

**Ключи и критерии оценивания к заданиям муниципального этапа
Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
2025/2026 учебного года
9 класс**

1 задание: Кто старое помянет (8 баллов)

В таблице вам предложены 8 событий в истории астрономии.

А. Событие под каким номером произошло позже всех нижеперечисленных?

Б. Событие под каким номером произошло раньше всех нижеперечисленных?

В. Расположите номера всех событий в хронологическом порядке, от самого раннего до самого позднего, и приведите в виде строки из 8 чисел.

№	Событие
1	Открытие законов Кеплера
2	Создание первой фотографии Солнца Луи Физо и Леоном Фуко
3	Запуск космического телескопа имени Хаббла
4	Создание первого телескопа Галилео Галилеем
5	Создание первой фотографии солнечного спектра Генри Дрейпером
6	Открытие Урана Уильямом Гершелем
7	Создание первого радиотелескопа Гроутом Ребером
8	Создание классической механики Исааком Ньютоном

Решение:

А. Запуск космического телескопа имени Хаббла стоил около 6 млрд долларов, потребовал применения большого числа технологий и совместной работы огромного числа ученых, инженеров и конструкторов. Он появился явно позже всех остальных.

Б. Создание первого телескопа Галилео Галилеем и последующие наблюдения Луны, планет и их спутников телескопом - одни из ключевых событий астрономии XVII века, которые привели к смене центра мира (гелиоцентрическая система пришла на смену геоцентрической). Астрономия невозможна без наблюдений, и Галилео впервые сделал эти наблюдения "вооруженными".

В. Расположим события 3 и 4 в строку из 8 ячеек:

4							3
---	--	--	--	--	--	--	---

Открытие Урана (6) не могло произойти до ньютоновской механики (8), а для её создания Ньютон опирался на труды Кеплера (1), который, в свою очередь, уже использовал некоторые телескопические наблюдения (4):

4	1	8	6				3
---	---	---	---	--	--	--	---

Радионаблюдения (7) появились позже спектрального анализа (5), а он - позже фотографии самого Солнца (2):

4	1	8	6	2	5	7	3
---	---	---	---	---	---	---	---

В таблице ниже, в качестве справочной информации, приведен год

соответствующего события.

Событие	Год
Создание первого телескопа Галилео Галилеем	1609
Открытие законов Кеплера	1619
Создание классической механики Исааком Ньютоном	1687
Открытие Урана Уильямом Гершелем	1781
Создание первой фотографии Солнца Луи Физо и Леоном Фуко	1845
Создание первой фотографии солнечного спектра Генри Дрейпером	1873
Создание первого радиотелескопа Гроутом Ребером	1937
Запуск космического телескопа имени Хаббла	1990

Ответ:

А. 3

Б. 4

В. 41862573

Критерии оценивания

Пункт задания	Содержание	Балл
А	Участник привел в решении правильный ответ (4, запуск космического телескопа)	2
Б	Участник привел в решении правильный ответ (3, создание первого телескопа)	2
В	Участник привел в решении правильный ответ (41862573)	4
Итого		8

Примечание к оцениванию пункта В в случае неверной последовательности:

В строчке из 8 чисел, написанных участником, подсчитывается количество **N** присутствующих в строке позиций из таблицы ниже, Например, позиция 4..3 присутствует в строке, если в ней 4 находится **строго левее**, чем 3. (в 41235678 есть, в 31245678 нет).

Позиции			
4..3	1..3	8..7	6..2
4..7	1..7	8..5	2..3
4..5	1..5	8..2	2..7
4..2	1..2	8..6	2..5
4..6	1..6	6..3	5..3
4..8	1..8	6..7	5..7
4..1	8..3	6..5	7..3

Количество баллов за третий критерий равно полученному количеству позиций **N**, деленному нацело (без остатка) на 7.

Пример: участник указал строку 14682753. В ней находятся 25 из 28 позиций (выделены жирным шрифтом в таблице ниже). Значит, участник получает $25 // 7 = 3$ балла за третий критерий. (и не получает двух баллов за второй, т. к. он написал Б. 1)

Позиции			
4..3	1..3	8..7	6..2
4..7	1..7	8..5	2..3
4..5	1..5	8..2	2..7
4..2	1..2	8..6	2..5
4..6	1..6	6..3	5..3
4..8	1..8	6..7	5..7
4..1	8..3	6..5	7..3

2 задание: Следующий раз (8 баллов)

Сотрудники обсерватории на экваторе Марса составляют расписание работ для слежения за изменениями в смерче юпитерианской атмосферы (Большое Красное Пятно – БКП), который вращается вместе с Юпитером.

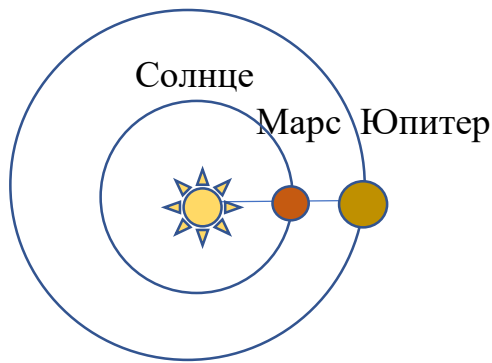
А. Считая орбиты круговыми, нарисуйте взаимное расположение Марса, Юпитера и Солнца, при котором возможны наиболее подробные наблюдения БКП. Подпишите объекты на рисунке и объясните свой выбор их расположения.

Б. Рассчитайте, на каком расстоянии в этот благоприятный период будут находиться центры Марса и Юпитера. Ответ запишите в миллионах километров.

В. Укажите наименьшие промежутки времени: 1. когда планеты Марс и Юпитер снова занимают благоприятное для наблюдений БКП положение, 2. когда возможно снова видеть с Марса БКП Юпитера, если наблюдениям не мешает всепланетная пылевая буря на Марсе. Объясните свой ответ.

Решение:

А. Наиболее подробные наблюдения БКП с Марса возможны тогда, когда планеты находятся на наименьшем расстоянии друг от друга, т.е. вблизи прямой, соединяющей центры Солнца, Марса и Юпитера, а свет Солнца не мешает наблюдениям (ночью Марса). Такая конфигурация называется противостояние:



Б. Из таблицы справочных данных о планетах находим средние расстояния Марса 1.52 а.е. и Юпитера 5.2 а.е. от Солнца, вычитаем из большего меньшее $5.2 - 1.52 = 3.68$ а.е. и переводим а.е. в км: $3.68 \times 150\,000\,000 = 5.52 \times 10^8$ км (552 млн. км.)

В. Для ответа на задание необходимо выяснить время, через которое планеты снова окажутся на прямой по одну сторону от Солнца, а БКП при этом повернется в сторону Марса, т.е. учесть орбитальное движение планет и их суточное вращение. 1. Взяв из справочных данных сидерические периоды обращения Юпитера 11.86 лет и Марса в 686.98 суток = 1.88 лет, находим синодический период $S = \frac{11.86 \cdot 1.88}{11.86 - 1.88} = 2.235$ года – за это время Юпитер и Марс снова окажутся по одну сторону от Солнца на одной прямой, и расстояние между ними снова станет наименьшим. Этот промежуток можно считать наименьшим для первого пункта вопроса, если наблюдениям не мешает марсианская пылевая буря. 2. Из таблиц справочных данных о суточном вращении находим сутки Марса 24.63ч. и Юпитера 9.92 ч. Вращение планет происходит в одну сторону, но Марс вращается вокруг своей оси медленнее Юпитера, ночь на экваторе Марса длится половину суток - 12.32ч., поэтому, если первый раз юпитерианский смерч наблюдался вечером, за половину марсианских суток БКП Юпитера успеет сделать более одного оборота вокруг оси планеты-гиганта и вновь появится для наблюдателей на Марсе. Указываем в качестве наименьшего промежутка времени период осевого вращения Юпитера – 9.92 ч.

Критерии оценивания

Пункт задания	Содержание	Балл
А	Верный рисунок: Солнце, Марс и Юпитер на одной линии, планеты по одну сторону от Солнца, все тела подписаны	1
	Объяснение наилучших условий как наименьшего расстояния между планетами, может быть использован термин «противостояние»	1
	Рисунок без подписей и объяснений	0
Б	Из таблицы справочных данных верно взяты расстояния до планет, найдена их разность	1

	Число в миллионах км попадает в интервал [550;554]	1
В	Оценен синодический период Юпитера с Марса – 2.23 – 2.24 года	1
	Сделан вывод о наибольшем промежутке времени	1
	Сравнены периоды суточного вращения планет, взятые из таблиц справочных данных	1
	Сделан вывод о наименьшем промежутке как периоде суточного оборота Юпитера – 9-10 часов	1
Итого		8

3 задание: Храм Огня (8 баллов)

В мультфильме “Аватар: легенда об Аанге” главному герою Аангу необходимо найти храм Огня, чтобы пообщаться с духом аватара Року. В видении Аанг увидел цилиндрическую комнату диаметром 20 м, в центре которой в пол был вмонтирован маленький золотой диск. В стене на высоте 3 м было проделано отверстие, через который проходит солнечный луч. Дух аватара Року явится, когда диск будет освещён солнечным лучом. Известно, что это произойдет в момент верхней кульминации Солнца с наименьшей угловой высотой Солнца в году. Храм находится между северным полярным кругом и северным тропиком. Параметры центральной звезды и планеты мира Аватара считайте идентичными параметрам Солнца и Земли. Рефракцией, угловыми размерами диска Солнца пренебрегите.

А. Определите сторону света отверстия, если наблюдатель стоит около золотого диска. В какой день будет наблюдаться описанное событие? Укажите склонение Солнца в этот день.

Б. Определите угловую высоту Солнца в этот момент, используя размеры комнаты и расположение отверстия.

В. Определите широту храма с точностью до минут угловой дуги.

Решение:

А. Известно, что верхние кульминации всех светил в северном полушарии происходят, проходя через небесный меридиан, содержащий точку юга на горизонте. Поэтому, чтобы луч прошёл в момент верхней кульминации через центр комнаты, отверстие должно быть проделано на юге.

Для “нормальных” точек на Земле (в северном полушарии между тропиком и полярным кругом), наименьшая высота Солнца наблюдается в день зимнего солнцестояния (21 или 22 декабря).

Склонение Солнца в момент зимнего солнцестояния соответствует углу наклона эклиптики к небесному экватору, взятому с обратным знаком $\delta = -23^\circ 26'$.

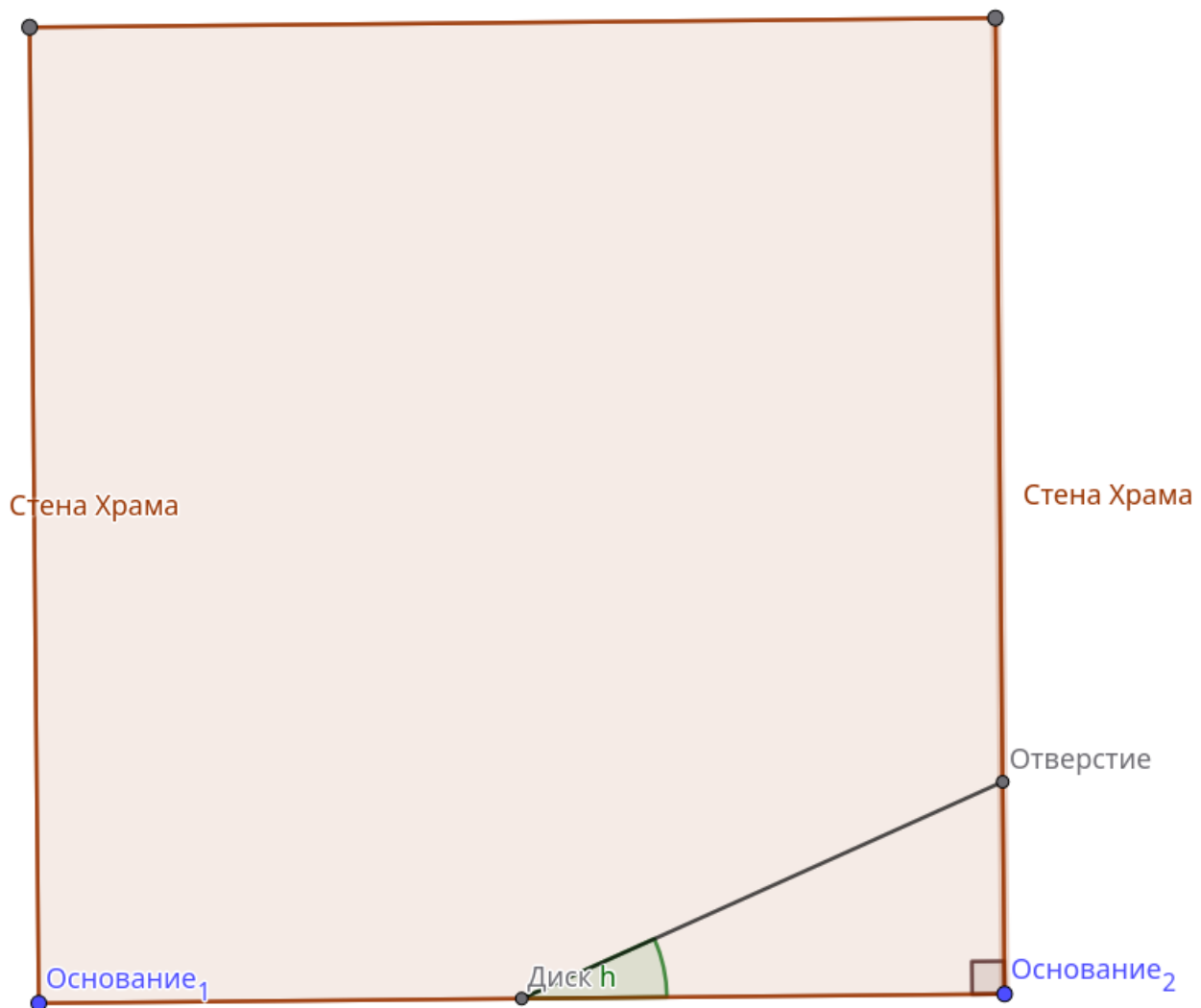
Б. Для определения угловой высоты Солнца необходимо нарисовать схему храма. Обозначим высоту отверстия $H=3$ м, а диаметр храма $D=20$ м,

$$R=D/2=10 \text{ м.}$$

Рассмотрим прямоугольный треугольник Отверстие-Диск-Основание₂.

Тогда $\text{tg } h = \text{Отверстие-Основание}_2 / \text{Диск-Основание}_2 = H/R = 3 \text{ м}/10 \text{ м} = 0,3$

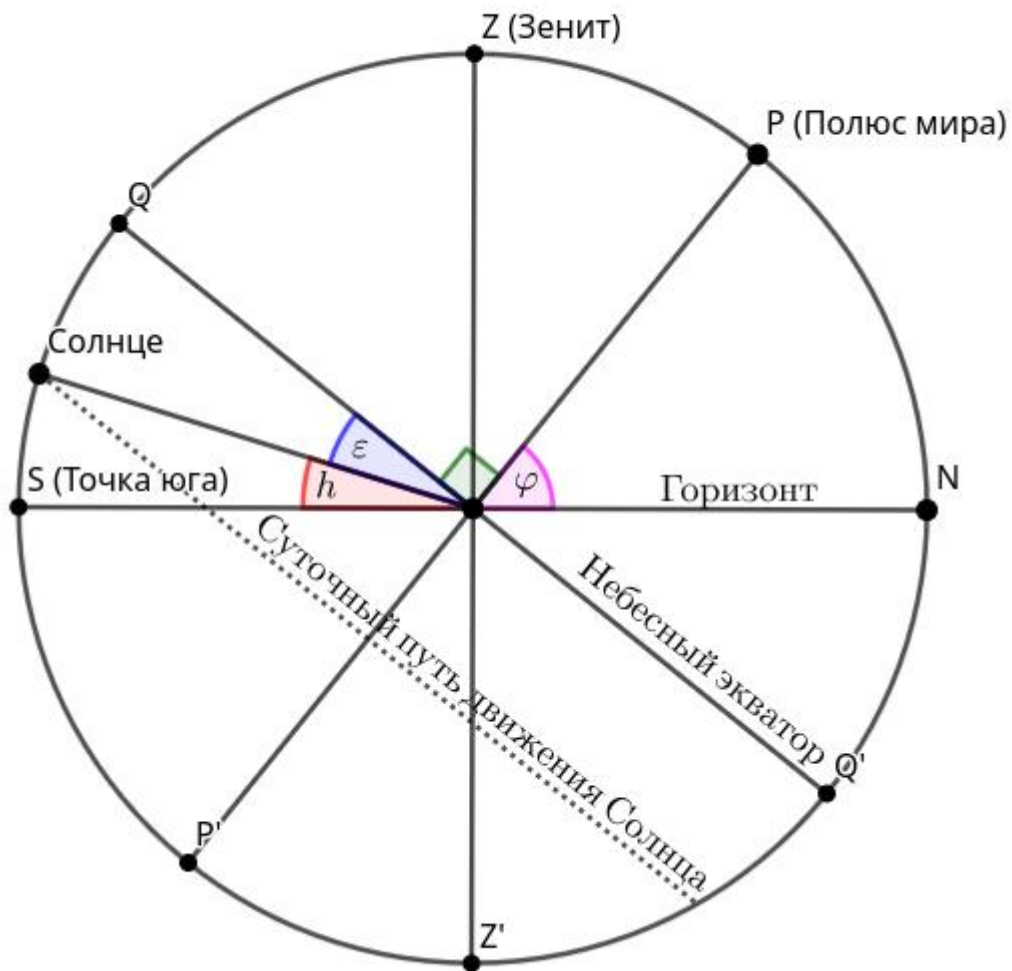
$$h = \arctg 0,3 = 16^\circ 42'.$$



В. Зная склонение Солнца и его угловую высоту несложно определить широту места наблюдения. Запоминать формулы связи для разных случаев утомительно и нецелесообразно. Изобразим сечение небесного меридиана, через который проходит Солнце в момент верхней кульминации. Высота полюса мира равна широте места наблюдения.

Обозначенные на рисунке углы составляют развернутый угол: $h + \varepsilon + 90^\circ + \varphi = 180^\circ$.

Таким образом широта храма Огня: $\varphi = 90^\circ - \varepsilon - h = 90^\circ - 23^\circ 26' - 16^\circ 42' = \underline{49^\circ 52'}$.



Критерии оценивания

Пункт задания	Содержание	Балл
А	Указано, что верхняя кульминация Солнца происходит на <u>юге</u> , откуда сделан вывод о расположении отверстия.	1
	Верно указан день явления (допустим любой вариант): день зимнего солнцестояния, 21 декабря, 22 декабря.	1
	Верно указано склонение Солнца (допустимо округление до градуса в этом пункте): $\delta = -23^\circ 26'$	1
Б	Найден способ вычисления высоты Солнца: из прямоугольного треугольника (тангенс). (Допустимо даже построить треугольник по клеточкам и измерить угол транспортиром. Правда, этот способ не позволит соблюсти требуемую точность.)	1
	Получен верный ответ с точностью до минут дуги $h = 16^\circ 42'$	1
	(Традиционно школьники могут перепутать диаметр и радиус. В этом случае за весь пункт Б можно выставить только один балл при «верном» ответе $8^\circ 32'$).	
В	Приведена верная формула для связи широты, склонения и высоты Солнца.	2
	Получен верный ответ $\varphi = 49^\circ 52'$.	1
Итого		8

4 задание: Спутники (8 баллов)

Примерно 80000 активных околоземных спутников обращаются вокруг Земли на высотах от 330 до 1330 км. Пренебрегая рефракцией, рельефом местности, высотой наблюдателя, а также считая, что спутники в каждый момент времени распределены равномерно вокруг Земли,

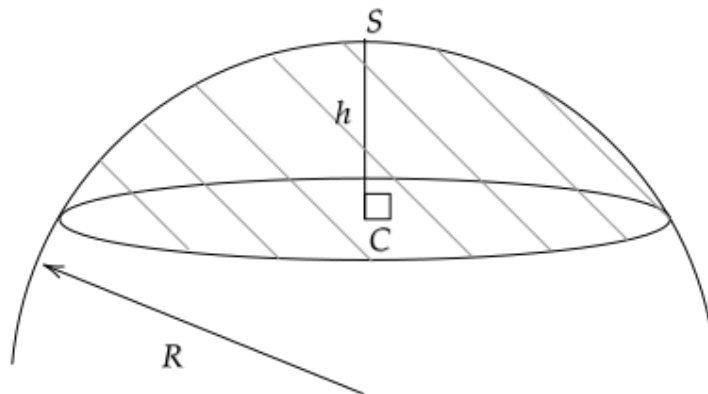
А. Определите объем пространства, в котором могут находиться спутники. Ответ дайте в м^3 ;

Б. Оцените, какое количество спутников приходится на единичный объем пространства, где они летают. Ответ дайте в $1/\text{м}^3$;

В. Определите, какой объем пространства, где могут летать спутники, может видеть наблюдатель, находящийся на поверхности Земли. Ответ дайте в $1/\text{м}^3$;

Г. Оцените, какое количество околоземных спутников может видеть наблюдатель на поверхности Земли.

Справка: Разрежем шар радиуса R на две части. Одна из частей шара будет в форме «шапочки» (кусочек шара с плоским дном в виде круга) (см. рисунок).



Проведем от центра круга, получившегося при разрезе шара (точка C) перпендикуляр вверх. Пусть точка S – пересечение этого перпендикуляра с границей шара. Расстояние CS обозначим, как h (её можно назвать «высотой шапочки»). Тогда объем заштрихованной части шара («шапочки») может быть найден по формуле

$$V = \pi h^2 \left(R - \frac{1}{3}h \right)$$

Справка: Объем шара радиуса R может быть найден по формуле

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

Решение:

А. Обозначим расстояние от поверхности Земли до верхней и нижней границ, как $h_{\text{верх}}$ и $h_{\text{низ}}$ соответственно. Найдем объем пространства, в котором могут находиться спутники V_c . Для этого вычтем из объема большой сферы $V_{\text{верх}}$, ограниченной верхней границей высот для спутников (радиус $R_{\oplus} + h_{\text{верх}}$), объем малой сферы $V_{\text{низ}}$, ограниченной нижней границей высот для спутников (радиус $R_{\oplus} + h_{\text{низ}}$) (см. рисунок 1).

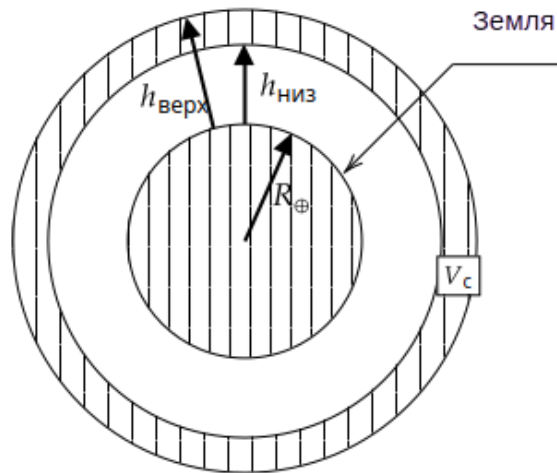


Рисунок 1. Пояснительный рисунок к задаче

$$V_c = V_{\text{верх}} - V_{\text{низ}} = \frac{4}{3}\pi \left((h_{\text{верх}} + R_{\oplus})^3 - (h_{\text{низ}} + R_{\oplus})^3 \right) =$$

$$\frac{4}{3}\pi ((1.33 \cdot 10^6 + 6.38 \cdot 10^6)^3 - (0.33 \cdot 10^6 + 6.38 \cdot 10^6)^3) = \underline{6.54 \cdot 10^{20} \text{ м}^3},$$

где $R_{\oplus} \approx 6.378 \cdot 10^6 \text{ м}$ — радиус Земли.

Б. Определим, какое количество спутников приходится на единичный объем пространства, в котором они летают (обозначим как n). Для этого поделим количество спутников N на объем, который эти спутники способны занимать (получили в пункте «А» ранее),

$$n = \frac{N}{V_c} = \frac{80000}{6.54 \cdot 10^{20}} = \underline{1.22 \cdot 10^{-16} \frac{1}{\text{м}^3}}$$

В. Определим, какой объем пространства виден наблюдателю V' . Для этого воспользуемся формулой для объема «шапочки» шара, приведенной в справке

условия задания. Сопоставим нашу задачу с приведенным в справке рисунком (см. рисунок 2).

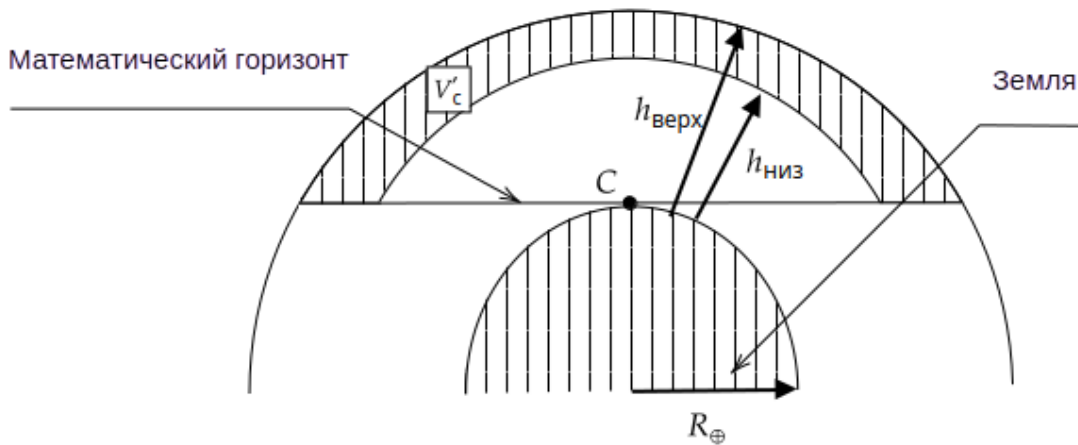


Рисунок 2. Пояснительный рисунок к задаче

На земле находится наблюдатель в точке C , у которого есть свой математический горизонт («дно части сферы»), ниже которого он ничего не видит. У наблюдателя есть направление на зенит (перпендикуляр к окружности вверх). Обозначим пересечение зенита с границей сферы, которая ограничивает спутники, как S . Расстояние CS («высота шапочки») представляет из себя ни что иное, как высоту над поверхностью Земли. Тогда действительно, справочная формула позволяет нам определить, какой объем способен видеть наблюдатель.

Посчитаем объем «шапочки» от большой сферы $V'_{\text{верх}}$ (радиус $R_{\oplus} + h_{\text{верх}}$, а «высота шапочки» $h_{\text{верх}}$) и объем «шапочки» от малой сферы $V'_{\text{низ}}$ (радиус $R_{\oplus} + h_{\text{низ}}$, а «высота шапочки» $h_{\text{низ}}$). Их разность даст нам объем пространства, в котором могут летать спутники и который способен видеть наблюдатель. Согласно справочной формуле, приведенной в условии задания,

$$V'_{\text{верх}} = \pi h_{\text{верх}}^2 \left(R_{\oplus} + h_{\text{верх}} - \frac{1}{3} h_{\text{верх}} \right) = \pi h_{\text{верх}}^2 \left(R_{\oplus} + \frac{2}{3} h_{\text{верх}} \right) =$$

$$\pi \cdot (1.330 \cdot 10^6)^2 \cdot \left(6,38 \cdot 10^6 + \frac{2}{3} \cdot 1.330 \cdot 10^6 \right) \approx 4,04 \cdot 10^{19} \text{ м}^3$$

$$V'_{\text{низ}} = \pi h_{\text{низ}}^2 \left(R_{\oplus} + h_{\text{низ}} - \frac{1}{3} h_{\text{низ}} \right) = \pi h_{\text{низ}}^2 \left(R_{\oplus} + \frac{2}{3} h_{\text{низ}} \right) =$$

$$\pi \cdot (0.330 \cdot 10^6)^2 \cdot \left(6,38 \cdot 10^6 + \frac{2}{3} \cdot 0.330 \cdot 10^6 \right) \approx 0,23 \cdot 10^{19} \text{ м}^3$$

$$V' = V'_{\text{верх}} - V'_{\text{низ}} = 4,04 \cdot 10^{19} - 0,23 \cdot 10^{19} = \underline{3,81 \cdot 10^{19} \text{ м}^3}$$

Г. Оценим, какое количество спутников приходится на объем пространства, полученного в пункте «В». В пункте «Б» в определили, какое количество спутников приходится на единичный объем пространства. Тогда искомое количество спутников N' может быть найдено по формуле

$$n = \frac{N'}{V'} \Rightarrow N' = nV' = 1,22 \cdot 10^{-16} \cdot 3,81 \cdot 10^{19} \approx \underline{4650}.$$

Итого, наблюдатель регулярно способен наблюдать в среднем 4650 спутников.

Критерии оценивания

Пункт задания	Содержание критерия	Балл
А	Приведена корректная формула для нахождения объема пространства, в котором могут летать спутники.	2
	Совершена арифметическая ошибка при корректной формуле ИЛИ Указаны неверные радиусы в формуле при отсутствии арифметической ошибки.	1
	<i>Необходимо обращать внимание на то, какие радиусы использует участник в своих формулах для расчета объема сфер. Если радиусы использованы неверные, например участник забывает учитывать радиус Земли, то такое решение удовлетворяет данному критерию и снимается указанное количество баллов.</i> <i>При том если участник корректно считает по неверной формуле из-за неверно указанных радиусов сфер, то это не считается арифметической ошибкой.</i> <i>Если при расчете радиуса сферы участник возводит в куб радиус Земли и высоту границ по отдельности, т.е.</i> $V_c = V_{\text{верх}} - V_{\text{низ}} = \frac{4}{3}\pi(h_{\text{верх}}^3 + R_{\oplus}^3 - h_{\text{низ}}^3 - R_{\oplus}^3),$ <i>то такую формулу считать целиком не правильной.</i>	
	Указаны неверные радиусы в формуле и присутствует арифметическая ошибка ИЛИ Отсутствует формула, похожая на корректную, в целом (другой показатель степени при радиусах, не те коэффициент и другое)	0

Б	Приведена корректная формула для оценки количества спутников на единичный объем пространства, где они летают.	2
	Совершена арифметическая ошибка при корректной формуле	1
	Отсутствует корректная формула для оценки количества спутников на единичный объем пространства, где они летают.	0
В	Получена корректная формула для расчета объема, который можно наблюдать.	2
	Совершена арифметическая ошибка при корректной формуле	1
	Отсутствует корректная формула для расчета объема, который можно наблюдать.	0
Г	Получены: - Правильная формула для определения количества спутников; - Правильное количество спутников. <i>Должна быть приведена не общая формула для нахождения «количества чего-то в единице объема», а формула для нахождения именно количества наблюдаемых спутников,</i> $n = \frac{N'}{V'} \text{ или } N' = nV'$ <i>Использование формулы именно в таком смысле должно быть явным, что может следовать, например, из введенных обозначений участником.</i>	2
	Совершена арифметическая ошибка при корректной формуле	1
	Отсутствует корректная формула для получения количества спутников, которые возможно наблюдать.	0
	Итого	8

Примечания к оцениванию

Если участник совершил арифметическую ошибку на одном из этапов решения задачи, то она может быть зачтена единственный раз. Допустим, что участник в пункте «Б» некорректно посчитал число спутников на единицу объема, при этом формула корректная,

$$n = \frac{N}{V_c} = \frac{80000}{6.54 \cdot 10^{20}} = \underline{8.88 \cdot 10^{-16} \frac{1}{\text{м}^3}}$$

Хотя $n = 1.22 \cdot 10^{-16} \frac{1}{\text{м}^3}$. Тогда эта ошибка считается арифметической и за пункт «Б» выставляется 1 балл. В свою очередь, если с учетом этой арифметической ошибки далее участник делает корректный расчет, например, в пункте «Г»,

$$n = \frac{N'}{V'} \Rightarrow N' = nV' = \underline{8.88 \cdot 10^{-16}} \cdot 3.81 \cdot 10^{19} \approx \underline{33832}.$$

То за пункт «Г» выставляется 2 балла.

Критерии оценивания в этой задаче отличаются от критериев оценивания в остальном комплекте. Засчитать баллы за выполнение пункта задания можно только один раз.

Некоторые возможные ошибки

Участник мог не учесть радиус Земли при расчете объема сфер из первого пункта задания. Тогда численные значения участника будут следующие:

$$V_{\text{верх}} = \frac{4}{3} \pi h_{\text{верх}}^3 = 9.85 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$$

$$V_{\text{низ}} = \frac{4}{3} \pi h_{\text{низ}}^3 = 0.15 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$$

$$V_{\text{с}} = V_{\text{верх}} - V_{\text{низ}} = 9.7 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$$

«Полная Луна сильно мешала наблюдениям. В бинокль рядом с ней удалось увидеть Альдебаран и Юпитер».

5 задание: Космический маяк (8 баллов)

С Земли наблюдаются два космических маяка, причем маяки производят короткий импульс точно каждый час. Солнце лежит на отрезке между маяками. В момент, когда Земля ложится на отрезок между маяками максимумы импульсов от двух объектов начинают приходить одновременно. Из наблюдений известны расстояния до маяков в этой конфигурации: у первого — d_1 , а у второго — d_2 . Какая будет задержка между максимумами двух импульсов через полгода? Постройте график зависимости обоих сигналов от времени, когда стала наблюдаться задержка, на одном графике на протяжении трёх периодов. Форма импульсов может быть произвольной, но промежутки времени должны соответствовать полученной задержке.

Решение:

1. Из учета конечности скорости света можно получить время, необходимое сигналу, чтобы дойти от источника до наблюдателя на Земле $T = \frac{d}{c}$.

Задержка выразится как $\Delta T = \frac{d'_1 - d'_2}{c} - \frac{d_1 - d_2}{c} = \frac{(d_1 + \Delta d_1) - (d_2 + \Delta d_2)}{c} - \frac{d_1 - d_2}{c} = \frac{\Delta d_1 - \Delta d_2}{c} + (m' - m)T_{\text{маяка}},$

так как следует учесть, что задержка «видит» только остаток, меньший чем целое количество периодов. Так например нулевая задержка на самом деле имеет следующий смысл: $mT_{\text{маяка}} = \frac{d_1 - d_2}{c}$, будем пока вычислять разницу в одинаковое количество периодов $m = m'$, тогда $\Delta T = \frac{\Delta d_1 - \Delta d_2}{c}$, а изменения в расстояниях, как видно из рисунка — на большую ось орбиты, но с разными знаками: $\Delta d_1 = 2a$; $\Delta d_2 = -2a$, где a — большая полуось орбиты земли. Значит разница во времени прихода получается $\Delta T = \frac{4a}{c}$. Подставляя табличные значения $\Delta T = \frac{4 \cdot 149.6 \cdot 10^9 \text{ м}}{2.998 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}} \approx 1996 \text{ с} \approx 0.55 \text{ часа}$. Полученное значение меньше, чем 1 период, равный часу, значит, предположение было правильным. Если бы задержка была больше периода, то следовало бы вычесть целое количество периодов, пока значение не стало бы меньше периода. В решении предполагается, что d_2 — расстояние до маяка за Солнцем, если смотреть с Земли, а второе расстояние — до маяка по другую сторону от Солнца, если смотреть с Земли.

2. Далее приведены рисунки, иллюстрирующие схематичные графики зависимости сигналов от времени и соответствующие им линейные конфигурации. На наших рисунках источник с индексом 2 соответствует красному цвету и начинает приходить раньше (на полученное положительное время задержки 0,55 часа). Поскольку сигнал периодичный, то мы не различаем разные периоды и можем привязаться к более «позднему сигналу», тогда наша задержка будет: 1 час — 0,55 часа = 0,45 часа.

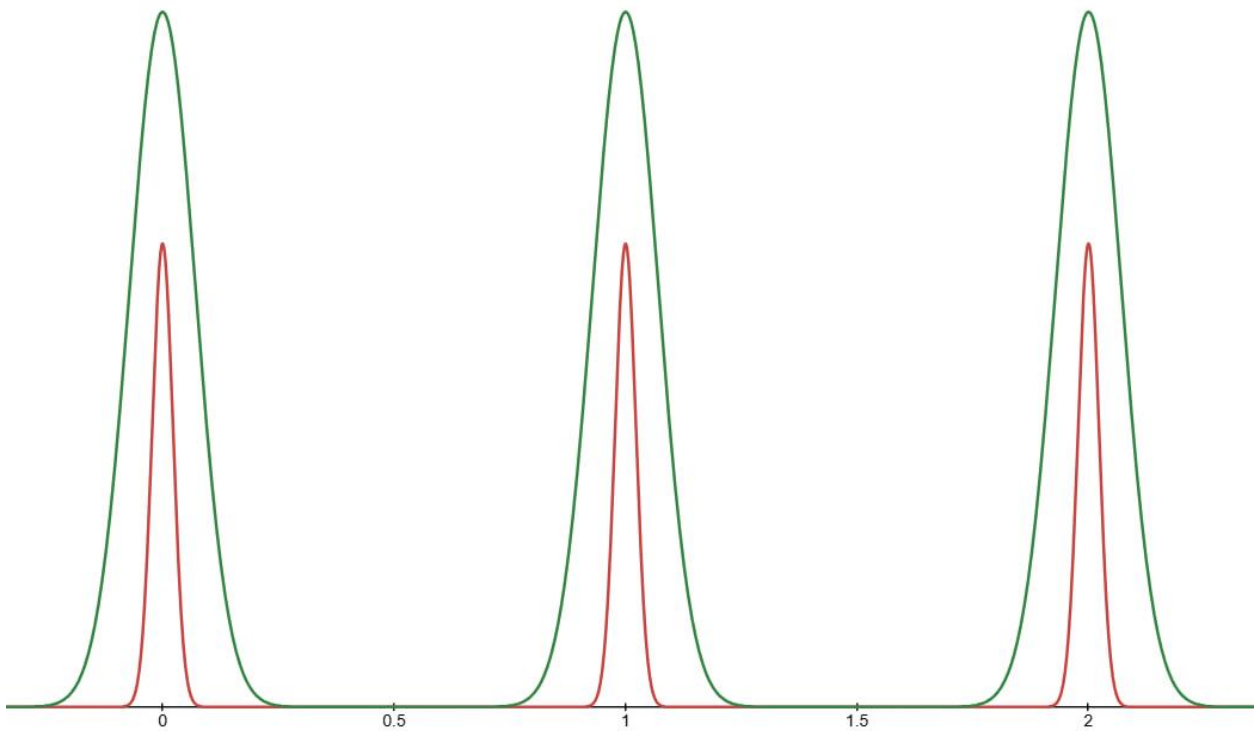


Рисунок 1. Пример рисунка трех последовательных импульсов. На данном рисунке красным цветом построен график зависимости сигнала второго источника, а зеленым – первого.

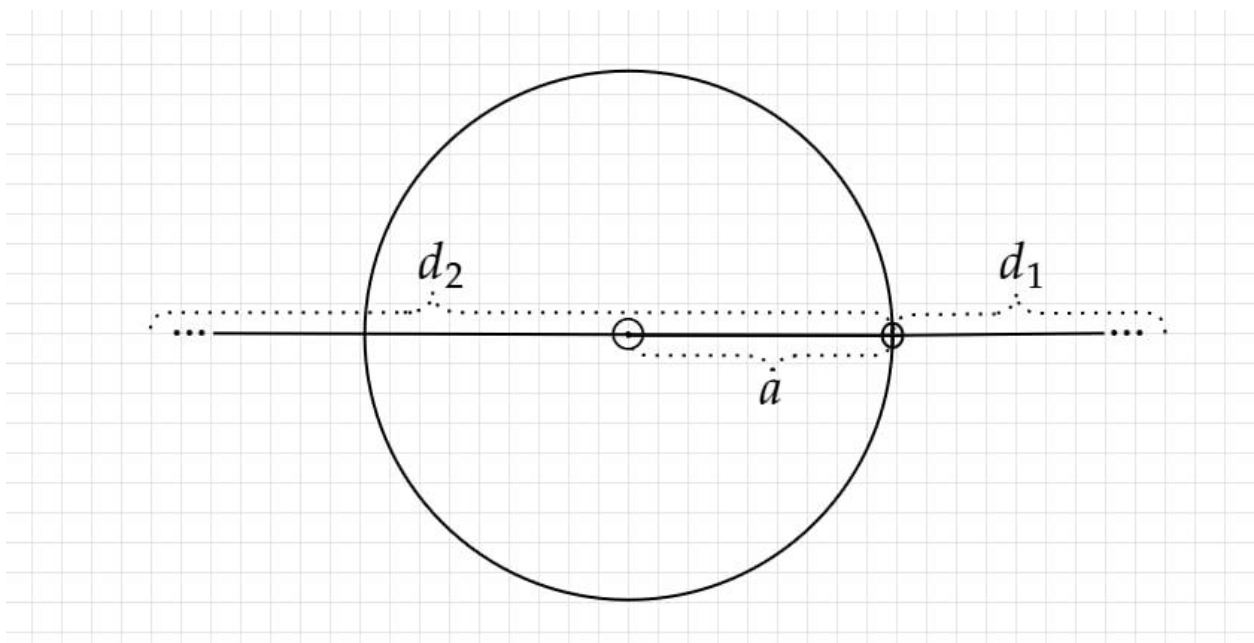


Рисунок 2. Первая конфигурация, когда импульсы начали приходить одновременно

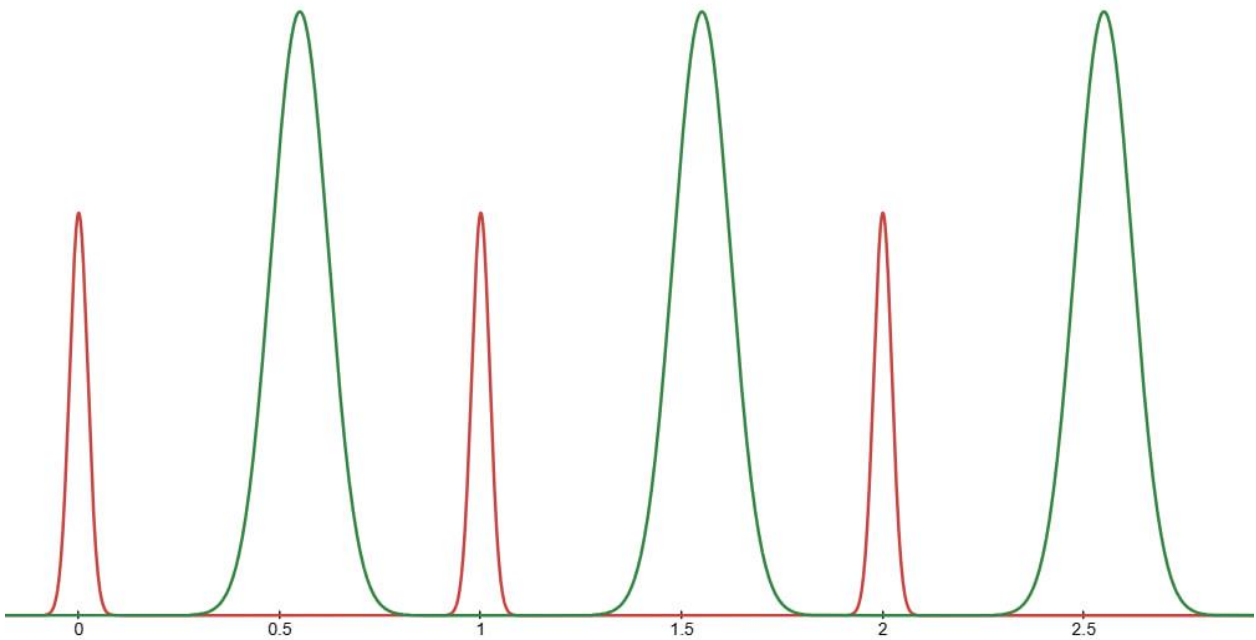


Рисунок 3. График зависимости сигналов во второй конфигурации. На данном рисунке красным – второй источник, а зеленым – первый. В случае если 0 начинается с первого источника, то вторые должны начинаться с 0.45 а не 0.55.

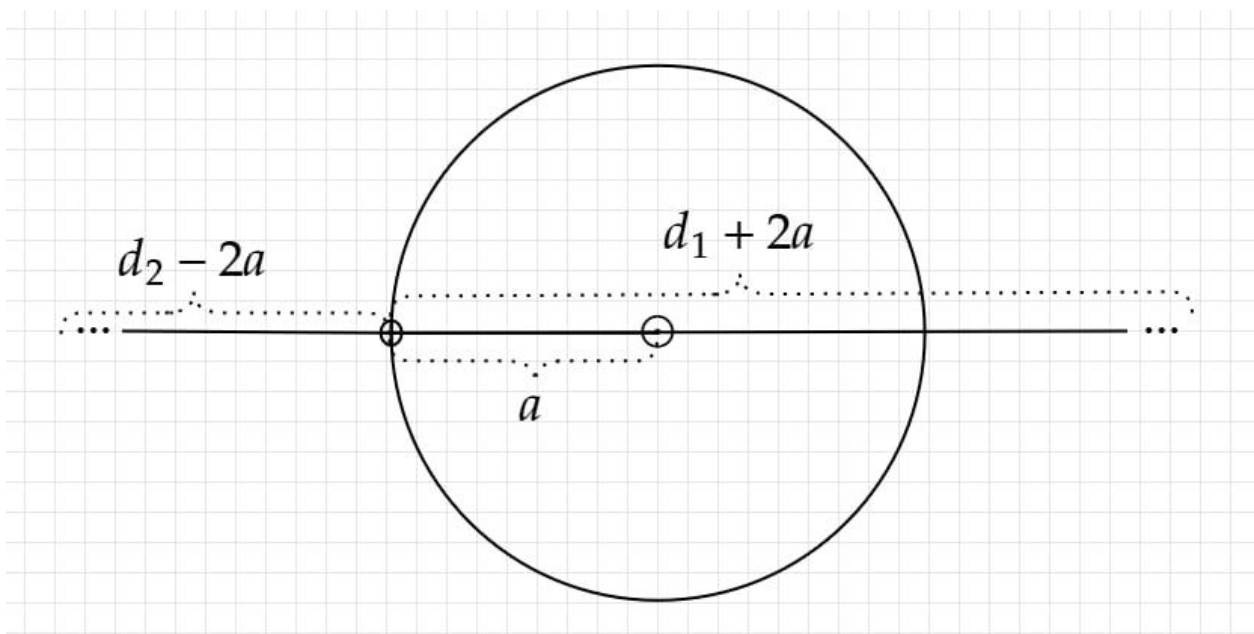


Рисунок 4. Вторая конфигурация через полгода, когда сигналы стали приходить с задержкой и пример рисунка трех последовательных импульсов

Не обязательно, чтобы импульсы были именно таких отношений высот и имели такие же профили, однако важно, чтобы в рисунке была отражена постоянность задержки во времени и неизменность профиля импульсов.

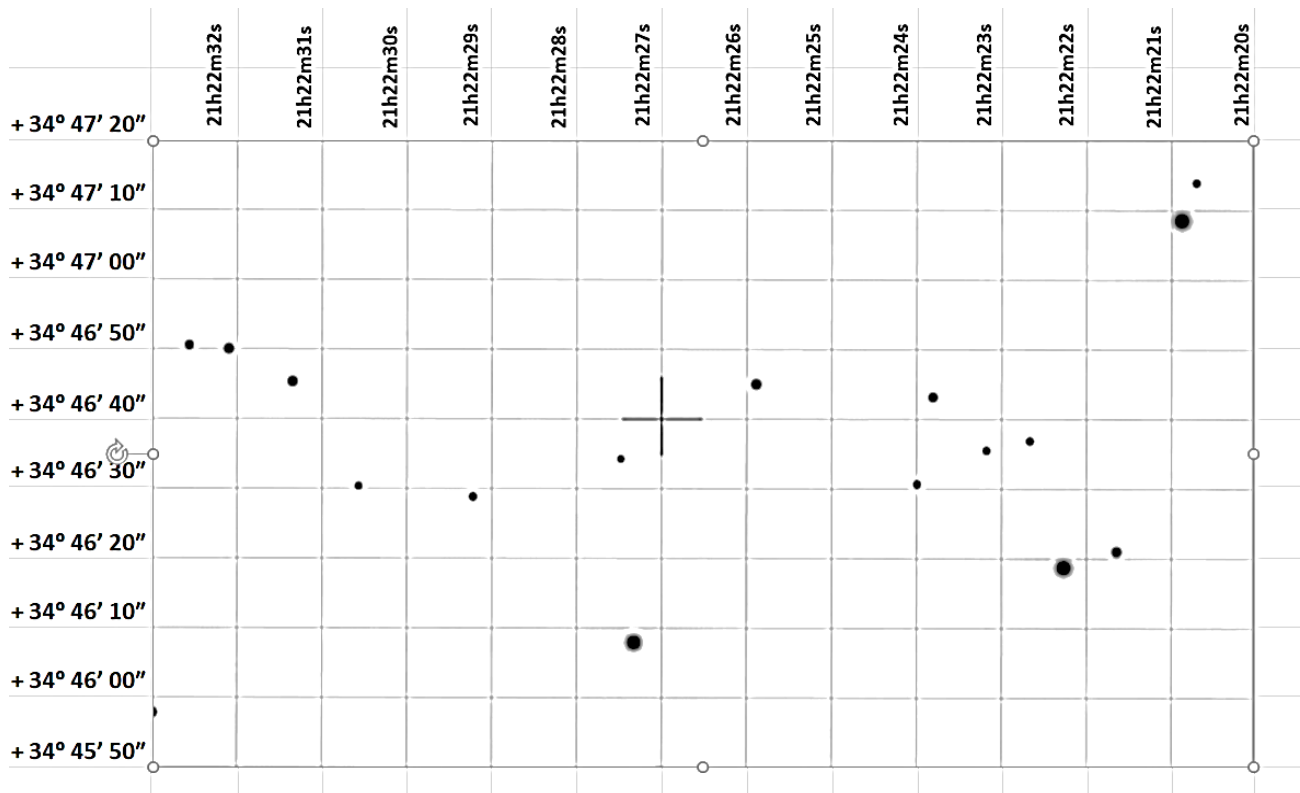
Критерии

Пункт задания	Содержание	Балл
А	Либо явно явно, либо где-либо в соображениях фигурирует конечность скорости света, что эквивалентно формуле $T = \frac{d}{c}$	1
	Из логических рассуждений или рисунка найдены изменения в расстояниях, причем нет ошибки в знаках – тот что ближе отдалился, а тот что дальше – приблизился.	2
	Получена формула для задержки через справочные данные, либо результат для задержки совпадает	2
Б	Построено два разных графика и на каждом вычленяется два разных сигнала.	1
	Ось времени подписана, а расстояние между максимумами в первой конфигурации – 0, а во второй – совпадает с ответом (если оси не подписаны, то в случае правильности первой конфигурации – только 1 балл)	2
Итого		8

Примечание: Стоит заметить, что отрицательные значения в данном случае некорректны т.к. требуется задержка, однако если брать разницу времени между приходами второго и первого, а не первого и второго как в решении, то получится отрицательное значение. Просто указанное отрицательное значение верным не считается, но если к нему прибавить один период и получить $T - \Delta T \approx 0.45$, то ответ считается верным т.к. в условии не уточнено задержка между какими сигналами берется (какой из них первый).

6 задание: Утечка кислорода (8 баллов)

В одном из отсеков космического корабля происходит утечка кислорода. Обнаружат её и перекроют только через час. На рисунке приведён вид из кабины навигатора корабля. Чёрным крестом обозначено текущее направление полёта корабля. В точку с какими координатами будет двигаться корабль, когда удастся устранить проблему? Корабль движется со скоростью $1/3$ с (с — скорость света в вакууме). Струя газа направлена под углом 120° вправо (отсчитывается от направления вверх, по часовой стрелке) в плоскости рисунка (перпендикулярно движению корабля). Полная скорость, получаемая за всё время за счёт утечки, равна 60 км/с.



Решение:

1. Для начала нужно определиться с тем, в какую сторону будет направлен вектор скорости, получаемый за счёт утечки кислорода с корабля. Поскольку струя газа направлена под углом в 120° вправо от направления вверх, по часовой стрелке, то вектор скорости будет направлен в противоположную сторону (по закону сохранения импульса) — под углом $\theta = 60^\circ$, отсчитывая от направления вверх, против часовой стрелки (рисунок 1).

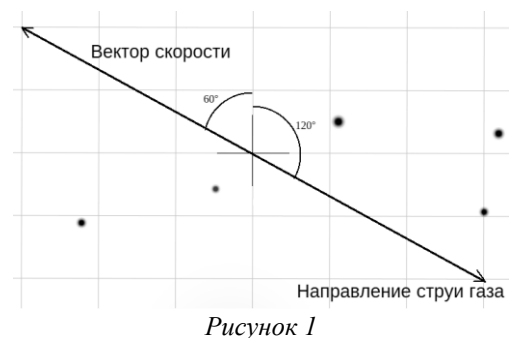


Рисунок 1

2. Вычислим угол ω на который сместится проекция направления движения корабля за час полёта. Он будет равен отношению скоростей, развиваемых кораблём (рисунок 2):

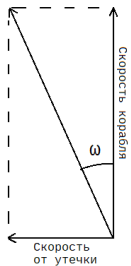
$$\omega = \arctg\left(\frac{V}{V_0}\right) \approx 124'',$$

где V — скорость получаемая за счёт утечки, V_0 — скорость корабля.

Небесная сфера

3. Осталось вычислить координаты нового направления движения корабля.

Поскольку угол смещения корабля довольно мал, то можно воспользоваться плоским случаем. Для начала найдём на сколько сместится корабль в проекции на оси координат (Рисунок 3):



$$\Delta\alpha = \omega \sin(\theta) \approx 107'' \approx 7^s,$$

$$\Delta\delta = \omega \cos(\theta) \approx 62''.$$

Тогда новые координаты будут равны:

$$\alpha' = \alpha + \Delta\alpha = 21^h 22^m 34^s,$$

$$\delta' = \delta + \Delta\delta = 34^\circ 47' 42'',$$

Рисунок 2

где α и δ — начальные координаты проекции направления движения корабля. Найти их можно из рисунка задачи и они равны $21^h 22^m 27^s$ и $34^\circ 46' 40''$ соответственно.

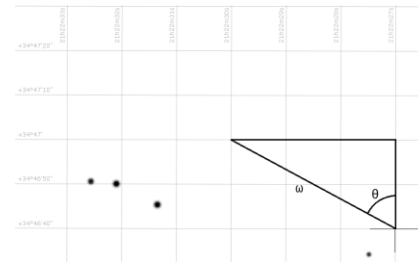


Рисунок 3

Также стоит отметить, что проекция смещения по прямому восхождению не является проекцией на большой круг небесной сферы (является проекцией на суточную параллель). Поэтому, в решении возможно уточнение значений $\Delta\alpha$ в виде: $\Delta\alpha_0 = \Delta\alpha / \cos(\delta') \approx 9^s$, где $\Delta\alpha_0$ — проекция изменения положения курса, отсчитываемая по большому кругу склонений. Данное решение тоже считать верным.

Критерии оценивания

Пункт решения	Содержание критерия	Балл
1	Верно определено в какую сторону сместится проекция направления движения корабля на небесную сферу (явно или косвенно).	1
	Верно вычислен угол, определяющий направление вектора скорости, получаемого за счёт утечки кислорода (явно или косвенно).	1
2	Высказано предположение, что угол ω , на который сместится проекция направления движения корабля, зависит от отношения скоростей. Либо получена формула для вычисления угла ω (явно или косвенно).	1
	Получено верное значение угла ω . Если представлено решение в общем виде, то есть без промежуточных вычислений, то считать критерий выполненным при наличии правильного окончательного ответа.	1
3	Высказано предположение о возможности использования плоского случая.	1
4	Получены верные уравнения для вычисления значений смещения по осям координат.	1
	Получено верное значение смещений по осям координат. Если представлено решение в общем виде, без промежуточных вычислений, то считать критерий выполненным при наличии правильного окончательного ответа.	1
5	Получен верный ответ	1
Итого:		8