

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП**

9 класс

Материалы для экспертов

Задание 1.

Если Солнце в каком-либо месте не заходит за горизонт более суток, мы называем это «полярным днем», а если не восходит – «полярной ночью». Посмотрите в таблицу, где указана их продолжительность на некоторых широтах Земли.

Северная широта, °	Полярный день, сут	Полярная ночь, сут
68	53	25
72	89	71
76	116	99
80	139	123
84	161	145
90	191	175

Объясните, почему в среднем полярный день длится дольше полярной ночи?

Решение:

Продолжительность полярного дня в среднем больше, чем полярной ночи, во-первых, из-за атмосферной рефракции, которая «приподнимает» солнечный диск над горизонтом, а во-вторых, «по определению», ибо днем принято называть период, когда над горизонтом видна какая-либо часть солнечного диска, а не его центр.

Оценивание:

4 балла - за указание рефракции как причины, 4 балла за указание размеров солнечного диска как причины.

Задание 2.

Зачем астрономы наблюдают звезды в телескоп? При наблюдении планет или туманностей телескоп увеличивает угол, под которым видны мелкие детали, и они становятся различимыми для глаза. Но при наблюдении звезд, чрезвычайно удаленных от Земли и имеющих очень маленький угловой размер, они при любом разумном увеличении все равно остаются точками. Зачем же тогда наблюдать их в телескоп?

Решение:

Действительно, диск звезды в телескоп разглядеть невозможно. Однако за счет большого диаметра объектива телескоп собирает гораздо больше света, чем невооруженный глаз человека. Весь собранный свет телескоп посылает в зрачок глаза, делая заметными очень слабые звезды.

Вторая важная задача телескопа – увеличить видимый угол между звездами. Это позволяет обнаруживать двойные звезды, измерять их взаимное движение. В этом же качестве телескоп используется как визирное устройство, т.е. как «прицел» для точного измерения положения звезд на небе.

Оценивание:

3 балла – за ответ про увеличение яркости звёзд, 3 балла – за ответ про увеличение видимого расстояния, 2 балла за ответ про точное измерение положения звёзд на небе.

Задание 3.

21 июня на диске Солнца с правой стороны виден ущерб. Что это – начало или конец затмения?

Решение:

21 июня соответствует летнему солнцестоянию (иногда 22 июня), т.е. Солнце проходит через зенит для наблюдателей, находящихся на широте $\varphi = 23,5^\circ$ (северный тропик). Тогда описанный момент является началом, если дело происходит в северном

полушарии на широте $\varphi > 23,5^\circ$, и конец в противном случае. Солнце и Луна перемещаются по эклиптике справа налево. При этом Солнце обходит всю эклиптику за год, а Луна – за синодический месяц. Поэтому Луна догоняет Солнце, и в начале затмения ее диск наползает на Солнце справа.

Оценивание:

1 балл – за соответствие даты летнему солнцестоянию, 1 балл – за определение широты, на которой Солнце проходит через зенит, 4 балла – за правильный ответ о начале затмения, 2 балла – за правильный ответ о конце затмения для широт $\varphi < 23,5^\circ$.

Задание 4.

Почему приливы и отливы продолжаются не по 12 часов, а по 12 часов 25 минут?

Решение:

Приливы и отливы возникают благодаря гравитационному воздействию Луны. Поэтому период приливов в основном определяется движением Луны относительно Земли. Вращение Земли и обращение вокруг нее Луны происходит в одном направлении, поэтому через 24 часа Луна сместится и не будет расположена против того меридиана на Земле, против которого она стояла сутки назад. Чтобы этот меридиан вновь оказался обращенным к Луне, понадобится еще 50 минут.

Оценивание:

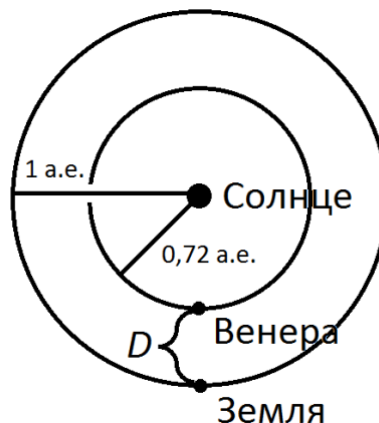
2 балла – за указание гравитационного воздействия Луны как причины приливов и отливов, 6 баллов – за объяснение причины продолжительности приливов и отливов.

Задание 5.

Оцените безопасную скорость движения управляемого с Земли венерохода, оснащенного телекамерой, которая "видит" только на 10 м. Считайте, что Венера находится в нижнем соединении.

Решение:

Во время нижнего соединения Земля, Венера и Солнце расположены следующим образом:



При обнаружении камерой препятствия на пути венерохода передатчик сообщит об этом на Землю, и Центр управления в ответ пошлет сигнал двигателю аппарата. Сигнал должен прийти до того, как венероход достигнет препятствия, т.е. сигнал должен успеть преодолеть расстояние $2D$. Из рисунка видно, что $D = 0,28$ а.е. или $= 42$ млн. км. Сам сигнал представляет собою электромагнитные волны, распространяющиеся со скоростью света. Тогда время от обнаружения препятствия до получения венероходом ответного сигнала равно

$$t = \frac{2D}{c} = \frac{2 \cdot 41400000}{300000} = 276 \text{ с}$$

Поэтому безопасная скорость движения венерохода:

$$v = \frac{10}{276} \approx 0,036 \text{ м/с} = 0,13 \text{ км/ч}$$

Оценивание:

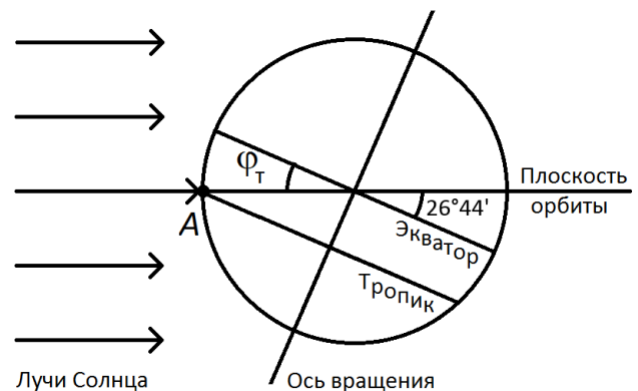
2 балла – за определение конфигурации планет, 2 балла – за определение расстояния между Землёй и Венерой, 2 балла – за определение времени, затраченного на передачу сигнала, 2 балла – за определение безопасной скорости.

Задание 6.

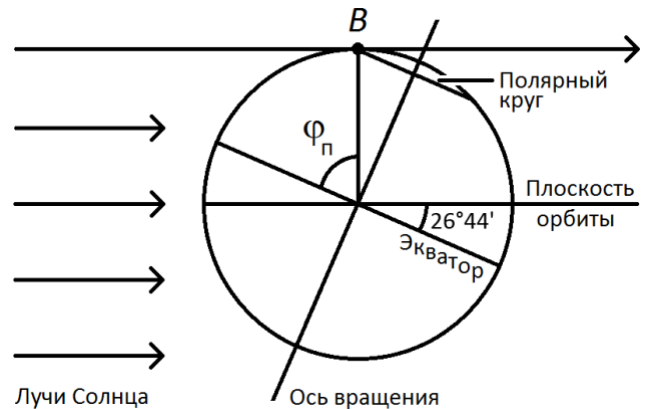
Планетографической широтой точки наблюдения называют угловое расстояние от экватора планеты до этой точки. Она аналогична географической широте на Земле. Найдите планетографические широты тропиков и полярных кругов для Сатурна. Наклон плоскости экватора Сатурна к плоскости орбиты принять равным $26^{\circ}44'$.

Решение:

Задача решается геометрически. Изобразим Сатурн в момент одного из солнцестояний:



Из-за огромного расстояния между Сатурном и Солнцем солнечные лучи параллельны друг другу и плоскости орбиты Сатурна. В момент солнцестояния на одном из тропиков Солнце должно проходить через зенит. На рисунке это точка *A*. Из рисунка видно, что планетографическая широта тропика $\varphi_T = 26^{\circ}44'$.



В момент солнцестояния на одном из полярных кругов Солнце должно находиться на горизонте. На рисунке это точка *B*. Из рисунка видно, что планетографическая широта полярного круга $\varphi_P = 90^{\circ} - 26^{\circ}44' = 63^{\circ}16'$.

Оценивание:

2 балла – за правильный рисунок (или за верные выводы о параллельности лучей и положении Солнца на тропике и полярном круге), 3 балла – за определение планетографической широты тропика, 3 балла – за определение планетографической широты полярного круга.

Участник олимпиады может решить задачу через прямую аналогию с Землёй. Тогда 2 балла – за связь географических широт тропика и полярного круга Земли с углом наклона её экватора к плоскости орбиты $\varepsilon = 23^{\circ}26'$, 3 балла – за определение планетографической широты тропика Сатурна, 3 балла – за определение планетографической широты полярного круга Сатурна.

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП**

10 класс

Материалы для экспертов

Задание 1.

Если Солнце в каком-либо месте не заходит за горизонт более суток, мы называем это «полярным днем», а если не восходит – «полярной ночью». Посмотрите в таблицу, где указана их продолжительность на некоторых широтах Земли:

Северная широта, °	Полярный день, сут	Полярная ночь, сут	Южная широта, °	Полярный день, сут	Полярная ночь, сут
68	53	25	68	50	28
72	89	71	72	84	76
76	116	99	76	110	105
80	139	123	80	132	130
84	161	145	84	153	152
90	191	175	90	183	182

Объясните, почему в среднем полярный день длится дольше полярной ночи? Почему на Северном полюсе полярный день длиннее, чем на Южном?

Решение:

Продолжительность полярного дня в среднем больше, чем полярной ночи, во-первых, из-за атмосферной рефракции, которая «приподнимает» солнечный диск над горизонтом, а во-вторых, «по определению», ибо днем принято называть период, когда над горизонтом видна какая-либо часть солнечного диска, а не его центр.

Полярный день на Северном полюсе длиннее, чем на Южном, потому что в летние месяцы Северного полушария (апрель — сентябрь) Земля перемещается по той части своей эллиптической орбиты, которая более удалена от Солнца; в районе 6 июля Земля проходит через точку афелия, в которой её скорость минимальна.

Оценивание:

2 балла – за указание рефракции как причины, 2 балла – за указание размеров солнечного диска как причины, 4 балла – за указание вытянутости орбиты Земли как причины.

Задание 2.

Марсианский астроном, работающий в северном полушарии планеты, зафиксировал дни, когда склонение Солнца становится максимальным, и дни, когда Солнце пересекает марсианский небесный экватор, то есть дни солнцестояний и равноденствий. Пользуясь этими данными (пересчитанными на земное летоисчисление), определите, на какой астрономический сезон марсианского года приходится прохождение Марсом точек перигелия и афелия своей орбиты?

Зимнее солнцестояние	25 февраля 2013 г.
Весеннее равноденствие	31 июля 2013 г.
Летнее солнцестояние	15 февраля 2014 г.
Осеннее равноденствие	17 августа 2014 г.

Решение:

Из II закона Кеплера известно, что при движении по эллипсу наибольшая скорость достигается в точке перигелия, а наименьшая – в афелии. Моменты солнцестояний и равноденствий фиксируют положения Марса на орбите относительно Солнца, отстоящие на 90° друг от друга. Посчитаем продолжительность четырех астрономических сезонов:

Зима – 156 дней.

Весна – 199 дней.

Лето – 183 дня.

Осень – 149 дней.

Мы видим, что весна и лето значительно длиннее осени и зимы, при этом весна несколько длиннее лета, а осень несколько длиннее зимы. Из этого можно сделать вывод, что Марс будет проходить точку перигелия своей орбиты марсианской осенью, а точку афелия – в конце длинной марсианской весны.

Оценивание:

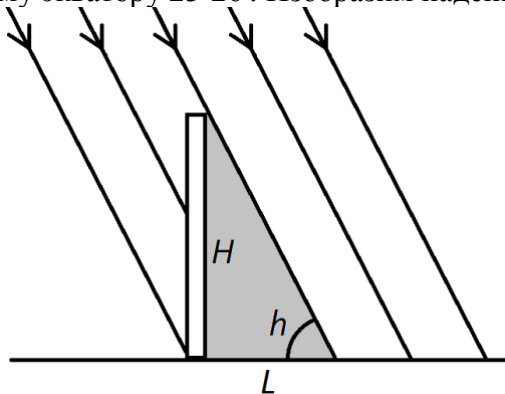
2 балла – за связь максимальной и минимальной скоростей с перигелием и афелием, 3 балла – за определение времени года для перигелия, 3 балла – за определение времени года для афелия.

Задание 3.

Чему равна наименьшая возможная длина дневной тени от фонарного столба высотой 3 м в Абакане ($\varphi = 53^\circ 43'$, $\lambda = 91^\circ 26'$)?

Решение:

Самая короткая дневная тень соответствует верхней кульминации Солнца (полдню) в день летнего солнцестояния, т.е. склонение Солнца δ_C максимально и равно углу наклона эклиптики к небесному экватору $23^\circ 26'$. Изобразим падение солнечных лучей:



Из рисунка видно, что длина тени L связана с высотой столба H и углом падения солнечных лучей h следующим образом $L = \frac{H}{\operatorname{tg} h_C}$.

С другой стороны h – высота Солнца. Высота светила в верхней кульминации равна $h_C = 90^\circ + \delta_C - \varphi_A = 59^\circ 43'$.

Тогда

$$L = \frac{H}{\operatorname{tg} 59^\circ 43'} = 1,75 \text{ м.}$$

Оценивание:

3 балла – за связь между длиной тени, высотой столба и углом падения лучей (высотой Солнца), 4 балла – за нахождение высоты Солнца, 1 балл – за нахождение длины тени.

Задание 4.

Крбовидная туманность – это остаток сверхновой, вспыхнувшей в 1054 г. Она имеет, грубо говоря, вид светящегося эллипса размером $6' \times 4'$. Измерение лучевых скоростей газа туманности показало, что наибольшая скорость расширения составляет около 1200 км/с. Оценить расстояние до туманности.

Решение:

Сверхновая, вспыхнула 964 лет назад (точнее, порожденное взрывом излучение достигло Земли 964 лет назад), а скорость расширения туманности 1200 км/с. Поэтому характерный линейный размер (радиус) современного Краба

$$r = v \cdot t = 1200 \cdot 964 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 3,65 \cdot 10^{13} \text{ км} = 1,2 \text{ пк}.$$

Поскольку известна наибольшая скорость расширения, то нужно выбрать наибольший угловой размер – $6'$. Тогда угловой радиус равен $\rho = 3' = 180''$. Отсюда расстояние

$$D = \frac{206265 \cdot r}{\rho} = \frac{206265 \cdot 1,2}{180} \approx 1,4 \text{ кпк}.$$

На самом деле – чуть больше, около 2 кпк.

Оценивание:

4 балла – за нахождение линейного радиуса туманности, 4 – за нахождение расстояния до туманности.

Задание 5.

Предположим, что Земля остановилась в своём движении по орбите и начала падать на Солнце. Вычислите с помощью третьего закона Кеплера, как долго продолжалось бы это падение?

Решение:

Третий закон Кеплера применим к движению тел по эллипсам, а не по прямым. Однако можно представить, что падение Земли на Солнце происходит не по радиусу орбиты, а по дуге предельно вытянутого эллипса. У него большая ось соединяет Солнце и место старта Земли, а малая ось практически равна нулю. Большая полуось такого эллипса равна $a = 0,5$ а.е. Тогда время падения t равно половине орбитального периода T по этому эллипсу. Найдём этот период из третьего закона Кеплера:

$$\frac{T^2}{(1 \text{ год})^2} = \frac{a^3}{(1 \text{ а.е.})^3} \Rightarrow T = \sqrt{0,5^3} \approx 0,35 \text{ года} = 129 \text{ суток}$$

Время падения Земли на Солнце равно $t = \frac{T}{2} = 64,5$ суток

Оценивание:

4 балла – за замену падения по радиусу, падением по дуге предельно вытянутого эллипса, 1 балл – за нахождение большой полуоси, 1 балл – за связь между временем падения и орбитальным периодом, 2 балла – за нахождение времени падения.

Задание 6.

Оцените абсолютную звездную величину сверхновой, вспыхнувшей в 1987 г. в Большом Магеллановом облаке на расстоянии 163 тысячи световых лет от нас. В максимуме блеска она имела видимую звездную величину около 3^m .

Решение:

Связь между видимой m и абсолютной M звездными величинами и расстоянием до светила в парсеках r имеет следующий вид: $M = m + 5 - 5 \cdot \lg D$.

При этом расстояние D должно быть выражено в парсеках.

$$D = \frac{163000}{3,26} = 50000 \text{ пк.}$$

Тогда

$$M = 3 + 5 - 5 \cdot \lg 50000 \approx -15,5^m.$$

Оценивание:

4 балла – за перевод расстояния из световых лет в парсеки, 4 балла – за нахождение абсолютной звёздной величины.

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП**

11 класс

Материалы для экспертов

Задание 1.

Если Солнце в каком-либо месте не заходит за горизонт более суток, мы называем это «полярным днем», а если не восходит – «полярной ночью». Посмотрите в таблицу, где указана их продолжительность на некоторых широтах Земли:

Северная широта, °	Полярный день, сут	Полярная ночь, сут	Южная широта, °	Полярный день, сут	Полярная ночь, сут
68	53	25	68	50	28
72	89	71	72	84	76
76	116	99	76	110	105
80	139	123	80	132	130
84	161	145	84	153	152
90	191	175	90	183	182

Объясните, почему в среднем полярный день длится дольше полярной ночи? Почему на Северном полюсе полярный день длиннее, чем на Южном?

Решение:

Продолжительность полярного дня в среднем больше, чем полярной ночи, во-первых, из-за атмосферной рефракции, которая «приподнимает» солнечный диск над горизонтом, а во-вторых, «по определению», ибо днем принято называть период, когда над горизонтом видна какая-либо часть солнечного диска, а не его центр.

Полярный день на Северном полюсе длиннее, чем на Южном, потому что в летние месяцы Северного полушария (апрель — сентябрь) Земля перемещается по той части своей эллиптической орбиты, которая более удалена от Солнца; в районе 6 июля Земля проходит через точку афелия, в которой её скорость минимальна.

Оценивание:

2 балла – за указание рефракции как причины, 2 балла – за указание размеров солнечного диска как причины. 4 балла – за указание вытянутости орбиты Земли как причины

Задание 2.

Галактика удаляется от нас со скоростью 5000 км/с. Она видна как объект размером 1'. Оцените её линейный размер.

Решение:

По закону Хаббла расстояние до галактики равно

$$D = \frac{v}{H} = \frac{5000 \frac{\text{км}}{\text{с}}}{72 \frac{\text{км}}{\text{с} \cdot \text{Мпк}}} \approx 69,4 \text{ Мпк}.$$

На таком расстоянии видимому размеру галактики $\rho = 1' = 60''$ соответствует линейный размер

$$d = \frac{\rho \cdot D}{206265} = \frac{60 \cdot 69,4 \cdot 10^6}{206265} \approx 20 \text{ кпк}.$$

Оценивание:

4 балла – за определение расстояния, 4 балла – за определение размера.

Задание 3.

15 января 2009 года планета Венера оказалась в наибольшей восточной элонгации (47°). В какой день (после элонгации) в ближайшее к этой дате время Венера была сближена с Луной, если известно, что 26 января 2009 года на Земле произошло кольцеобразное солнечное затмение?

Решение:

Луна движется по небу вдоль эклиптики с запада на восток со средней угловой скоростью

$$\omega_{\text{Л}} = \frac{360^\circ}{27,3 \text{ сут}} \approx 13^\circ \text{ в сутки}.$$

Солнце и Венера в наибольшей элонгации движутся в ту же сторону со скоростью

$$\omega_{\text{С}} = \frac{360^\circ}{365 \text{ сут}} \approx 1^\circ \text{ в сутки}.$$

В итоге Луна как бы догоняет Венеру со скоростью около

$$\omega_{\text{Л}} - \omega_{\text{С}} = 13^\circ - 1^\circ = 12^\circ \text{ в сутки}.$$

Чтобы преодолеть угловое расстояние в 47° (которое практически не изменяется в течение января) с этой скоростью, Луне потребуется около

$$t = \frac{47}{12} \approx 4 \text{ суток}.$$

Поэтому соединение Луны и Венеры наступит через 4 дня после новолуния. Ближайшее новолуние произойдет одновременно с солнечным затмением 26 января, а соединение Луны и Венеры состоится 30 января 2009 года.

Оценивание:

1 балл – за определение угловой скорости Луны, 1 балл – за определение угловой скорости Солнца и Венеры, 2 балла – за определение скорости Луны относительно Солнца и Венеры, 1 балл – за связь между затмением и новолунием, 3 балла за определение дня сближения Луны и Венеры.

Если участник олимпиады пренебрежёт движением Солнца с Венерой по небосводу и получит

$$t = \frac{47}{13} \approx 3,6 \text{ суток},$$

то оценка снижается на 2 балла.

Задание 4.

Экспедиция наблюдала верхнюю кульминацию Солнца за 6 часов 31 минуту 8 секунд до наступления аналогичной кульминации в Москве ($\varphi_{\text{М}} = 55^\circ 45'$, $\lambda_{\text{М}} = 37^\circ 37'$). Измеренная ночью высота звезды Денеб (α Лебедя: $\alpha = 20^{\text{ч}} 38^{\text{м}}$; $\delta = +45^\circ 06'$) в момент её верхней кульминации оказалась равной $86^\circ 34'$ к северу от зенита. Определите географические координаты экспедиции.

Решение:

Для нахождения широты воспользуемся формулой, связывающей высоту верхней кульминации светила, его склонения и широты места наблюдения:

$$h_{\text{БК}} = 90^\circ + \delta - \varphi;$$

Учтём, что в данной формуле высота $h_{\text{БК}}$ отсчитывается от точки юга, а в задании дана высота звезды Денеб, отсчитанная от точки севера $h'_{\text{БК}}$. Тогда

$$h_{\text{БК}} = 180^\circ - h'_{\text{БК}} = 93^\circ 26'.$$

Таким образом, широта местности для экспедиции равна

$$\varphi = 90^\circ + \delta - h_{\text{вк}} = 41^\circ 40'.$$

Разность долгот связана с разностью моментов наступления полдня (верхней кульминации Солнца). Причём долгота экспедиции λ больше долготы Москвы λ_M , т.к. полдень для экспедиции наступил раньше:

$$\lambda - \lambda_M = \Delta t.$$

Переведём долготу Москвы из градусной меры угла в часовую:

$$\lambda_M = 37^\circ 37' = 2^{\text{ч}} 30^{\text{м}} 28^{\text{с}}$$

Тогда долгота экспедиции равна

$$\lambda = \lambda_M + \Delta t = 2^{\text{ч}} 30^{\text{м}} 28^{\text{с}} + 6^{\text{ч}} 31^{\text{м}} 08^{\text{с}} = 9^{\text{ч}} 01^{\text{м}} 36^{\text{с}} = 135^\circ 24'.$$

Широта Москвы и прямое восхождение Денеба являются лишними параметрами.

Оценивание:

1 балл – за определение высоты звезды Денеб, отсчитанной от точки севера, 3 балла – за нахождение географической широты экспедиции, 1 балл – за перевод долготы Москвы из градусной меры в часовую, 2 балла – связь долгот Москвы и экспедиции с разностью наступления полдней, 1 балл за нахождение географической долготы экспедиции.

Задание 5.

Звездная величина планеты в противостоянии на $3,43^{\text{м}}$ меньше, чем в соединении. На каком расстоянии от Солнца она находится? Соответствует ли она какой-либо из реальных планет Солнечной системы?

Решение:

Блеск планеты (орбиту которой мы считаем, естественно, круговой) меняется из-за изменения ее геоцентрического расстояния. Яркость небесного тела убывает с ростом расстояния:

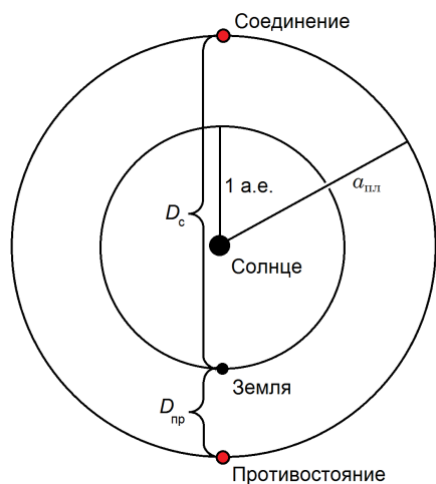
$$E \propto \frac{1}{D^2}.$$

Тогда отношение расстояний в противостоянии и в соединении есть (формула Погсона)

$$\frac{D_{\text{с}}^2}{D_{\text{пр}}^2} = 10^{0,4(m_{\text{пр}} - m_{\text{с}})}$$

$$\frac{D_{\text{с}}}{D_{\text{пр}}} = \sqrt{10^{0,4(m_{\text{пр}} - m_{\text{с}})}} = 10^{0,2 \cdot 3,43} = 10^{0,686} = 4,85$$

Противостояния возможны только у внешних планет. Изобразим конфигурации на рисунке



Из рисунка следует, что

$$D_c = a_{пл} + 1$$

$$D_{пр} = a_{пл} - 1$$

Тогда

$$\frac{a_{пл} + 1}{a_{пл} - 1} = 4,85 \Rightarrow a_{пл} = 1,52 \text{ а.е.}$$

Радиус орбиты в 1,52 а.е. совпадает с большой полуосью Марса.

Оценивание:

3 балла – за связь между расстояниями и изменением звездной величины через формулу Погсона, 1 балл – за вычисление отношений расстояний, 2 балла – за связь между расстояниями и большой полуосью планеты, 1 балл – за нахождение большой полуоси планеты, 1 балл – за вывод о том, что планета является Марсом.

Задание 6.

Каков предельный максимальный размер (радиус) ледяного астероида, с которого еще можно прыгнуть в космос? Плотность астероида из-за примесей равна плотности воды ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$). Считать, что человек, покидающий астероид, может прыгать вертикально вверх со скоростью 4 м/с или разбежаться до скорости 10 м/с.

Решение:

Чтобы покинуть астероид вертикальным прыжком, нужно развить вторую космическую скорость, а чтобы прыгнуть с астероида при помощи разбега, необходимо развить первую космическую скорость. К тому же скорость разбега больше скорости прыжка. Поэтому вторым способом можно покинуть больший астероид.

Первая космическая скорость равна:

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \left\{ M = \rho V = \rho \frac{4}{3} \pi R^3 \right\} = 2R \sqrt{\frac{G\rho\pi}{3}}$$

Тогда

$$R = \frac{v_1}{2} \sqrt{\frac{3}{G\rho\pi}} \approx 18,9 \text{ км}$$

Оценивание:

2 балла – за вывод о способе, который позволяет покинуть наибольший астероид, 6 баллов – за нахождение максимального радиуса.