

## АСТРОНОМИЯ

## 4–6-Е КЛАССЫ

**Задание 1**

Зимнее солнцестояние состоялось 22 декабря 2015 года, а весеннее равноденствие произойдёт 20 марта 2016 года. Сколько дней пройдёт между этими событиями? (Замечание: считать, что между 1 и 2 декабря проходит 1 день.)

Правильный ответ: 89 дней – 8 баллов.

**Задание 2**

Календарный год начался с понедельника, а закончился вторником. Каким днём недели закончится следующий календарный год?

В обычном году 365 дней, т. е. 52 недели и один день. В високосном году 366 дней, т. е. 52 недели и два дня. Поскольку первым днём года был понедельник, то последний день 52-й недели будет воскресенье. Раз последний день года – вторник, значит, у нас осталось два лишних дня, т. е. год високосный. Следующий год начнётся со среды. Он может быть только простым, поэтому закончится тем же днём, которым начался, – средой.

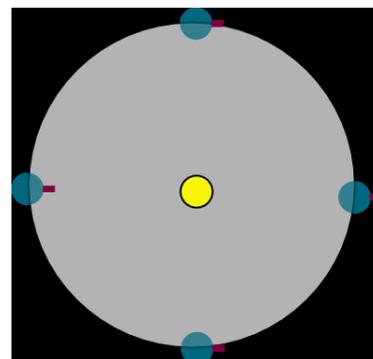
Правильное решение задачи оценивается в 8 баллов. В случае неправильного решения следующие элементы решения можно оценить таким образом: знание продолжительности обычного и високосного годов – по 1 баллу; знание о порядке чередования високосных и простых годов – 2 балла. Обоснованный вывод о том, что заданный год високосный, – 2 балла. Если ответ приводится без обоснования, выставляется оценка 0 баллов.

**Задание 3**

Если планета перестанет вращаться вокруг своей оси, будет ли наблюдаться смена дня и ночи на этой планете? Ответ обоснуйте и поясните рисунком.

Решение: будет, в течение года звезда будет освещать разные полушария планеты.

Дан полный ответ – 4 балла, правильный ответ с рисунком – 8 баллов.

**Задание 4**

Астрономы открыли нейтронную звезду с планетной системой, летящую почти точно к Солнцу на расстоянии 5 световых лет. Ближе всего к Солнцу та звезда окажется через 2500 лет. К нейтронной звезде отправили исследовательский космический корабль. Через сколько лет после старта он вернётся на Землю, если проведёт 20 лет на орбите вокруг нейтронной звезды? Сколько времени затратит космический корабль на полёт к нейтронной звезде и сколько на обратную дорогу? Скорость корабля в обоих направлениях равна 0,01 скорости света. Скорость света равна 300 000 км/с.

Определим скорость, с которой нейтронная звезда приближается к нам. Расстояние, которое она должна преодолеть за 2500 лет, свет проходит за 5 лет, т. е. в 500 раз быстрее. Значит, скорость звезды равна 0,002 скорости света, или 600 км/с. Звезда движется навстречу космическому кораблю. Поэтому ему потребуется преодолеть меньшее расстояние, чем  $L = 5$  световых лет. Пусть  $v_1$  – скорость космического корабля, а  $v_2$  – скорость звезды. Тогда за время  $T_1$ , необходимое для их встречи, они преодолеют расстояние  $v_1 T_1 + v_2 T_2 = L$ . Отсюда получаем время, необходимое для путешествия «туда»:

$$T_1 = \frac{L}{v_1 + v_2} \approx 417 \text{ лет.}$$

За время  $\Delta t$ , проведённое на орбите вокруг нейтронной звезды, космический корабль приблизился к Солнцу вместе со звездой на расстояние  $v_2 \Delta t$ . Поэтому обратный путь будет немножко короче, а время, которое будет на него затрачено, равно

$$T_2 = \frac{v_1 T_1 - v_2 \Delta t}{v_1} = T_1 - \frac{v_2}{v_1} \Delta t \approx 413 \text{ лет.}$$

Полная продолжительность миссии:

$$T = T_1 + T_2 + \Delta t \approx 849 \text{ лет.}$$

## 7-й класс

### Задание 1.

В феврале 1600 года было пять вторников. С какого дня недели начался XVII век? Обязательно обоснуйте свой ответ.

Обычно в феврале четыре недели и каждый день недели встречается четыре раза. Пять вторников в феврале 1600 года было потому, что год был високосный, и феврале было 29 дней. Лишним днём мог быть только вторник. Значит, и первым, и последним днём февраля был вторник. В январе 31 день. Это 4 недели и ещё три дня. Поэтому 1 января 1600 года было субботой. Однако XVII век начался не 1 января 1600 года, а 1 января 1601 года. В високосном году 52 недели и два дня. Следовательно, 1 января 1601 года было понедельником.

### Задание 2.

Астрономы открыли нейтронную звезду с планетной системой, летящую почти точно к Солнцу на расстоянии 5 световых лет. Ближе всего к Солнцу та звезда окажется через 2500 лет. К нейтронной звезде отправили исследовательский космический корабль. Через сколько лет после старта он вернётся на Землю, если проведёт 20 лет на орбите вокруг нейтронной звезды? Сколько времени затратит космический корабль на полёт к нейтронной звезде и сколько на обратную дорогу? Скорость корабля в обоих направлениях равна 0,01 скорости света. Скорость света равна 300 000 км/с.

Определим скорость, с которой нейтронная звезда приближается к нам. Расстояние, которое она должна преодолеть за 2500 лет, свет проходит за 5 лет, т. е. в 500 раз быстрее. Значит, скорость звезды равна 0,002 скорости света, или 600 км/с. Звезда движется навстречу космическому кораблю. Поэтому ему потребуется преодолеть меньшее расстояние, чем  $L = 5$  световых лет. Пусть  $v_1$  – скорость космического корабля, а  $v_2$  – скорость звезды. Тогда за время  $T_1$ , необходимое для их встречи, они преодолеют расстояние  $v_1 T_1 + v_2 T_1 = L$ . Отсюда получаем время, необходимое для путешествия «туда»:

$$T_1 = \frac{L}{v_1 + v_2} \approx 417 \text{ лет.}$$

За время  $\Delta t$ , проведённое на орбите вокруг нейтронной звезды, космический корабль приблизился к Солнцу вместе со звездой на расстояние  $v_2 \Delta t$ . Поэтому обратный путь будет немножко короче, а время, которое будет на него затрачено, равно

$$T_2 = \frac{v_1 T_1 - v_2 \Delta t}{v_1} = T_1 - \frac{v_2}{v_1} \Delta t \approx 413 \text{ лет.}$$

Полная продолжительность миссии:

$$T = T_1 + T_2 + \Delta t \approx 849 \text{ лет.}$$

Найден ответ 8 баллов, если ответ неверный – 0 баллов.

### Задание 3.

В некоторый момент времени Сатурн и Венера одновременно находятся в соединении с Солнцем. Через некоторое время планеты становятся доступны для наблюдений. В какое время суток можно будет наблюдать эти планеты? Прямым или попятным движением они перемещаются среди звёзд?

Проще всего ответить на вопрос о Сатурне. Он находится гораздо дальше от Солнца, чем Земля и очень медленно по сравнению с Солнцем передвигается по небу на фоне звёзд. Солнце обгоняет Сатурн в своём годичном движении с запада на восток, а значит, через некоторое время планета окажется западнее и будет видна на рассвете. Для Венеры возможны два варианта. Находясь в соединении, она может быть, как перед Солнцем (нижнее соединение), так и за Солнцем (верхнее соединение). Случай верхнего соединения очень похож на вариант с Сатурном, но Венера как внутренняя планета движется вокруг Солнца быстрее Земли. Значит, и по небу Венера будет перемещаться быстрее Солнца. Следовательно, через некоторое время Венера окажется восточнее Солнца и будет наблюдаться после заката. Несмотря на различный итог, обе планеты будут двигаться среди звёзд прямым движением. Венера, находящаяся в нижнем соединении, будет двигаться примерно параллельно Земле и за счёт большей орбитальной скорости обгонять её. Это приведёт к тому, что на фоне звёзд она будет двигаться попятно, навстречу Солнцу, а значит, через некоторое время будет наблюдаться по утрам.

Указание на то, что для Венеры возможны два соединения, верхнее и нижнее, оценивается в 2 балла. Оба варианта решения для Венеры оцениваются отдельно. Определение времени видимости планеты оценивается в 1 балл (3 случая). Ещё один балл выставляется за указание типа движения планеты (3 случая). Ответы без обоснования, даже правильные, оцениваются в 0 баллов. Максимальная оценка за задачу – 8 баллов.

#### Задание 4.

Перед вами фотография движения Луны, сделанная неподвижной камерой. Изображения были получены в течение одной ночи, изменение положения Луны вызвано вращением Земли вокруг своей оси. Средний угловой диаметр Луны составляет 31 угловую минуту.

1. Оцените время, прошедшее между верхними изображениями Луны (помечены цифрами 1 и 2).

2. Определите, восходит или заходит Луна на фотографии. Ответ обоснуйте. (Ответ без обоснования оценивается в 0 баллов.)



Измерим линейкой расстояние между центрами дисков Луны и сравним с диаметром Луны. Оно больше в 1,25 раза. Средний угловой диаметр Луны составляет 31', значит, расстояние между двумя лунами равно 39'. Один оборот небесной сферы совершается за 24 часа. Значит, на 39' небесная сфера повернётся за 2,6 минуты.

Можно учесть, что Луна довольно быстро движется среди звёзд и из-за этого один оборот относительно наблюдателя (лунные сутки) совершает за 24 ч 50 м. Тогда скорость движения Луны составляет скоростью 14,5° за час. Значит, расстояние в 39' она преодолит за 2,7 минуты.

Прежде всего заметим, что фотография неперевернутая, то есть зенит находится сверху. Луна пересекает горизонт примерно под углом 45°, то есть наблюдения ведутся не в экваториальной области Земли. Ответ зависит от того, в каком полушарии ведутся наблюдения. В Северном полушарии из-за суточного движения Луна (как и Солнце) движется слева направо. В Южном, наоборот, справа налево. Соответственно, мы наблюдаем либо заход Луны в Северном полушарии, либо восход в Южном. Можем ли мы определить полушарие? Да! На снимке видны очертания лунных морей, и видим, что Луна перевернута. То есть наблюдения ведутся из Южного полушария, а значит, мы наблюдаем восход.

Определение углового расстояния между лунами, помеченными цифрами 1 и 2 оценивается в 2 балла. Определение угловой скорости движения Луны по небесной сфере – ещё в 2 балла. Вычисление времени – 1 балл. Указание на то, что Луна перевернута и наблюдение ведётся в Южном полушарии, оценивается в 1 балл. Вывод о том, что сфотографирован восход Луны, – 2 балла. Если дано два варианта ответа: заход в Северном полушарии или восход в Южном, то

за эту часть задачи выставляется 1 балл. Если ответ на второй вопрос дан без обоснования, то такой ответ оценивается в 0 баллов. Максимальная оценка за задачу – 8 баллов.

## 8-й КЛАСС

### Задание 1

Дева, Стрелец, Весы, Змееносец, Персей. Найдите лишнее в этом списке и объясните свой выбор.

Лишнее – Персей, так как это единственное созвездие из списка, по которому не проходит Солнце в своём годичном движении. При выборе – Весы (как неодушевлённый предмет) ответ оцениваем не более 3 баллов. При выборе – Персей и Змееносец ответ оцениваем не более 5 баллов, так как Змееносец – созвездие по которому проходит эклиптика.

### Задание 2

21 августа 2017 года произошло полное солнечное затмение, видимое на территории США. Нарисуйте или опишите словами фазу Луны в день проведения олимпиады 23 сентября 2017 года. Ответ поясните.

Солнечное затмение происходит в новолуние. С момента затмения прошло 33 дня. Синодический период Луны примерно 29 дней. Это означает, что фаза Луны будет между новолунием и первой четвертью. Растущая Луна.

### Задание 3

Ученик 8-го класса сидел на лавочке в парке и с увлечением изучал школьный астрономический календарь на 2017–2018 учебный год. Он заметил, что за это время Солнце успело пройти по небу дугу в  $12^\circ$ . Сколько времени ученик читал календарь? Ответ подтвердите расчётами.

Солнце движется по небу за счёт вращения Земли вокруг своей оси. Так как Земля совершает полный оборот в  $360^\circ$  за 24 часа. Следовательно, дугу в  $12^\circ$  Солнце пройдёт за 48 минут.

### Задание 4

Опишите вид звездного неба в разные времена года на Северном полюсе.

На Северном полюсе над горизонтом всегда находятся одни и те же созвездия. Звезды там не заходят и не восходят, а движутся параллельно горизонту. Полярная звезда находится практически в зените.

При этом вид звездного неба на Северном полюсе радикально меняется лишь при наступлении полярной ночи или полярного дня. То есть, собственно звездное небо там видно с начала октября (окончание гражданских сумерек после захода Солнца) до середины марта (начало гражданских сумерек перед восходом Солнца).

Две недели в конце сентября – начале октября и две недели в середине марта – это периоды сумерек на Северном полюсе.

С 21 марта по 23 сентября – полярный день.

Поскольку точки эклиптики не поднимаются на Северном полюсе выше  $23,5^\circ$ , планеты могут быть видны невысоко над горизонтом.

Кроме того, каждый месяц над горизонтом примерно на 2 недели восходит Луна.

## 9-й КЛАСС

### Задание 1

7 августа 2017 года произошло частное лунное затмение, видимое, в том числе, и на территории нашей страны. 21 августа 2017 года произошло полное солнечное затмение, видимое на

территории США. Случаен ли такой промежуток времени между затмениями? Всегда ли затмения происходят через данный промежуток времени? Ответ поясните.

По датам видно, что между затмениями прошло две недели (с некоторой точностью, т. к. не указано время затмения). Это как раз примерно половина синодического лунного месяца продолжительностью 29,53 суток. Лунное затмение наблюдается в фазе полнолуния, солнечное затмение наблюдается в новолуние. Минимальный промежуток между лунным и солнечным затмением равен промежутку времени между новолунием и полнолунием, т. е. половине синодического периода Луны. Затмения не наблюдаются каждые две недели т. к. плоскость лунной орбиты не совпадает с плоскостью эклиптики, угол между ними составляет приблизительно  $5,1^\circ$ . Затмения наступают, если Солнце и Луна находятся вблизи узлов лунной орбиты. Если же соответствующие фазы наступают вдали от узлов, то затмений не будет.

Максимальная оценка (8 баллов) выставляется, если:

- указано, в каких фазах Луны возможно наступление затмений;
- указано, что промежуток времени между затмениями соответствует промежутку между полнолунием и новолунием;
- указано, что затмения не наблюдаются каждые 2 недели из-за наклона плоскости лунной орбиты к плоскости эклиптики (значение угла указывать не обязательно).

### Задание 2

Некоторая звезда вошла над горизонтом одновременно с Солнцем. Будет ли одновременным.

Следующий восход звезды произойдет через звездные сутки, продолжительность которых 23 ч 56 мин 4,1 с. Восход Солнца произойдет через истинные солнечные сутки, продолжительность которых 24 часа. Таким образом, звезда взойдет приблизительно на 4 минуты раньше Солнца. Даже если учесть что продолжительность истинных солнечных суток меняется, их отличие от 24 часов не превышает 30 секунд, ответ не изменится.

Примечание: продолжительность звездных суток указывать не обязательно, достаточно указать, что они короче солнечных.

### Задание 3

Параллакс звезды Веги равен  $0,13''$ . Найдите расстояние до этой звезды в парсеках и световых годах.

Расстояние в парсеках вычисляем по формуле  $r = 1/p = 1/0.12 = 7,7$  пк (приблизительно).  $1 \text{ пк} = 3,26 \text{ св. года}$ , значит  $r = 7.7 * 3.26 = 25 \text{ св. лет}$ .

Примечание: за вычислительную ошибку снимается 2 балла.

### Задание 4

В каком году впервые сможет отметить день рождения человек, родившийся 29 февраля 2096 года?

Дни рождения такой человек может отмечать только в високосные годы (если праздновать «день в день»). 2100 год високосным являться не будет. Таким образом, впервые день рождения можно будет отметить 29 февраля 2104 года в возрасте 8 лет.

Примечание: за ответ 29.02.2100 можно поставить 2 балла из 8.

### Задание 5

Уран совершает полный оборот вокруг Солнца за 84,0 земных года. Во сколько раз (в среднем) он дальше от Солнца, чем Земля?

По третьему закону Кеплера  $T_y^2/T_3^2 = a_y^3/a_3^3$ . Здесь  $T$  – периоды обращения вокруг Солнца Урана и Земли,  $a$  – большие полуоси планет. Как известно, большая полуось равна среднему расстоянию планеты от Солнца. Полагая  $T_3 = 1 \text{ год}$ ,  $a_3 = 1 \text{ а. е.}$ , получим  $a_y = T_y^{2/3} = 84^{2/3} = 19,2 \text{ а. е.}$  (приблизительно). Таким образом, Уран в среднем в 19,2 раза дальше от Солнца, чем Земля.

Примечание: можно проводить вычисления и в других единицах, хотя это и не рационально, за вычислительную ошибку снимается 2 балла.

### Задание 6

Юный астроном вечером в полнолуние наблюдал яркую планету в западной части горизонта. Он обнаружил, что она зашла одновременно с верхней кульминацией Луны. Венеру или Юпитер он наблюдал?

В полнолуние Луна находится в противостоянии с Солнцем, поэтому в момент захода планеты Солнце проходит нижнюю кульминацию. Это означает, что угловое расстояние между Солнцем и планетой около  $90^\circ$ . Такое возможно только для верхних планет. Таким образом, юный астроном наблюдал Юпитер.

## 10-й класс

### Задание 1

21 августа 2017 года произошло полное солнечное затмение, видимое на территории США. Нарисуйте или опишите словами фазу Луны в День знаний 1 сентября 2017 года. Ответ поясните. В какое время суток восходит и заходит Луна в этой фазе?

Солнечное затмение происходит в новолуние. С момента затмения прошло 11 дней. Это означает, что фаза Луны будет между первой четвертью и полнолунием. В этой фазе Луна восходит во второй половине дня (после полудня) и заходит во второй половине ночи (после полуночи).

### Задание 2

В некоторый день Луна и Солнце одновременно взошли над горизонтом. Будет ли одновременным следующий восход этих светил? Ответ поясните.

И Луна, и Солнце движутся по небесной сфере с запада на восток. Суточное смещение Солнца среди звезд, в среднем, составляет около  $1^\circ$ , смещение Луны около  $13^\circ$ . таким образом, через сутки Луна окажется восточнее Солнца, следовательно, взойдет позже.

### Задание 3

Как известно, для нижних планет возможно наблюдение прохождения планеты по диску Солнца. В 1761 году Михаил Васильевич Ломоносов наблюдал прохождение Венеры по диску Солнца и, по результатам наблюдений, сделал вывод о существовании у Венеры атмосферы. Свои наблюдения он описал в статье «Явление Венеры на Солнце, наблюденное в Санкт-Петербургской императорской академии наук мая 26 дня 1761 года». В таблице приведены даты следующих прохождений Венеры:

Число	Месяц	Год
3	июнь	1769
9	декабрь	1874
6	декабрь	1882
8	июнь	2004
6	июнь	2012
11	декабрь	2117
8	декабрь	2125

Как видно, это событие может наблюдаться в декабре или в июне. Почему же Ломоносов наблюдал его в мае?

На момент наблюдения в России действовал юлианский календарь (старый стиль). Разница с григорианским календарем (новый стиль) 1761 году составляла 11 суток. Таким образом, по

новому стилю, дата наблюдений Ломоносова 6 июня. Остальные даты в таблице указаны по новому стилю.

#### Задание 4

В ночь с 23 на 24 февраля 1987 года астрономы зафиксировали вспышку сверхновой звезды в галактике Большое Магелланово Облако, расстояние от Земли до которой около 51,4 кпк. В каком году на самом деле произошла эта вспышка?

Переведем расстояние в световые годы, учитывая, что 1 пк = 3,26 св. года. Получим, что расстояние до БМО составляет  $51\,400 \cdot 3,26 = 167\,564$  св. лет. Таким образом, свет от вспышки шел до нас 167 564 года. Вспышка произошла в 165 577 году до нашей эры.

#### Задание 5

Определите максимальное расстояние, с которого Солнце ещё можно видеть невооружённым глазом.

Воспользуемся формулой для абсолютной звездной величины  $M = m + 5 - 5 \lg r$ . Здесь  $M$  – абсолютная звездная величина Солнца,  $m$  – видимая звездная величина. На пределе зрения  $m = 6$ ,  $M = 4,8$ . Выразим  $r$ ,  $r = 10^{1+0,2 \cdot (m-M)} = 17$  пк.

#### Задание 6.

В какой конфигурации диск Венеры похож на Луну в первой четверти? Ответ поясните.

Справочные данные: абсолютная звездная величина Солнца  $M = 4,8$ , предельная звездная величина доступная невооруженному глазу  $m = 6$ , 1 пк = 3,26 св. года.

В наибольшей восточной элонгации. С Земли будет видно «правую половину» освещенного диска Венеры.

### 11-й класс

#### Задание 1

Чему равны горизонтальные (высота, азимут) и экваториальные (склонение, прямое восхождение, часовой угол) координаты центра диска Солнца в городе Самаре 23 сентября в 00 часов ночи по местному солнечному времени? Широта Самары  $53^\circ 12'$ , долгота  $3^\circ 20'$ . Сделайте рисунок, обозначьте на рисунке углы.

Горизонтальные координаты: высота центра диска Солнца – высота нижней кульминации ( $-36^\circ 48'$ ), азимут равен 12 часам.

Экваториальные координаты: склонение  $\delta$  равно  $0^\circ$ , так как день осеннего равноденствия, часовой угол – 12 часов, прямое восхождение равно 12 часов.

#### Задание 2

Когда на экваторе, отвесно стоящий столб, в солнечный день не отбрасывает тени?

Отвесный столб в солнечный день не отбрасывает тени, когда Солнце находится в зените.

Это будет 21 марта или 23 сентября в истинный полдень. В дни равноденствий.

#### Задание 3

Как известно, для нижних планет возможно наблюдение прохождения планеты по диску Солнца. В 1761 году Михаил Васильевич Ломоносов наблюдал прохождение Венеры по диску Солнца и, по результатам наблюдений, сделал вывод о существовании у Венеры атмосферы. Свои наблюдения он описал в статье «Явление Венеры на Солнце, наблюденное в Санкт-Петербургской императорской академии наук мая 26 дня 1761 года». В таблице приведены даты следующих прохождений Венеры:

Число	Месяц	Год
3	июнь	1769
9	декабрь	1874
6	декабрь	1882
8	июнь	2004
6	июнь	2012
11	декабрь	2117
8	декабрь	2125

Как видно, это событие может наблюдаться в декабре или в июне. Почему же Ломоносов наблюдал его в мае?

На момент наблюдения в России действовал юлианский календарь (старый стиль). Разница с григорианским календарем (новый стиль) 1761 году составляла 11 суток. Таким образом, по новому стилю, дата наблюдений Ломоносова 6 июня. Остальные даты в таблице указаны по новому стилю.

#### Задание 4

Планета обращается вокруг звезды по круговой орбите. Как изменится (не изменится, увеличится, уменьшится) период ее обращения вокруг звезды, если расстояние в апоастре увеличить в два раза, а расстояние в периастре уменьшить в два раза. Если не изменится то почему? Если изменится, то вычислить во сколько раз?

Если расстояние в апоастре увеличится в два раза, а расстояние в периастре уменьшится в два раза, то большая полуось орбиты составит  $(2 + 0,5)/(1 + 1) = 1,25$  от первоначальной. По третьему закону Кеплера

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^{3/2} = 1,4 \text{ раза.}$$

#### Задание 5

В 1929 г. Э. Хаббл обнаружил, что все галактики удаляются друг от друга. Считая, что постоянная Хаббла  $H = 75 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$ , оцените время, которое называют возрастом Вселенной.

Время, за которое галактика прошла расстояние  $r$  равно  $t = r/V = r/Hr = 1/H = 1/75 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$ .  $1 \text{ Мпк} = 3 \cdot 10^{19} \text{ км}$ .  $t = 3 \cdot 10^{19}/75 = 4 \cdot 10^{17} \text{ с} = 4 \cdot 10^{17}/(365 \cdot 24 \cdot 3600) \text{ лет} \approx 13 \cdot 10^9 \text{ лет}$ .

#### Задание 6

Определите максимальное расстояние, с которого Солнце ещё можно видеть невооружённым глазом.

Воспользуемся формулой для абсолютной звездной величины  $M = m + 5 - 5 \lg r$ . Здесь  $M$  – абсолютная звездная величина Солнца,  $m$  – видимая звездная величина. На пределе зрения  $m = 6$ ,  $M = 4,8$ . Выразим  $r$ ,  $r = 10^{1+0,2 \cdot (m-M)} = 17 \text{ пк}$ .