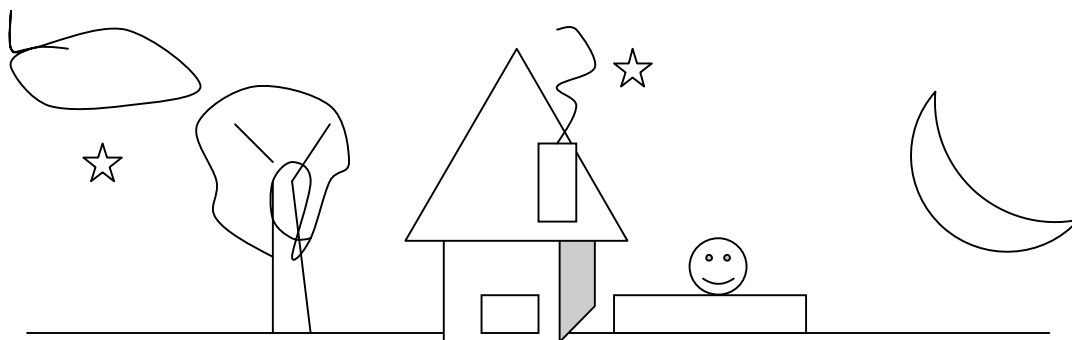


## Часть 4. 63 Московская Астрономическая Олимпиада (2009 год)

### 5-7 класс

4.1. В этом месяце 11 марта полнолуние наступило около 6 часов. Когда и почему наступит полнолуние в следующем месяце?

4.2. На картине юного художника изображена Луна, которую он увидел когда-то на своей даче в Подмоскowie. Но он забыл написать утро это или вечер. Попробуйте определить и обосновать какое время суток (утро или вечер) изобразил юный художник?



4.3 (для всех классов). Опишите вид звёздного неба сегодня вечером (около 22 часов) при условии безоблачной погоды.

4.4а. Во время мощных вспышек на Солнце выбрасываются облака горячей плазмы, скорость которых достигает 1 500 км/с. Оцените время, за которое выброшенные облака плазмы достигнут Земли. Расстояние от Земли до Солнца равно 150 000 000 км.

4.4б. (8-9 и 10 классы). Во время мощных вспышек на Солнце выбрасываются облака горячей плазмы, скорость которых достигает 1 500 км/с, и которые в момент вспышки излучают мощный поток радиоволн. Оцените время, за которое выброшенные облака плазмы и радиоизлучение достигнут Земли. Расстояние от Земли до Солнца 150 000 000 км., скорость света равна 300 000 км/с.

4.5. Что такое «тропик Рака», где он расположен, каким астрономическим явлением он характеризуется, и почему его так называют?

### 8-9 классы

4.6а (8-9 и 10 классы). Электрическая сила кулоновского притяжения между электроном и протоном  $F_q$  почти в  $10^{39}$  раз превышает силу их гравитационного притяжения. В небесных телах мы имеем огромное число и электронов и протонов, так почему же при описании их движения мы учитываем только силу их взаимного тяготения, пренебрегая силой их кулоновского взаимодействия?

4.6б (11 класс) Оцените, во сколько раз электрическая сила кулоновского притяжения между электроном и протоном  $F_q$  превышает силу их гравитационного притяжения  $F_g$ . Заряд электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл., масса протона  $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27}$  кг, а масса электрона  $m_e = 1,7 \cdot 10^{-31}$  кг. Небесные тела состоят из огромного числа и электронов и протонов, так почему же при описании их движения мы учитываем только силу их взаимного тяготения, пренебрегая силой их кулоновского взаимодействия?

4.7. (8-9 и 10 классы). В III в. до н. э. Эратосфен знал, что Солнце над городом Сиена бывает так высоко, что его лучи достигают дна самого глубокого колодца. В это же время в Александрии Солнце отстояло от зенита на  $1/50$  часть окружности. Зная, что расстояние между Сиеной и Александрией составляет около 5 000 греческих стадий, оцените вместе с Эратосфеном длину земного меридиана (в стадиях).

4.8. До конца XIX века некоторые ученые полагали, что источником энергии Солнца являются химические реакции горения, в частности, горения угля. Приняв, что теплота сгорания угля  $q = 10^7$  Дж/кг, масса Солнца  $2 \cdot 10^{30}$  кг, а светимость  $4 \cdot 10^{26}$  Вт, приведите веские доказательства правильности или неправильности этой гипотезы.

### 10 класс

4.9. Период обращения Урана вокруг Солнца равен 84 годам. Будет ли у Солнца виден диск, если смотреть на него с Урана невооруженным глазом, или оно будет точечным объектом? Обоснуйте свой ответ.

### 11 класс

4.10. Размер нейтрона равен  $10^{-15}$  м, а его масса равна  $1,7 \cdot 10^{-27}$  кг, оцените радиус и плотность нейтронной звезды с массой в два раза большей массы Солнца. Масса Солнца равна  $2 \cdot 10^{30}$  кг.

4.11 В 1929 г. Э. Хаббл обнаружил, что все галактики удаляются от нас. Скорость удаления, по Хабблу, связана с расстоянием  $r$  выражением  $V = H \cdot r$ . Если скорость  $V$  в км/с, расстояние  $r$  в Мегапарсеках (Мпк), то  $H = 75$  км/сМпк. Оцените время, когда галактики были рядом друг с другом. (Это время называют возрастом Вселенной).

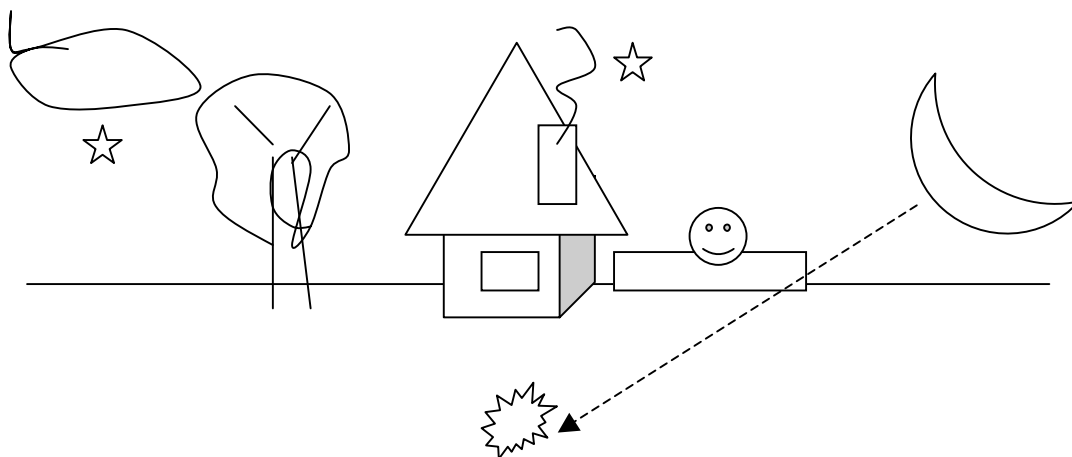
4.12 Одна из вновь открытых планет Солнечной системы Куауар была открыта в 2002 г. в созвездии Змееносца. Она находится на расстоянии около 49 а.е. от Солнца. Как долго она будет перемещаться по созвездию Змееносца, если Солнцу для этого требуется около 20 суток?

## Часть 4. 63 Московская Астрономическая Олимпиада (2009 год)

### 5-7 класс

4.1. Итак, если необходимо узнать, когда наступит полнолуние в апреле, нужно вспомнить, что синодический месяц – период смены лунных фаз, равен 29,5 суток. Прибавляем к 11 марта 6ч 29,5 суток имеем 11 и 6ч + 29 и 12ч – 31= 9 апреля в 18 ч.

4.2.



Пунктиром на рисунке показано, что Солнце находится под горизонтом внизу левее, т.е. восточнее узкого серпа Луны. Это означает, что, так как небесная сфера поворачивается с востока на запад, то при восходе вначале появляется Луна, а затем Солнце. Таким образом, юный художник изобразил утро.

4.3 (для всех классов). Здесь имеется в виду, что ребята иногда смотрят на небо в вечерние часы и знают основные созвездия. До 20 марта Солнце движется по знаку Рыб, а далее – по знаку Овна.

Если мы начнём наблюдения вечером, то вблизи зенита в первую очередь увидим одну из ярчайших звёзд земного неба Капеллу ( $\alpha$  Возничего). Четыре сравнительно яркие звезды этого созвездия и звезда  $\beta$  Тельца, расположенная чуть ниже, образуют хорошо заметный большой пятиугольник. На всех старинных звёздных атласах и картах созвездие Возничего изображали юношей с козой на левом плече (звезда Капелла, от лат. capella – козочка), держащим левой рукой двух козлят (маленький треугольник из трёх слабых звёзд чуть ниже Капеллы). Конечно, это изображение ни в коей мере не похоже на возничего. Это созвездие очень древнее и упоминалось задолго до того как появились легенды о возничем – изобретателе колесницы. В доантичные времена люди видели в созвездии Возничего пастуха со стадом. И, несмотря на то, что созвездие было переименовано, древние греки сохранили античный образ пастуха с двумя козлятами. В козе на левом плече видели козу Амальтею, вскормившую своим молоком Зевса в горах Крита. Когда же Зевс стал властелином неба и земли, он не забыл свою кормилицу, превратив её в яркую звезду.

Звезда  $\epsilon$  Возничего – ближайшая к Капелле из трёх звёзд-козочек – очень необычная затменно-переменная звезда, блеск которой меняется с периодом около 27 лет. Главная желтоватая звезда  $4^m$ , которую мы видим, – сверхгигант с температурой поверхности 6300 К. Эта звезда в 36 раз массивнее Солнца и в 190 раз больше его по диаметру. Но её размеры совершенно меркнут по сравнению с размерами второй звезды, самой большой из всех, которые мы знаем: её диаметр в 2700 раз больше солнечного, так что внутри свободно уместилась бы орбиты всех планет, от Меркурия до Сатурна включительно! Как это ни покажется странным, но наблюдать эту гигантскую звезду в обычный телескоп практически невозможно, т.к. температура её поверхности всего около 1400 К. Излучение сосредоточено в инфракрасном диапазоне, и из-за низкой температуры, несмотря на большой радиус, её светимость едва сравнима с солнечной, поэтому видимый блеск всего  $16^m$ . Фактически средняя плотность этой холодной гигантской

звезды настолько мала, что она почти прозрачна для света её яркой компоненты, которая практически просвечивает во время затмений. Чуть выше  $\beta$  Тельца в бинокль и школьный телескоп можно рассмотреть три рассеянных звёздных скопления – М36, М37 и М38. Самое яркое и богатое из них – М37.

Эрихтоний (Возничий) – царь Афин, рождённый Геей полужемлей-получеловеком от семени Гефеста. Младенцем в закрытом ларце был отдан Афиной Аглавре и её сёстрам. Они открыли ларец, нарушив запрет Афины и ужаснулись от увиденного. В наказание Афина наслала на них безумие и сама воспитала Эрихтония. Возмужав, он стал царствовать в Афинах. Эрихтоний установил на акрополе деревянную статую Афины, изобрёл квадригу (упряжку из четырёх коней). За это боги вознесли его на небо в виде созвездия Возничего.

Под этим созвездием, на юго-западе, сверкает красный Альдебаран – глаз разъярённого быка, – ярчайшая звезда в созвездии Тельца. Альдебаран проецируется на рассеянное скопление звёзд Гиады, имеющее V-образную форму. Выше и правее легко рассмотреть другое более заметное и известное рассеянное скопление – Плеяды.

Ещё одно заметное созвездие вблизи зенита, которое в данное время находится в верхней кульминации, – *Близнецы*. Оно выделяется двумя очень яркими звёздами второй величины, расположенными близко друг к другу, – Кастором ( $\alpha$ ) и Поллуксом ( $\beta$ ). Кастор представляет собой красивейшую двойную звезду: яркая  $2^m$  с более слабой  $3^m$  на расстоянии около  $5''$ . Они обращаются друг вокруг друга с периодом 420 лет. Достаточно небольшого телескопа с увеличением в 20 раз, чтобы разглядеть эту двойную.

Несколько выше  $\mu$  и  $\eta$  Близнецов хороший наблюдатель в бинокль сможет различить слабенькое пятнышко  $5,3^m$  – рассеянное скопление звёзд М35, диаметром около  $40'$ . В нём можно насчитать до 120 звёзд. Расстояние до этого скопления 270 св.лет. Рядом находится слабенькая звёздочка  $4^m$  – *Пропус (подножие)*, блеск которой меняется.

Звезда  $\zeta$  Близнецов меняет свой блеск с  $3,6^m$  до  $4,2^m$  с периодом 10,2 сут.; эта переменная звезда относится к типу пульсирующих короткопериодических цефеид. Звезда  $\kappa$  Близнецов, прямо под Поллуксом, принадлежит к ярким и красивым двойным звёздам. Главная звезда  $3,6^m$  имеет на расстоянии  $7''$  спутник величиной  $8^m$ . Уже в небольшой телескоп  $\kappa$  Близнецов представляет собой удивительное зрелище. Будто два драгоценных камня сверкают рядом: один (главная звезда) – оранжевый, другой (её спутник) – зелёный.

На западе хорошо различимо созвездие *Персея* с яркой звездой *Мирфак* ( $\alpha$ ,  $-1,9^m$ ). На северо-западе видно W-образное созвездие Кассиопеи. Между Кассиопеей и Персеем видны два близко расположенных рассеянных звёздных скопления –  $\chi$  ( $4^m$ ) и  $h$  ( $5^m$ ) Персея.

На северо-востоке хорошо заметен Ковш созвездия Большой Медведицы, две крайние звезды которой –  $\beta$  (Мерак) и  $\alpha$  (Дубхе) – указывают на Полярную звезду, находящуюся почти точно в Северном полюсе мира.

Между Возничим и Полярной звездой, в области, где отсутствуют яркие звёзды, можно угадать созвездие Жирафа, а между Близнецами и Большой Медведицей – созвездие Рыси. Оба содержат звёзды слабее  $4^m$ , поэтому разыскать и отождествить их на небе можно только с помощью звёздного атласа.

Коль скоро мы нашли Полярную звезду и точку зенита, мысленно проведём через них линию – небесный меридиан. Встанем спиной к Полярной, лицом на юг. Созвездия, пересекающие небесный меридиан над точкой юга, находятся в верхней кульминации, и их лучше всего изучать, т.к. они выше всего над горизонтом. Самое заметное, кульминирующее в это время, – созвездие Ориона. Находим оранжевую Бетельгейзе – пульсирующий сверхгигант, радиус которого меняется от 800 до 1000 радиусов Солнца. Это одна из первых звёзд, чьё изображение было получено с помощью метода спектроинтерферометрии. Пятна, которые наблюдаются на поверхности этой звезды, имеют размеры, сравнимые с расстоянием от Земли до Солнца. Бетельгейзе – двойная звезда, её спутник голубого цвета  $9^m$  расположен на расстоянии около  $2,5'$ .

Другая заметная яркая звезда в этом созвездии – Ригель ( $\beta$  Ориона,  $1^m$ ), – под Поясом Ориона, справа. Уже в школьный телескоп можно обнаружить её двойственность. Правее Бетельгейзе видна сравнительно яркая звезда Беллятрикс ( $\gamma$ ,  $2^m$ ). Верхняя из трёх звёзд Пояса Ориона звезда Дельта ( $2,5^m$ ) тоже имеет слабый спутник  $7^m$  на расстоянии около  $1'$ .

Под Поясом Ориона даже глазом заметно слабое свечение туманности Ориона. В этом гигантском газопылевом комплексе содержится огромное число молодых и горячих звёзд спектрального класса O, которые образуют скопления, названные O-ассоциациями. Здесь же обнаружены скопления особенных переменных звёзд типа T Тельца. Они тоже группируются в так называемые T-ассоциации. Это звёзды, у которых только-только прекратилась стадия сжатия из пылевого облака, а в центре начинаются ядерные реакции, т.е. это почти сформировавшиеся звёзды. Отличительной особенностью этих «почти звёзд» является переменность их блеска, которая и указывает на завершение процесса формирования. Изучение O- и T-ассоциаций многое говорит астрономам о физических процессах образования звёзд.

Повернувшись лицом к северу, мы увидим много знакомых созвездий, которые блистали на юге высоко над горизонтом в тёплые августовские ночи, и астеризм Голова Дракона, упирающийся в точку севера, т.е. находящийся в нижней кульминации. Над точкой юга, почти у горизонта, видна Вега. На широте Москвы эта звезда не заходит. Левее, чуть повыше, виден Денеб ( $\alpha$  Лебеда). Лапы Дракона упираются в созвездие Цефея. Оно незаходящее, т.е. вы имеете возможность круглый год изучать знаменитую пульсирующую переменную  $\delta$  Цефея. На самом западе вот-вот зайдёт под горизонт Большой Квадрат Пегаса. На востоке, наоборот, – восходящие созвездия поднимаются всё выше и выше. Знакомая Б.Медведица делает стойку на своём длинном хвосте. В центре окружности, составленной звёздами Хвоста, можно увидеть одинокую сравнительно яркую звезду Сердце Карла II ( $\alpha$  Гончих Псов). Но все эти созвездия станут лучше видны ближе к лету.

Наиболее приметными созвездиями, которые находятся высоко над южной стороной неба, являются: Орион, западнее Телец, восточнее над Орионом Близнецы, в котором сейчас находится Сатурн. У самого горизонта на юго-востоке сияет ярчайшая звезда земного неба Сириус. В Тельце хорошо видно рассеянное скопление звезд Плеяды. Над Тельцом, почти в зените виден Возничий с яркой Капеллой. На юго-западе в созвездии Рыбы виден Марс. На северо-западе видна Большая Медведица, по крайним звездам ее ковша легко находим Полярную звезду и Малую Медведицу. Чем больше будет указано созвездий, тем лучше. Больше плюсов тем, кто укажет наиболее интересные объекты в некоторых созвездиях.

$$4.4a. t = 150\,000\,000 \text{ км} / 1\,500 \text{ км/с} = 100\,000 \text{ с} = 30 \text{ часов.}$$

$$4.4b. (8-9 \text{ и } 10 \text{ классы}). \text{ Выброс плазмы достигнет Земли } t = 150\,000\,000 \text{ км} / 1\,500 \text{ км/с} = 100\,000 \text{ с} = 30 \text{ часов. Всплеск радиоизлучения, которое распространяется со скоростью света, достигнет Земли через } t = 150\,000\,000 \text{ км} / 300\,000 \text{ км/с} = 500 \text{ с} = 8 \text{ минут}$$

4.5. «Тропик Рака» расположен на Земле, на параллели, соответствующей широте  $23,5^\circ$ . В местах расположенных на этой параллели Солнце бывает в зените раз в году в день летнего солнцестояния. В этот день Солнце вступает в знак Рака и зодиакальное созвездие Близнецы, в котором в настоящее время расположена точка летнего солнцестояния. В античные времена эта точка располагалась в созвездии Рака. Название «тропика Рака» оно получило по знаку и созвездию Рака.

### 8-9 классы

4.6a (8-9 и 10 классы). Нужно знать, что в крупных телах, в частности, в небесных телах количество положительно заряженных частиц равно количеству отрицательно заряженных частиц, т.е. полный заряд отдельного небесного тела равен нулю. Так как кулоновское взаимодействие происходит только между заряженными телами, то между небесными телами такого взаимодействия нет. Между ними существует только гравитационное взаимодействие, которое тем больше, чем больше масса небесных тел.

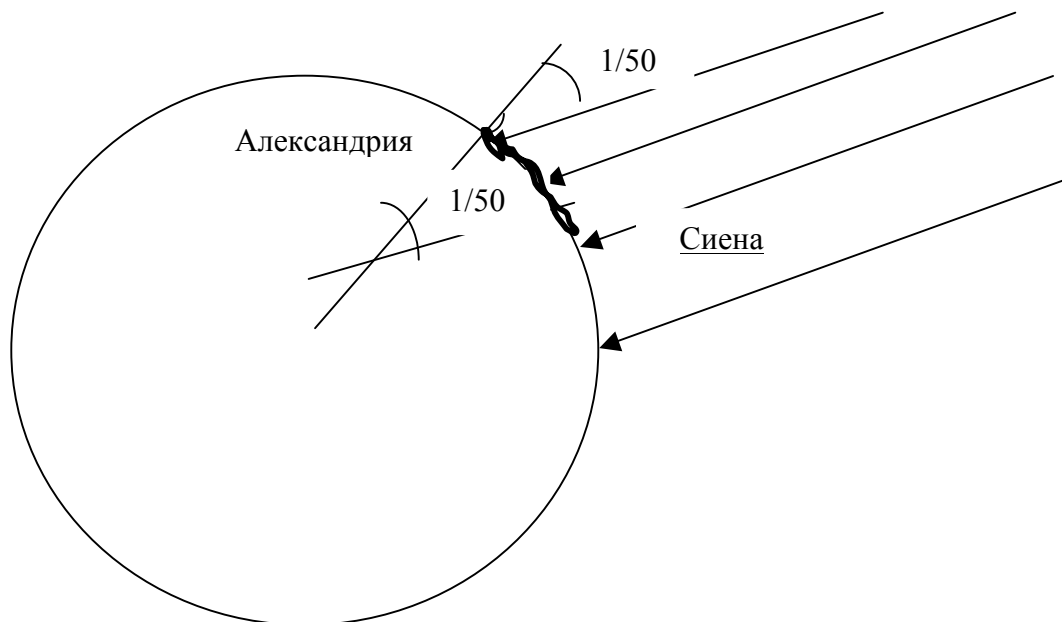
$$4.6b (11 \text{ класс}) F_q = k \cdot e^2/r^2, \quad F_g = G \cdot m_e \cdot m_p / r^2 ;$$

$$F_q / F_g = k \cdot e^2 / (G \cdot m_e \cdot m_p) =$$

$$9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2 / (6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}) = 2,3 \cdot 10^{39}$$

Из полученного соотношения видно, что сила кулоновского взаимодействия между электроном и протоном почти  $10^{39}$  раз превышает силу гравитационного взаимодействия. Но нужно иметь в виду, что в крупных телах, в частности, в небесных телах, количество положительно заряженных частиц равно количеству отрицательно заряженных частиц, т.е. полный заряд отдельного небесного тела равен нулю. Так как кулоновское взаимодействие происходит только между заряженными телами, то между небесными телами такого взаимодействия нет. Между ними существует только гравитационное взаимодействие, которое тем больше, чем больше масса небесных тел.

4.7. (8-9 и 10 классы). Итак, в день летнего солнцестояния Солнце в Сиене было в зените, так как было видно дно колодца.



Стрелками показаны солнечные лучи, которые идут практически параллельно друг другу. Как видно из рисунка, длина заштрихованной линии дуги между городами будет составлять  $1/50$  длины всего меридиана. Следовательно, длина меридиана будет в 50 раз больше расстояния между Сиеной и Александрией. Итак, длина меридиана равна  $5000 \cdot 50 = 250\,000$  греческих стадий. Если кто вспомнит. Чему равна греческая стадия, то может посчитать длину меридиана в км. Если кто вспомнит из географии, что длина меридиана равна 40000 км, тому честь и хвала и большой плюс.

4.8. Запасы тепла без учета кислорода составляют  $Q = q \cdot M = 2 \cdot 10^{37}$  Дж. Этого запаса хватит на время  $t = Q : L = 2 \cdot 10^{37} / 4 \cdot 10^{26} = 5 \cdot 10^{10} \text{ с} = 1700$  лет. Юлий Цезарь жил более 2000 лет назад, Динозавры вымерли около 60 млн. лет назад, так, что за счет химических реакций Солнце светить не может. (Если, кто-то скажет о ядерном источнике энергии, то это будет здорово).

### 10 – 11 класс

4.9. Из третьего закона Кеплера находим расстояние до Урана (а может, кто и наизусть помнит!).  $a = T^{2/3} = 84^{2/3} = 19,2$  а.е. Угловой диаметр Солнца, видимый с Земли, равен около  $30\phi$ , на Уране угловой размер Солнца будет  $30\phi / a = 30\phi / 19,2 = 1,5\phi$ . Разрешающая способность глаза составляет около  $1\phi$ , следовательно Солнце будет представляться едва различимым диском, а не точечным объектом.

4.10. В нейтронной звезде нейтроны плотно соприкасаются друг с другом, так, что расстояние между их центрами будет равно  $d$  диаметру нейтрону, а концентрация нейтронов будет обратно пропорциональна кубу расстояния между ними, т.е. концентрация  $n \approx 1/d^3 = 10^{45} \text{ 1/м}^3$ . Плотность

равна  $\rho = n \cdot m_n = 1,7 \cdot 10^{18} \text{ кг/м}^3$ . Масса нейтронной звезды равна  $M = \rho \cdot 4\pi R^3/3$ . Из этой формулы имеем для радиуса нейтронной звезды величину  $R \approx (3M/4\pi\rho)^{1/3} = 8 \cdot 10^4 \text{ м} \approx 10 \text{ км}$ .

4.11 Время, за которое галактика прошла расстояние  $r$  определяется по формуле  $t = r/V = r/Hr = 1/H = 1/75 \text{ км/сМпк}$ .  $1 \text{ Мпк} = 3 \cdot 10^{19} \text{ км}$ . Подставляем в формулу вместо Мпк км и км сокращаются и остается  $t = 4 \cdot 10^{17} \text{ с} = 13 \cdot 10^9 \text{ лет}$

4.12 Одна При таком расстоянии период обращения планеты Куауар равен  $T = \ddot{a}^3 - 49 \cdot 7 = 343$  года, таким образом за год планета перемещается всего на  $360^\circ/343 = 1,05^\circ/\text{год}$  или на  $10''/\text{сутки}$ . Протяженность созвездия Змееносца составляет около  $10\text{-}20^\circ$  (это не нужно помнить, хотя бы грубо оценить), так что, все созвездие Куауар пройдет примерно за  $10\text{-}20$  лет. (Плутон перемещается чуть быстрее, примерно на  $14''/\text{сутки}$ )