8^\mathrm{h}\,20^\mathrm{m}} = 3.6^\circ/\mathrm{h}.$$

Вылет самолёта произошёл в 5 утра, за час до восхода. После вылета самолёту нужно сместиться на 1 час (15°) относительно Солнца, чтобы наблюдать восход. Время полёта до восхода составит

$$T_n = \frac{15^\circ}{\omega_c} = \frac{15^\circ}{3.6^\circ/\mathrm{h}} = 4^{\mathrm{h}}\,10^{\mathrm{m}};$$

время от восхода до прилёта в пункт назначения

$$T_d = \tau - T_n = 4^{\mathrm{h}}\,10^{\mathrm{m}}.$$

Критерии оценивания:

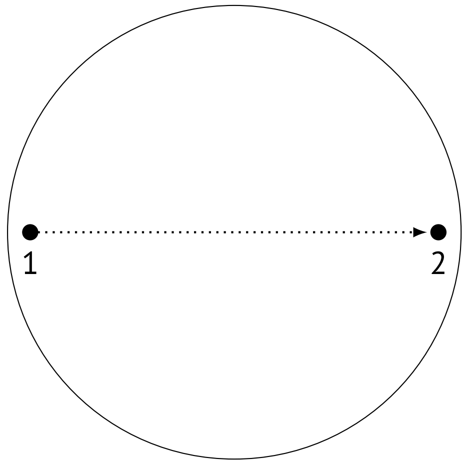
1	Нахождение продолжительности полёта	2
2	Указание, что восход в 6 утра по местному времени	2
3	Определение угловой скорости самолёта	2
4	Изменение солнечного времени на борту самолёта	2
5	Ответ	2
	Всего	**10**

Комментарий. Возможен вариант не вполне верной интерпретации условия, когда под местным временем участник понимает поясное или гражданское время. За такую интерпретацию баллы не снижаются, однако в этом случае для правильного решения необходимо вспомнить часовые пояса Анапы и Владивостока, а также учесть разницу поясного / гражданского времени и местного времени.

8.6 Транзит будущего

Прохождение Венеры по диску Солнца — достаточно редкое астрономическое явление, которое наблюдается, когда Венера находится точно между Солнцем и Землёй, закрывая собой некоторую часть солнечного диска.

На рисунке изображены положения Венеры во время прохождения по диску Солнца сразу после начала прохождения и незадолго до его окончания. Зарисуйте, что увидел бы наблюдатель, находящийся *на Марсе* и наблюдающий прохождение *системы Земля–Луна* по диску Солнца, в моменты, когда положение Земли соответствует отмеченным выше точкам солнечного диска. Отметьте также положение Земли в момент завершения прохождения всей системы.



Положения планеты во время прохождения по диску Солнца

Считайте, что для земного наблюдателя в день такого прохождения Луна находится в фазе первой четверти. Орбиты планет и Луны считайте лежащими в одной плоскости. Рисунки обоснуйте вычислениями.

Указание. Используйте для построений выданный лист с заготовками зарисовок и сдайте его вместе с решением задания.

Возможное решение. Во время прохождения системы Земля–Луна по диску Солнца для марсианского наблюдателя система находится между Марсом и Солнцем. Земля движется по орбите быстрее Марса; на чертежах задано направление прохождения: слева направо. В рамках геометрии задачи нетрудно заметить, что Луна в фазе первой четверти «отстаёт» от Земли, то есть на чертеже должна находиться левее Земли (рис. 11).

Вычислим видимый угловой диаметр Солнца и угловое расстояние между Землёй и Луной для наблюдателя на Марсе:

$$d_{\odot} = \frac{2R_{\odot}}{a_{♂}} = \frac{2 \times 697 \cdot 10^6 \text{ м}}{1.5237 \times 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}} = 6.12 \cdot 10^{-3} \text{ (рад)};$$

$$d_{\oplus☾} = \frac{a_{☾}}{a_{♂} - a_{\oplus}} = \frac{0.0026 \text{ а. е.}}{(1.5237 - 1.0000) \text{ а. е.}} = 4.96 \cdot 10^{-3} \text{ (рад)}.$$

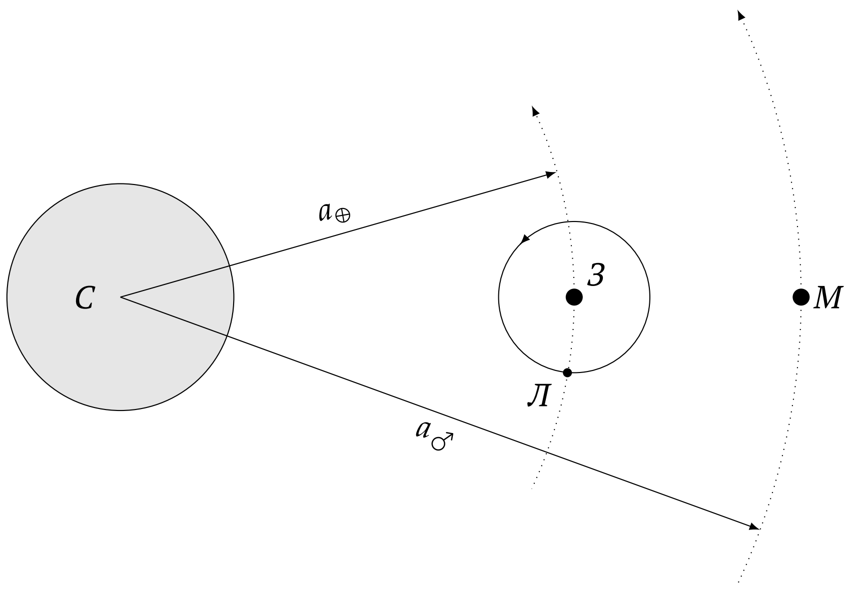


Рис. 11: Схема прохождения.
Вид на плоскость эклиптики с севера. Размеры и расстояния не в масштабе.

Приятно, что результаты оказались сравнимы друг с другом, так что удастся выполнить удачные чертежи. Переводить результаты в градусную меру не требуется, однако для удобства покажем значения в других единицах:

$$d_\odot = 6.12 \cdot 10^{-3} \text{ рад} = 21' = 0.35^\circ \to 60 \text{ мм};$$

$$d_{\oplus☾} = 4.96 \cdot 10^{-3} \text{ рад} = 17' = 0.28^\circ \to 49 \text{ мм}.$$

Размеры Земли и Луны достаточно малы, чтобы их при построении не учитывать, так что полученных результатов достаточно, чтобы осуществить построения (рис. 12). Необходимо помнить, что Луна обращена к марсианскому наблюдателю тёмной, неосвещённой стороной, так что вне транзита её совсем не видно.

Осталось убедиться, что видимое расстояние между Землёй и Луной не успеет существенно измениться за время транзита. Оценим продолжительность транзита. Орбитальная скорость Земли $v_\oplus \approx 30$ км/с. Расстояние в диаметр Солнца Земля пролетает за

$$\frac{2 \times 697 \cdot 10^3 \text{ км}}{30 \text{ км/с}} = 46.5 \cdot 10^3 \text{ с} \approx 0.5 \text{ сут}.$$

По порядку величины это вполне разумная оценка. За это время Луна проходит $0.5/27.3 \approx 2\,\%$ длины своей орбиты, причём движется навстречу наблюдателю, что уменьшает и без того малое смещение Луны относительно Земли. Им, конечно, нужно пренебречь.

Альтернативный способ. Допустимо вместо расчёта углов использовать представления о подобных треугольниках, спроецировав диск Солнца и систему Земля–Луна на некоторую плоскость. Удобно выбрать одну из двух плоскостей, перпендикулярных линии Солнце–Марс:

а) проходящую через центр Солнца, для которой

$$d_\odot = 2 \times 697 \cdot 10^3 \text{ км} = 1394 \cdot 10^3 \text{ км},$$

$$d_{\oplus☾} = 0.0026 \times 1.496 \cdot 10^8 \text{ км} \times \frac{1.5237}{1.5237 - 1.0000} = 1132 \cdot 10^3 \text{ км};$$

б) проходящую через центр Земли, для которой

$$d_\odot = 2 \times 697 \cdot 10^3 \text{ км} \times \frac{1.5237 - 1.0000}{1.5237} = 479 \cdot 10^3 \text{ км},$$

$$d_{\oplus☾} = 0.0026 \times 1.496 \cdot 10^8 \text{ км} = 389 \cdot 10^3 \text{ км}.$$

Нетрудно убедиться, что отношение $d_{\oplus☾} : d_\odot = 0.81$ не зависит от способа его вычисления.

Критерии оценивания:

1	Луна в первой четверти — левее Земли	1
2	Видимый размер Солнца с Марса	2
3	Расстояние между Землёй и Луной в угловых или сопоставимых линейных величинах	2
4	**Чертёж 1.** Показана только Земля у левого края Солнца (Луна не видна, так как она обращена к наблюдателю темной стороной)	1
5	**Чертёж 2.** Правильно изображены Луна (у левого края Солнца) и Земля (у правого края Солнца)	1 + 1
6	**Чертёж 3.** Показаны положения Луны (у правого края Солнца) и Земли (правее, примерно на расстоянии диаметра Солнца)	1
7	Оценка смещения Луны за время транзита (смещение мало)	1
	Всего	**10**

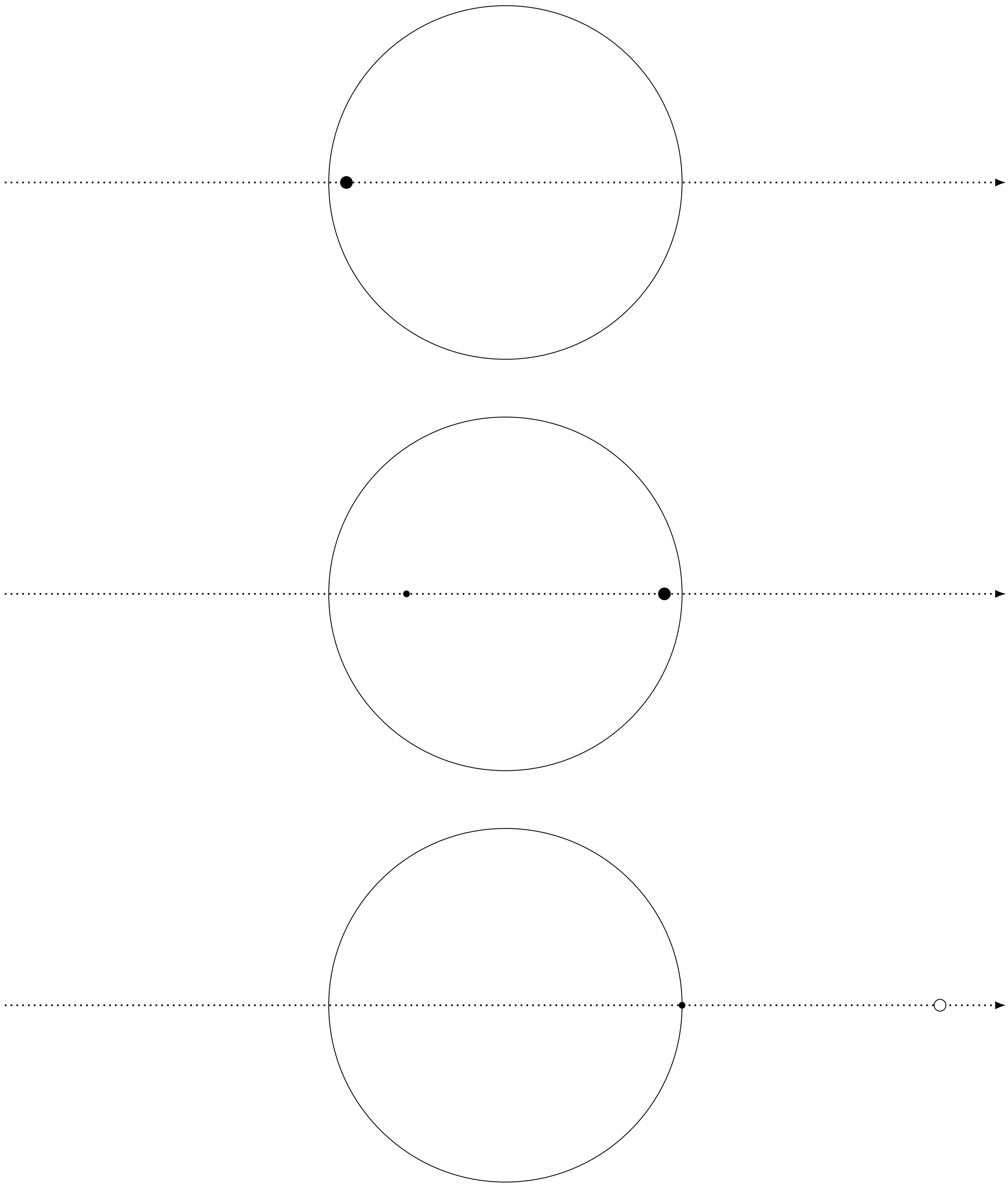


Рис. 12: **Эталонные построения к заданию 8.6**

Часть II

Онлайн-тур

На онлайн-туре участники выполняли задания в системе тестирования. Комплект для каждого класса содержит 20 заданий: вопросы на общие астрономические знания, упражнения для демонстрации практических навыков и простые вычислительные задачи. На выполнение заданий отводился 1 час 30 минут.

Для каждого задания оценивается только представленный участником ответ, оценка составляет от 1 до 4 баллов в зависимости от сложности задания и количества подвопросов. Максимальная оценка за тур — 40 баллов.

С полным содержанием комплекта в системе тестирования возможно ознакомиться на сайте олимпиады `struve.astroedu.ru`.

Справочные данные

Некоторые основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная	G	$= 6.674 \cdot 10^{-11}$ м$^3 \cdot$ кг$^{-1} \cdot$ с$^{-2}$
Скорость света в вакууме	c	$= 2.998 \cdot 10^8$ м/с
Масса протона	m_p	$= 1.673 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса электрона	m_e	$= 9.109 \cdot 10^{-31}$ кг
Астрономическая единица	1 а. е.	$= 1.496 \cdot 10^{11}$ м
Парсек	1 пк	$=$ 206 265 а. е. $= 3.086 \cdot 10^{16}$ м
Световой год	1 св. год	$=$ 365.25 сут. $\times\, c = 9.461 \cdot 10^{15}$ м

Данные о Солнце, Земле и Луне

Видимая звёздная величина Солнца	$m_\odot$	$= -26.8^\mathrm{m}$
Эффективная температура Солнца	$T_{\odot,\mathrm{eff}}$	$= 5.8 \cdot 10^3$ K
Поток энергии на расстоянии Земли	$E_\odot$	$= 1.4 \cdot 10^3$ Вт/м^2
Тропический год		$=$ 365.24219 сут.
Сидерический (орбитальный) период		$=$ 365.25636 сут.
Средняя орбитальная скорость		$=$ 29.8 км/с
Звёздные сутки		$=$ 23 ч 56 мин 04 с
Наклон экватора к эклиптике	ε	$= 23.44^\circ$
Сидерический месяц		$=$ 27.32 сут.
Синодический месяц		$=$ 29.53 сут.
Ускорение свободного падения на поверхности Земли	g	$= 9.8$ м/с$^2 = 9.8$ Н/кг

Характеристики Солнца, планет Солнечной системы и Луны

		Радиус орбиты, а. е.	Орбитальный период	Масса, кг	Радиус, 10^3 км	Осевой период
☉	Солнце			$1.989 \cdot 10^{30}$	697	25.38 сут.
☿	Меркурий	0.3871	87.97 сут.	$3.302 \cdot 10^{23}$	2.44	58.65 сут.
♀	Венера	0.7233	224.70 сут.	$4.869 \cdot 10^{24}$	6.05	243.02 сут.
⊕	Земля	1.0000	*см. выше*	$5.974 \cdot 10^{24}$	6.37	23.93 ч
☾	↪ Луна	0.0026	27.32 сут.	$7.348 \cdot 10^{22}$	1.74	*синхр.*
♂	Марс	1.5237	686.98 сут.	$6.419 \cdot 10^{23}$	3.40	24.62 ч
♃	Юпитер	5.2028	11.862 лет	$1.899 \cdot 10^{27}$	71.5	9.92 ч
♄	Сатурн	9.5388	29.458 лет	$5.685 \cdot 10^{26}$	60.3	10.66 ч
⛢	Уран	19.1914	84.01 лет	$8.683 \cdot 10^{25}$	25.6	17.24 ч
♆	Нептун	30.0611	164.79 лет	$1.024 \cdot 10^{26}$	24.7	16.11 ч