



**ЗОЛОТОЕ
СЕЧЕНИЕ**

ФОНД ПОДДЕРЖКИ
ТАЛАНТЛИВЫХ ДЕТЕЙ
И МОЛОДЕЖИ

ВС{ }Ш

**Разбор заданий муниципального этапа
всероссийской олимпиады школьников
по астрономии для 11 классов
2025/2026 учебного года
в Свердловской области**

**Разработчик –
Симонов Евгений Евгеньевич,
член РПМК,
студент МГУ**



Задание 1: Кто старое помянет...

В таблице вам предложены 8 событий в истории астрономии.

А. Событие под каким номером произошло позже всех нижеперечисленных?

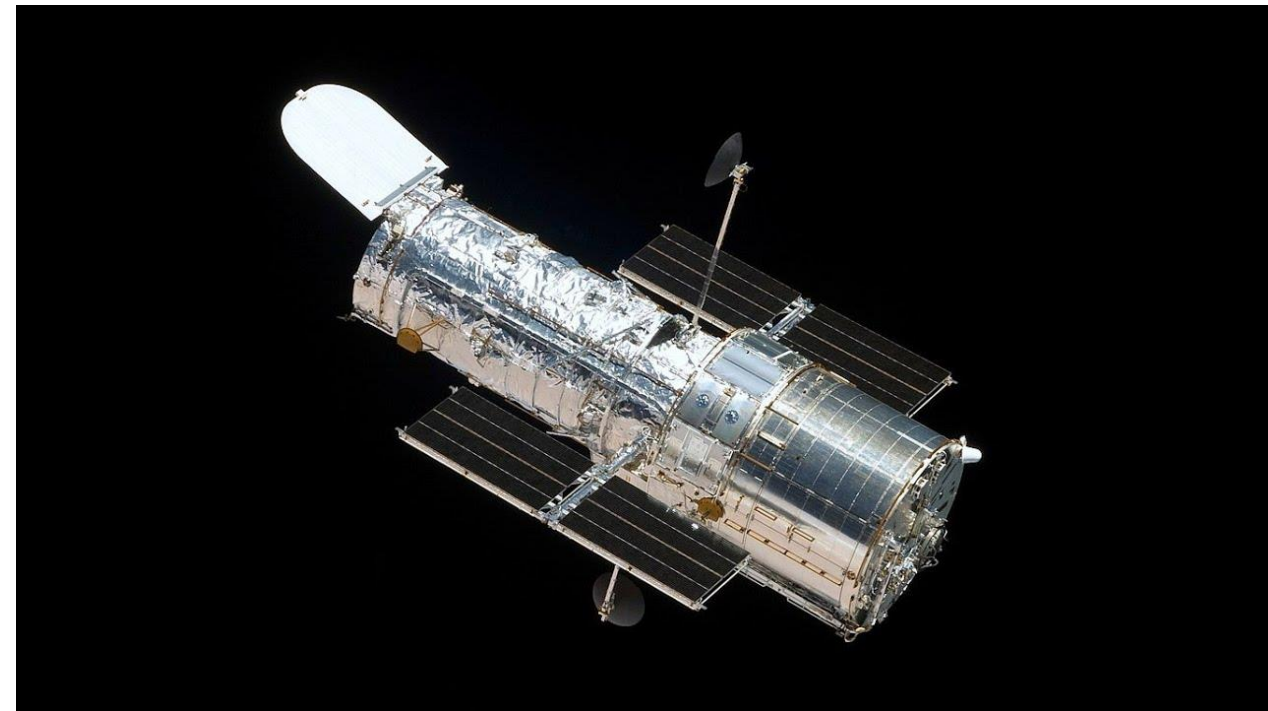
Б. Событие под каким номером произошло раньше всех нижеперечисленных?

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 <u>Гроутом</u> Ребером
8	Создание классической механики Исааком Ньютоном

А. Какое событие произошло позже всех перечисленных?

Запуск космического телескопа имени Хаббла, стоивший около 6 млрд долларов, компиляции большого числа технологий и коллаборации огромного числа ученых, инженеров и конструкторов, появился явно позже всех остальных событий



Б. Какое событие произошло раньше всех остальных?

Создание первого телескопа Галилео Галилеем и последующие телескопические наблюдения Луны, планет и их спутников - одно из ключевых событий XVII века, пошатнувших геоцентрическую систему мира, что господствовала столетиями. Астрономия невозможна без наблюдений, и Галилео впервые сделал эти наблюдения "вооруженными".



В. Расположите события в хронологическом порядке

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). Радионаблюдения (7) появились позже спектрального анализа (5), а он - позже фотографии самого Солнца (2). Таким образом, ответ - 41862573.

В. Расположите события в хронологическом порядке

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 <u>Гроутом</u> Ребером	1937
Запуск космического телескопа имени Хаббла	1990

Задание 2: Математическая система.

Вокруг далёкой звезды обращается одна землеподобная экзопланета. Известно, что радиус её орбиты составляет π а.е., а десятичный логарифм (логарифм по основанию 10) отношения массы звезды к массе Солнца равен 1. Найдите период обращения планеты вокруг звезды.



Воспользуемся 3 законом Кеплера и сравним
экзопланетную систему и систему Земля-Солнце:

$$\frac{T_1^2(M_1+m_1)}{a_1^3} = \frac{T_2^2(M_2+m_2)}{a_2^3}.$$

Массой планеты в обоих случаях можно пренебречь, поскольку она
намного меньше массы звезды. Найдём массу звезды через свойства
логарифма:

$$\log_{10} \frac{M_s}{M_{\odot}} = 1$$

$$\frac{M_s}{M_{\odot}} = 10$$

Подставляем данные в третий закон Кеплера и выражаем период:

$$\frac{T_{exo}^2 M_s}{a_{exo}^3} = 1 \frac{\text{год}^2 \cdot M_{\odot}}{\text{а.е.}}$$

$$T_{exo} = \sqrt{\frac{a^3}{M_s}} = \sqrt{\frac{\pi^3}{10}} \approx 1,76 \text{ лет.}$$

3 задание: Лунный Хаббл

Телескоп Хаббл
обращается вокруг Земли на
высоте 545 км. Диаметр его
зеркала составляет 2,4 м.
Считайте, что Хаббл делает
снимки в видимом диапазоне
излучения.



А. Оцените наименьшее возможное расстояние между телескопом и поверхностью Луны.

Для точной оценки нужно учесть эллиптичность орбиты Луны, радиусы Земли, Луны и орбиты телескопа. Перигейное расстояние для Луны составляет 356410 км, тогда расстояние до поверхности Луны составит $356410 - 6378 - 1738 - 550 = 347740$ км, однако такая точность для оценки излишняя.

Б. Оцените угловое разрешение телескопа.

Для определения возможности разрешения модуля на Луне используем критерий Рэля для углового разрешения телескопа:

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

где D – диаметр телескопа, λ – длина волны. Поскольку Хаббл делает снимок в видимом диапазоне излучения, то для оценки можно взять длину волны из интервала от 400 нм до 700 нм. Проведем оценку для середины этого диапазона – 550 нм. Вычислим угловое разрешение телескопа Хаббл:

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D} = 1,22 \frac{550 \cdot 10^{-9}}{2,4} = \underline{2,8 \cdot 10^{-7} \text{ рад} = 0.058''}$$

В. Определите, сможет ли Хаббл разрешить модуль миссии Аполлон на поверхности Луны, как протяжённый объект?

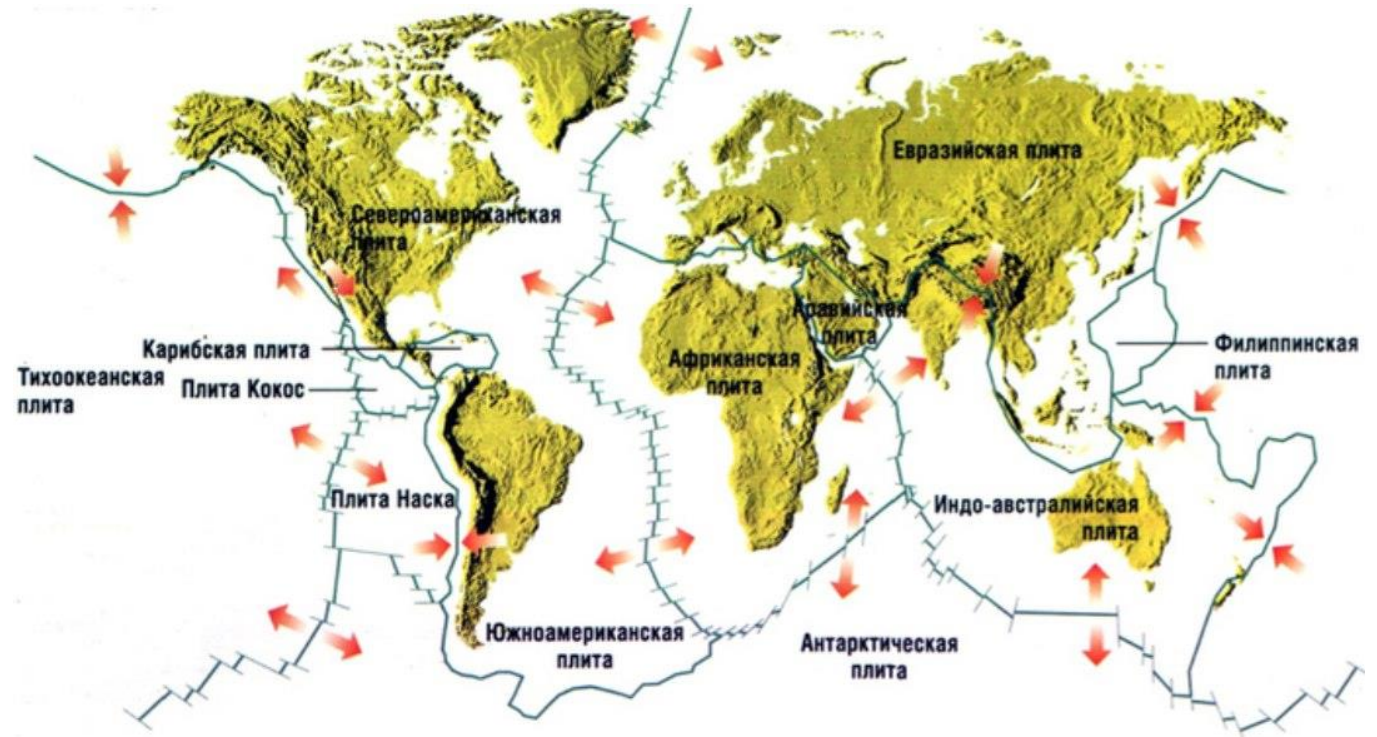
Минимальный размер объекта на поверхности Луны, который можно разрешить, как протяжённый, равен

$$d = L \cdot \theta = 3,5 \cdot 10^8 \cdot 2,8 \cdot 10^{-7} \approx \underline{100\text{м}}$$

Полученный минимальный размер необходимый для того, чтобы разрешить что-либо, как протяженный объект, больше любого лунного модуля, размеры которых составляют около 4-5 метров. Таким образом, Хаббл не сможет различить лунный модуль миссии Аполлон.

4 задание: Тектоник

Из-за движения тектонических плит обсерватория, находящаяся в северном полушарии, смещается на север со скоростью 4 см в год.



А. Определите, увеличивается или уменьшается широта наблюдателя? Чему равна скорость изменения широты?

Поскольку обсерватория находится в северном полушарии и движется на север, широта наблюдателя положительная и увеличивается. Найдём скорость изменения широты. Мы можем рассматривать движение обсерватории на тектонической плите, как равномерное вращение обсерватории вокруг Земли со скоростью движения тектонической плиты. Значит, скорость изменения широты (угловая скорость) может быть выражена через линейную скорость, как

$$\mu = \frac{v}{R_{\oplus}} = \frac{4 \cdot 10^{-2}}{6.378 \cdot 10^6} = \underline{6.3 \cdot 10^{-9} \frac{\text{рад}}{\text{год}}}$$

где v – это скорость движения тектонической плиты, а $R_{\oplus}$ – радиус Земли.

Б. С какой скоростью меняется модуль высоты верхней кульминации очень далекой галактики, наблюдаемой из этой обсерватории?

Высота верхней кульминации определяется, как

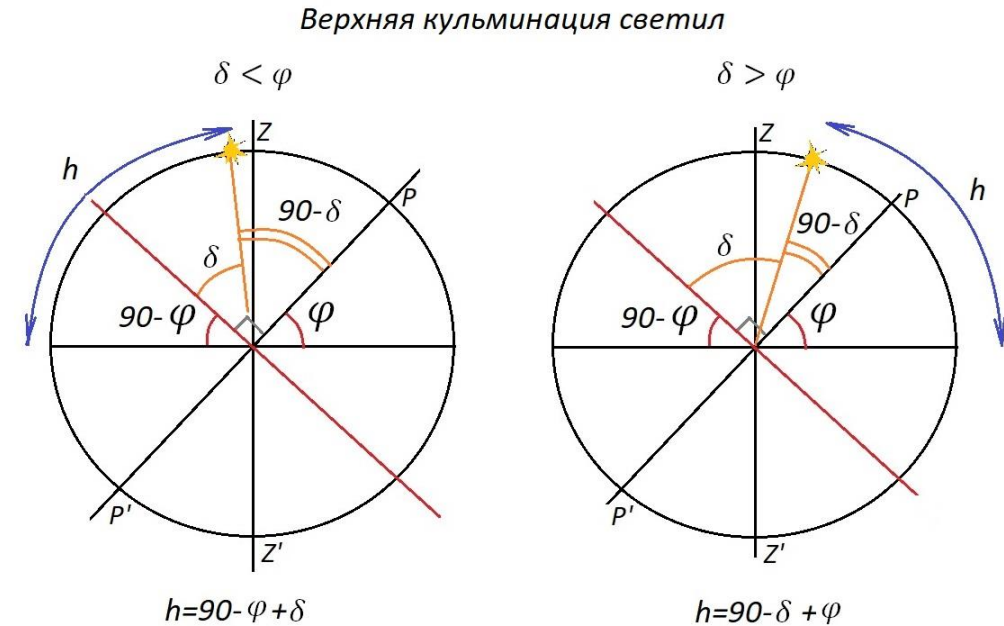
$$h_{\uparrow} = 90 - |\varphi - \delta|,$$

склонение далёкой галактики не меняется, а значит, высота верхней кульминации линейно зависит от широты и меняется с той же скоростью, что и широта.

В. Можно ли с уверенностью сказать, уменьшается или увеличивается высота верхней кульминации? Объясните свой ответ.

Поскольку нам неизвестно склонение галактики и начальная широта обсерватории, модуль в формуле верхней кульминации может раскрыться как с плюсом, так и с минусом, поэтому нельзя сказать, увеличивается или уменьшается высота верхней кульминации

$$h_{\uparrow} = 90 - |\varphi - \delta|$$



5 задание: Перехваченный сигнал

Во вселенной книги "Дюна" для межзвёздных перелетов использовались транспортные кольца. Последнее транспортное кольцо «Сигма» лежит в галактической плоскости с центром, совпадающим с центром Галактики. «Сигма» разгоняет корабли до скорости $V=10000$ км/с, после чего в кольце открывается шлюз, из которого корабли вылетают, сохраняя набранную скорость по модулю и направлению. Разогнанные аппараты после вылета сразу посылают сообщение.



А. Сообщения передаются на длине волны, равной в лабораторной системе отсчета 21,106 см (соответствует излучению нейтрального водорода). Определите частоту излучения, на которой передаются сообщения, в лабораторной системе отсчёта. Ответ выразите в МГц.

А. Переведем длину волны нейтрального водорода λ_0 в частоту ν_0 . Для света связь линейной частоты и длины волны

$$\nu_0 = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{0,21106 \text{ м}} = \underline{1420 \text{ МГц}},$$

где $c = 2.998 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ – скорость света.

Б. Обсерватория зафиксировала на угловом расстоянии от центра Галактики $l=20$ градусов излучение от корабля с частотой $\nu=1452$ МГц. Корабль приближается или отдаляется от наблюдателя? Объясните свой ответ. Определите градусную меру угла между лучом зрения и скоростью корабля.

Изменение частоты сигнала происходит вследствие эффекта Доплера. Частота излучения, фиксируемая обсерваторией, будет больше частоты в лабораторной системе отсчета, если корабль движется в сторону наблюдателя. В противном случае, если бы частота была меньше, то это бы указывало на удаление корабля от обсерватории. Так как $\nu_0 < \nu$, то корабль должен приближаться к наблюдателю.

По эффекту Доплера можно найти лучевую скорость V_r , используя формулу

$$\frac{v-v_0}{v_0} = \frac{V_r}{c}$$

Откуда

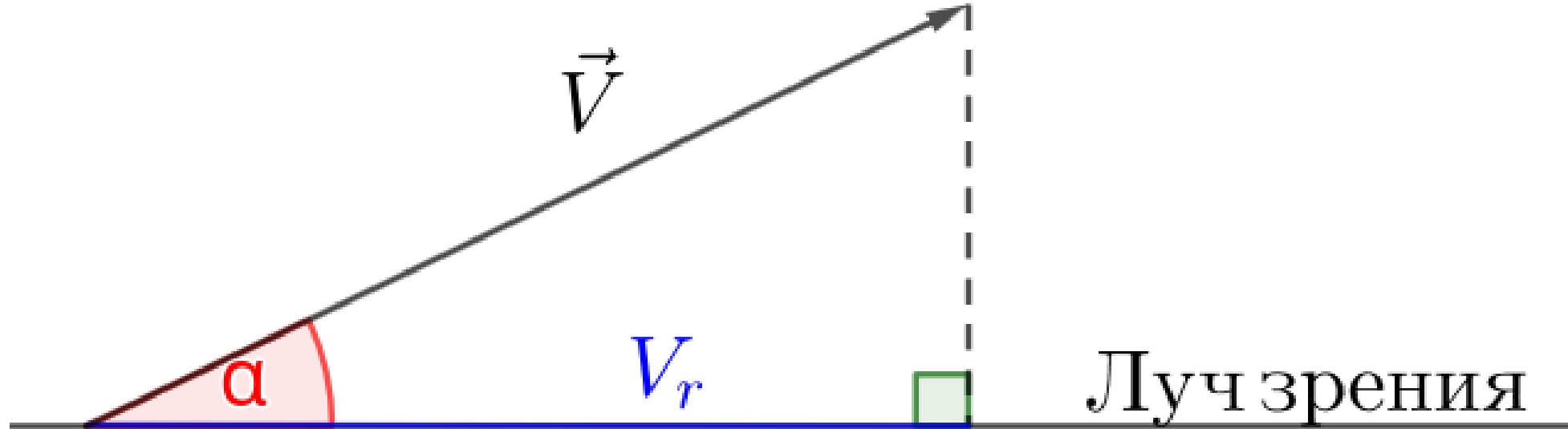
$$V_r = \frac{v-v_0}{v_0} c = \frac{1452 \text{ МГц} - 1420 \text{ МГц}}{1420 \text{ МГц}} \cdot 2.998 \cdot 10^5 \text{ км/с} = 6760 \text{ км/с}.$$

Как видим, проекция на луч зрения меньше заявленной скорости в условии задачи. Это означает, что корабль летит не строго в направлении наблюдателя, а под углом к лучу зрения.

Обозначим угол между скоростью и лучом зрения α . Из определения проекции ясно (см. рисунок 1), что

$$\frac{V_r}{V} = \cos \alpha \Rightarrow \alpha = \arccos \frac{V_r}{V} = \arccos \frac{6760 \text{ км/с}}{10000 \text{ км/с}} = \underline{47,5^\circ}.$$





В. Обсерватория находится в плоскости Галактики с расстоянием от центра $R_0=10$ кпк. Сделайте рисунок, указав на нём транспортное кольцо, центр Галактики, обсерваторию, возможные положения корабля, угол / и направления скоростей корабля. Определите радиус R этого кольца. Ответ выразите в килопарсеках (кпк). Считайте, что обсерватория является внешней по отношению к транспортному кольцу ($R_0 > R$).

Построим окружность транспортного кольца и отметим центр Галактики (O), нашу обсерваторию (G), два возможных положения корабля (S_1 и S_2), угловое расстояние между центром Галактики и кораблём l, а также направления скоростей корабля (см. рисунок 2). Заранее нам неизвестно, в какой точке пересечения кольца и луча зрения вышел корабль, поэтому необходимо рассмотреть два случая.

Скорость корабля направлена по касательной к окружности кольца (касательная перпендикулярна радиусу, проведённому к точке касания).

Рассмотрим два треугольника OS_1G и OS_2G (они соответствуют двум возможным положениям корабля). Из теоремы синусов для каждого треугольника запишем два соотношения:

$$\frac{OS_1}{\sin \sin l} = \frac{OG}{\sin \sin (90^\circ + \alpha)} \text{ для треугольника } OS_1G;$$

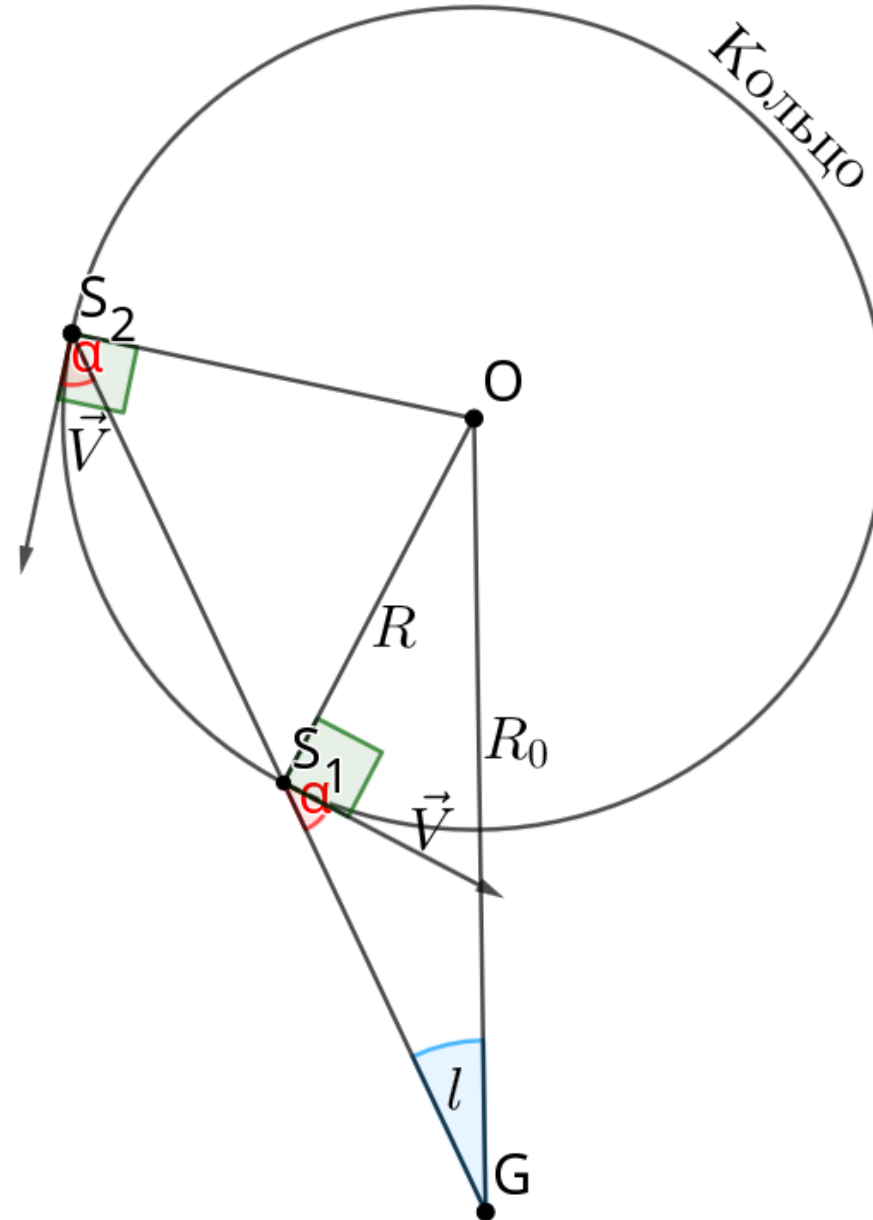
$$\frac{OS_2}{\sin \sin l} = \frac{OG}{\sin \sin (90^\circ - \alpha)} \text{ для треугольника } OS_2G.$$

Обратим внимание, что данные формулы полностью эквивалентны. Действительно, $OS_1 = OS_2 = R$, а из формул приведения для синусов

$$\sin \sin (90^\circ + \alpha) = \sin \sin (90^\circ - \alpha) = \cos \cos \alpha.$$

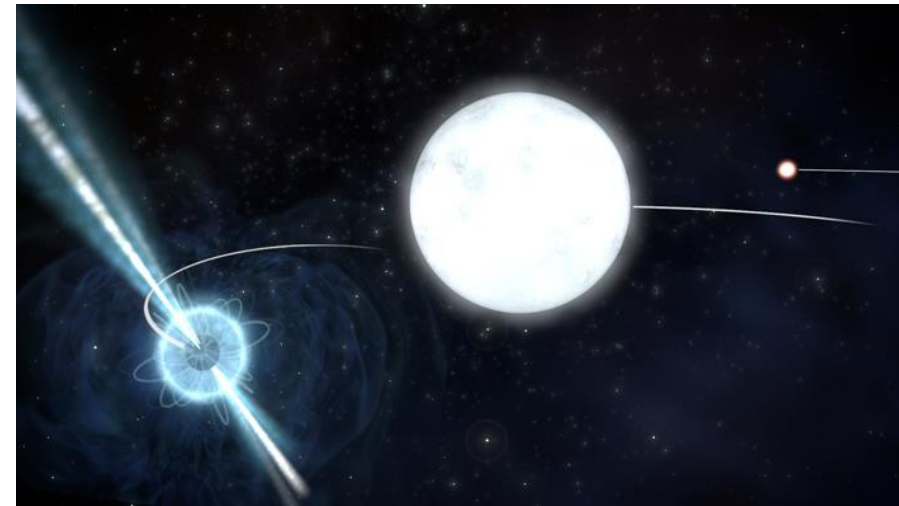
Тогда мы получаем для обоих случаев эквивалентные формулы для нахождения радиуса транспортного кольца,

$$\frac{R}{\sin \sin l} = \frac{R_0}{\cos \cos \alpha} \Rightarrow R = \frac{\sin \sin l}{\cos \cos \alpha} R_0 = \frac{\sin \sin 20^\circ}{\cos \cos 47,5^\circ} \cdot 10 \text{ кпк} = \underline{\underline{5.1 \text{ кпк}}}$$



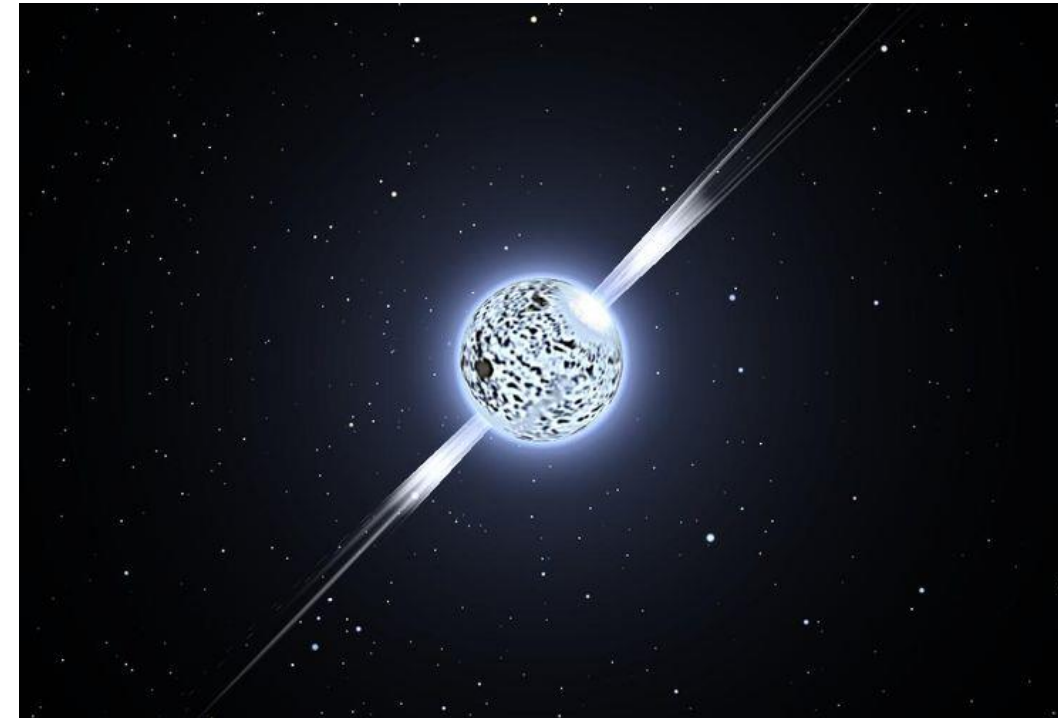
6 задание: Полярное сияние погибших звёзд

Существует необычные тесные двойные звезды, которые состоят из двух компонент: нормальной звезды и компактного объекта. Их необычность заключается в том, что вещество с нормальной звезды может перетекать на компактный объект, тем самым разогревая его. В качестве таких объектов могут выступать так называемые белые карлики (БК) и нейтронные звезды (НЗ). Предполагая, что массы компактных объектов одинаковы и равны 1,3 массы Солнца ($M_{БК} = M_{НЗ} = 1,3M$), радиус белого карлика равен радиусу Земли ($R_{БК} = R_{Земли}$), а радиус нейтронной звезды равен 10 км ($R_{НЗ} = 10\text{ км}$), дайте ответ на следующие вопросы:



А. Малый элемент вещества массы $\Delta m = 1 \text{ кг}$ находится на очень большом расстоянии от компактного объекта и покоится относительно него.

В какой-то момент из состояния покоя этот элемент начинает падать на объект. На поверхность какого из объектов элемент упадёт с большей кинетической энергией: на белый карлик или на нейтронную звезду? Объясните свой ответ. Определите кинетическую энергию в обоих случаях.



Гравитационная потенциальная энергия сферически распределённой массы и малого элемента вещества Δm :

$$U_{\text{гр}}(r) = \frac{-GM\Delta m}{r}.$$

Запишем закон сохранения энергии для объекта и элемента массы, где в начальный момент времени расстояние равно r , а в конечный момент времени расстояние равно радиусу объекта (от центра объекта до поверхности, на которую падает элемент):

$$E_{\text{кин}} + U_{\text{гр}}(R) = U_{\text{гр}}(r),$$

$$E_{\text{кин}} - \frac{GM\Delta m}{R} = - \frac{GM\Delta m}{r}.$$

Поскольку по условию расстояние до элемента очень большое, а объекты компактные ($r \gg R$), то правой частью в уравнении можно пренебречь. Тогда

$$E_{\text{кин}} = \frac{GM\Delta m}{R}$$

Для белого карлика и нейтронной звезды подставим соответствующие радиусы:

$$E_{\text{БК}} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 1,3 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \cdot 1 \text{ кг}}{6,4 \cdot 10^6 \text{ м}} = \underline{2,7 \cdot 10^{13} \text{ Дж}};$$

$$E_{\text{НЗ}} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 1,3 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \cdot 1 \text{ кг}}{10^4 \text{ м}} = \underline{1,7 \cdot 10^{16} \text{ Дж}}.$$

Б. На компактный объект каждую секунду приходит большое количество малых элементов вещества

суммарно за секунду на компактный объект падает 10^{14} кг. Эту величину будем называть притоком вещества (J), тогда $J = \Delta m / \Delta t = 10^{14}$ кг/с. Предположим, что вся кинетическая энергия вещества при ударе о поверхность переходит в энергию излучения. Оцените для белого карлика и нейтронной звезды мощность выделяющегося излучения (светимость), связанную с падением вещества. Ответ дайте в единицах светимости Солнца L .

Светимости (мощности выделяющегося излучения) – это энергия, которая высвечивается за промежуток времени Δt . Тогда по определению имеем

$$L = \frac{E_{\text{изл}}}{\Delta t}$$

Также по условию задачи вся кинетическая энергия переходит в энергию излучения ($E_{\text{кин}} = E_{\text{изл}}$), а значит, учитывая найденное выражение для кинетической энергии в пункте «А», получим

$$L = \frac{E_{\text{изл}}}{\Delta t} = \frac{E_{\text{кин}}}{\Delta t} = \frac{GM}{R} \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{GM}{R} J.$$

Подставим числа для двух объектов, разделив на светимость Солнца ($L_{\odot} = 3,8 \cdot 10^{26}$ Вт):

$$\frac{L_{\text{БК}}}{L_{\odot}} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 1,3 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \cdot 10^{14} \frac{\text{кг}}{\text{с}}}{6,4 \cdot 10^6 \text{ м} \cdot 3,8 \cdot 10^{26} \text{ Вт}} = \frac{2,7 \cdot 10^{27} \text{ Вт}}{3,8 \cdot 10^{26} \text{ Вт}} = 7,1;$$

$$\frac{L_{\text{НЗ}}}{L_{\odot}} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 1,3 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \cdot 10^{14} \frac{\text{кг}}{\text{с}}}{10^4 \text{ м} \cdot 3,8 \cdot 10^{26} \text{ Вт}} =$$

$$\frac{1,7 \cdot 10^{30} \text{ Вт}}{3,8 \cdot 10^{26} \text{ Вт}} = \underline{4,5 \cdot 10^3}.$$

В. Вещество падает на компактный объект не сферически симметрично, а стекает только на полярные области объекта.

Общая площадь полярных областей $S_{\text{пол}}$ составляет 0,1 от всей площади объекта $S_{\text{пов}}$ ($S_{\text{пол}}=0,1 S_{\text{пов}}$). Оцените температуру излучения вблизи поверхности полярных областей.

Определим светимость L на полярных шапках (см рисунок 1) площадью $S_{\text{пол}}$ и температурой T из закона Стефана-Больцмана:

$$L = S_{\text{пол}} \sigma T^4 = 4\pi R^2 \varepsilon \sigma T^4,$$

где

$$S_{\text{пол}} = S_{\text{пов}} \varepsilon = 4\pi R^2 \varepsilon$$

Таким образом, учитывая полученную нами связь светимости и притока массы из пункта «Б», получим

$$\frac{GMJ}{R} = 4\pi R^2 \varepsilon \sigma T^4$$

Определим из данного выражения температуру. Получим

$$T = \left(\frac{GMJ}{4\pi R^3 \xi \sigma} \right)^{\frac{1}{4}}.$$

Найдем её значения для белого карлика и нейтронной звезды:

$$T_{\text{БК}} = \left(\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 1,3 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \cdot 10^{14} \frac{\text{кг}}{\text{с}}}{4 \cdot 3,14 \cdot (6,4 \cdot 10^6 \text{ м})^3 \cdot 0,1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}} \right)^{\frac{1}{4}} = \underline{1,7 \cdot 10^5 \text{ К}};$$

$$T_{\text{НЗ}} = \left(\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 1,3 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \cdot 10^{14} \frac{\text{кг}}{\text{с}}}{4 \cdot 3,14 \cdot (10^4 \text{ м})^3 \cdot 0,1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}} \right)^{\frac{1}{4}} = \underline{2,2 \cdot 10^7 \text{ К}}.$$