

Департамент образования города Москвы  
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

## **Задачи Московской Астрономической олимпиады. 2006-2015**

Под редакцией М.В.Кузнецова, Н.Ю. Подорванюка и О.С. Угольникова

Москва, 2015

Задачи Московской Астрономической олимпиады. 2006-2015. Сборник под редакцией М.В. Кузнецова, Н.Ю. Подорванюка и О.С. Угольникова.

Сборник содержит 397 задач по астрономии для школьников, предлагавшихся на Московских олимпиадах по астрономии и физике космоса, проводившихся с 2006 по 2015 год, при подготовке команды Москвы к Всероссийским и Международным астрономическим олимпиадам, а также на открытой заочной олимпиаде.

Книга предназначена для любителей астрономии, членов астрономических кружков и клубов, школьников, студентов, аспирантов, преподавателей средних школ и вузов, научных работников.

### **Редакторы:**

*Кузнецов Михаил Владимирович* – сотрудник отдела изучения галактики и переменных звезд ГАИШ МГУ им М.В. Ломоносова, учитель астрономии МОУ Гимназии №1 и МОУ Лицея №14 г.о.Жуковский, руководитель астрономического кружка им Е.П.Левитана г.о.Жуковский

*Подорванюк Николай Юрьевич* – научный сотрудник отдела радиоастрономии ГАИШ МГУ им М.В. Ломоносова, председатель оргкомитета Московской городской астрономической олимпиады, редактор отдела науки интернет-издания «Газета.Ru»

*Угольников Олег Станиславович* – Старший научный сотрудник Института космических исследований РАН, заместитель председателя Центральной предметной методической комиссии по астрономии Министерства образования и науки России

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Настоящий сборник является продолжением сборника Задачи Московской Астрономической олимпиады. 2003-2005, изданного Московским институтом открытого образования в 2005 году. Прошедшие с того момента 9 лет стали очень интересным и насыщенным временем с точки зрения астрономического олимпиадного движения в Москве.

Основным принципом формирования комплекта задач на Московскую олимпиаду по астрономии и физике космоса является необходимость охватить различные темы многообразной астрономической науки в каждом туре и в каждой возрастной группе. Традиционно Московская олимпиада проводилась в два теоретических тура. В первый тур включались более простые по своему построению задачи, требующие, прежде всего, определенного уровня знаний. Участникам, прошедшим во второй тур, предстояло проявить пространственное мышление, смекалку, владение основами метода оценок и приближенных вычислений.

С 2010 года порядок проведения изменился, в составе олимпиады появился дистанционный – отборочный тур, который можно написать, используя интернет, через онлайн систему олимпиад школьников г. Москвы. Этот тур взял на себя функцию первого отборочного тура, что позволило охватить, и заинтересовать в участии в олимпиаде большее число школьников из различных городов и регионов России. По результатам этого отборочного тура на второй – очный тур олимпиады приглашаются школьники набравшие половину баллов в дистанционном туре.

А в 2014 году произошло разделение задач по сложности и стоимости в баллах в рамках второго очного тура, в старшей параллели 10 и 11 классов, приблизив тур к стандартам международной олимпиады школьников по астрономии и астрофизике (IOAA). Где есть длинные – более сложные и короткие - легкие задачи.

И, наконец, с 2015 года, в сотрудничестве с Московским планетарием появился третий тур олимпиады – наблюдательный. Когда школьники выполняют задания на небе планетария. На этот тур приглашаются самые сильные участники, прошедшие отбор первых двух туров олимпиады. Такой тур в рамках астрономических олимпиад школьников в России проводился впервые за всю историю астрономических олимпиад школьников в нашей стране.

# **МОСКОВСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА ГЛАЗАМИ ЕЕ УЧАСТИКОВ**

Я начал участвовать в Московской астрономической олимпиаде с 2012 года, когда я учился в 9 классе. И каждый год олимпиада выглядела немного по-новому.

В 2012 она включала в себя много вопросов на знание и на догадливость, но была небогата задачами на вычисление. Например, были даны отрывки из литературных произведений, и требовалось найти ошибку с астрономической точки зрения. (И такой состав заданий оказался мне на руку, потому что в тот раз я забыл взять с собой калькулятор; правда, в одной задаче всё-таки пришлось считать синусы столбиком).

В 2013 году Московская олимпиада уже больше походила на Всероссийскую и IAO (в тот раз задания мне больше всего понравились), а в 2014 - на IOAA. Что не удивительно, потому что она давала возможность прохода на международные олимпиады, - и, кстати, послужила неплохой тренировкой перед ними.

И все три воплощения Московской олимпиады были хорошей пищей для ума.

Пожалуй, МАО -- единственная чистая, беспримесная астрономическая олимпиада в России, не входящая в систему ВОШ. Потому что для решения, например, Санкт-Петербургской олимпиады иногда требуются скорее знания из физики (причём опережающие школьную программу участников). Приятно, что Московская олимпиада более верна своему предмету.

А вообще МАО - это замечательная возможность для школьников посоревноваться на астрономическом поприще за пределами ноября, января и апреля, когда проходят этапы ВОШ. Радует то, что, сравниваясь по качеству задач с Всероссийской, она более открыта для желающих принять участие. И желающие пользуются этим шансом, и приезжают делегации из Белгорода, из Мордовии и прочих регионов России (кстати, вот ещё один плюс МАО для школьников - случай пообщаться с другими юными астрономами из разных уголков страны).

Многая лета!

*Шеянов Евгений,*

призёр 66, 67 Московской астрономической олимпиады,  
победитель 68 Московской астрономической олимпиады  
призер XX, XXI Всероссийской олимпиады школьников по астрономии,  
участник XVII Международной астрономической олимпиады,  
почетная грамота VIII Международной олимпиады по астрономии и астрофизике.

Московская городская олимпиада – олимпиада, с которой начался мой астрономический олимпиадный путь и, скорее всего, вся дальнейшая астрономическая жизнь. Это была первая олимпиада по астрономии, в которой я получил диплом призера, тогда я был девятиклассником. Наверное, именно это и дало мне уверенность в своих силах и вызвало интерес к науке в целом, который не угасает до сих пор, и, надеюсь, не угаснет никогда.

Первая олимпиада в 9 классе для меня прошла волнительно. Я даже не знал, чего следует ожидать, не знал, насколько сильны мои соперники, и насколько строги члены жюри. Но так

получилось, что почти все задачи я решил весьма неплохо. Когда через пару недель я увидел себя в списках призеров, я пообещал себе, что во что бы то ни стало, продолжу заниматься дальше олимпиадной астрономией и буду участвовать во многих других олимпиадах. Так и получилось потом.

Как я уже сказал, эта олимпиада подтолкнула меня изучать науку дальше. Помимо полезных и интересных знаний (и не только астрономических!), на олимпиадах я познакомился со многими хорошими ребятами из других городов, которые тоже не равнодушны к астрономии и другим областям науки. И мне кажется, что это куда важнее полученных на олимпиадах дипломов, ведь именно таким образом мы знакомимся со своими будущими коллегами и просто хорошими друзьями.

После окончания школы я поступил в ГАИШ МГУ, и продолжаю заниматься астрономией. Но я уверен, что неважно, связет ли человек, выигравший астрономические олимпиады, свою жизнь с этой наукой или нет, участие в олимпиадах напрасным не будет, ведь так человек учится шире мыслить. Да и быть эрудированным еще точно никому не мешало.

Подводя итог, могу сказать, что участие в олимпиадах – самая интересная часть школьного учебного процесса. Главное – не бояться вступить на этот олимпиадный путь, а Московская олимпиада – отличное место для старта. Удачи и побед!

***Борисов Святослав***

призёр 65, 66 Московской астрономической олимпиады,  
призер , 67 Московской астрономической олимпиады,  
победитель XX Всероссийской олимпиады школьников по астрономии,  
бронзовый призер VII Международной олимпиады по астрономии и астрофизике.

Московская астрономическая олимпиада оставила у меня довольно приятные впечатления. Ежегодно она проходила в марте, поэтому помогала поддерживать олимпиадную форму между региональным и всероссийским этапами. Безусловно, МАО имеет свои особенности, самой яркой из которых я считаю необходимость поиска "изюминки" в каждой задаче. Кроме того, у этой олимпиады есть свой шарм, и при участии в ней чувствуется её многолетняя история.

Московская астрономическая олимпиада — это отличный способ проверить свои знания не только для учеников старших классов, но и для совсем юных ребят. Мне кажется, очень важно заметить таланты в тот момент, когда их олимпиадный путь только начинается.

Для меня МАО была скорее тренировкой своих сил перед всероссийской олимпиадой, но стоит учитывать, что я, к сожалению, впервые поучаствовал в ней только в 9 классе. Будь я младше, призовое место дало бы мне огромный толчок к дальнейшему развитию.

***Афанасьев Антон***

призёр 65, 66 Московской астрономической олимпиады,  
победитель 67 Московской астрономической олимпиады,  
победитель XIX, призер XX, XXI Всероссийской олимпиады школьников по астрономии,  
бронзовый призер XVI и победитель XVII Международной астрономической олимпиады,  
серебряный призер VII Международной олимпиады по астрономии и астрофизике.

В пятом классе московская олимпиада стала для меня первым серьезным соревнованием по астрономии. Она стала моим первым опытом участия в олимпиадах. Благодаря участию в ней я увидел, что астрономия гораздо шире, чем мне представлялось на той момент, что она связана со многими предметами, которые изучают в школе.

В старших классах, когда у меня было уже много знакомых астрономов, московская олимпиада стала местом встречи старых друзей.

*Сушико Вадим,*

призёр 63, 64, 65 Московской астрономической олимпиады,  
победитель 66, 67 68 Московской астрономической олимпиады,  
победитель XVIII, XIX, XX, XXI Всероссийской олимпиады школьников по астрономии,  
серебряный призер XVI и победитель XVII Международной астрономической олимпиады,  
бронзовый призер VIII Международной олимпиады по астрономии и астрофизике.

## **УСЛОВИЯ ЗАДАЧ**

### **Часть 1. 60 Московская Астрономическая Олимпиада (2006 год)**

#### **I ТУР**

##### **8 класс и моложе**

1.1. На каких широтах на Земле Солнце 22 июня поднимается над горизонтом выше, чем 21 декабря?

1.2. Какие три планеты могут подходить ближе всего к Земле? Расположите их в порядке возрастания минимального расстояния от Земли. Можно ли их увидеть с Земли во время сближения?

1.3. В какой сезон года в Москве лучше всего видна Луна в фазе первой четверти и почему?

1.4. Бывают ли на Земле кольцеобразные лунные затмения и почему?

##### **9 класс**

1.5. Около 3 тысяч лет назад в день летнего солнцестояния полуденное зенитное расстояние Солнца в одном из мест земной поверхности было  $26^{\circ}15'$  (к югу от зенита), а в день зимнего солнцестояния полуденная высота Солнца над южным горизонтом равнялась  $+16^{\circ}03'$ . Вычислить наклонение эклиптики к небесному экватору в ту эпоху.

1.6. Определите орбитальную скорость и период обращения искусственных спутников Земли, движущихся вокруг нее по круговым орбитам на расстоянии половины и двух радиусов от поверхности.

1.7. Найти разность звездных величин светил, отличающихся по яркости в 10, 100 и 1000 раз.

1.8. Как изменилось бы ускорение свободного падения на поверхности планеты при увеличении ее массы в  $m$  раз, а средней плотности в  $n$  раз?

##### **10 класс**

1.9. Около 3 тысяч лет назад в день летнего солнцестояния полуденное зенитное расстояние Солнца в одном из мест земной поверхности было  $26^{\circ}15'$  (к югу от зенита), а в день зимнего солнцестояния полуденная высота Солнца над южным горизонтом равнялась  $+16^{\circ}03'$ . Вычислить наклонение эклиптики к небесному экватору в ту эпоху.

1.10. По каким орбитам будут двигаться искусственные небесные тела, запущенные с горизонтальной скоростью 9.5 км/с на высоте 200 км над поверхностью Земли, Марса и Юпитера? Массы Марса и Юпитера составляют 0.107 и 318 масс Земли, а их радиусы – 0.53 и 11.2 радиуса Земли.

1.11. Диаметр Луны меньше земного в 3.67 раза; сферическое альбедо Земли 0.39, Луны – 0.07. При среднем геоцентрическом расстоянии 384 400 км блеск полной Луны равен  $-12.7^m$ . Как выглядят Земля и Луна при наблюдении с Солнца?

1.12. Как изменилось бы ускорение свободного падения на поверхности планеты при увеличении ее массы в  $m$  раз, а средней плотности в  $n$  раз?

## **11 класс**

1.13 На какой географической широте Солнце кульминирует в день летнего солнцестояния на зенитном расстоянии  $10^{\circ}41'$  к северу от зенита? Чему равна полуденная и полуночная высота Солнца на той же широте в дни обоих равноденствий и солнцестояний?

1.14 По каким орбитам будут двигаться искусственные небесные тела, запущенные с горизонтальной скоростью 9.5 км/с на высоте 200 км над поверхностью Земли, Марса и Юпитера? Массы Марса и Юпитера составляют 0.107 и 318 масс Земли, а их радиусы – 0.53 и 11.2 радиуса Земли.

1.15 Диаметр Луны меньше земного в 3.67 раза; сферическое альбедо Земли 0.39, Луны – 0.07. При среднем геоцентрическом расстоянии 384 400 км блеск полной Луны равен  $-12.7^m$ . Как выглядят Земля и Луна при наблюдении с Солнца?

1.16 Известно, что 10 000 лет назад звезда находилась на минимальном расстоянии от Солнца при параллаксе  $0.15''$  и имела блеск на  $0.1^m$  ярче настоящего. Определите современные значения параллакса, лучевой, тангенциальной и полной скорости и собственного движения звезды.

## **II ТУР**

### **8 класс и моложе**

1.17. Что светит ярче – одна звезда первой величины или 60 звезд шестой величины?

1.18. Путешественник объехал Землю по экватору с запада на восток за 60 дней. Какова была его средняя скорость?

1.19. Был бы заметен диск Луны невооруженным глазом, если бы она была в 60 раз меньше?

1.20. Сейчас Юпитер находится в созвездии Весов, а Сатурн – в созвездии Рака. В каких созвездиях они находились во время Первой Московской Астрономической олимпиады?

1.21. Астероид вращается вокруг Солнца по круговой орбите в плоскости эклиптики. За несколько дней до 60-й Московской Астрономической олимпиады он вступил в противостояние с Солнцем. Предыдущее противостояние этого астероида наблюдалось во время Первой Московской Астрономической олимпиады. Определите период обращения астероида вокруг Солнца.

## **9 класс**

1.22. Для поддержания регулярной связи друг с другом и с Землей вокруг экватора Луны было решено построить цепочку из 60 высотных пунктов радиосвязи. При этом было необходимо, чтобы из каждого пункта были видны два соседних. Определите минимальную высоту пунктов связи. Радиус Луны равен 1738 км.

1.23. Путешественник объехал Землю с запада на восток за 60 дней. Какую среднюю продолжительность звездных суток он фиксировал во время путешествия?

1.24. Любитель астрономии наблюдает звезду со склонением  $+60^{\circ}$  в телескоп с 60-кратным увеличением и полем зрения  $1^{\circ}$ . Из-за неверной настройки часовой механизм идет на (1/60) быстрее, чем требуется. Сколько времени можно наблюдать данную звезду без коррекции телескопа?

1.25. Массивное шаровое скопление имеет радиус 60 пк и состоит из 60 миллионов звезд, похожих на Солнце. Одна из звезд движется на краю скопления со скоростью 60 км/с. Покинет ли эта звезда скопление?

1.26. Астероид вращается вокруг Солнца по круговой орбите в плоскости эклиптики. За несколько дней до 60-й Московской Астрономической олимпиады он вступил в противостояние с Солнцем. Предыдущее противостояние этого астероида наблюдалось во время Первой Московской Астрономической олимпиады. Определите расстояние между Землей и астероидом во время противостояния. Орбиту Земли считать круговой, взаимодействие астероида с Землей не учитывать.

## 10 класс

1.27. Для поддержания регулярной связи друг с другом и с Землей вокруг экватора Луны было решено построить цепочку из 60 высотных пунктов радиосвязи. При этом было необходимо, чтобы из каждого пункта были видны два соседних. Определите минимальную высоту пунктов связи. Радиус Луны равен 1738 км.

1.28. На диске звезды появилось слабое пятно с радиусом, в 60 раз меньшим радиуса звезды. Температура поверхности в пятне на  $(1/60)$  меньше, чем на остальной поверхности звезды. Насколько изменилась видимая звездная величина звезды, если пятно находится в центре ее диска? Потемнением диска звезды к краю пренебречь.

1.29. Любитель астрономии наблюдает звезду со склонением  $+60^\circ$  в телескоп с 60-кратным увеличением и полем зрения  $1^\circ$ . Из-за неверной настройки часовой механизма идет на  $(1/60)$  быстрее, чем требуется. Сколько времени можно наблюдать данную звезду без коррекции телескопа?

1.30. Массивное шаровое скопление имеет радиус 60 пк и состоит из 60 миллионов звезд, похожих на Солнце. Одна из звезд движется на краю скопления со скоростью 60 км/с. Покинет ли эта звезда скопление?

1.31. Астероид вращается вокруг Солнца по круговой орбите в плоскости эклиптики. За несколько дней до 60-й Московской Астрономической олимпиады он вступил в противостояние с Солнцем, имея блеск  $7.3^m$ . Предыдущее противостояние этого астероида наблюдалось во время Первой Московской Астрономической олимпиады. Считая, что поверхность астероида похожа на лунную, найдите его радиус. Орбиту Земли считать круговой, взаимодействие астероида с Землей не учитывать.

## 11 класс

1.32. Спиральная галактика с красным смещением  $(1/60)$  видна на Земле как узкая полоска длиной 2 угловые минуты. Лучевая скорость краевых областей галактики отличается от лучевой скорости ее центра на 60 км/с. Оцените массу галактики.

1.33. На диске звезды появилось слабое пятно с радиусом, в 60 раз меньшим радиуса звезды. Температура поверхности в пятне на  $(1/60)$  меньше, чем на остальной поверхности звезды. Насколько изменилась видимая звездная величина звезды, если пятно находится в центре ее диска? Потемнением диска звезды к краю пренебречь.

1.34. Любитель астрономии наблюдает звезду со склонением  $+60^\circ$  в телескоп с 60-кратным увеличением и полем зрения  $1^\circ$ . Из-за неверной настройки часовой механизм идет на  $(1/60)$  быстрее, чем требуется. Сколько времени можно наблюдать данную звезду без коррекции телескопа?

1.35. Во время Первой Московской Астрономической олимпиады ее участники отправили сигнал представителям внеземной цивилизации. Перед 60-й Олимпиадой был получен ответ, в котором жители далекой системы описывали свою звезду, очень похожую на Солнце, и небольшую звезду-спутник, обращающийся вокруг нее по круговой орбите с периодом 60 лет и имеющей в 10 раз меньшую светимость. Какой телескоп нужно приобрести участникам Олимпиады, чтобы увидеть спутник далекой звезды?

1.36. Астероид вращается вокруг Солнца по круговой орбите в плоскости эклиптики. За несколько дней до 60-й Московской Астрономической олимпиады он вступил в противостояние с Солнцем, проходя через звездное скопление Ясли и имея блеск  $7.3^m$ . Предыдущее противостояние этого астероида наблюдалось во время Первой Московской Астрономической олимпиады. Найдите радиус астероида и продолжительность его прохождения по скоплению Ясли. Угловой диаметр скопления Ясли равен  $95'$ , поверхность астероида по своим свойствам похожа на лунную. Орбиту Земли считать круговой, взаимодействие астероида с Землей и его параллакс не учитывать.

## **Часть 2. 61 Московская Астрономическая Олимпиада (2007 год)**

### **I ТУР**

#### **7 класс и моложе**

2.1. У советского поэта Степана Щипачёва есть такое стихотворение:

Рождённый страной дерзновенной,  
весь мир удивляет он.  
Он мал, но он житель Вселенной,  
законам её подчинён.

Он мал, он немного весит,  
он светом не гонит тьму,  
но всеми воспетый месяц  
приходится братом ему.

О каком событии рассказывает поэт? Когда оно произошло? Что именно он называет "братьем месяца"? Почему?

2.2. Юный любитель астрономии, пятиклассник Ваня из Москвы, недавно познакомился по сети Интернет с пятиклассником Джонни из Калифорнии. Рассказывая новому другу о своей семье, Ваня упомянул удивительный факт: в 2004 году его дедушка отметил свой день рождения в пятнадцатый раз, хотя исполнилось ему 60 лет. В ответном письме Джонни сообщил, что его этот факт вовсе не удивил и что он сразу догадался, в чём тут дело. А вот его, Джонни, прадедушка впервые смог отметить день своего рождения только когда ему исполнилось 8 лет.  
Когда родился дедушка Вани? Прадедушка Джонни? Укажите точные даты.

2.3. Может ли нижняя кульминация звезды произойти в точке юга?

2.4. Если планета всегда повернута к Солнцу одной стороной, то сколько звездных и сколько солнечных суток проходит на ней в течение года?

#### **8-9 классы**

2.5. У советского поэта Степана Щипачёва есть такое стихотворение:

Рождённый страной дерзновенной,  
весь мир удивляет он.  
Он мал, но он житель Вселенной,  
законам её подчинён.

Он мал, он немного весит,  
он светом не гонит тьму,  
но всеми воспетый месяц  
приходится братом ему.

О каком событии рассказывает поэт? Когда оно произошло? Что именно он называет "братьем месяца"? Почему?

2.6. Юный любитель астрономии, пятиклассник Ваня из Москвы, недавно познакомился по сети Интернет с пятиклассником Джонни из Калифорнии. Рассказывая новому другу о своей семье, Ваня упомянул удивительный факт: в 2004 году его дедушка отметил свой день рождения в пятнадцатый раз, хотя исполнилось ему 60 лет. В ответном письме Джонни сообщил, что его этот факт вовсе не удивил и что он сразу догадался, в чём тут дело. А вот его, Джонни, прадедушка впервые смог отметить день своего рождения только когда ему исполнилось 8 лет.

Когда родился дедушка Вани? Прадедушка Джонни? Укажите точные даты.

2.7. Почему радиоастрономы могут проводить наблюдения днем, а астрономы-оптики обычно вынуждены наблюдать ночью?

2.8. Если планета всегда повернута к Солнцу одной стороной, то сколько звездных и сколько солнечных суток проходит на ней в течение года?

## 10 класс

2.9. У Леонида Мартынова есть такие строки:

Столь грубо  
Март ёщё не поступал.  
Смотрите-ка: не им ли сшиблен с ног,  
На спинку месяц трепетно упал,  
Совсем как новорожденный щенок...

Вы наверняка замечали, что серп молодой Луны весной круто наклонён к горизонту, "лежит на спинке". Почему так происходит?

2.10. Какова должна была бы быть масса Солнца, чтобы Земля, обращаясь на вдвое большем расстоянии, имела тот же период, что и в настоящее время?

2.11. Почему радиоастрономы могут проводить наблюдения днем, а астрономы-оптики обычно вынуждены наблюдать ночью?

2.12. Если планета всегда повернута к Солнцу одной стороной, то сколько звездных и сколько солнечных суток проходит на ней в течение года?

## 11 класс

2.13. У Леонида Мартынова есть такие строки:

Столь грубо  
Март ёщё не поступал.  
Смотрите-ка: не им ли сшиблен с ног,  
На спинку месяц трепетно упал,  
Совсем как новорожденный щенок...

Вы наверняка замечали, что серп молодой Луны весной круто наклонён к горизонту, "лежит на спинке". Почему так происходит?

2.14. Опишите, как и почему изменяется поведение маятника Фуко на экваторе и на Северном полюсе.

2.15. Почему некоторые звезды выглядят двойными в голубых лучах, но не разрешаются в красных лучах?

2.16. Определите светимость квазара 3C 273, имеющего видимую величину  $12.8^m$  и красное смещение 0.158.

## II ТУР

### 7 класс и моложе

2.17. Проснувшись от летаргического сна, вы обнаружили, что находитесь на необитаемом атолле, лежащем точно на экваторе. Светит Солнце, на вас – только купальный костюм. Сможете ли вы через час-другой сказать, что у вас дома в Москве – зима или лето?

2.18. Барбикен, герой романа Жюля Верна «Вокруг Луны», рассуждая о различных возможностях, которые представляет природа наблюдателям, находящимся на видимом и обратном полушариях Луны, в частности, замечает:

«А селениты видимой части Луны, как только Солнце, светившее им пятнадцать дней подряд, скроется за горизонтом, уже видят на противоположной стороне неба блестящее светило – Землю, чей диск по площади в тринадцать раз больше Луны. Земля уходит с лунного горизонта только в ту минуту, когда на нем с противоположной стороны появляется Солнце».

Будучи абсолютно правым в том, что Земля видна только с видимого лунного полушария, о чем все же позабыл Барбикен?

2.19. Чем объяснить, что южная ночь наступает очень быстро, тогда как в северных широтах после захода Солнца еще долго делятся сумерки?

2.20. В романе Л.Н. Толстого «Анна Каренина» есть такой эпизод:

«Стало темнеть. Ясная серебряная Венера уже сияла из-за березок своим нежным блеском, и высоко на востоке уже переливался своими красными огнями мрачный Арктурус. Над головой у себя Левин ловил и терял звезды Медведицы. Вальдшнепы уже перестали летать; но Левин решил подождать еще, пока видная ему ниже сучка березы Венера перейдет выше его и когда ясны будут видны звезды Медведицы. Венера уже перешла выше сучка, колесница Медведицы со своим дышлом была уже видна на темно-синем небе, но он все еще ждал».

Все ли правильно с астрономической точки зрения представлено в этом эпизоде? В какой сезон года происходила описанная картина?

### 8-9 классы

2.21. Проснувшись от летаргического сна, вы обнаружили, что находитесь на необитаемом атолле, лежащем точно на экваторе. Светит Солнце, на вас – только купальный костюм. Сможете ли вы через час-другой сказать, что у вас дома в Москве – зима или лето?

2.22. Оцените безопасную скорость движения управляемого с Земли марсохода, оснащенного телекамерой, которая «видит» только на 10 метров впереди себя.

2.23. Чем объяснить, что южная ночь наступает очень быстро, тогда как в северных широтах после захода Солнца еще долго делятся сумерки?

2.24. В романе Л.Н. Толстого «Анна Каренина» есть такой эпизод:

«Стало темнеть. Ясная серебряная Венера уже сияла из-за березок своим нежным блеском, и высоко на востоке уже переливался своими красными огнями мрачный Арктурус. Над головой у себя Левин ловил и терял звезды Медведицы. Вальдшнепы уже перестали летать; но Левин решил

подождать еще, пока видная ему ниже сучка березы Венера перейдет выше его и когда ясны будут видны звезды Медведицы. Венера уже перешла выше сучка, колесница Медведицы со своим дышлом была уже видна на темно-синем небе, но он все еще ждал».

Все ли правильно с астрономической точки зрения представлено в этом эпизоде? В какой сезон года происходила описанная картина?

### **10 - 11 классы**

2.25. Теневая фаза лунного затмения началась в 0 часов 22 минуты по московскому времени, а закончилась в 4 часа 46 минут. В каком созвездии находилась Луна во время затмения?

2.26. Предположим, что атмосфера планеты не пропускает видимый свет, но прозрачна для инфракрасного излучения. Как такая атмосфера повлияет на температуру планеты? Сравните с парниковым эффектом.

2.27. Какое расстояние прошла Земля за время своего существования, обращаясь вокруг Солнца?

- а) до ближайшей звезды и обратно;
- б) до центра нашей Галактики и обратно;
- в) до ближайшей галактики и обратно.

2.28. Определите эксцентриситет орбиты кометы, если известно, что линейная скорость в перигелии в 10 раз больше ее скорости в афелии.

2.29. В телескоп с равнозрачковым увеличением проводятся наблюдения Венеры в наибольшей восточной элонгации, и она кажется такого же размера, как Луна при наблюдении невооруженным глазом. Найти диаметр объектива телескопа.

## **Часть 3. 62 Московская Астрономическая Олимпиада (2008 год)**

### **I ТУР**

#### **7 класс и моложе**

3.1. У русского поэта Владимира Бенедиктова есть такие строки:

*"Экое диво! Клим Сидорыч! Глянь из оконца!  
В полдень стемнело, ей-богу! Ведь убыло солнца.  
В небе ни тучки, ни-ни... То есть - пятнышка нету,-  
Ради ж чего недоимка господнего свету?"*

Какое астрономическое явление описано? Что вы знаете об этом явлении?

3.2. Охотник осенью идет под утро в лес по направлению Полярной звезды. После восхода Солнца он возвращается. Как охотник должен идти обратно, руководствуясь положением Солнца?

3.3. Чем объяснить, что южная ночь наступает очень быстро, тогда как в северных широтах после захода Солнца еще долго делятся сумерки?

3.4. Есть ли на Земле такое место, где человек с завязанными глазами, двинувшись, непременно пойдет на север?

#### **8-9 классы**

3.5. У русского поэта Владимира Бенедиктова есть такие строки:

*"Экое диво! Клим Сидорыч! Глянь из оконца!  
В полдень стемнело, ей-богу! Ведь убыло солнца.  
В небе ни тучки, ни-ни... То есть - пятнышка нету,-  
Ради ж чего недоимка господнего свету?"*

Какое астрономическое явление описано? Что вы знаете об этом явлении?

3.6. Охотник осенью идет под утро в лес по направлению Полярной звезды. После восхода Солнца он возвращается. Как охотник должен идти обратно, руководствуясь положением Солнца?

3.7. Чем объяснить, что южная ночь наступает очень быстро, тогда как в северных широтах после захода Солнца еще долго делятся сумерки?

3.8. Допустим, что вся масса кольца Сатурна собрана в один большой спутник, обращающийся вокруг планеты на расстоянии середины кольца и имеющий ту же плотность, что у частиц, составляющих кольцо. Успелись бы или нет освещение наочной стороне на Сатурне в тех местах, где кольцо хорошо видно?

#### **10-11 классы**

3.9. В 2008 году будет 4 затмения – два солнечных (7 февраля и 1 августа) и два лунных (21 февраля и 16 августа). Какие из них можно будет наблюдать с северного полюса Земли? Считать, что погода благоприятствует наблюдениям.

3.10. Ускорение свободного падения на Марсе и на Меркурии примерно одинаковое (около  $3.7 \text{ м/с}^2$ ). Сравните средние плотности планет, если радиус Меркурия 2440 км, а радиус Марса – 3400 км.

3.11. Считая, что человеческий глаз может различать детали, видимые под углом в  $2'$ , вычислите размер наименьших деталей, видимых на Марсе в телескоп с увеличением 600 раз во время великих противостояний Марса, когда его расстояние до Земли равно 0.4 а.е.

3.12а (10 класс). Допустим, что вся масса кольца Сатурна собрана в один большой спутник, обращающийся вокруг планеты на расстоянии середины кольца и имеющий ту же плотность, что у частиц, составляющих кольцо. Успелись бы или нет освещение наочной стороне на Сатурне в тех местах, где кольцо хорошо видно?

3.12б (11 класс) У А.Чернышёва в стихотворении "Кама" есть такие строки:

*Прозрачен вечер.  
И в просторах камской дали,  
Где берега уже едва видны,  
Огни у пристани несмело замигали,  
Как звёздочки шестой величины...*

Оцените мощность фонарей на пристани.

## II ТУР

### 7 класс и моложе

3.13. Стихотворение Людмилы Менциковой "В ночном. Июнь" начинается так:

*Какой оркестр, какие трели!  
А что за травы - в серебре!  
То лунный диск, то юный месяц  
Пунктиром чертят по дуге...*

Покажите на одном рисунке суточную траекторию молодой Луны и полной Луны в июне. Наблюдатель находится в средних широтах северного полушария.

3.14. Планета видна точно в  $90^\circ$  от только что зашедшего Солнца. Что это за планета?

3.15. Через какие интервалы времени чередуются одноименные и разноименные кульминации звезд?

3.16. Вы выходите вечером на улицу и видите звездное небо. Как вы отличите планеты от ярких звезд?

3.17. Если подняться на сверхзвуковом самолете на высоту 20 км, Солнце будет выглядеть значительно ярче. Так почему же при этом на небе появятся звезды?

## 8-9 классы

3.18. Стихотворение Людмилы Менциковой "В ночном. Июнь" начинается так:

*Какой оркестр, какие трели!  
А что за травы - в серебре!  
То лунный диск, то юный месяц  
Пунктиром чертят по дуге...*

Покажите на одном рисунке суточную траекторию молодой Луны и полной Луны в июне. Наблюдатель находится в средних широтах северного полушария.

3.19. Синодический период планеты составляет ровно 1 год, а ее орбита – круговая. Найти радиус орбиты планеты.

3.20. Через какие интервалы времени чередуются одноименные и разноименные кульминации звезд?

3.21. Вы выходите вечером на улицу и видите звездное небо. Как вы отличите планеты от ярких звезд?

3.22. Если подняться на сверхзвуковом самолете на высоту 20 км, Солнце будет выглядеть значительно ярче. Так почему же при этом на небе появятся звезды?

### **10-11 классы**

3.23. Найти разность зенитных расстояний одной и той же звезды при ее разноименных кульминациях в Москве, на широте  $+56^\circ$ .

3.24. Синодический период планеты составляет ровно 1 год, а ее орбита – круговая. Найти радиус орбиты планеты.

3.25. В некотором году наблюдается серия покрытий Луной звёздного скопления Плеяды, находящегося в северо-западной части созвездия Тельца. В какие месяцы этого года возможны затмения Солнца? затмения Луны?

3.26. Считается, что человек с нормальным зрением в идеальных условиях наблюдения видит по всей небесной сфере в общей сложности около 6000 звёзд. Сколько звёзд мог бы насчитать за одну ясную ночь наблюдатель с нормальным зрением, проживающий на экваторе? Атмосферным поглощением пренебречь.

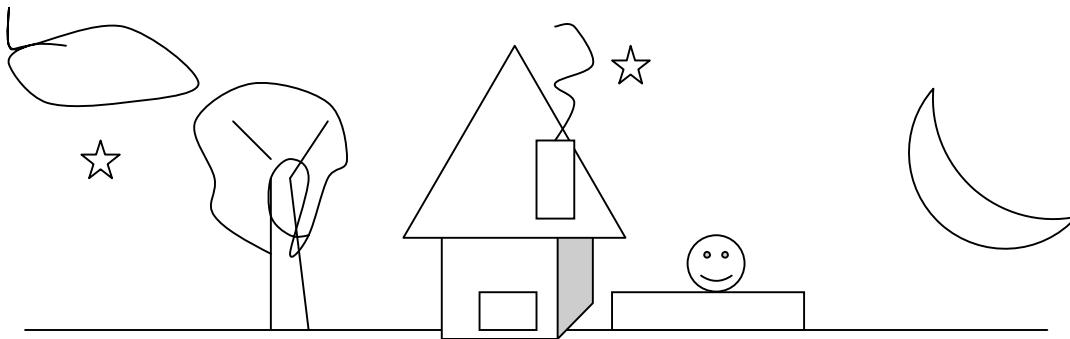
3.27. У новых звезд блеск обычно возрастает при постоянной температуре вследствие вздутия фотосфера. Если изменение блеска равно  $8^m$ , то во сколько раз изменился радиус звезды?

## 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 Подмосковье. 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 астрonomическим 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?

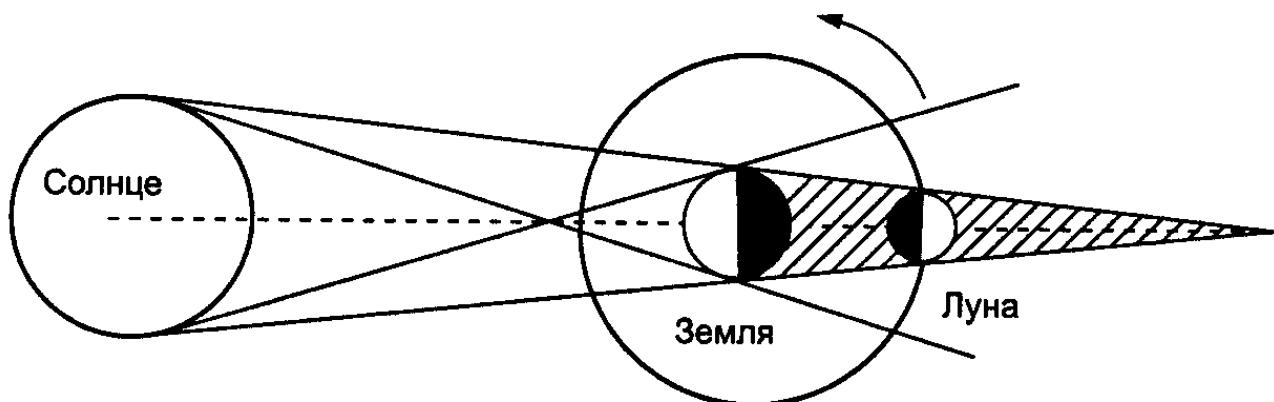
## Часть 5. 64 Московская Астрономическая Олимпиада (2010 год)

### Отборочный этап

#### 5-9 классы

5.1. Какие из перечисленных астрономических явлений – равноденствия, солнцестояния, полнолуния, затмения Солнца, затмения Луны, противостояния планет, максимумы метеорных потоков, появление ярких комет, максимумы блеска переменных звёзд, вспышки сверхновых – происходят каждый год точно приблизительно в одни и те же даты (с точностью до 1-2 дней)?

5.2. В учебнике астрономии белорусских авторов А.П. Клищенко и В.И. Шупляка помещена такая схема лунного затмения. Что в этой схеме неправильно?



5.3. Вчера наблюдалось покрытие Луной звёздного скопления Плеяды. Может ли завтра произойти солнечное затмение? Лунное затмение?

5.4. Вот строки из стихотворения классического китайского поэта Ду Фу "Речная луна" (перевод Э.В.Балашова):

В хрустальной росе  
даже тени и те скруглены,  
В Серебряной Речке  
на дне половинка луны.  
Кто весть принесёт,  
письменами вышив парчу?  
Нахмуривши брови,  
гашу, наконец-то, свечу...

Нетрудно догадаться, что Серебряной Рекой китайцы называют Млечный Путь. В каком месяце года сделано это наблюдение?

#### 10 - 11 класс

5.6. В 2010 году противостояние Сатурна произойдёт 22 марта.

В каком месте Земли Сатурн можно увидеть в зените в этом году?

Какова будет высота Сатурна над горизонтом в местную полночь 22 марта при наблюдении из Москвы (широта  $55^{\circ}45'$ )?

5.7. В XX веке произошло 14 прохождений Меркурия по диску Солнца:

14 ноября 1907 года	7 ноября 1914 года	8 мая 1924 года	10 ноября 1927 года
11 мая 1937 года	11 ноября 1940 года	14 ноября 1953 года	6 мая 1957 года
7 ноября 1960 года	9 мая 1970 года	10 ноября 1973 года	13 ноября 1986 года
6 ноября 1993 года	15 ноября 1999 года		

Почему прохождения наблюдаются только в мае и ноябре? Почему ноябрьские прохождения наблюдаются значительно чаще майских?

5.8 На сколько процентов отличается количество солнечного света, падающего на Луну в фазе первой четверти и в фазе полнолуния?

5.9 Во время великого (перигелийного) противостояния видимый угловой диаметр Марса достигает  $25''$ , во время афелийного он составляет всего  $13''$ . Определите по этим данным эксцентриситет орбиты Марса. Большая полуось орбиты Марса – 1, 5 а.е., орбиту Земли считать окружностью.

### Заключительный этап

#### **5-9 классы**

5.10 Венера может наблюдаться в зодиакальном созвездии Близнецов. Также она может наблюдаваться в северной части созвездия Ориона, так как это всего на несколько градусов южнее эклиптики, а отклонение Венеры от эклиптики может достигать  $8^\circ$ . Венера была видна в созвездии Ориона в августе 1996 года. В созвездии Большого Пса, далеком от эклиптики, Венера находится не может?

5.11. Звездные сутки, равные периоду вращения Земли относительно неподвижных звезд, чуть короче солнечных и равны примерно 23 часа 56 минут. Поэтому данная звезда за эти сутки успеет зайти за горизонт и вновь взойти в 23 часа 57 минут по местному времени, то есть пересечет горизонт еще дважды (если, конечно, за оставшиеся три минуты звезда не зайдет обратно за горизонт).

5.12. Объясните, почему каким бы ни было увеличение телескопа, мы не можем увидеть в его окуляр диски далеких звезд.

5.13. Опишите вид звездного неба с одного из галилеевых спутников Юпитера. Удастся ли с него увидеть невооруженным глазом Землю и Луну отдельно?

5.14 (5-7 классы) Два марсохода, имеющие одинаковую среднюю скорость передвижения, одновременно стартовали от посадочной платформы в момент восхода Солнца. Первый марсоход двигался на запад, а второй – на восток. Какой из марсианских аппаратов первым встретит заход Солнца?

5.15 (8-9 классы) В пространстве Солнечной системы движется космический корабль в виде большой сферы, которая наполовину черная, наполовину белая. Какой из сторон в конце концов развернется к Солнцу этот космический корабль?

#### **10 - 11 класс**

5.16. Как будут идти маятниковые часы, доставленные с Земли на поверхность Марса?

5.17 Предположим, что сегодня Луна в фазе первой четверти покрывает звезду Альдебаран ( $\alpha$  Тельца). Какой сейчас сезон года?

5.18 Блеск Венеры во время верхнего соединения равен  $-3.9''$ , а во время наибольшей элонгации  $-4.4''$ . Чему равен блеск Венеры в этих конфигурациях при наблюдении с Марса? Расстояние от Венеры до Солнца равно 0.723 а.е., а от Марса до Солнца 1.524 а.е.

5.19 Двойная система состоит из двух одинаковых звезд с массой 5 масс Солнца, обращающихся по круговым орбитам вокруг общего центра масс с периодом 316 лет. Удастся ли разрешить эту пару визуально в телескоп "ТАЛ-М" с диаметром объектива 8 см и увеличением окуляра  $105^X$ , если расстояние до нее равно 100 пк?

5.20 Парафиновая деталь в виде шара (без пустот внутри) плотностью  $650 \text{ кг}/\text{м}^3$  плавает в воде на лунной космической базе. Как изменится архимедова сила, действующая на шар, если он будет плавать в масле? (Плотность воды  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ , масла  $900 \text{ кг}/\text{м}^3$ , ускорение свободного падения на Луне  $1,6 \text{ м}/\text{с}^2$  ).

## **Часть 6. 65 Московская Астрономическая Олимпиада (2011 год)**

### **Дистанционный тур**

#### **1-4 классы**

6.1. Сколько больших планет в Солнечной системе? Назовите их. Когда каждая из них была открыта и кем?

6.2 Всегда ли для земного наблюдателя суточное движение Солнца происходит слева направо?

6.3. Где на звездном небе можно увидеть вечером в декабре созвездие Большая Медведица в Москве? Как по этому созвездию можно определить направление на север?

6.4 Когда в Москве лучше всего наблюдать «водные созвездия» Кит, Рыбы и Водолей?

6.5 Какая планета отлично видна невооружённым глазом ночью высоко над горизонтом в декабре в Москве?

6.6 В 2010/2011 учебном году произойдут пять затмений (три частных солнечных и два полных лунных), четыре из которых будут видны в нашей стране. 4 января 2011 года частное солнечное затмение будет видно в Москве, наилучшее время наблюдения 12 часов дня. Как часто видны затмения в Москве и когда будет видно полное солнечное затмение в Москве? Можно ли наблюдать солнечное затмение глазами, без средств защиты?

#### **5-6 классы**

6.6 На звездном небе 88 созвездий. Техника астрономических наблюдений постоянно улучшается, строятся новые и более мощные телескопы. Когда можно ожидать открытия новых созвездий?

6.7 Известна Какая планета отлично видна ночью высоко над горизонтом в декабре в Москве? Можно ли наблюдать в декабре несколько планет одновременно? Можно ли наблюдать в декабре несколько планет одновременно? Какую яркую планету можно наблюдать в декабре только утром?

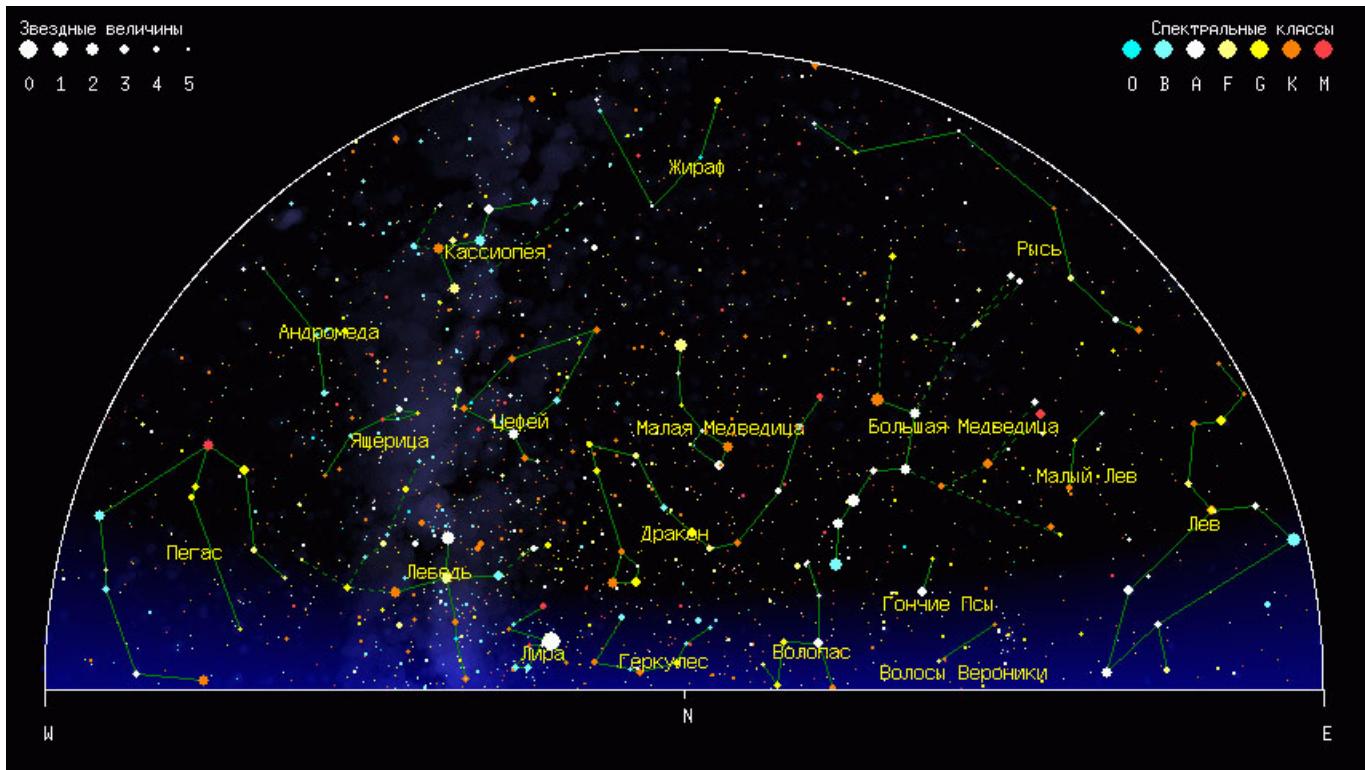
6.8 В 2010/2011 учебном году произойдут пять затмений (три частных солнечных и два полных лунных), четыре из которых будут видны в нашей стране. 4 января 2011 года частное солнечное затмение будет видно в Москве. В 12 часов 04 минут фаза будет 0,81. Что это означает?

6.9 В каком созвездии можно наблюдать самую яркую звезду? Какие еще созвездия находятся рядом и что интересного в них можно наблюдать?

6.10 Какие галактики можно наблюдать невооружённым глазом? Перечислите их. Сколько галактик можно наблюдать невооружённым глазом из нашей страны? Что интересного вы можете сообщить о них?

#### **7-8 классы**

6.11 Посмотрите на созвездие Большая Медведица. Как вы думаете, в каком месяце и во сколько времени велись наблюдения в Москве? Подсказка: обратите внимание на стороны горизонта. Сайт Астронет: <http://www.astronet.ru/db/map/>



6.12 В декабре самые продолжительные ночи, и это неудивительно, так как 22 декабря наступает день зимнего солнцестояния и вместе с ним астрономическая зима. В этот день Солнце достигает своего минимального склонения  $-23^{\circ} 27'$ , благодаря этому продолжительность дня на широте Москвы составит всего около 7 часов. Севернее продолжительность дня еще короче, а за Полярным кругом – в Мурманской области, на Таймыре и Чукотке – в течение нескольких суток Солнце вообще не восходит. В этих регионах будет полярная ночь. Дальше или ближе к Солнцу находится в эти дни Земля? Сделайте поясняющий чертёж.

6.13. На каких планетах земной группы дневное небо черное, голубое и красноватое?

6.14. В 2010/2011 учебном году произойдут пять затмений (три частных солнечных и два полных лунных), четыре из которых будут видны в нашей стране. 15-16 июня 2011 года состоится самое продолжительное полное лунное затмение в первые двадцать лет XXI века. Начало полной фазы 23 часа 37 минут. Длительность полной фазы будет очень велика – 1 час 41 мин. В каком созвездии будет находиться Луна? Почему лунное затмение видно одновременно из многих районов Земли, а солнечное затмение – только внутри узкой полосы, размер которой около 200 км?

6.15. Каковы размеры Солнечной системы? Сколько свет идет от Солнца до Земли? От Солнца до границ Солнечной системы?

## 9– 11 классы

6.16 Во сколько раз упадет светимость Солнца, если половина его поверхности покроется пятнами? (Температура солнечного пятна 4200 К).

6.17 Предположим, что в солнечной системе есть планета «Противоземля» малой массы, движущаяся точно по орбите Земли с отставанием на полгода. Удалось бы эту планету зарегистрировать с помощью наземных обсерваторий?

6.18 Во сколько раз изменилась бы максимальная продолжительность полного солнечного затмения на Земле (7,5 мин), если бы наша планета вращалась вокруг своей оси вдвое быстрее?

6.19 Что называется парниковым эффектом и на сколько градусов поднимается температура вследствие парникового эффекта:

- a) на Венере
  - b) на Земле
  - c) на Марсе
  - d) на Титане.

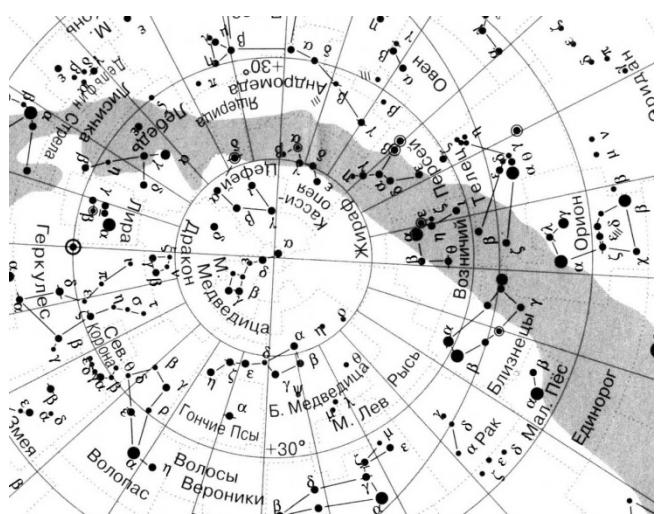
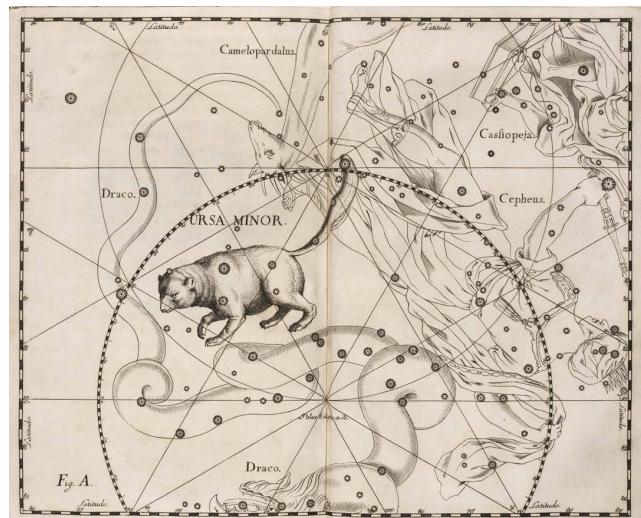
Какой газ является основным парниковым газом на них?

6.20 Допустим, что планета Земля стала вращаться вокруг Солнца по сильно вытянутой эллиптической орбите, и в то же время ось вращения перпендикулярна плоскости ее орбиты.



Как происходит смена времен года? Что произойдет с климатом Земли?

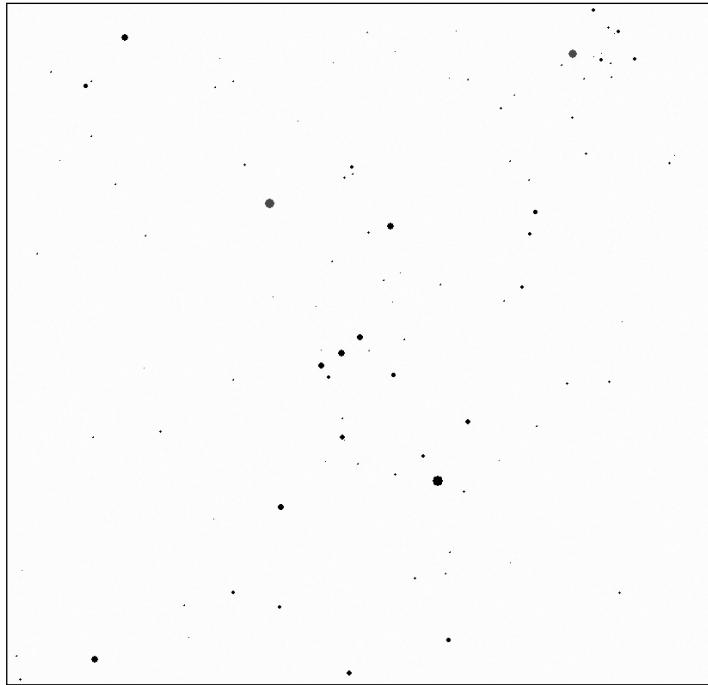
6.21 Перед вами три карты звёздного неба. Первая - из атласа Яна Гевелия (1690), вторая - Илайджи Бурритта (1835), третья - современная. Какая между ними основная разница в подходе к определению созвездий?



## **Очный тур**

### **5-7 класс**

6.22. На обратной стороне листка с заданиями -- немая карта одного из ярких созвездий с окрестностями. Какое созвездие изображено на рисунке? Что вы можете о нём рассказать? Оформите ответ в виде маленького рассказа.



6.23. Выпишите названия созвездий из данного списка: Ариадна, Динозавр, Лебедь, Микроскоп, Орион, Полярная, Рак, Телевизор, Телец, Щука, Ящерица.

6.24. Может ли исследовательский космический аппарат, находясь на поверхности Меркурия, зафиксировать наличие метеоров и метеоритов? Ответ поясните.

6.25. Почему на географических картах если север находится сверху, то восток находится справа, а запад слева, а на подвижных картах звёздного неба и в компьютерных программах-планетариях восток слева, а запад справа?

6.26. Мальчик Петя живёт в Санкт-Петербурге. Он очень любит смотреть на заход Солнца над Финским заливом. В середине лета Петя уехал на юг к Чёрному морю. Короче или длиннее закат Солнца, который увидел Петя над Чёрным морем по сравнению с его наблюдениями в родном городе? Почему?

### **8-9 класс**

6.27. Один из героев романа Алексея Иванова, учитель, однажды прочёл ученикам стихотворение, в котором были такие строки:

*Над землёю снежною темнота безбрежная.*

*Тонкий месяц светится, а над ним Медведица.*

С астрономической точки зрения, где и когда было сделано это наблюдение?

6.28. Когда световой день длиннее: 20 февраля или 30 октября? Ответ поясните.

6.29. В каком месяце Луна в фазе первой четверти будет находиться выше всего над горизонтом?  
Ответ поясните.

6.30. В третьем тысячелетии земляне решили построить железную дорогу по Солнечной системе. Для этого был заготовлен стальной куб размером 100x100x100 км. Как далеко можно проложить рельсы, изготовленные из этого запаса? Достанут ли они до Луны? А до Юпитера? Считать, что в сечении рельс имеет вид прямоугольника 5x10 см.

6.31 Астроном в течение года наблюдал Марс и Сатурн. Какую из этих двух планет за указанный промежуток времени он чаще видел в попутном движении? У какой из этих планет движение чаще меняется с прямого на попутное?

### **10-11 класс**

6.32. Предположим, 21 марта наблюдатель видит Солнце восходящим точно в точке востока. В какой точке (при наблюдении из того же пункта) Солнце пересечёт горизонт при восходе 21 марта следующего года - тоже в точке востока, южнее или севернее неё?

6.33. В телескоп диаметром 300 мм на пределе можно зарегистрировать звезды с блеском 23<sup>m</sup>. Какого минимального размера астероиды можно обнаружить с его помощью в лагранжевых точках: L4, L5 орбиты Земли?

6.34. Спутник массой 2 тонны движется вокруг Солнца по эллиптической орбите с большой полуосью 2 а.е. и перигелийным расстоянием 0.5 а.е. В афелии своей орбиты он сталкивается с астероидом диаметром 1 км, движущимся по круговой орбите. Оцените в тротиловом эквиваленте энергию, выделившуюся при столкновении спутника с астероидом, считая удар абсолютно неупругим (все части спутника остались на астероиде).  
Энергия взрыва 1 кг тротила 4230 кДж/кг.

6.35. Найдите амплитуду изменения звездной величины Солнца, видимого с карликовой планеты Эрида. Большая полуось орбиты Эриды равна 67 а.е., а эксцентриситет – 0.44.

6.36. Максимальное расстояние между звездами 80 а.е., минимальное 60 а.е., массы звезд 1 масса Солнца и 3 массы Солнца. Вычислите период обращения этой системы и эксцентриситеты орбит звезд.

6.37. Угловой размер звезды блеском 4,7 составляет 0,004 угл. сек. Спектроскопические наблюдения этой звезды показывают, что линия натрия с длиной волны 5890Å имеет две компоненты: яркую и слабую. Длина волны слабой компоненты меняется синусоидально с амплитудой 0,6Å и периодом 30 лет, причем один раз за этот период слабая линия исчезает на 230 дней. Оцените расстояние до звезды, ее массу и температуру поверхности. К какому типу звезд она относится?

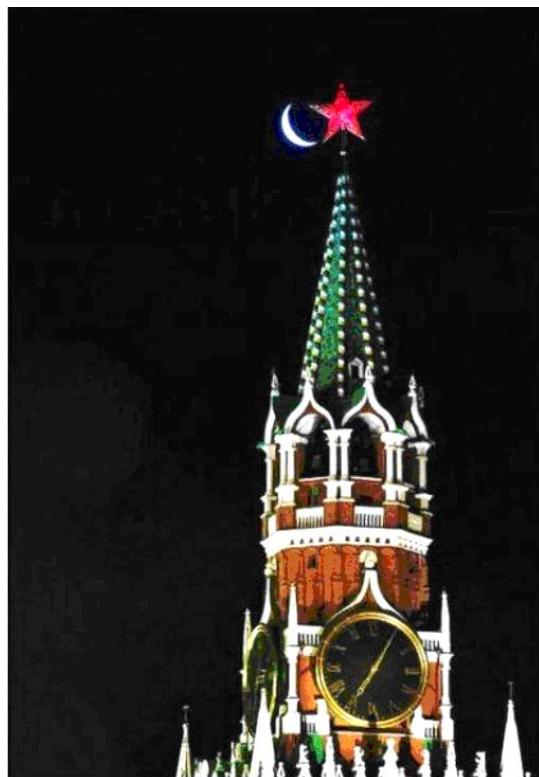
## **Часть 7. 66 Московская Астрономическая Олимпиада (2012 год)**

### **Дистанционный тур**

#### **1-4 классы**

7.1. Какая из планет может быть самой яркой на земном небе? Какую яркую планету можно наблюдать сейчас, в декабре 2011 – январе 2012 г., по вечерам на юго-востоке высоко над горизонтом?

7.2 В каком месяце года сделана эта фотография?



7.3. Какие небесные объекты (планеты, спутники планет, галактики, туманности, карликовые планеты) можно увидеть на новогоднем небе 31 декабря 2011 года в Москве невооружённым глазом и в школьный телескоп?

Для решения данного задания рекомендуем воспользоваться Астронетом <http://www.astronet.ru/db/map/> (карта звёздного неба) или любым электронным планетарием.

7.4 Известна такая загадка о Луне: «Тринадцать раз в году рождается, днём от людских глаз скрывается». Можно ли увидеть Луну днём?

7.5 15 июня и 10 декабря 2011 года произошли полные лунные затмения, видимые на территории России. Как часто бывают полные лунные затмения и когда будет следующее?

7.6 В 2012 году произойдет редчайшее астрономическое явление: прохождение Венеры по диску Солнца. С какой стороны солнечного диска появится Венера (сделайте чертёж)? Можно ли будет увидеть её невооруженным глазом? Как и в каком году с помощью прохождения Венеры по диску Солнца М.В. Ломоносов открыл атмосферу на Венере?

#### **5-6 классы**

7.7 Известна такая загадка о Луне: «Тринадцать раз в году рождается, днём от людских глаз скрывается». Всё ли правильно в загадке с точки зрения астрономии?

7.8 Учитель географии, герой романа Алексея Иванова, однажды прочёл ученикам своё стихотворение, в котором были такие строки:

*Над землёю снежною темнота безбрежная.  
Тонкий месяц светится, а над ним Медведица.*

Как вы думаете, где и когда было сделано это наблюдение?

7.9 Две разные звезды одновременно взошли и одновременно зашли за горизонт. Где на Земле находится наблюдатель?

7.10 Какие интересные объекты можно наблюдать в школьный (или небольшой) телескоп в созвездии Ориона?

7.11а (5-8 класс) На этой старинной картине запечатлена долгопериодическая комета Донати, наблюдавшаяся в Европе в 1858 году. Какие кометы были видны такими же яркими? Можно ли определить по картине, какой месяц года она описывает?

7.11б (9-11 класс) На этой старинной картине запечатлена долгопериодическая комета Донати, наблюдавшаяся в Европе в 1858 году. Определите по картине, какой месяц года она описывает?



#### 7-8 классы

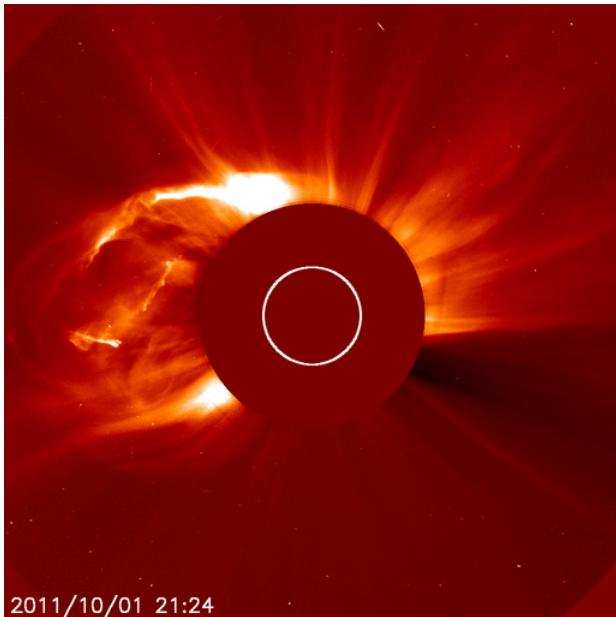
7.12 В 2012 году произойдет редчайшее астрономическое явление: прохождение Венеры по диску Солнца. С какой стороны солнечного диска появится Венера (сделайте чертёж)? Можно ли будет увидеть её невооруженным глазом? Как и в каком году с помощью прохождения Венеры по диску Солнца М.В. Ломоносов открыл атмосферу на Венере? Как часто бывают прохождения планет по диску Солнца и какие это планеты?

7.13 Web-сайт meteonovosti.ru, помимо прогнозов погоды, публикует народные приметы, связанные с погодой. Например, 23 октября (в день святого Евлампия), была опубликованы две приметы: «Если на Евлампия рога месяца показывают на север, быть скорой зиме и снег ляжет посуху, на юг - скорой зимы не жди, будет слякоть до Казанской (до 4 ноября)» и «На Евлампия рога месяца показывают в ту сторону, откуда быть ветрам». Дайте астрономический комментарий к этим приметам.

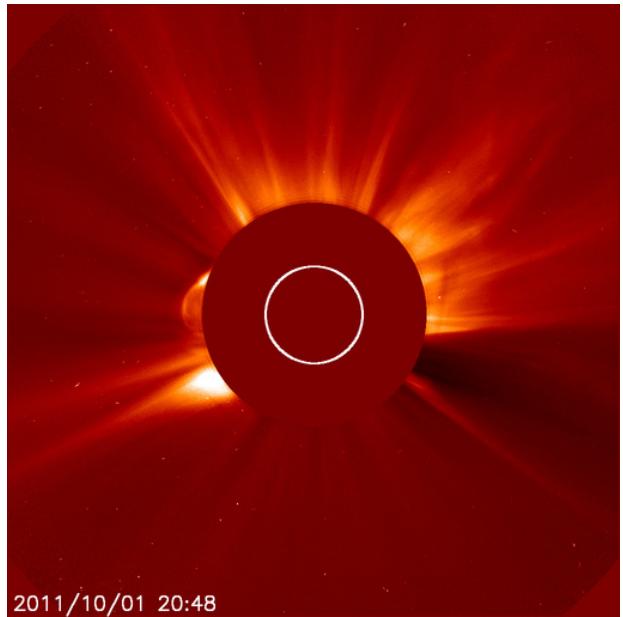
7.14 Это оригинальное фото (автор - Крис Томас) появилось на сайте Астрономическая картинка дня (APOD) 29 сентября 2010 года. Оцените по фото: а) расстояние до самолёта б) направление его полёта в) время суток, когда было сделано фото г) место на Земле, откуда оно было сделано.



7.15 Оценить размеры и скорость распространения коронарного выброса массы (КВМ). Изображения Солнца получены прибором LASCO C2, солнечная космическая обсерватория SOHO. Прибор LASCO C2 – коронограф Large Angle Spectrometric Coronagraph, который получает изображения солнечной короны, блокируя свет, идущий прямо из Солнца, затеняющим диском (тёмный), создавая искусственное затмение. Белый кружок – Солнце. Дата и время – внизу, слева на каждом изображении.



2011/10/01 21:24



2011/10/01 20:48

7.16 В декабре всю ночь можно наблюдать созвездие Ориона. Где в созвездии Ориона размещены известные области звёздаобразования? С какими объектами они связаны и почему?

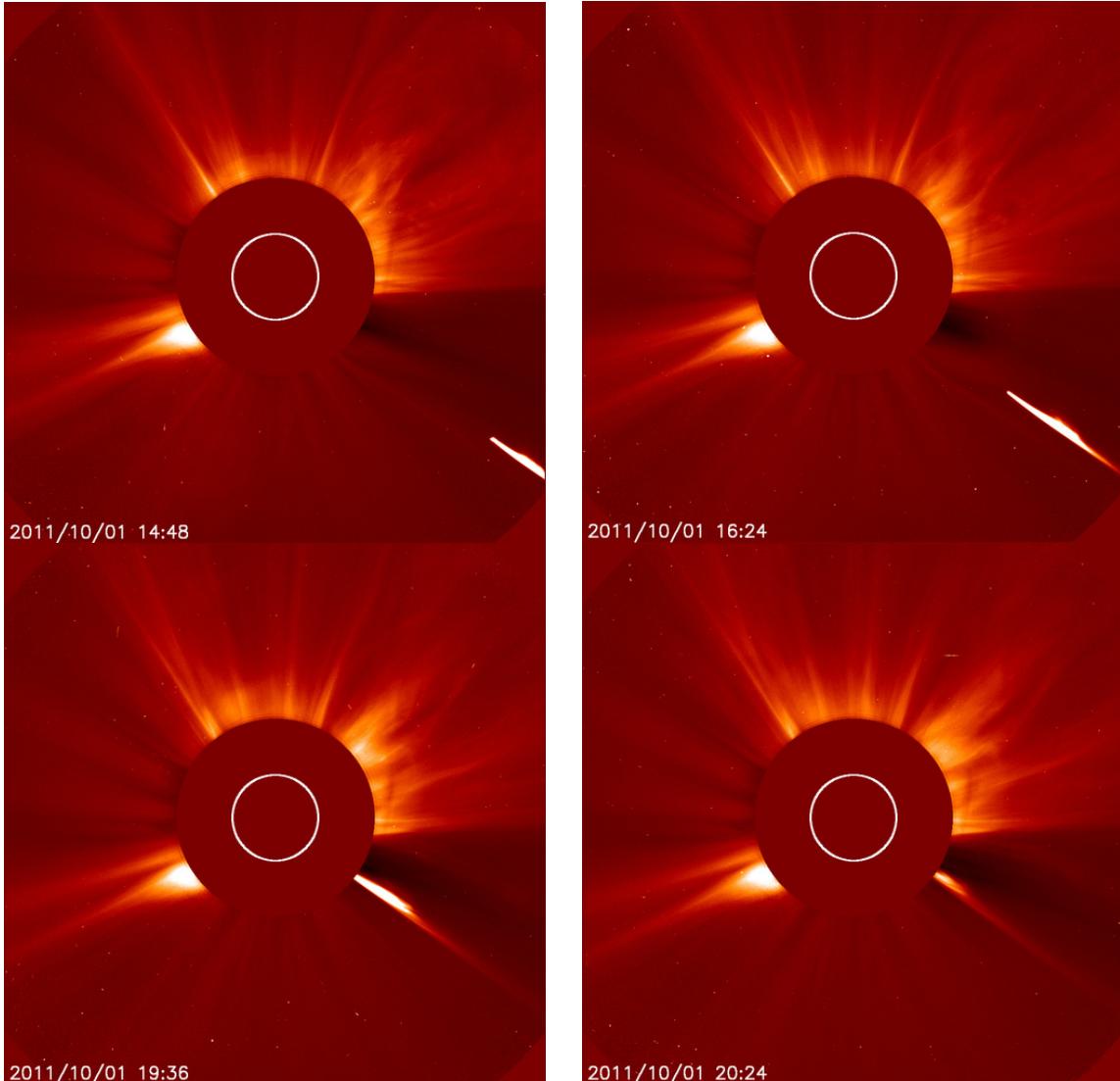
7.17 Галактический центр находится на расстоянии 8,5 кпк от нашей Солнечной системы, в направлении созвездия Стрельца. Сколько времени идет свет от центра Галактики до нашего Солнца?

7.18 В 1762 г. М.В.Ломоносов построил телескоп, состоявший только из одного вогнутого зеркала и окуляра. Только в 1789 г. Гершель построил аналогичный телескоп, имя Гершеля было присвоено телескопам такого рода. Почему было так важно построить такие телескопы и чем они отличаются от предыдущих (системы Ньютона, системы Грегори, системы Кассегрена)?

### **9– 11 классы**

7.19 В 2012 году произойдет редчайшее астрономическое явление: прохождение Венеры по диску Солнца. С какой стороны солнечного диска появится Венера (сделайте чертёж)? Можно ли будет увидеть её невооруженным глазом? Как часто происходят прохождения планет по диску Солнца? Как и в каком году с помощью прохождения Венеры по диску Солнца М.В. Ломоносов открыл атмосферу на Венере?

7.20 Оценить скорость кометы, упавшей на Солнце 1 октября 2011. Изображения Солнца получены прибором LASCO C2, солнечная космическая обсерватория SOHO. Прибор LASCO C2 – коронограф Large Angle Spectrometric Coronagraph, который получает изображения солнечной короны, блокируя свет, идущий прямо из Солнца, затеняющим диском (тёмный), создавая искусственное затмение. Белый кружок – Солнце. Дата и время – внизу, слева на каждом изображении.



7.21 С какой скоростью вращается вещество на экваторе нейтронной звезды-пульсара, если период между импульсами 0,5 с, а радиус нейтронной звезды примерно 10 км?

7.22 Какие туманности можно наблюдать в созвездии Ориона? В ответе приведите изображения туманностей.

7.23 Пользуясь законом Стефана-Больцмана, оцените светимость нейтронной звезды с температурой  $10^7$  К и радиусом 10 км в единицах светимости Солнца.

7.24 Диаметр объектива рефрактора  $D = 20$  см, а фокусное расстояние  $F = 3$  м. Каково теоретическое разрешение  $b_0$  для визуальных наблюдений? Какое увеличение получается при работе с окуляром, если его фокусное расстояние  $f = 10$  мм?

### **Очный тур**

#### **7 класс и моложе**

7.25 Мысленно проведите следующий опыт. Будто вы лежите на спине (предположим, где-то на берегу моря) и смотрите прямо в зенит в безоблачное небо. На каких географических широтах можно увидеть лучи Солнца у себя на сетчатке глаза? Не забудьте защитить свои глаза солнцезащитными очками от яркого света нашего светила.

7.26 У современного поэта Валерия Хатюшина есть такие философские строки:

*Воронки,  
воронки...  
На Марсе, на Сатурне, на Луне...  
Почему мы решили,  
что это кратеры вулканов?  
А может быть, это  
воронки  
от разрывов бомб?..*

Что можно возразить поэту?

7.27 Что вы знаете о полёте первого космонавта Земли Юрия Алексеевича Гагарина?

7.28 У Юрия Левитанского есть такие строки:

*...Я шёл в полуночной тиши  
и думал о предназначении,  
об этом бессрочном свечении  
бессонно горящей души.  
Был воздух морозный упруг.  
Тянуло предутренним холодом.  
Луна восходила над городом,  
как долгограющий круг.*

Какую астрономическую ошибку допустил поэт?

### **8-9 класс**

7.29 Из аэропорта Толмачево в Новосибирске рейс 178 вылетает в 10 часов утра по местному времени. В аэропорту Домодедово этот же рейс приземляется в 10 утра, но уже по московскому времени. Оцените, с какой средней скоростью летит самолет, если учесть, что города находятся на одной широте, но в разных часовых поясах. Что также может повлиять на точность вашего расчета? Свой ответ поясните графически. Длину окружности экватора Земли округлим до 40 тыс. км.

7.30 На новой астрономической площадке Московского планетария, недавно открытого после реконструкции, установлен указатель расстояний до разных пунктов на нашей планете: «МГУ им. Ломоносова — 7,5 км», «Нижний Новгород — 390 км», «г. Эльбрус — 1485 км», «Филиппинские о-ва — 8485 км» — всего около тридцати. Стрелки указателя расположены не горизонтально, а в соответствии с реальным направлением на данный пункт.

- а) Под каким углом к вертикали расположена установленная с южной стороны столба стрелка с надписью «южный полюс»?
- б) Надпись на этой стрелке гласит: «южный полюс — 16195 км». Каково на самом деле расстояние от указателя до южного полюса Земли «по прямой»?

7.31 Герои повести современного канадского фантаста Ричарда Ловетта проводят геологические изыскания на Тритоне. Вот как автор описывает пейзаж:

*«Низко над западным горизонтом висел большой полумесец Нептуна. На ладонь выше восточного зависло солнце. Когда я проснусь, Нептун так и останется на прежнем месте. А солнце будет ходить по кругу, завершая его каждые несколько дней». (Ричард Ловетт "Сокровище Нептуна" – журнал "Если" №12, 2010 год, стр.84, перевод с английского Андрея Новикова)*

Всё ли в этом отрывке правильно с точки зрения астрономии?

7.32 В одном учебнике по астрономии написано, что «расхождение между старым и новым стилем, составляющее в настоящее время в 13 суток, сохранится до конца XXI века». Согласны ли вы с этим утверждением?

7.33 Когда ваши бабушки и дедушки были маленькими, на радио была чудесная детская передача «Радионяня». Однажды в передаче прозвучала песенка на стихи Аркадия Хайта:

*Над Землею ночью поздней,  
Только руку протяни,  
Ты ухватишься за звёзды:  
Рядом кажутся они.  
Можно взять перо Павлина,  
Тронуть стрелки на Часах,  
Покататься на Дельфине,  
Покачаться на Весах.*

Из каких мест на Земле можно наблюдать все упомянутые созвездия? Можно ли выбрать такое время наблюдения, чтобы увидеть одновременно все четыре?

### **10-11 класс**

7.34 Из аэропорта Толмачево в Новосибирске рейс 178 вылетает в 10 часов утра по местному времени. В аэропорту Домодедово этот же рейс приземляется в 10 утра, но уже по московскому времени. Оцените, с какой точностью можно определить среднюю скорость самолета, если учесть, что города находятся на одной широте, но в разных часовых поясах. Свой ответ поясните графически. Длину окружности экватора Земли округлим до 40 тыс. км.

7.35 Для решения одной из наблюдательных программ одна из отечественных астрономических обсерваторий решила свой телескоп-рефрактор на экваториальной монтировке перенести из России на территорию Чили в качестве отдельного вспомогательного наблюдательного инструмента. Какие технические операции должны заранее предусмотреть наладчики при установке данного телескопа на новом месте? Отличаются ли эти технические действия при аналогичном переносе рефрактора в Австралию?

7.36 Мог ли Галилео Галилей, зарисовывая расположение четырёх ближайших к Юпитеру спутников «имени себя», случайно наблюдать в свой телескоп «планету» Плутон?

7.37 (только для 10-х классов) У Анатолия Щербакова в поэме «Байконур, XX век» есть такие строки:

*Вновь антенны смотрят ввысь  
Все пристальней.  
Даль межзвёздных шорохов полна.  
И летит секунд примерно триста к ней,-  
К ней, к Венере, радиоволна...*

Предположим, что радиосигнал с Земли достиг Венеры ровно за 300 секунд. В какой фазе была видна Венера земному наблюдателю в момент отправки этого сигнала?



7.38 Перед вами — коллаж из фотографий Марса, который показывает видимый путь планеты за некоторое время. По фото определите, выше или ниже плоскости эклиптики находилась в этот период планета. (Север на фото сверху)

7.39 (только для 11-х классов) Наблюдаются два звёздных скопления находящихся в разных направлениях от нас. В направлении первого скопления межзвёздное поглощение равно  $0.0010^m/\text{пк}$ , в направлении второго  $0.0020^m/\text{пк}$ . Определите какое из скоплений ближе и во сколько раз, если в первом наблюдается цефеида типа δ Сер с периодом 3 суток и видимой звёздной величиной 12 $m$ , во втором также наблюдается цефеида типа δ Сер, но с периодом 25 суток и видимой звёздной величиной 10 $m$ . Для цефеид типа δ Сер характерна зависимость между абсолютной звёздной величиной и периодом  $M_v = -1.01 + 2.87 * \log P$ .

7.40 (только для 11-х классов) В рассказе «Очень холодно» современный российский фантаст Борис Руденко так описывает родную планету главного героя:

*«Айсбург вращался вокруг своего солнца по вытянутой эллиптической орбите. Каждый оборот он на четыре стандартных года удалялся от светила, превращаясь на это время в мир холода и льда, сохраняющий атмосферу и океанские глубины незамерзающими лишь за счёт тепла горячего ядра планеты. А следующие два года на Айсбурге царило жаркое, невыносимо жаркое лето. Природа Айсбурга за миллионы лет приспособилась к этим условиям.»* (Борис Руденко «Очень холодно» — «Если» №11, 2010 год, стр.159).

Оцените эксцентриситет орбиты планеты.

## **Часть 8. 67 Московская Астрономическая Олимпиада (2013 год)**

### **Дистанционный тур**

#### **1-4 классы**

8.1 Какую яркую планету можно наблюдать в созвездии Телец в новогоднюю ночь с 2012 на 2013 год?

8.2 Осеннее равноденствие в 2012 году было 22 сентября. В этот же день Луна была в фазе первой четверти. В каком созвездии она находилась через час после захода Солнца?

8.3 В каком созвездии находится Луна в Новогоднюю ночь в 2012 году?

8.4 Какая карликовая планета находится ближе других карликовых планет к Земле?

8.5 Расположите явления в порядке возрастания максимальной продолжительности: А – полное солнечное затмение, В – полное лунное затмение, С – покрытие Луной звезды, Д – прохождение Меркурия по диску Солнца. Ответ запишите в виде 4 латинских букв без пробелов и знаков препинания.

8.6 Расположите спутники планет Солнечной системы в порядке возрастания их размеров: А – Луна, В – Деймос, С – Ганимед, Д – Каллисто, Е – Титан. Ответ запишите в виде 4 латинских букв без пробелов и знаков препинания.

#### **5-6 классы**

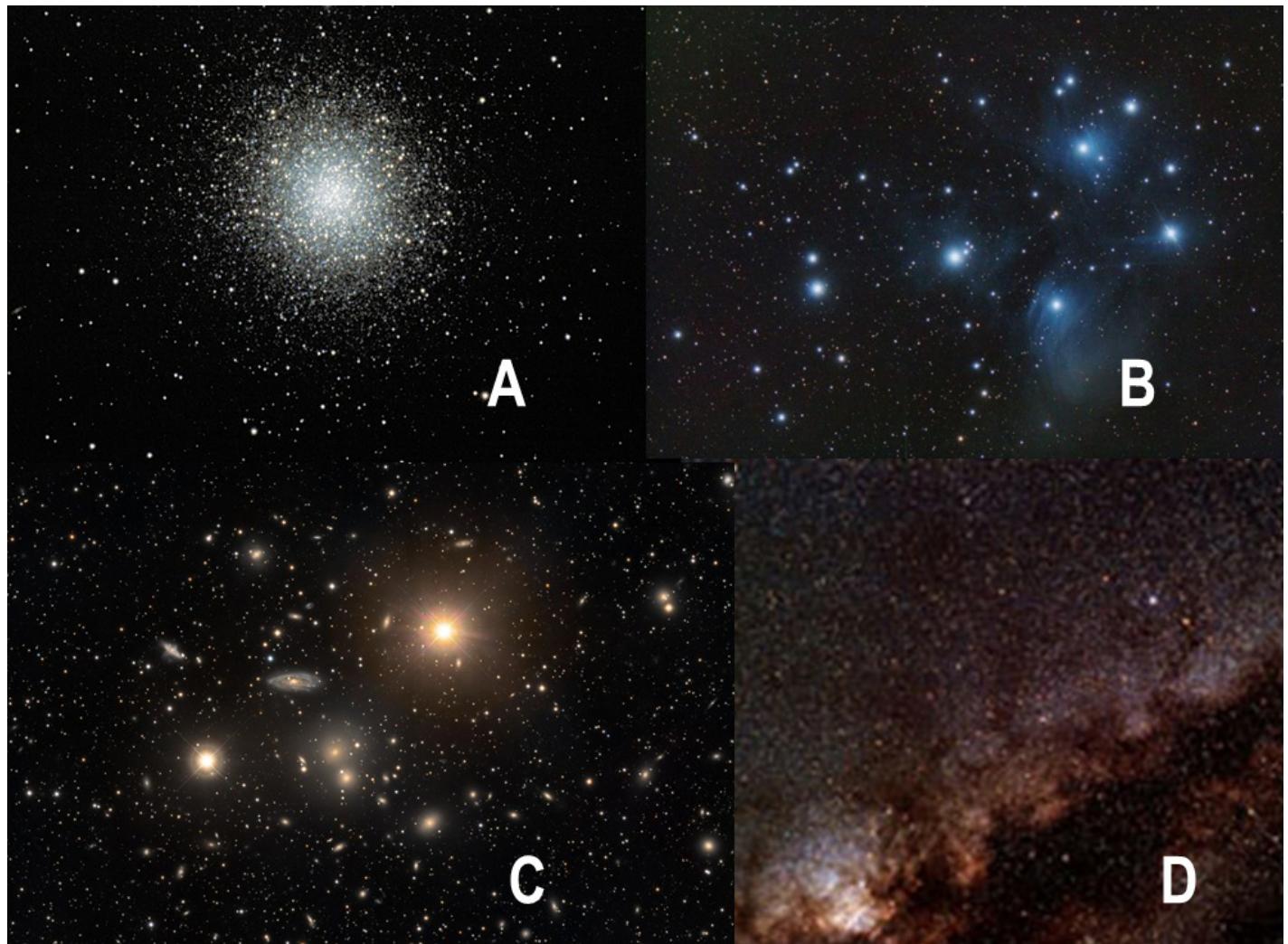
8.7 (Так же для 8-9 классов) Большим парадом планет (или великим) называется планетная конфигурация, когда пять ярких планет Солнечной системы (Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн) в своём движении по небосводу подходят друг к другу на близкое расстояние и становятся видны в одно время в небольшом секторе ( $10 - 40^\circ$ ) неба. Малый парад планет происходит, если вместе собираются четыре планеты. Малые парады планет происходят примерно каждые 20 лет, большие – гораздо реже. Кроме того различают видимые и невидимые парады планет, последние имеют место, если положение планет на небе оказывается близким к Солнцу. В 2002 году (в конце апреля – начале мая) четыре планеты –Меркурий, Венера, Марс, Сатурн – встретились в созвездии Тельца, а пятая –Юпитер – в соседнем созвездии Близнецов, таким образом этот парад не был великим.

Наблюдался ли 21 декабря 2012 года, как утверждали некоторые СМИ парад планет?

В Астронете на карте звёздного неба <http://www.astronet.ru/db/map/> ввести дату и время наблюдения. Получить изображение звёздного неба. Полученный рисунок прикрепить в виде ответа.

8.8 (Так же для 8-9 классов) Расположите буквы, соответствующие четырем планетам, в порядке возрастания их синодического периода: А – Меркурий, В – Венера, С – Марс, D – Юпитер. Ответ запишите в виде последовательности из 4 латинских букв без пробелов и знаков препинания.

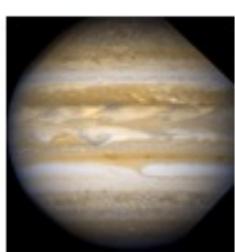
8.9 На какой фотографии изображено рассеянное звёздное скопление?



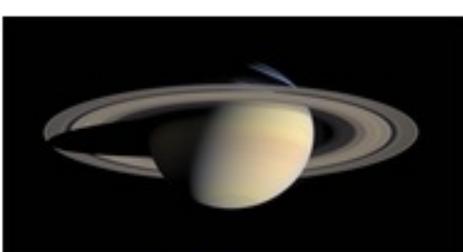
8.10 Какие звёзды называются новыми звёздами?

1. Молодые звёзды, только что начавшие свою эволюцию,
2. Однократно вспыхивающие звёзды без каких-либо причин
3. Пульсирующие звёзды с большим периодом
4. Результат взаимодействия двойных звёзд

8.11 Выберете из предложенных фотографий ту, на которой изображена планета-гигант, звёздный период обращения которой вокруг Солнца  $T = 84,01$  земных лет.



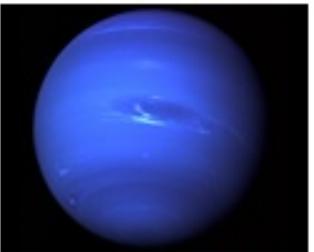
1



2



3



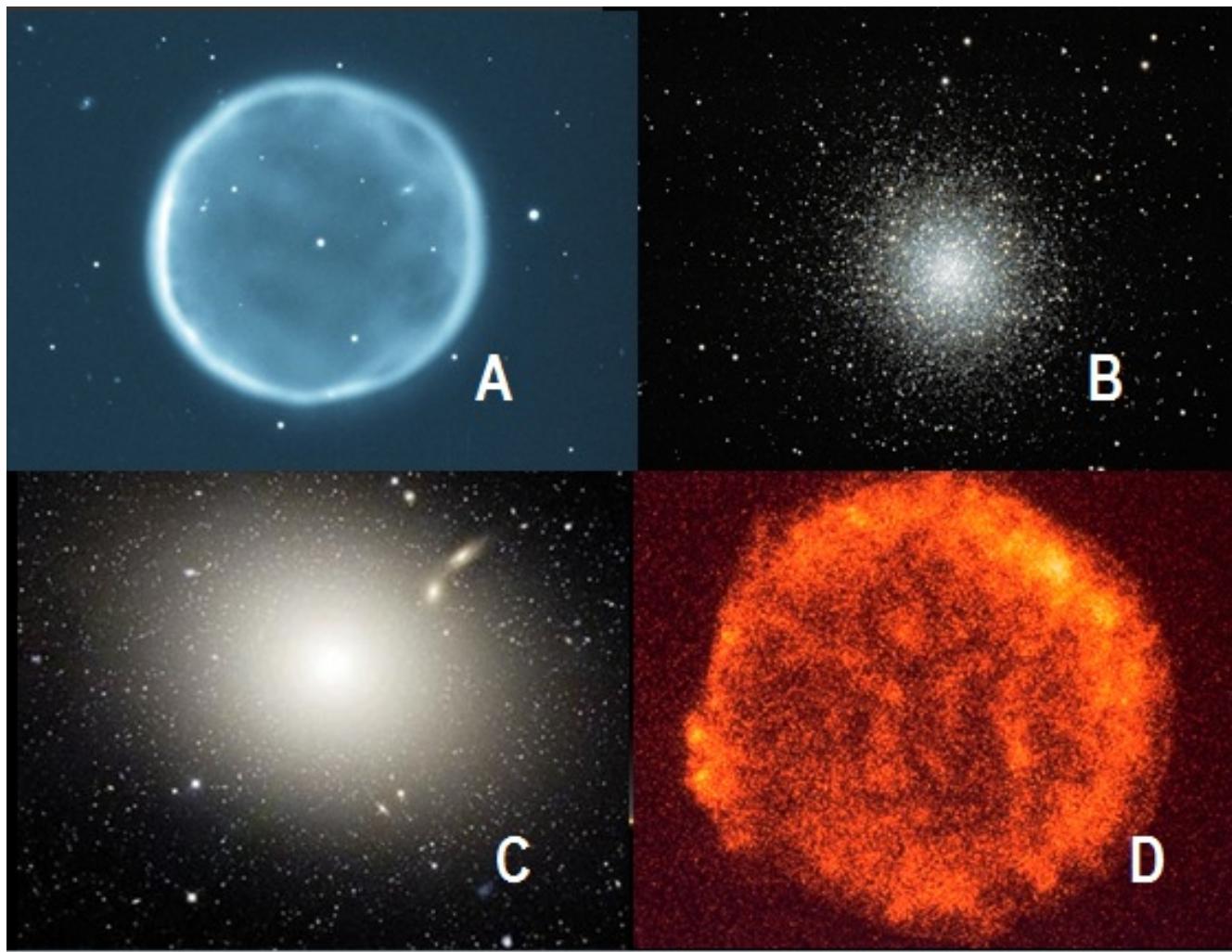
4

8.12 Расположите планеты в порядке возрастания максимальной высоты над горизонтом в тёмное время суток на широте Москвы: А – Меркурий, В – Венера, С – Марс, Д – Юпитер. Ответ запишите в виде последовательности из 4 латинских букв без пробелов и знаков препинания.

8.13 Плоскость колец Сатурна совпадает с плоскостью экватора. Ось вращения Сатурна вокруг оси наклонена к плоскости его орбитального вращения вокруг Солнца на  $27^\circ$ . Поэтому вид колец с

Земли сильно зависит от расположения Сатурна на орбите вокруг Солнца и в значительно меньшей степени – от положения Земли на своей орбите (из-за того, что орбита Сатурна наклонена к плоскости эклиптики на  $2,5^\circ$ ). Если пренебречь последним, то через какой интервал времени у Сатурна «исчезают» кольца, т.е. поворачиваются к Земле ребром и становятся невидимыми? Ответ дать в годах

8.14 На какой фотографии изображено шаровое звёздное скопление M 13?



8.15 Какую массу имеет большинство открытых экзопланет? При ответе на данный вопрос рекомендуем посмотреть сайт об экзопланетах (<http://www.allplanets.ru/index.htm>)

1. Меньшую, чем у Земли
2. Меньшую, чем у Юпитера, но большую, чем у Земли
3. Большую, чем у Юпитера, но меньшую, чем у Солнца
4. Большую, чем у Солнца в 3 раза
5. Большую, чем у Солнца в 10 раз

#### 9-10 классы

8.16 Расположите тела Солнечной системы в порядке возрастания периода обращения вокруг Солнца: А – комета Галлея, В – комета Хейла-Боппа, С – комета Энке, Д – Нептун. Ответ запишите в виде последовательности из 4 латинских букв без пробелов и знаков препинания.

8.17 Расположите звезды в порядке возрастания их кратности: А – а Близнецов, В – а Центавра, С –  $\alpha$  Ориона, D – Солнце. Ответ запишите в виде последовательности из 4 латинских букв без пробелов и знаков препинания.

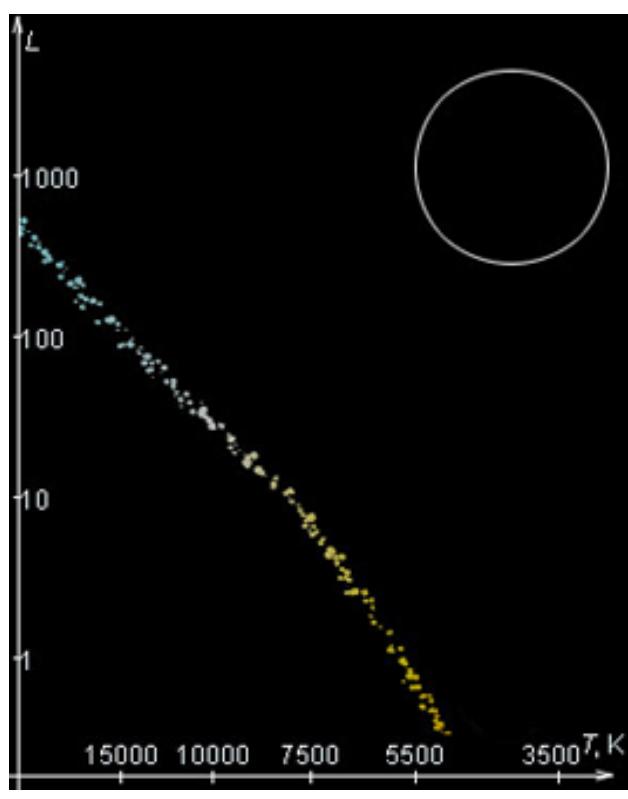
8.18 Расположите объекты Вселенной в порядке возрастания светимости: А – Галактика Млечный Путь, В – квазар, С – шаровое скопление, D – Сверхновая в Магеллановом облаке 1987 года. Ответ запишите в виде последовательности из 4 латинских букв без пробелов и знаков препинания.

8.19 Угловой диаметр солнечного пятна окружной формы, наблюдаемого невдалеке от центра диска Солнца, составляет  $34^2$ . Каковы его действительные размеры?

1. Пятно сравнимо с размерами Марса
2. Пятно в 2 раза больше, чем размеры Земли
3. Пятно сравнимо с размерами Сатурна
4. Пятно сравнимо с размерами Юпитера
5. Пятно сравнимо с размером орбиты Меркурия

8.20 Расположите звезды в порядке возрастания их эффективной температуры: А – Альдебаран, В – Вега, С – Капелла, D – Ригель. Ответ запишите в виде последовательности из 4 латинских букв без пробелов и знаков препинания.

## 11 класс



8.21 Расположите звезды в порядке возрастания времени от восхода до захода на широте  $+45^\circ$ : А – Вега, В – Капелла, С – Ригель, D – Сириус. Ответ запишите в виде последовательности из 4 латинских букв без пробелов и знаков препинания.

8.22 В выделенной области диаграммы Герцшпрунга-Рассела находятся

8.23 Во сколько раз отличаются светимости двух звезд одинакового цвета, если радиус одной из них больше, чем другой, в 40 раз?

8.24 Найти линейный размер галактики, если известно, что длины волн всех спектральных линий в спектре галактики увеличены из-за эффекта Доплера на 10 %. Угловой размер галактики составляет  $1'$ . Постоянную Хаббла принять равной  $H = 60 \text{ км/с}\cdot\text{Мпк}$ . Релятивистскими поправками пренебречь. Ответ дать в кпк. Ответ записать в виде числа, округлить до третьей значащей цифры (первой цифры перед запятой).

8.25 Комета имеет вытянутую орбиту, ее перигелийное расстояние  $1,37 \text{ а.е.}$ , период обращения вокруг Солнца  $T = 5,26$  лет. Найти наибольшее расстояние от Солнца, большую полуось и эксцентриситет кометы.

1. Эксцентриситет  $e = 0,3$ , афелий  $Q = 5 \text{ а.е.}$ , большая полуось  $a = 3,02 \text{ а.е.}$
2. Эксцентриситет  $e = 0,3$ , афелий  $Q = 6 \text{ а.е.}$ , большая полуось  $a = 3,02 \text{ а.е.}$
3. Эксцентриситет  $e = 0,55$ , афелий  $Q = 8,63 \text{ а.е.}$ , большая полуось  $a = 6,0 \text{ а.е.}$

4. Эксцентризитет  $e = 0,55$ , афелий  $Q = 4,68$  а.е., большая полуось  $a = 3,02$  а.е.
5. Эксцентризитет  $e = 0,8$ , афелий  $Q = 15,63$  а.е., большая полуось  $a = 10,0$  а.е.
6. Эксцентризитет  $e = 0,8$ , афелий  $Q = 44,63$  а.е., большая полуось  $a = 20,0$  а.е.

### **Очный тур**

#### **5-7 классы**

8.26 Выберите из данного списка астрономических названий одно лишнее: Близнецы, Весы, Рыбы, Плеяды, Волосы Вероники. Ответ объясните.

8.27 Наступивший 10 февраля новый год по китайскому календарю -- год Змеи. Есть ли на небе созвездия, в названиях которых упомянута змея? Если есть, то где они расположены на звёздной карте? Какие интересные объекты есть или времена от времени могут появиться в этих созвездиях?

8.28 Всё ли правильно с астрономической точки зрения в следующих строках современного поэта Вячеслава Куприянова:

*всё вокруг меня, и я повсюду,  
дождь от меня в полутора километрах,  
Солнце в каких-то полторастах миллионах,  
в полторастах тысячах -- Луна,  
всего четыре с небольшим световых года --  
и я в окрестностях альфы Центавра...*

8.29 Что Вы знаете о падении метеорита над Уралом 15 февраля 2013 года? Что это было за явление, какие эффекты видели его свидетели, какие другие подобные события происходили на Земле? Связано ли это событие со сближением астероида 2012 DA14, которое имело место вечером того же дня? Правы ли были СМИ, которые призвали жителей Челябинска готовиться к повторному метеоритному дождю через несколько часов?

#### **8-9 класс**

8.30 (Так же для 10-11 классов) Высота светила в верхней кульминации в три раза больше широты места, а высота в нижней кульминации в три раза меньше широты. Чему равно склонение звезды и широта места наблюдения?

8.31 К какому созвездию направлен вектор орбитальной скорости Земли в день проведения олимпиады, 2 марта?

8.32 Человечество решило создать из планет Солнечной системы сферу Дайсона -- оболочку вокруг Солнца, радиусом 1 а.е. и плотностью  $5,5 \text{ г}/\text{см}^3$ . Какова она будет в толщину? Площадь скольких планет, подобных Земле, была бы равна площади её поверхности?

8.33 Вес марсохода Curiosity на Земле 8,79 кН. Каков его вес на Марсе, если средняя плотность Марса составляет 0,713 от средней плотности Земли, а его радиус 0.53 радиуса Земли.

8.34 Как менялась видимая с Земли звёздная величина Солнца в ходе прохождения Венеры по солнечному диску 6 июня 2012 года?

#### **10-11 класс**

8.35 У какой из больших планет самая длинная тень? Превышает ли она расстояние от Земли до Солнца?

8.36 От космической станции, которая находится на круговой орбите вокруг Земли и имеет высоту 500 км над земной поверхностью, вертикально вниз оттолкнулся космонавт со скоростью 2.5 м/с. Через сколько времени он достигнет Земли?

8.37 Человечество решило создать из планет Солнечной системы сферу Дайсона -- оболочку с радиусом в 1 а.е. и плотностью 5,5 г/см<sup>3</sup> вокруг Солнца. Какова она будет в толщину? Площадь скольких планет наподобие Земли будет равна площади ее поверхности?

8.38 В каких направлениях на небесной сфере видно наибольшее количество близких к нам звезд?

8.39 Галактика А имеет красное смещение 0,05. Галактика В, расположенная на небе в 90 градусах от галактики А, имеет красное смещение 0,1. Какое красное смещение будет иметь галактика В для наблюдателя в галактике А?

## **Часть 9. 68 Московская Астрономическая Олимпиада (2014 год)**

### **Дистанционный тур**

#### **1-4 классы**

9.1 Какое время года наиболее благоприятно для наблюдения серебристых облаков в Москве?

1. Зима
2. Весна
3. Лето
4. Осень

9.2 Как изменится продолжительность года, если масса Земли мгновенно уменьшится в два раза?

1. Уменьшится в 2 раза
2. Уменьшится в 1,4 раза
3. Не изменится
4. Увеличится в 1,4 раза
5. Увеличится в 2 раза

9.3 Какие планеты можно наблюдать в предутренние часы в течение января 2014 года?

1. Меркурий
2. Венера
3. Марс
4. Юпитер
5. Сатурн
6. Уран
7. Нептун

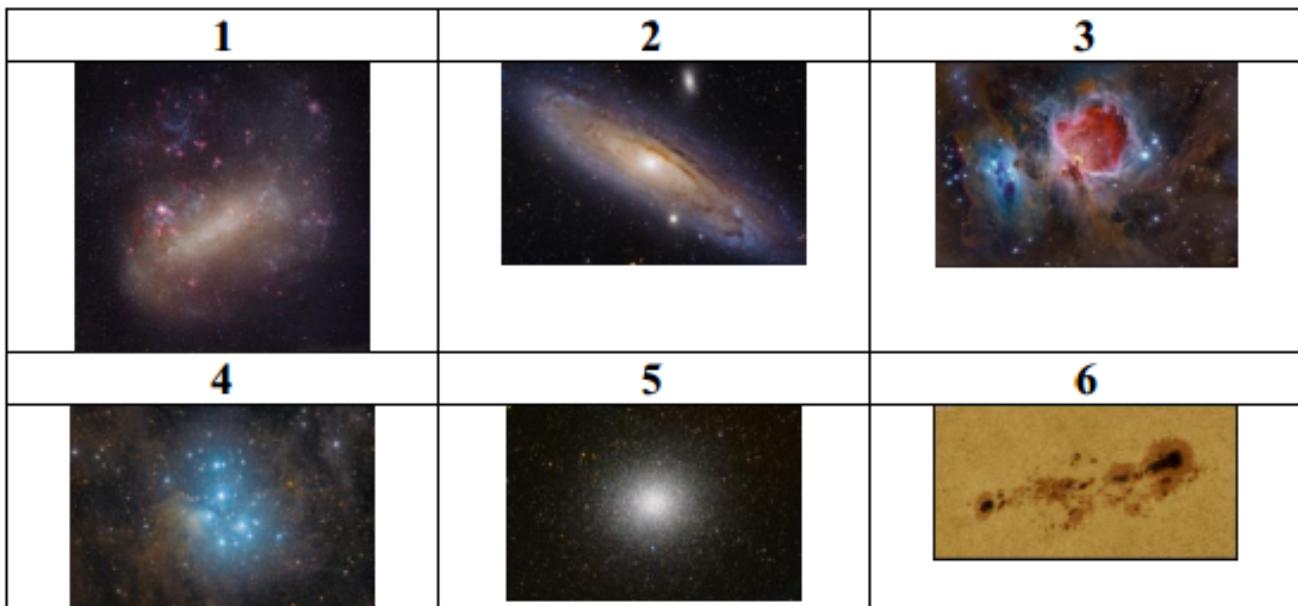
9.4 Какие явления можно было наблюдать в средней полосе России невооружённым глазом в течение 2013 года?

1. Солнечное затмение
2. Полное лунное затмение
3. Пролёт кометы
4. Вспышка новой звезды
5. Вспышка сверхновой

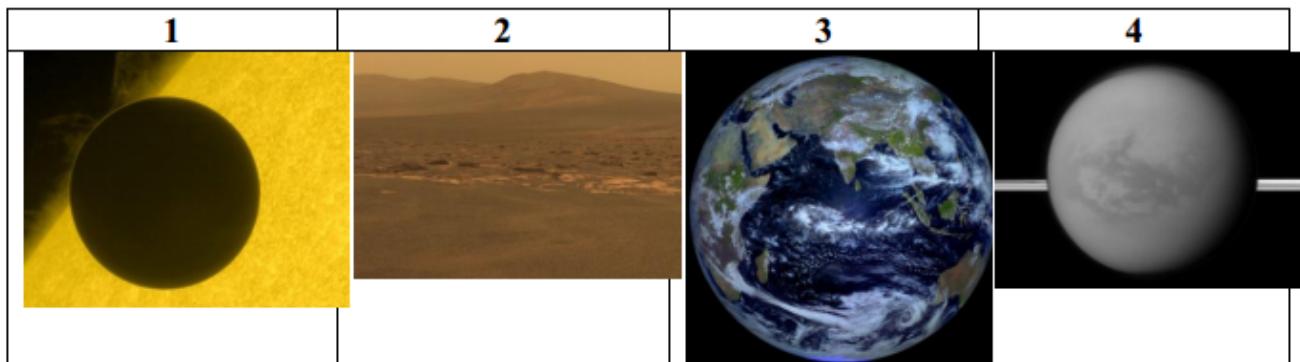
9.5 Какие из ярчайших звёзд ночного неба нельзя увидеть в Москве в текущем году?

1. Сириус
2. Канопус
3. Толиман
4. Арктур
5. Вега
6. Капелла
7. Ригель

9.6 Расположите объекты на фотографиях в порядке увеличения расстояния от Земли



9.7 Расположите тела Солнечной Системы в порядке убывания атмосферного давления на поверхности.



9.8 Пусть вокруг каждой планеты Солнечной Системы вращается космический аппарат, передающий сигналы на Землю. Укажите, от спутников каких планет сигнал дойдёт до принимающей станции на Земле в течение часа?

1. Меркурий
2. Венера
3. Марс
4. Юпитер
5. Сатурн
6. Уран
7. Нептун

9.9 Какие из перечисленных созвездий пересекаются с галактическим экватором?

1. Большая Медведица
2. Малая Медведица
3. Кассиопея
4. Дракон
5. Орион
6. Волопас
7. Возничий

9.10 Искусственный спутник Земли движется над экватором Земли по круговой орбите на высоте 2014 км. Оцените его период обращения, ответ выразить в минутах, округлив до ближайшего целого значения.

9.11. Оцените видимый блеск Солнца в звездных величинах при наблюдениях из окрестности Сириуса. Ответ округлите до ближайшего целого значения.

9.12. Оцените максимально возможную высоту Луны над горизонтом на широте Москвы в XXI веке, ответ выразить в градусах, округлив до ближайшего целого значения.

### Очный тур

#### 1-5 класс

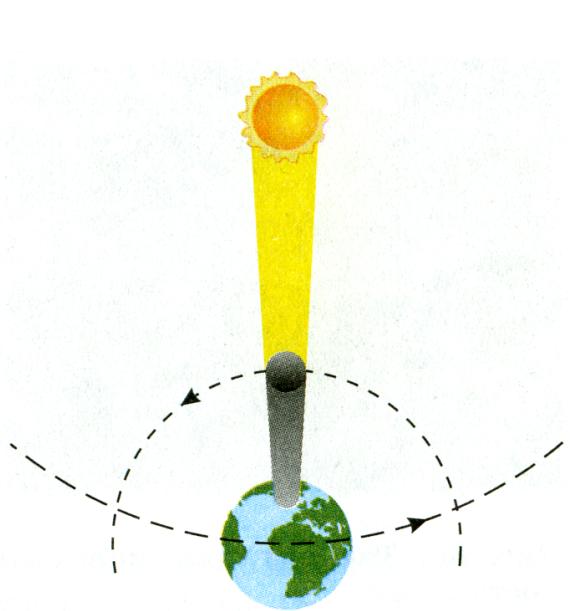
9.13. (Так же для 6-7 классов) Если планета перестанет вращаться вокруг своей оси, будет ли наблюдаваться смена дня и ночи на этой планете? Ответ обоснуйте и поясните рисунком.

9.14. (Так же для 6-7 классов) Планета наблюдается в Москве около полуночи невооруженным глазом, т.е. без телескопа. Что это может быть за планета?

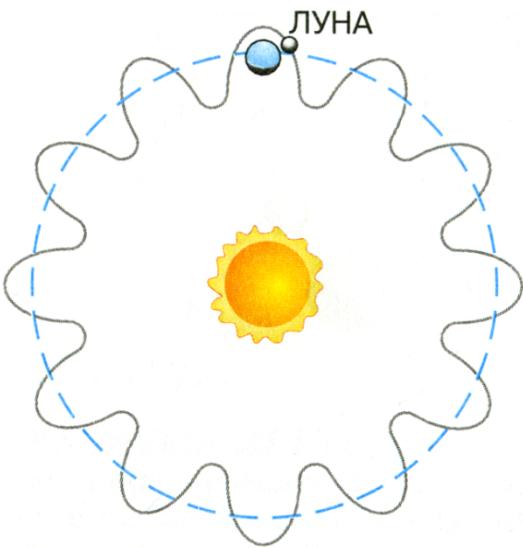
9.15. (Так же для 6-7 классов) Перед Вами рисунки из учебника «Естествознание-5». Какие астрономические ошибки допустили художники?



Рис. 79. Суточное движение звезд по небосклону в умеренных широтах



**Рис. 63.** Схема образования солнечного затмения



**Рис. 62.** Орбиты, по которым Земля (пунктирная линия) и Луна (сплошная линия) движутся вокруг Солнца

9.16. Есть ли на Земле места, где звёзды не восходят и не заходят за горизонт?

#### 6-7 класс

9.17. Юпитер перемещается среди звёзд довольно медленно, проводя в каждом зодиакальном созвездии примерно год. Противостояния Юпитера повторяются через 399 суток. Пусть в некотором году противостояния Юпитера не было. В каком созвездии находилась планета?

9.18. (Так же для 8-9 классов) Вам дана звездная карта. Определите и перечислите созвездия, в которых бывает Луна на небе г. Москве (широта  $56^\circ$ ). Наклонение лунной орбиты к эклиптике  $5.1^\circ$ . Радиус Земли 6400 км, среднее расстояние Луны от Земли 384000 км.

#### 8-9 класс

9.19 Определите радиус шара с водой масса которого равна массе Земли? Солнца? Галактики Млечный Путь? Какие объекты во Вселенной имеют близкие к полученным размеры?

9.20. Наблюдатель заметил, что Юпитер, находясь в противостоянии, совершил верхнюю кульминацию на высоте  $45^\circ$  к югу от зенита, а его нижняя кульминация в тот же день составила всего  $2^\circ$ . Оцените, через какое время Юпитер взойдет в точке востока? Наклоном плоскости орбиты Юпитера к плоскости эклиптики пренебречь.

9.21. На какое расстояние можно отодвинуть от глаз 5-рублевую монету (радиус 25 мм), чтобы полностью закрыть Луну? Рассмотрите все случаи.

9.22. У Меркурия и Марса на поверхности примерно одинаковое ускорение свободного падения. С поверхности какого из этих тел проще запустить искусственный спутник? Ответ обоснуйте.

9.23. Свет от звезды Денеб идет к Земле 1500 лет. Определите значение годичного параллакса у звезды Денеб.

9.24. Определите и перечислите созвездия, в которых бывает Луна на небе г. Москве (широта  $56^{\circ}$ ). Наклонение лунной орбиты к эклиптике  $5.1^{\circ}$ . Радиус Земли 6400 км, среднее расстояние Луны от Земли 384000 км.

## 10-11 класс

### Короткие задачи

9.25. Телескоп, установленный на широте  $45^{\circ}$ , может наводиться на объекты не ниже  $15^{\circ}$  над горизонтом. Определите, как долго в течение ночи будут этому телескопу доступны светила на небесном экваторе?

9.26. Под эффективным радиусом галактики понимают такое расстояние, на котором ее поверхностная яркость равна  $25^m$  с квадратной секунды. Известно, что поверхностная яркость падает экспоненциально от центра по закону  $I=I_0 \cdot e^{-r/h}$ , где  $h$  – расстояние от центра, на котором поверхностная яркость уменьшается в  $e$  раз. Пусть некоторая галактика расположена на расстоянии 3 Мпк от нас, имеет поверхностную яркость в центре  $20^m$ ,  $h = 2$  кпк. Какие угловые размеры имеет эффективный радиус этой галактики?

9.27. При проведении наблюдений в субмиллиметровой области спектра небольшим, но чувствительным телескопом возникает «проблема путаницы»: источников на небе так много, что трудно понять, где один, а где несколько. Этими источниками являются очень далекие галактики (на расстояниях несколько гигапарсек). Оцените примерно полное количество источников на небе, при котором проявляется этот эффект для космического телескопа ГЕРШЕЛЬ диаметром 3.5 м при наблюдениях на длине волн 250 мкм.

9.28. Инопланетяне решили столкнуть объект пояса Койпера на Солнце, остановив его орбитальное движение. С какой точностью (относительной ошибкой) они должны передать импульс этому объекту, если он вращался по круговой орбите со скоростью  $V$ .

9.29. Большая полуось орбиты визуальной двойной звезды наблюдается с Земли под углом  $0.628''$ , период обращения равен 60,55 годам. Считая параллакс равным  $0.0284''$ , определите суммарную массу двойной системы в масах Солнца.

9.30. Зная, что средний размер белого карлика равен примерно диаметру Земли, а температура составляет  $13000\text{K}$ . Оцените, какова светимость белого карлика в светимостях Солнца? С какого расстояния мы не сможем увидеть такой белый карлик без телескопа?

### Длинная задача.

9.31. На Луне наблюдаются т. н. Кратковременные лунные явления (КЛЯ): вспышки, потемнения, изменения цвета и т. п. Предположим, что одним из объяснений для некоторых из КЛЯ может быть наличие на Луне участка зеркальной поверхности (например, остекленевшего реголита или забытого американскими астронавтами куска блестящей пленки). КЛЯ возникает, когда отражённый луч Солнца попадает в наблюдателя.

9.31.1. При каком размере плоского зеркала, находящегося на поверхности Луны, направленный на наблюдателя солнечный зайчик можно заметить

- а) в крупный телескоп
- б) невооруженным глазом?

9.31.2. Какова максимальная длительность такого явления для наблюдателя, находящегося на поверхности Земли?

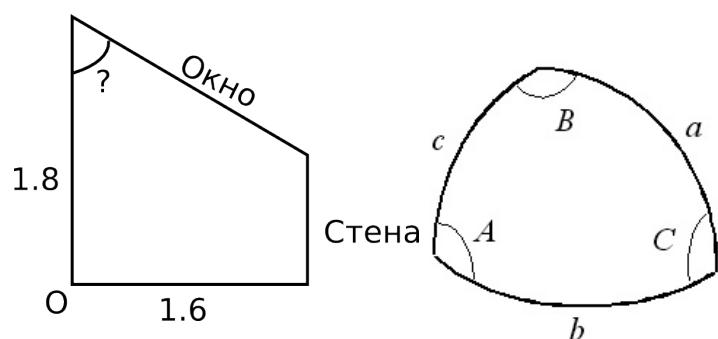
9.31.3. Из какой области на Луне может наблюдаться солнечный зайчик, если зеркало расположено горизонтально?

## Практические задачи

9.32. Вам дан снимок метеора и карта звёздного неба. Известно, что траектория метеора лежит в картинной плоскости. Расстояние до средней точки траектории равно 250 км. Считая, что длительность полёта метеора 1 секунда, оцените его среднюю скорость на этом участке пути.



9.33. Астроном лежит на чердаке под наклонным окном. Прямо над головой, рядом с границей окна сияет Мирфак ( $\alpha$  Персея). На противоположной границе окна виден Кохаб ( $\beta$  Малой Медведицы). Определите широту и наклон окна. Окно направлено на север.



Приложение.  
Формулы сферической тригонометрии.

$$\frac{\sin(a)}{\sin(A)} = \frac{\sin(b)}{\sin(B)} = \frac{\sin(c)}{\sin(C)}$$

$$\cos(a) = \cos(b)\cos(c) + \sin(b)\sin(c)\cos(A)$$

$$\sin(a)\cos(B) = \cos(b)\sin(c) - \sin(b)\cos(c)\cos(A)$$

## **Часть 10. 69 Московская Астрономическая Олимпиада (2015 год)**

### **Дистанционный тур**

10.1. (все классы) Сколько звёзд известно в составе Солнечной системы? (укажите число)

10.2. (все классы) В какую из этих дат в 2015 году Земля будет находиться на большем расстоянии от Солнца?

1. 21 марта
2. 21 июня
3. 23 сентября
4. 22 декабря

10.3. (все классы) Какие из этих объектов нельзя наблюдать с обратной стороны Луны?

1. Солнце
2. Землю
3. Метеоры
4. Звёзды
5. Венеру
6. Юпитер

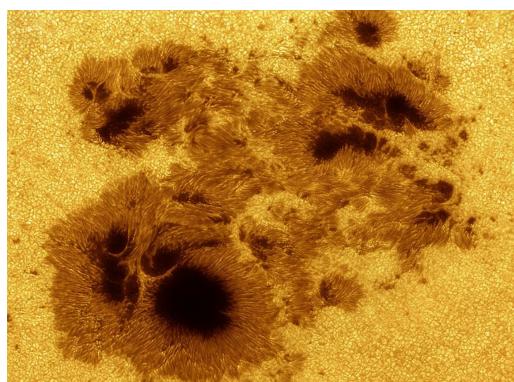
10.4. (все классы) В каком месяце года Полярная звезда дольше всего наблюдается на широте Москвы на тёмном небе? Влиянием погодных условий пренебречь.

1. В январе
2. В апреле
3. В июле
4. В октябре

10.5. (все классы) Пусть из-за соединения с Солнцем звезда Регул не видна на небе. В какое время суток удастся её пронаблюдать впервые после периода невидимости?

1. Вскоре после захода Солнца
2. Вблизи полуночи
3. Незадолго до восхода Солнца

10.6. (все классы) Что запечатлено на фотографии?



1. Облака на Сатурне
2. Метеоритные кратеры в пустыне на Земле
3. Область звездообразования
4. Солнечные пятна
5. Чёрная дыра в центре Галактики
6. Обратная сторона Луны

10.7. (все классы) Расставьте объекты в порядке увеличения массы:

1. Солнце
2. Земля

3. Луна
4. Церера
5. Марс
6. туманность Андромеды
7. комета Чурюмова-Герасименко
8. Бетельгейзе

(Например, ответ 12345678 означает, что у объекта 1 минимальная масса, а у объекта 8- максимальная)

10.8. (6-11 классы) Определите тип объекта по фотографии.



1. Галактика
2. Шаровое звёздное скопление
3. Рассеянное звёздное скопление
4. Область звездообразования
5. Планетарная туманность
6. Комета

10.9. (6-11 классы) Какая планета Солнечной системы продемонстрирует наблюдателю на Земле наибольшие колебания видимого углового диаметра (в угловых секундах) в течение XXI века?

1. Меркурий
2. Венера
3. Марс
4. Юпитер
5. Сатурн
6. Нептун

10.10. (6-11 классы) Оцените, на какое расстояние нужно приблизиться к Юпитеру, чтобы его угловой размер сравнялся со средним угловым размером полной Луны на Земле? Ответ выразите в км.

10.11. (8-11 классы) Определите гражданское (используемое в повседневной жизни) время местного среднего полудня на Кавказской горной обсерватории МГУ. Обсерватория расположена в республике Карачаево-Черкесия, недалеко от Кисловодска. Широта  $43^{\circ}44'$ , долгота  $42^{\circ}40'$ . Запишите ответ в виде чч:мм.

10.12. (8-11 классы) Напишите номер наиболее легко наблюдаемого невооружённым глазом даже в условиях городской засветки объекта из каталога Мессье.

10.13. (8-11 классы) Укажите объект Солнечной системы с максимальной линейной скоростью точек экватора относительно центра тела.

1. Солнце
2. Меркурий
3. Венера
4. Земля
5. Юпитер
6. Сатурн

10.14. (8-11 классы) Вы наблюдаете Солнце в небольшой телескоп, конечно, с помощью фильтра. Вычислите, на сколько процентов поверхностная яркость диска Солнца вблизи перигелия орбиты выше, чем в афелии. Наличием солнечной активности, атмосферными явлениями пренебречь

10.15. (10-11 классы) Какие из перечисленных ниже классов космических объектов можно увидеть невооружённым глазом на небе на широте Москвы?

1. Белый карлик
2. Голубой гигант
3. Жёлтый карлик
4. Красный карлик
5. Коричневый карлик
6. Чёрная дыра

10.16. (10-11 классы) Пусть диаметр небесного тела составляет 3000 км, а средняя плотность 3000 кг/м<sup>3</sup>. Определите ускорение свободного падения на поверхности. Ответ выразите в м/с<sup>2</sup>.

10.17. (10-11 классы) Известно, что скорость верхнего облачного покрова вблизи экватора на Венере достигает 100 метров в секунду. Оцените радиус орбиты искусственного спутника, при котором он будет вращаться синхронно с облачным покровом. Дифференцированным вращением пренебречь. Ответ выразите в км.

### Очный тур

#### 1-5 классы

10.18. Перечислены 7 объектов Солнечной Системы: Солнце, Венера, Земля, Луна, Марс, Юпитер, Сатурн. На каких из этих объектов не известно ни одного метеоритного кратера? Какой из них имеет самый большой размер и массу? А какой самую маленькую?



10.19. Данная фотография Юпитера была получена с космического аппарата, пролетавшего рядом с этой планетой. На ней Солнцем освещена примерно половина диска планеты. А как выглядел (в какой фазе находился) в это время Юпитер с Земли?

10.20. (1-5 и 6-7 классы) Под Новый год школьникам, живущим в разных городах мира: в Москве, Сиднее (Австралия) и Мурманске (север России), дали задание: описать, как меняется вид дневного неба в течение дня и положения Солнца на нем. Вот, что написали школьники:

1. «Когда я встал утром, чтобы идти в школу, на улице было еще совсем темно. Через несколько часов рассвело, но Солнце не появилось над горизонтом. Светлое время длилось около 3 часов.»

2. «Солнце встало над горизонтом на юго-востоке во время первого урока. Затем оно поднялось над горизонтом, двигаясь в сторону

юга. Солнце село на юго-западе, когда я пришел домой из школы.»

3. «Сегодня был очень длинный день. Солнце встало рано, поднялось над горизонтом и стало двигаться в сторону севера. Садилось Солнце глубоким вечером в направлении юго-запада.» Попробуйте определить, где живет автор каждого сочинения?

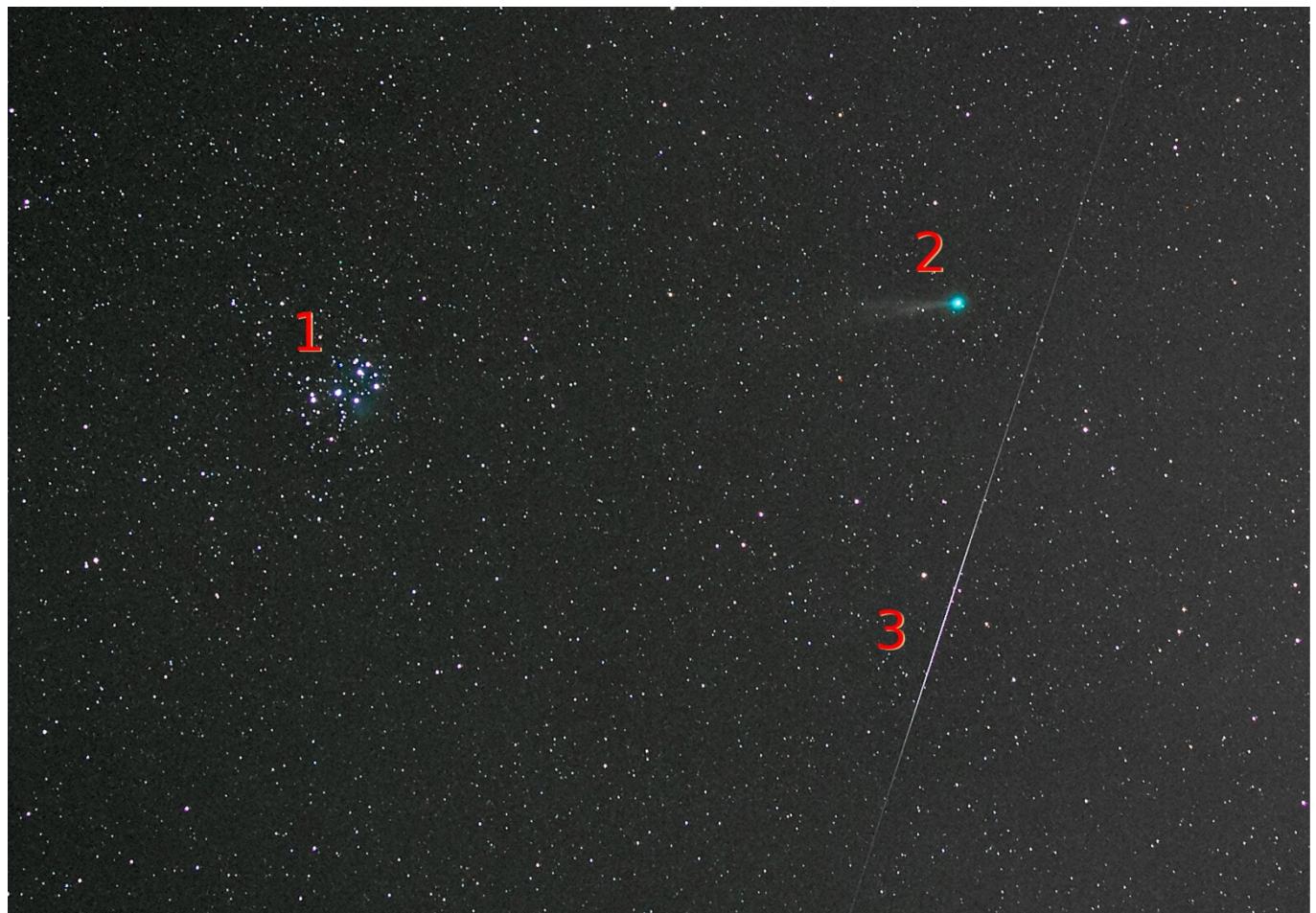
10.21. 20 марта в ряде городов России будет наблюдаться частное солнечное затмение. Какие небесные тела участвуют в этом явлении? Будет ли отличаться время начала затмения в разных городах?

### 6-7 классы

10.22. Известно, что Луна повернута к Земле всегда одной стороной, поэтому обратную сторону Луны наблюдать с Земли невозможно. С какой планеты Солнечной системы было бы удобно наблюдать обратную сторону Луны, освещённую Солнцем, и почему?

10.23. Период обращения Солнца вокруг центра Галактики оценивается в 225 миллионов лет. Считая, что Солнце находится на расстоянии в 27000 световых лет от центра Галактики и движется по круговой орбите с постоянной скоростью, оцените какой путь проделает Солнце за время олимпиады (3 часа). Ответ выразите в километрах или астрономических единицах. Длину окружности можно определить по формуле  $L=3,14*D$ , где D- диаметр круга. Скорость света считайте равной 300000 км/с.

10.24. 20 марта в Москве будет наблюдаться частное солнечное затмение с фазой 58%, максимальная фаза будет достигнута около 13 часов 20 минут по московскому времени. Какие небесные тела участвуют в этом явлении? Можно ли будет пронаблюдать это затмение в Киеве? А в Нью-Йорке? Будет ли отличаться время наступления максимальной фазы в этих городах? Считайте, что погодные условия благоприятствуют наблюдениям.



10.25. Перед Вами фотография участка звёздного неба, полученная в январе 2015 года. Какие объекты обозначены цифрами 1, 2, 3? Укажите их тип и, если знаете, название. Какой из этих объектов самый близкий к наблюдателю, а какой -- самый далёкий?

### 8-9 классы

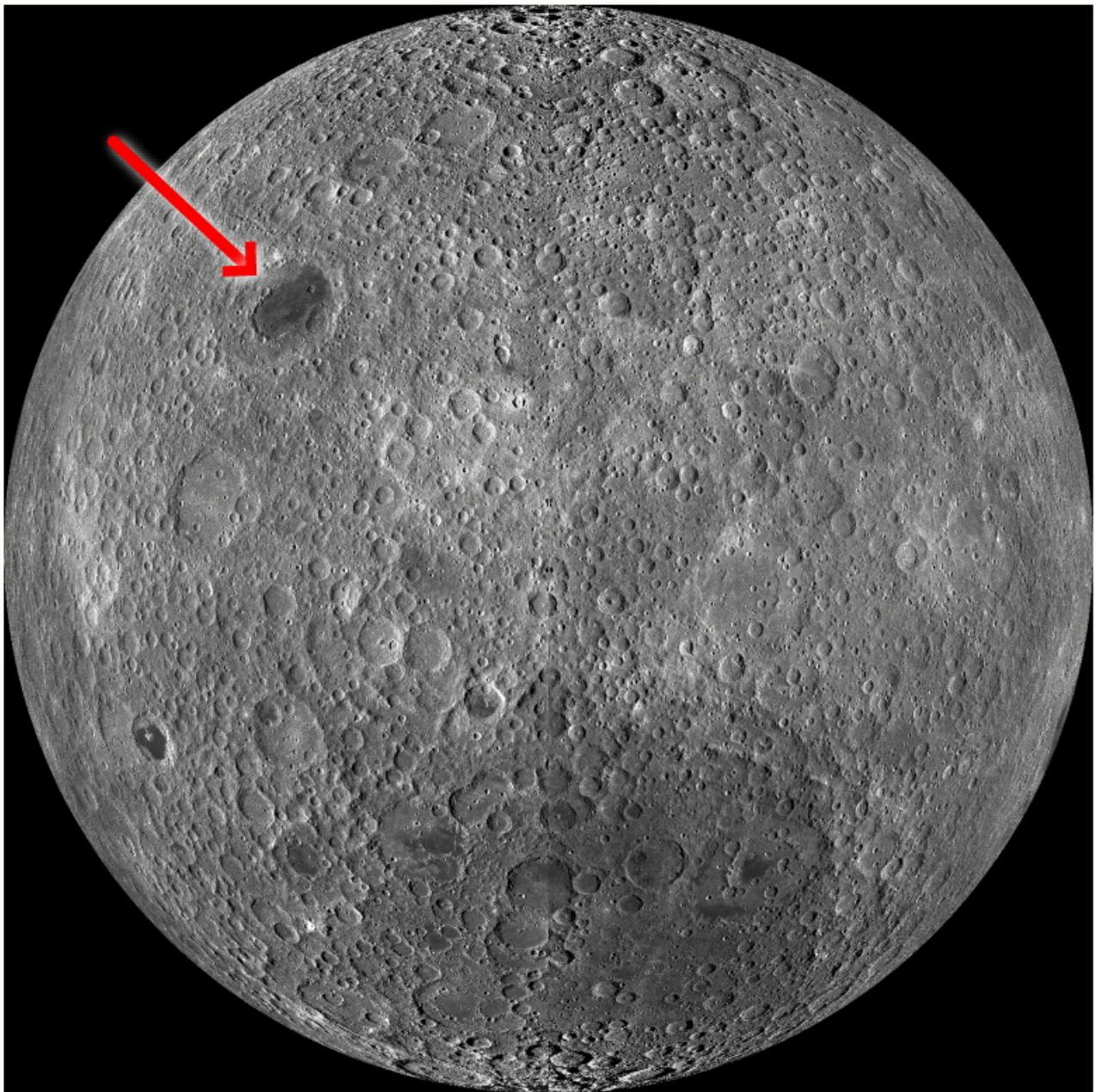
10.26. Планета размером с Юпитер вращается вокруг похожей на Солнце звезды по круговой орбите с радиусом орбиты, равным большой полуоси орбиты Меркурия. Наблюдатели на Земле видят регулярные падения блеска звезды из-за прохождения этой планеты по ее диску. Оцените характерное время затмения.

10.27. На поверхности каких планет земной группы можно наблюдать восход Солнца? Где он будет самым коротким? Оцените его длительность.

10.28. Житель острова Киритимати ( $1^{\circ}53'$  с. ш.,  $157^{\circ}24'$  з. д., UTC+14) решил сплавать в гости к своему другу, живущему на острове Нуку-Хива ( $8^{\circ}52'$  ю. ш.,  $140^{\circ}06'$  з. д., UTC-9.5). Для этого он сел на корабль, который по прямой со скоростью 40 км/ч доставил его на Нуку-Хива. Какой день был и сколько было времени на Нуку-Хива, когда туда прибыл путешественник, если он начал свой путь в полдень понедельника? UTC — всемирное время.

10.29. Космический аппарат «Dawn» в феврале 2015 года прибывает к последней цели своего путешествия — карликовой планете Церера. По пути он посетил Марс и долго исследовал астероид Весту. Определите, сколько времени потребовалось бы космическому аппарату для выполнения его программы, если бы после встречи с Марсом он двигался только по оптимальным (гомановским) эллипсам? Сколько времени у него было бы для исследования Весты? Орбиты Марса, Весты и Цереры считать круговыми и лежащими в одной плоскости. В момент отправки с Марса Церера отставала от него в орбитальном движении на  $140^{\circ}$ .

10.30. Космическое межзвездное облако имеет размер 100 а. е. и среднюю концентрацию  $10^6 \text{ см}^{-3}$ . Концентрация молекул воды в этом облаке составляет  $10^{-5}$  от средней. Космический корабль пролетает через это облако по прямой со скоростью 50 км/с. Экипаж корабля решил пополнить бортовые запасы воды, раскрыв снаружи корабля специальную ловушку диаметром 10 м. За какое время удастся собрать этой ловушкой тонну воды? Масса молекулы воды  $3 \cdot 10^{-23} \text{ г}$ .



10.31. Перед Вами фотография одного из полушарий Луны. Оцените максимальный угловой размер лунного моря (отмечено стрелкой) при наблюдении с орбиты Венеры, поверхности Земли и Марса. Можно ли его пронаблюдать в этот момент с помощью 150 мм телескопа?

#### 10-11 классы

10.32. Один год на далекой планете составляет  $T=456.789$  ее солнечных суток. Одни солнечные сутки на этой планете равны  $s = 20$  земных часов, причем планета вращается вокруг своей оси в сторону, противоположную движению по орбите. Чему равны звездные сутки на этой планете?

10.33. Каким должен быть максимальный наклон лунной орбиты, чтобы раз в месяц на Земле наблюдались солнечные затмения? Будут ли при таком наклоне раз в месяц происходить теневые лунные затмения? Орбиты Земли и Луны считайте круговыми.

10.34. Телескоп системы Ньютона имеет диаметр главного зеркала 130мм, фокусное расстояние 500 мм и максимальный размер не виньетированного трубой (т. е. не затененного трубой) поля зрения  $1^\circ$ . Плоское вторичное (диагональное) зеркало выносит фокус на расстояние 10 см от

главной оптической оси системы. Оцените, на сколько звёздных величин ослабляется принимаемый свет вследствие экранирования от вторичного зеркала.

10.35. За три месяца положение некоторой звезды из-за параллакса изменилось на  $0.014''$  по склонению, а по прямому восхождению не изменилось. Найдите расстояние до этой звезды от Земли. Экваториальные координаты звезды:  $\delta = -66.5^\circ$ ,  $\alpha = 6\text{ч}$ .

10.36. После просмотра фильма «Интерстеллар» многие люди стали критиковать его за некоторые «ляпы» с точки зрения физики. Одним из таких «ляпов» было то, что главный герой мог находиться вблизи сверхмассивной черной дыры, которая не оказала на него никакого влияния, тогда как, согласно мнению критикующих, он должен был погибнуть из-за приливных сил со стороны черной дыры. Так ли это? Какое приливное ускорение испытает человек массой 80 кг и ростом 180 см, находящийся вблизи горизонта событий черной дыры с массой  $10^7$  масс Солнца? Считать, что человек может выдерживать длительное время перегрузки не более 10 g.

10.37. Определите, во сколько раз гравитационное красное смещение для излучения Бетельгейзе больше или меньше, чем для Солнца? Масса Бетельгейзе равна 17 масс Солнца, радиус – 800 радиусов Солнца.

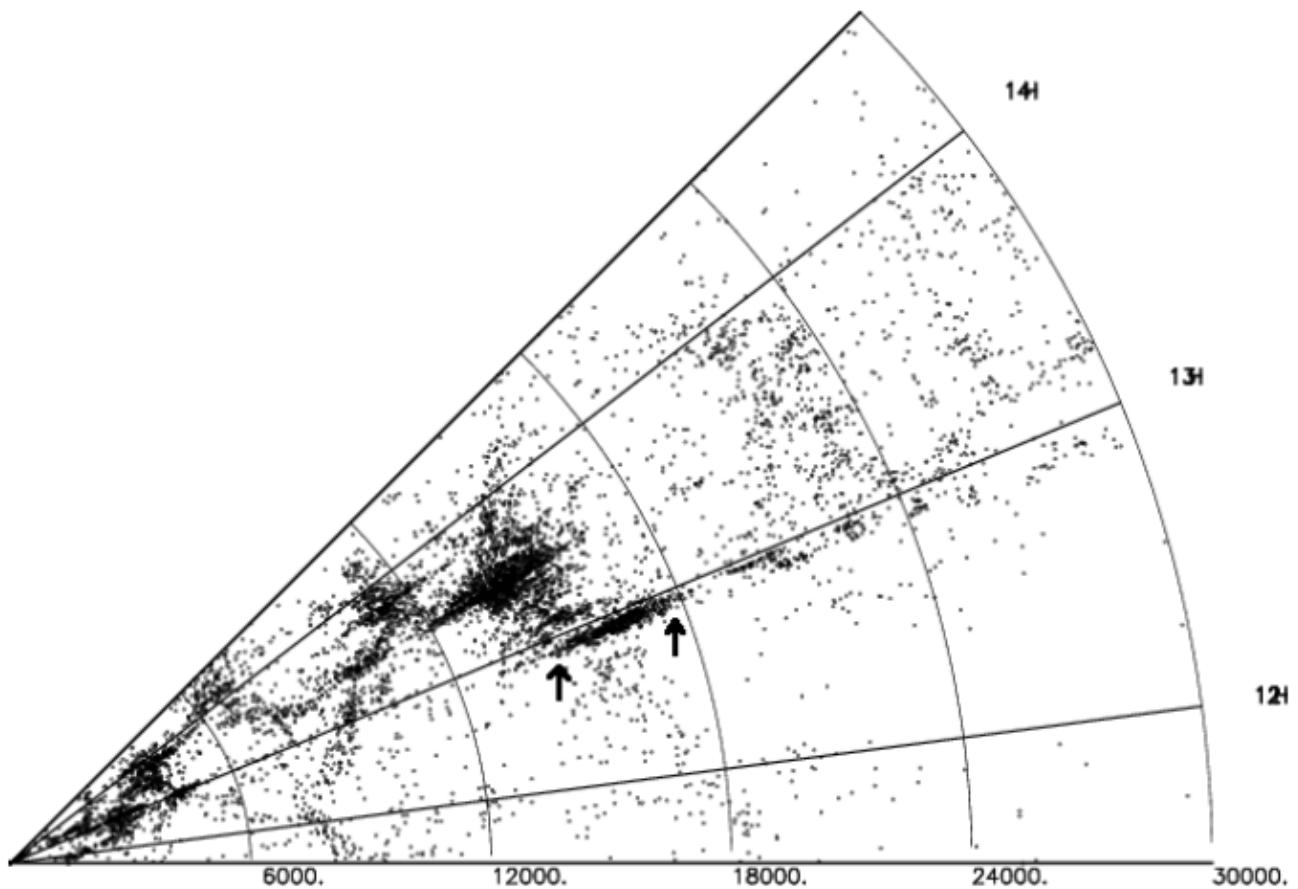
10.38. Солнце еще на протяжении 5 миллиардов лет будет светить как звезда главной последовательности, постепенно увеличивая свою светимость на 10% каждый миллиард лет.

1. Определите светимость Солнца перед превращением его в красный гигант (в единицах современной светимости  $L_0$ ).
2. Как далеко сдвинется зона жизни (зона обитаемости) в Солнечной системе к концу жизни Солнца? Принять текущие границы зоны жизни  $0.8 — 1.1$  а.е.
3. Текущая потеря массы Солнцем примерно  $5 \cdot 10^{-12}$  масс Солнца в год. Если предположить, что рост темпа потери массы будет таким же как и рост светимости, какую часть массы Солнце потеряет до превращения в красный гигант?
4. Сравните полученный результат с изменением массы Солнца за счет явления дефекта массы в термоядерных реакциях.

Стадия красного гиганта для Солнца продолжится на протяжении 100 миллионов лет пока постепенно не рассеется вся оболочка звезды, а Солнце не превратится в белый карлик массой 0.6 современной массы Солнца.

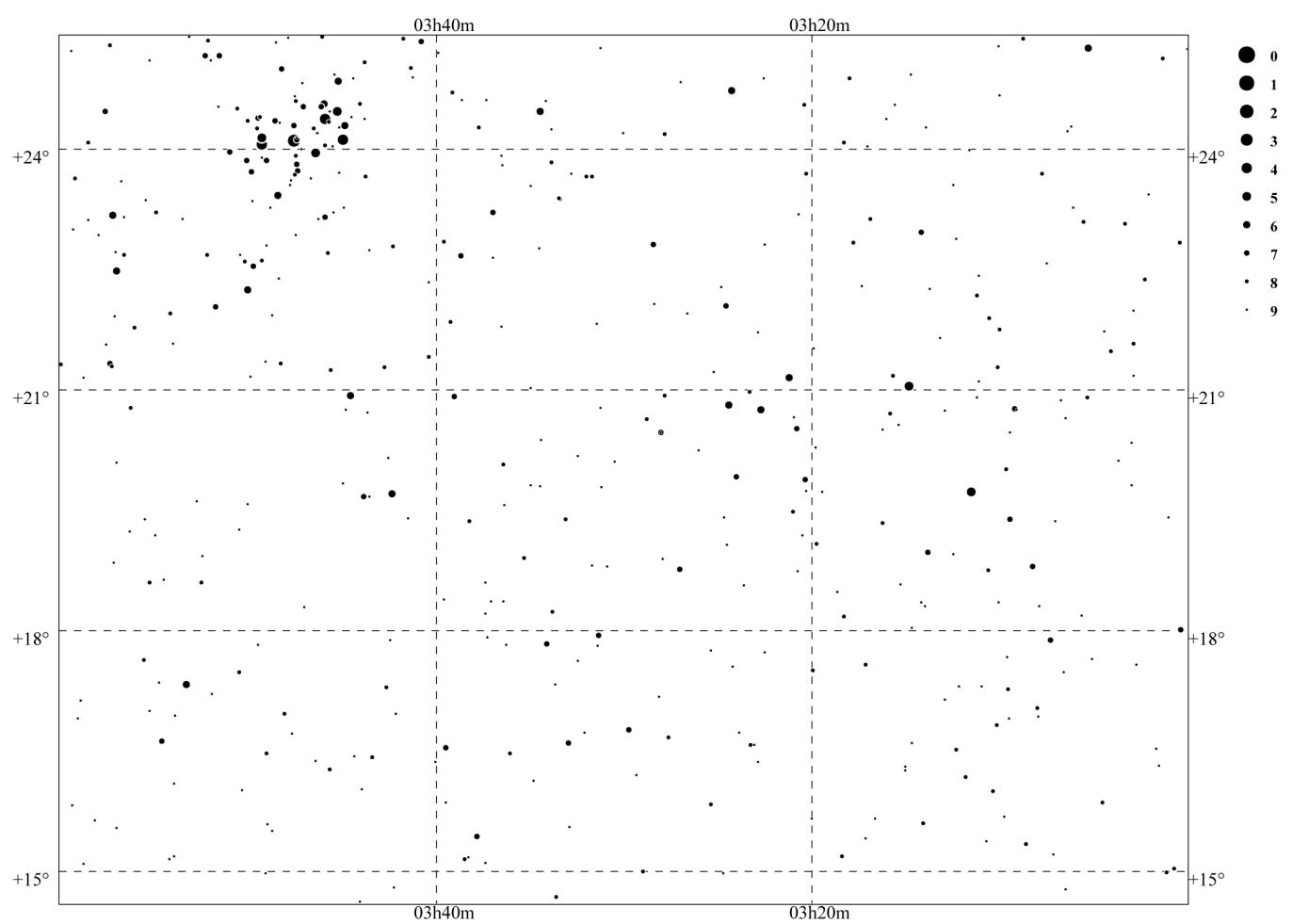
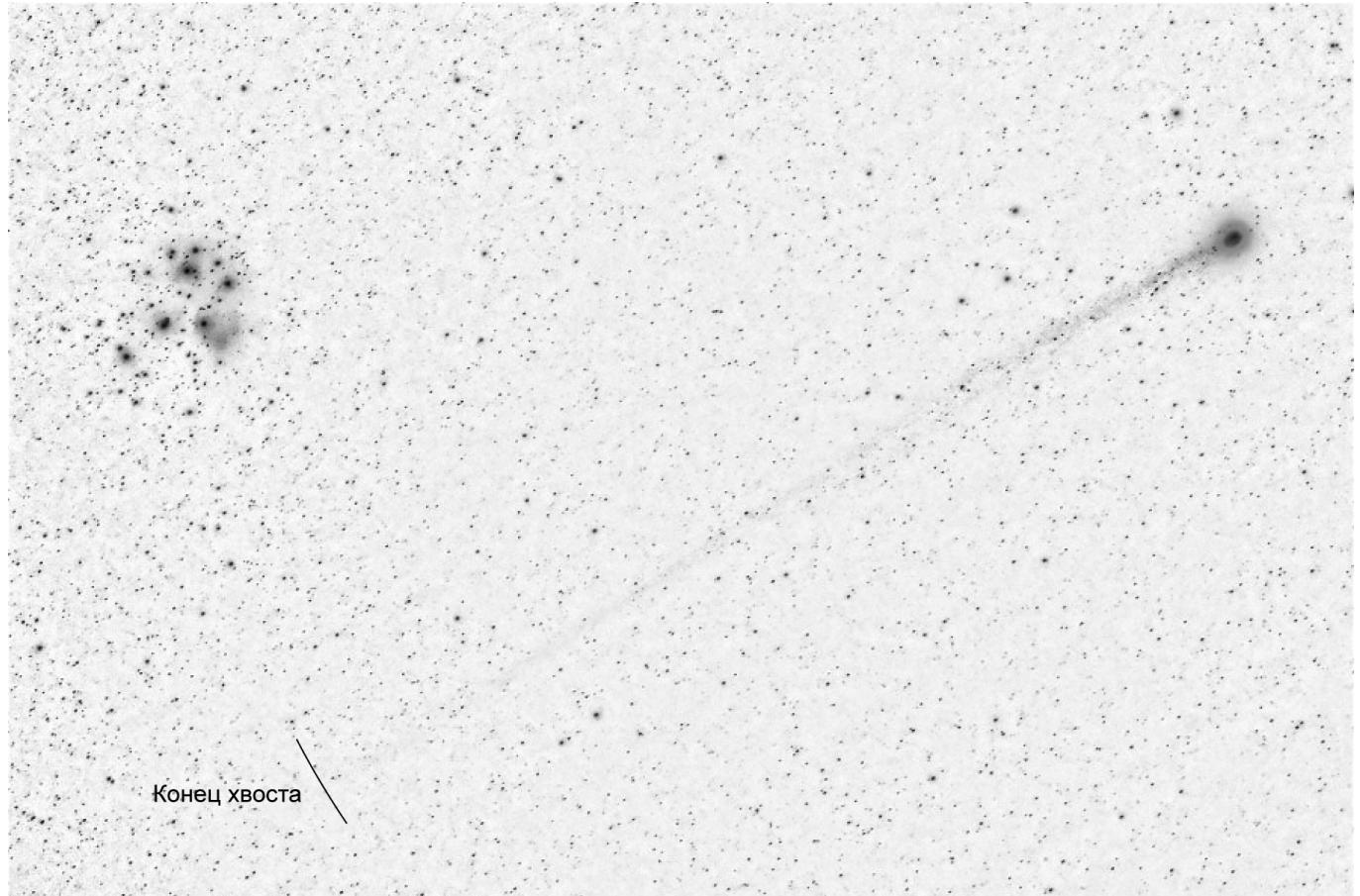
5. Определите скорость потери массы Солнцем (в массах Солнца в год) на этом этапе.
6. Определите, во сколько раз изменился радиус орбит уцелевших планет.

10.39. Скопления галактик представляют собой гравитационно-связанные объекты, имеющие форму, близкую к сферической. Гравитационная связанныность означает, что галактики, входящие в скопления, не участвуют в хаббловском расширении, а движутся хаотически по отношению к центру масс скопления. Это приводит к тому, что на картах «прямое восхождение» – «лучевая скорость», наподобие изображенной на рисунке, скопления сильно вытянуты по направлению к наблюдателю и имеют веретенообразную форму. Оцените из этой карты массу скопления, помеченного стрелками. Ответ выразите в массах Солнца. Укажите погрешность полученной величины.



На рисунке по радиусу – лучевая скорость в км/с, по углу – прямое восхождение в часах. Каждая точка представляет собой отдельную галактику.

10.40. Вам предоставлена фотография кометы C/2014 Q2 (Lovejoy) и карта данного участка звездного неба. Фотография была сделана 17 января 2015 года. В это время комета находилась на расстоянии 0.53 а.е. от Земли. Определите размер комы и размер хвоста кометы в километрах. Для удобства граница хвоста помечена.



## **Наблюдательный тур**

### **8-9 классы**

10.41 В планетарии проецируется звёздное небо, наблюдаемое грядущей ночью, 10/11 марта 2015 года, в неизвестный момент времени. Место наблюдения — Москва,  $55^{\circ}46' \text{ с.ш.}$ ,  $37^{\circ}35' \text{ в.д.}$ , UT+3. Помимо небесных объектов, дополнительно проецируются небесный меридиан и произвольный вертикальный круг М.

1. Укажите Московское и звёздное время наблюдения.
2. С помощью лазерной указки Вам последовательно демонстрируются 7 объектов. Укажите их названия и созвездия, в которых они находятся.

В качестве названия звезды можно указать её обозначение по Байеру. Названия объектов и созвездий можно указывать на русском, английском или латинском языках.

### **10-11 классы**

10.42 В планетарии проецируется звёздное небо, наблюдаемое грядущей ночью, 10/11 марта 2015 года, в неизвестный момент времени. Место наблюдения — Москва,  $55^{\circ}46' \text{ с.ш.}$ ,  $37^{\circ}35' \text{ в.д.}$ , UT+3. Помимо небесных объектов, дополнительно проецируются небесный меридиан и произвольный вертикальный круг М.

1. Укажите Московское и звёздное время наблюдения.
2. Укажите эклиптическую долготу и широту указанного объекта в градусах.
3. Укажите 5 созвездий, через которые проходит небесный вертикаль М.
4. Перечислите, в любом порядке, 5 визуально самых ярких находящихся над горизонтом небесных объектов.
5. Укажите (по номерам или названиям) 4 объекта из каталога Мессье, которые находятся на высоте более 30 градусов.
6. С помощью лазерной указки Вам последовательно демонстрируются 7 объектов. Укажите их названия и созвездия, в которых они находятся.

В качестве названия звезды можно указать её обозначение по Байеру. Названия объектов и созвездий можно указывать на русском, английском или латинском языках

## **Часть 11. Дополнительные задачи**

### ***Видимое движение небесных тел***

11.1. Звезда взошла в  $00^{\text{ч}}01^{\text{м}}$  по местному времени. Сколько раз она пересечет горизонт в данном пункте в эти сутки?

11.2. Сколько будет длиться на Северном полюсе восход Солнца? восход Луны?

11.3. Как известно, короче всего гражданские сумерки делятся в начале марта, перед весенным равноденствием, и в начале октября, после осеннего равноденствия. Почему?

11.4. Во второй половине марта планета Меркурий находится точно на эклиптике, в  $10^{\circ}$  к востоку от Солнца. На какой широте ее легче всего найти невооруженным глазом или в бинокль?

11.5. Наблюдатель фиксирует вид неба регулярно в одно и то же звездное время и постоянно видит Солнце на горизонте. Где находится наблюдатель и чему равно звездное время?

11.6. Поезд движется со скоростью 60 км/ч на восток вдоль параллели  $60^{\circ}$  с.ш. Какую продолжительность светлого времени суток зафиксирует пассажир этого поезда 21 марта? Рефракцией пренебречь.

11.7. Планета обращается по круговой орбите вокруг звезды с постоянной светимостью. В некоторой точке поверхности планеты наблюдается парадоксальная ситуация – в холодный сезон года продолжительность светлого времени суток значительно больше, чем в теплый! Может ли такое быть, и если да, то в какой точке планеты и при каких условиях?

### ***Атмосферы Земли и планет***

11.8. На северном полюсе Земли проводятся наблюдения Солнца в моменты весеннего и осеннего равноденствий. Когда Солнце будет видно выше над горизонтом? Величину атмосферного давления считать одинаковой в обоих случаях.

11.9. В каких случаях светила мерцают, а в каких – нет и почему: звезды при наблюдении невооруженным глазом, планеты при наблюдении невооруженным глазом, звезды при наблюдении в крупный телескоп, планеты при наблюдении в крупный телескоп.

11.10. Определите, при какой глубине погружения Солнца под горизонт будут видны серебристые облака над Солнцем на высоте  $10^{\circ}$  над горизонтом. В какие даты эти облака могут наблюдаваться всю ночь на широте Москвы? Высоту облаков считать равной 83 км, рефракцией пренебречь.

11.11. Рассчитайте высоту сухой адиабатической атмосферы для Венеры, Земли и Марса.

11.12. Как вы думаете – если бы на Венере условия стали пригодными для жизни, как это сказалось бы на ее блеске на земном небе? А как изменился бы блеск Марса, если бы он мог быть обитаемым?

### ***Движение Луны, покрытия и затмения***

11.13. Оцените максимальную продолжительность покрытия звезды Луной.

11.14. Найдите минимальное склонение звезды, покрытие которой Луной может наблюдаться с поверхности Земли. На какой широте Земли и на какой высоте над горизонтом будет наблюдаваться это покрытие?

11.15. В течение всей полной фазы солнечного затмения около экватора Солнца был виден яркий протуберанец. Оцените его минимальный размер, если ширина полосы полной фазы составляла 150 км, и оно наблюдалось вблизи зенита.

11.16. Определите минимальный радиус сферы вокруг центра Земли, в которой в каждое новолуние будет наблюдаться полное солнечное затмение.

11.17. Оцените, на какой широте Земли может наблюдаться полное солнечное затмение с максимально возможной продолжительностью.

11.18. 1 июля 2011 года в акватории между южной Африкой и Антарктидой произойдет частное солнечное затмение с небольшой фазой, которое откроет новую последовательность солнечных затмений (в предыдущий сарос, 20 июня 1993 года, затмения не произошло). У какого из узлов лунной орбиты произойдет это затмение? Оцените, до какого века будет продолжаться данная последовательность. Эксцентриситетом орбиты Луны пренебречь.

11.19. По существующей теории движения Луны, через какое-то время Земля и Луна будут вращаться вокруг своих осей с одинаковым периодом и будут обращены друг к другу одной стороной (как Плутон и Харон в настоящее время). Какими будут расстояние от Земли до Луны и период обращения Луны вокруг Земли в это время? При решении задачи Землю и Луну считать однородными шарами, момент импульса вращения которых равен  $0.4 \cdot M R^2 \omega$ , где  $M$ ,  $R$  и  $\omega$  – масса, радиус и угловая скорость вращения вокруг шара своей оси.

### *Движение искусственных спутников и космических аппаратов*

11.20. Для целей связи понадобился запуск искусственного спутника Земли, который находился бы максимально возможное время вблизи зенита в Москве. Какой должна быть орбита этого спутника?

11.21. Рассчитайте “третью космическую скорость” – минимальную скорость старта космического корабля с Земли, чтобы он мог без последующих затрат энергии навсегда покинуть Солнечную систему.

11.22. Сегодня на Земле был произведен запуск космического аппарата к Марсу по орбите, касающейся орбит Земли и Марса. В какой конфигурации сегодня находится Марс? Орбиты Земли и Марса считать круговыми.

11.23. Межпланетный аппарат совершает пассивный (без включения двигателей) гравитационный маневр вблизи Юпитера. Подлетая к Юпитеру с утренней (восточной) стороны, аппарат разворачивается на  $90^\circ$  и улетает от Юпитера с относительной скоростью, направленной точно от Солнца. В результате этого маневра аппарат, двигаясь по параболе, через некоторое время покидает Солнечную систему. Как двигался аппарат относительно Солнца до гравитационного маневра? Как вы думаете, можно ли совершить такой маневр вблизи Земли?

### *Конфигурации и видимость планет*

11.24. На какой максимальной высоте над горизонтом можно найти Меркурий невооруженным глазом? В какой сезон и на каких широтах это может произойти? Считать, что Меркурий становится видимым на сумеречном небе при погружении Солнца под горизонт, равном  $6^\circ$ .

11.25. Предположим, 7 мая Венера оказалась в наибольшей восточной элонгации и в каком-то пункте Земли стала незаходящим светилом, ее нижняя кульминация произошла в точке севера. Где в этот момент находилось Солнце?

11.26. Оцените максимально возможную продолжительность частной фазы прохождения Венеры по диску Солнца, наблюдаемого с Земли. Орбиты Венеры и Земли считать круговыми.

11.27. Каким должен быть эксцентриситет орбиты Марса, чтобы во время его великих противостояний планета не описывала петлю среди звезд на земном небе? Чему был бы равен блеск Марса во время таких противостояний? Каким по яркости светилом он был бы на земном небе? Большая полуось орбиты Марса равна 1.524 а.е., орбиту Земли считать круговой.

### ***Спутники планет Солнечной системы***

11.28. Сравните (количественно) влияние солнечных возмущений на движение Луны вокруг Земли и Ио вокруг Юпитера.

11.29. Известно, что Ио, Европа и Ганимед на каждом своем обороте вокруг Юпитера попадают в его тень и лишь Каллисто может пройти мимо тени Юпитера. Исходя из этого, оцените угол наклона плоскости орбит спутников к плоскости орбиты Юпитера вокруг Солнца (считая этот угол одинаковым для всех четырех спутников).

11.30. Оцените освещенность поверхности спутника Сатурна Титана, обращенной к Сатурну, в зависимости от конфигурации Солнца, Сатурна и Титана. Какие основные периоды суток на Титане вы можете выделить, какова их продолжительность?

### ***Малые тела Солнечной системы***

11.31. Двойная система состоит из двух одинаковых астероидов с радиусами 500 км и средней плотностью 2 г/см<sup>3</sup>. Какое максимальное расстояние может разделять эти астероиды друг от друга? Будут ли эти астероиды различимы по отдельности в крупные земные телескопы? Орбиты астероидов в двойной системе считать круговыми, орбита системы вокруг Солнца также круговая, радиус 2.5 а.е.

11.32. Оцените ошибку определения координат астероида Церера вблизи его квадратуры, вызванную наличием фазового эффекта, связанного с тем, что Солнце освещает не весь диск Цереры. Диаметр Цереры равен 1000 км, а радиус орбиты – 2.77 а.е.

11.33. Как вы думаете – почему среди особо ярких комет редко встречаются короткопериодические, гораздо чаще яркими оказываются кометы, которые затем удаляются от Солнца на многие тысячи лет или вообще навсегда?

### ***Физика звезд***

11.34. Оцените массу водорода, который сгорит в недрах Солнца за все время его эволюции. Сравните ее с массой планет Солнечной системы. При расчетах принять, что один атом гелия  $^4\text{He}$  на 0.7% легче четырех протонов, а время жизни Солнца на главной последовательности равно 15 млрд лет.

11.35. Предположим, в один момент поверхность Солнца остыла с 6000 до 5000 К. Оцените, как изменится вид спектральных линий бальмеровской серии водорода.

11.36. По интегральной светимости звезда **A** в четыре раза превосходит звезду **B**, однако в дальней инфракрасной области спектра звезда **B** вдвое ярче звезды **A**. Найдите отношение радиусов и температур двух звезд. Излучение звезд считать чернотельным.

11.37. Если мы могли бы увеличивать температуру звезды до бесконечности, но чтобы при этом она оставалась абсолютно черным телом, как изменялся бы ее показатель цвета  $B-V$ ?

11.38. Две звезды – белый карлик и белый сверхгигант имеют одинаковый химический состав и одинаковую температуру поверхности. У какой из звезд степень ионизации вещества на поверхности будет выше?

11.39. Около далекой звезды главной последовательности открыта планета, обращающаяся вокруг нее по круговой орбите. Спектрометрические наблюдения показали, что ее орбитальная скорость равна 30 км/с, а период обращения составляет 10 лет. По интерферометрическим данным угловое расстояние планеты от звезды составляет  $0.064''$ . Видна ли эта звезда на нашем небе невооруженным глазом? Межзвездным поглощением пренебречь.

11.40. Известно, что "первая вспышка" протозвезды происходит в момент, когда гравитационная энергия становится равной энергии, необходимой для превращения всей массы протозвезды в плазму. Найдите абсолютную звездную величину протозвезды с массой Солнца в этот момент, если известно, что ее эффективная температура в два раза меньше эффективной температуры Солнца. Энергия, необходимая для превращения одного грамма вещества протозвезды в плазму, равна  $2.5 \cdot 10^9$  Дж/кг.

### *Двойные и переменные звезды*

11.41. Двойная система состоит из одинаковых компонент, обращающихся вокруг общего центра масс по круговым орбитам. Плоскость орбит располагается перпендикулярно лучу зрения, и классический эффект Доплера в спектре не наблюдается. Какой должна быть система (массы, радиусы звезд, расстояние между ними), чтобы мы смогли зарегистрировать поперечный эффект Доплера?

11.42. Наблюдая систему из двух белых карликов, мы один раз за 51.14 суток наблюдаем падение блеска в результате взаимных затмений звезд. Во время каждого затмения блеск звезды уменьшается в течение 320 секунд, затем 160 секунд держится на постоянном уровне, а потом за 320 секунд вновь возрастает до обычного значения. По спектральным данным установлено, что лучевая скорость более яркой компоненты изменяется с амплитудой 38.57 км/с. Считая температуру поверхности обеих звезд одинаковой, вырожденный газ обоих карликов – нерелятивистским, пренебрегая вращением звезд вокруг своих осей, найдите массы и радиусы звезд. Считать, что Земля находится в плоскости орбит звезд.

11.43. Определите максимальное расстояние до галактики, в которой можно наблюдать переменные звезды типа RR Лиры.

11.44. В Вашем распоряжении имеются данные измерений кривой блеска, кривой лучевой скорости переменной звезды – цефеиды, а также ее спектры в различные фазы периода. Сможете ли вы определить радиус цефеиды? Как это лучше сделать?

### *Звездные скопления и туманности*

11.45. Измерив собственные движения звезд рассеянного звездного скопления, астрономы обнаружили, что все они направлены к одной точке неба, отстоящей на  $20^\circ$  от самого скопления. Величина собственного движения составляла  $0.1''$  в год. Наблюдатели также измерили лучевую скорость звезд, равную 20 км/с, однако по рассеянности забыли указать ее знак, то есть не

сообщили, приближаются или удаляются от нас звезды скопления. Восстановите эту недостающую информацию, а также найдите расстояние до звездного скопления.

11.46. Представьте, что Солнце, двигаясь вокруг центра Галактики, встречается с шаровым звездным скоплением и пролетает прямо через его центр. Сможет ли Солнце сохранить свою планетную систему такой, какой она была до сближения со скоплением? Скопление имеет радиус 30 пк и состоит из миллиона звезд, равномерно распределенных внутри скопления.

11.47. В планетарных туманностях наблюдаются очень яркие "небулярные" линии азота и кислорода. Условием их возникновения является то, что за время нахождения в возбужденном состоянии атом не должен столкнуться ни с одним из электронов окружающей среды. Оцените среднюю концентрацию электронов в планетарной туманности, если известно, что по относительной интенсивности этих линий температура составляет 10000 К, а время жизни возбужденного атома около 50 секунд. Эффективное сечение взаимодействия атома с электроном равно  $10^{-20} \text{ м}^2$ .

### *Галактики, закон Хаббла*

11.48. Далекая спиральная галактика имеет на нашем небе размер, равный угловому диаметру Луны. В ее диске наблюдается цефеида с периодом 10 дней, имеющая средний блеск  $21.8^m$ . Измерения лучевых скоростей показали, что орбитальная скорость в диске  $v$  возрастает пропорционально квадратному корню из расстояния до центра  $r$ . Найдите массу галактики, считая ее толщину равной 1 кпк, а плотность в центре – 1 массе Солнца на кубический парсек.

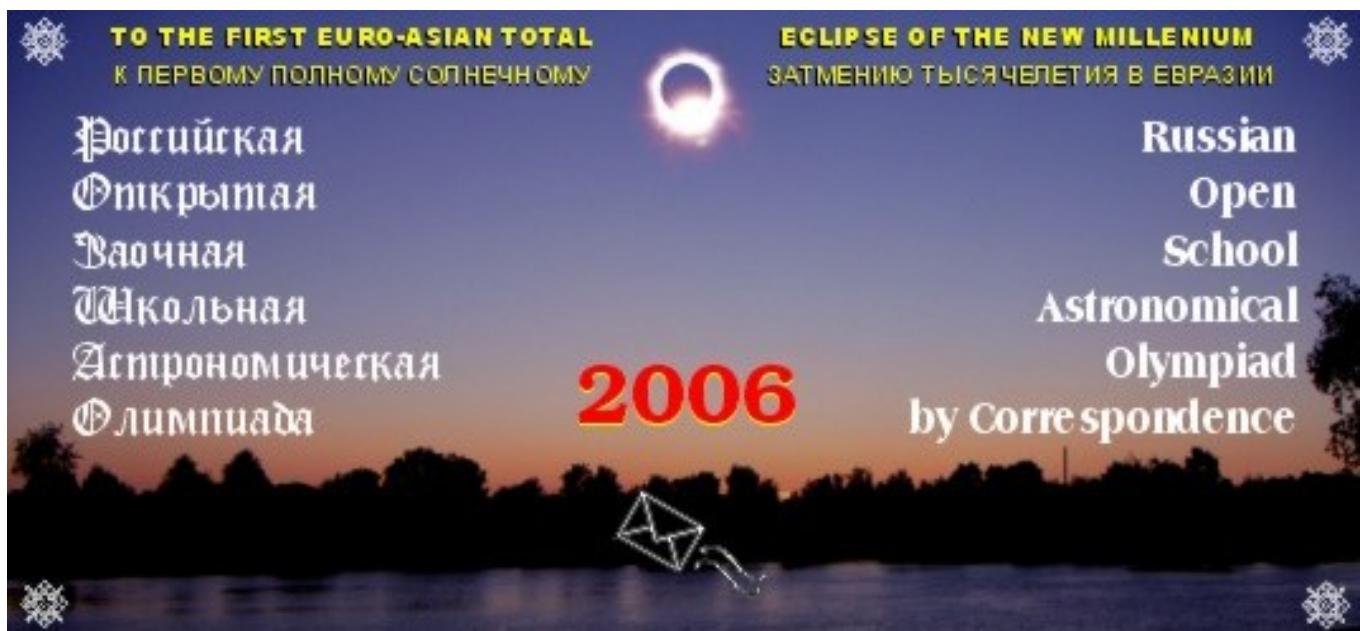
11.49. С самого края большой спиральной галактики, удаленной от нас на 2 Мпк и видимой на Земле «с ребра» как тонкая нить размером  $1^\circ$ , был получен радиосигнал, похожий на позывные далекой цивилизации. С помощью телескопа с фокусным расстоянием 2 метра и дифракционной решетки с разрешением 5 А/мм со щелью, направленной вдоль оси галактики, был получен ее спектр. Линии в желто-зеленой части спектра (5500 А) оказались наклоненными под углом  $5^\circ$  к нормальному положению. В какую область галактики нужно послать ответный сигнал далекой цивилизации? Орбиты звезд вокруг центра галактики считать круговыми.

11.50. На небе обитаемой планеты, находящейся в далекой галактике, наша Галактика с большим трудом различима в школьный телескоп. Найдите красное смещение далекой галактики. Постоянная Хаббла равна  $65 \text{ км}/(\text{с}\cdot\text{Мпк})$ .

11.51. Скопление галактик состоит из 10000 одинаковых галактик с блеском  $18^m$  каждая. Все скопление на земном небе имеет угловой диаметр  $5^\circ$ . Спектральные измерения показали, что красное смещение скопления составляет 0.1, а разность лучевых скоростей отдельных галактик и лучевой скорости скопления достигает  $\pm 500 \text{ км}/\text{с}$ . Считая, что все галактики состоят из звезд, похожих на Солнце, определите вклад «темной материи» в массу скопления.

11.52. Определите галактический параллакс квазара с красным смещением  $z=1$ .

## Часть 12. Открытая Заочная Астрономическая Олимпиада (2006 год)



12.1. Благодаря атмосферной рефракции, составляющей у горизонта  $34'$ , небесное светило, которое должно было быть невосходящим в некотором пункте Земли, напротив, стало незаходящим за горизонт. На каких широтах Земли может произойти такое?

12.2. Любители астрономии наблюдают искусственный спутник Земли в Санкт-Петербурге. Дважды за новогоднюю ночь – 31 декабря в 18ч00м и 1 января в 5ч58м по петербургскому времени – он прошел через зенит. Когда этот спутник вновь окажется в зените на петербургском небе? Широта Санкт-Петербурга равна  $+60^\circ$ , орбита спутника круговая.

12.3. В канун Нового Года на Земле планета Венера для земных наблюдателей находится в точке наибольшей восточной элонгации. В это же время с Венеры запускается межпланетный аппарат на Марс, выходящий на орбиту, касающуюся орбит Венеры и Марса. Какая яркая звезда была видна на земном небе рядом с Марсом в эту новогоднюю ночь? Орбиты Венеры, Земли и Марса считать круговыми.

12.4. Укажите, какие из перечисленных ярких звезд можно будет увидеть в Москве (широта  $+56^\circ$ ) через 13 000 лет: Сириус, Канопус, Вега, Капелла, Арктур, Ригель, Процион, Альтаир, Спика, Антарес.

12.5. Яркая комета вступает в противостояние с Солнцем, двигаясь на небе относительно звезд по эклиптике в прямом направлении (с запада на восток). Оцените максимально возможное расстояние кометы от Земли в этот момент.

12.6. Белый карлик, имеющий радиус 6000 км, температуру поверхности 10000 К и массу, равную массе Солнца, пролетает через межзвездное скопление кометных ядер, каждое из которых имеет радиус 1 км и плотность 1 г/см<sup>3</sup>. Сколько комет должно ежедневно падать на белый карлик, чтобы его средняя светимость удвоилась?

12.7. Каким должен быть размер гипотетического молекулярного водородного облака с плотностью, равной плотности приземного воздуха, и температурой 1000 К, чтобы из него через некоторое время образовалась звезда?

### Задачи о полных солнечных затмениях

12.8. (Задача о весеннем затмении). Полное солнечное затмение наблюдается в день весеннего равноденствия. В полосу видимости полной фазы попадает северный полюс Земли. На какой широте на Земле удастся увидеть центральное затмение на максимальной высоте над горизонтом? Чему будет равна эта высота? Луна в день затмения находится вблизи восходящего узла своей орбиты.

12.9. (Задача о летнем затмении). Полное солнечное затмение наблюдается в день летнего солнцестояния. Лунная тень вступает на Землю в точке с координатами  $0^\circ$  ш.,  $0^\circ$  д., полная фаза солнечного затмения в этой точке длится ровно одну минуту. Определите максимальную продолжительность этого полного солнечного затмения для неподвижного наблюдателя на Земле, географические координаты точки наблюдения и всемирное время середины полного солнечного затмения максимальной продолжительности. Наклоном орбиты Луны к плоскости эклиптики, рефракцией и уравнением времени пренебречь.

12.10. (Задача о солнечной короне) Известно, что свободные электроны рассеивают падающее на них излучение практически равномерно во все стороны как металлические шарики с радиусом  $4.6 \cdot 10^{-15}$  м, а более тяжелые частицы (атомы, ионы, протоны) рассеивают свет значительно хуже. Считая, что корона состоит из чистого водорода, атмосферное давление в нижних слоях солнечной короны равно 0.003 Па, а средняя температура короны 1 000 000 К, оцените звездную величину Солнца во время полной фазы солнечного затмения на Земле.

## Часть 13. Открытая Заочная Астрономическая Олимпиада (2007 год)



13.1. Ежедневно наблюдая восход Солнца, житель некоторого населенного пункта заметил, что в течение года азимут точки восхода меняется в пределах  $90^\circ$ . Определите широту места наблюдения. Рефракцией и размерами диска Солнца пренебречь.

13.2. Путешественник, находящийся на экваторе в день весеннего равноденствия, на заходе Солнца начинает подниматься по северному склону горы, образующему с горизонтом угол  $10^\circ$ . Он делает это так, чтобы постоянно видеть центр Солнца точно на горизонте. Сколько времени это будет удаваться путешественнику, если он может развивать скорость до 5 м/с? Рельефом местности вокруг горы и рефракцией пренебречь.

13.3 С давних времен наряду сsarосом астрономам был известен цикл Метона, содержащий 254 сидерических месяца или около 19 тропических лет. Этот цикл характерен не только для затмений, но и для покрытий звезд Луной – в каждом метоновом цикле последовательность покрытий практически повторяется. Через 19 лет после одного покрытия звезды Альциона ( $\eta$  Тельца, ярчайшая звезда скопления Плеяды) Луной может произойти другое идентичное покрытие этой же звезды. В скольких подряд циклах Метона будет происходить такое же покрытие? Продолжительность сидерического и драконического месяцев составляет соответственно 27.321662 и 27.212221 суток, эклиптическая широта Альциона равна  $+4^\circ 03'$ .

13.4. В большой оптический телескоп будущего проводятся визуальные наблюдения искусственной малой планеты – идеально отражающего металлического шара с диаметром, равным диаметру объектива телескопа. Шар обращается вокруг Солнца по круговой орбите с радиусом 3 а.е. Найти минимальное значение диаметра объектива телескопа. Яркостью фона неба и атмосферными помехами пренебречь.

13.5 Две звезды имеют одинаковые физические характеристики, наблюдаются на небе рядом друг с другом, но расстояния до них различаются. Обе звезды и наблюдатель находятся в однородном облаке межзвездной пыли. Фотометрические измерения этих звезд в полосе В дали результат  $11^m$  и  $17^m$ , в полосе V:  $10^m$  и  $15^m$ . Во сколько раз одна из звезд дальше от нас, чем другая? Считать, что поглощающая способность пыли пропорциональна длине волны в степени  $(-1.3)$ .

13.6. Переменная звезда – цефеида с периодом в 50 суток видна на небе невооруженным глазом. В телескоп вокруг этой звезды обнаружена сферическая двухслойная отражающая туманность, рассеивающая излучение звезды, с угловыми радиусами слоев  $10''$  и  $21''$ . Яркость обоих слоев также изменяется с периодом в 50 суток, максимум достигается через 30 и 18 суток после максимума самой цефеиды для внутреннего и внешнего слоя соответственно. Найдите расстояние до цефеиды.

13.7. В астрофизике и космологии часто используется планковская система единиц, в которой гравитационная постоянная  $G$ , скорость света  $c$  и постоянная Планка  $\hbar$  равны единице и не имеют размерностей. В данной системе любая физическая величина может быть выражена в единицах другой величины. Выразите в планковской системе астрономическую единицу (расстояние от Земли до Солнца) в секундах, в килограммах и в джоулях. Имеют ли полученные числа физический смысл?

### *Задачи об эволюции комет в Солнечной системе*

13.8. Примерно раз в 5 лет на Земле наблюдаются яркие кометы, ядра которых имеют радиус порядка одного километра. Орбиты этих комет близки к параболическим. Считая, что кометные ядра с радиусом 1 км равномерно заполняют шарообразное облако Оорта с радиусом 10000 а.е., оцените общее количество таких ядер и массу облака Оорта.

13.9. Комета с параболической орбитой в перигелии подходит близко к Юпитеру, а после взаимодействия с ним переходит на новую гелиоцентрическую орбиту с периодом, в 2 раза меньшим, чем у Юпитера. Определите угол поворота кометы в гравитационном поле планеты. Орбиту Юпитера считать круговой, плоскости орбит Юпитера и кометы совпадают.

13.10. 16 мая 2006 года Земля пролетела мимо роя осколков кометы Швассмана-Вахмана 3. При наблюдении с нашей планеты рой имел нитевидную форму длиной в  $40^\circ$ , пространственные расстояния до двух концов этого роя составляли 0.055 и 0.105 а.е. Считая, что комета Швассмана-Вахмана 3 распалась в результате мгновенного изотропного взрыва, произошедшего вблизи перигелия в октябре 1995 года, оцените скорость разлета осколков кометы после взрыва. Через сколько лет метеорный поток, образованный кометой, сможет наблюдаться на Земле ежегодно? Перигелийное расстояние кометы составляет 0.939 а.е., а эксцентриситет ее орбиты – 0.693.

## Часть 14. Открытая Заочная Астрономическая Олимпиада (2008 год)



14.1. Наблюдатель, находящийся в некоторой точке на поверхности Земли, в определенный момент времени заметил, что для каждой точки эклиптики выполняется удивительное свойство: ее угловое расстояние от Северного полюса мира было равно ее же зенитному расстоянию. Определите широту места наблюдения. Атмосферной рефракцией пренебречь.

14.2. Искусственный спутник Земли с массой 100 кг движется по вытянутой эллиптической орбите с высотой перигея 200 км и высотой апогея 10000 км. Вблизи перигея спутник испытывает тормозящее влияние земной атмосферы. Оцените время, через которое орбита спутника станет круговой. Тормозящую силу в атмосфере считать постоянной и равной 0.01 Н, а путь спутника в атмосфере за один виток равным радиусу Земли.

14.3. Наибольшая фаза полного теневого лунного затмения составила 1.865. Найдите продолжительность полной фазы теневого затмения. Атмосферным расширением земной тени пренебречь.

14.4. На экваторе Земли в зените наблюдается касательное покрытие звезды Луной в фазе первой четверти. Найдите максимально возможное угловое расстояние на небе между звездой и ближайшим «рогом» Луны (точкой пересечения лимба и терминатора) в момент касания. Орбиту Луны считать круговой.

14.5. Астероид обращается вокруг Солнца в плоскости эклиптики, не заходя внутрь орбиты Земли. Условия его наблюдения с Земли в точности повторяются с периодом в два года, а его блеск изменяется на  $8^m$  с тем же периодом. Определите минимальное значение эксцентриситета орбиты астероида. Астероид представляет собой гладкий однородный шар с одинаковыми отражающими свойствами по всей поверхности. Орбиту Земли считать круговой.

14.6. Наблюдатель на Земле измерил угловое расстояние между звездами **X** и **Y**, лежащими точно на эклиптике, и получил  $30^\circ$  с точностью до  $0.1''$ , причем звезда **X** находится западнее звезды **Y** (эклиптическая долгота звезды **X** меньше). В момент наблюдения звезды располагались западнее Солнца, разность эклиптических долгот Солнца и звезды **X** составляла  $100^\circ$ . Определите, какое угловое расстояние между этими же звездами зафиксирует тот же наблюдатель через четверть года? Как изменится то же угловое расстояние, если проводить наблюдения с Солнца? Параллакс

звезды **X** равен  $0.5''$ , параллакс звезды **Y** –  $0.2''$ . Эксцентриситетом орбиты Земли, атмосферными эффектами и собственными движениями звезд пренебречь.

14.7. В марте 1997 года с Земли была прекрасно видна комета Хейла-Боппа, достигшая блеска –  $1.5^m$ . Ярчайшая внутренняя часть хвоста кометы имела длину около  $10^\circ$  и ширину около  $1^\circ$ . Представьте себе, что в это время к комете приблизилась пилотируемая экспедиция с Земли, которая совершила посадку на ядро кометы с противоположной стороны от Солнца. Смогут ли члены этой экспедиции, выйдя на поверхность ядра кометы, увидеть на небе звезды?

14.8. Звезда с температурой поверхности  $15000\text{ K}$  и радиусом в  $10$  радиусов Солнца непрерывно в течение последних  $100$  лет теряет вещество в виде мощного постоянного звездного ветра, дующего со скоростью  $20\text{ km/s}$ . За это время вокруг звезды образовалась газо-пылевая оболочка с оптической толщиной  $0.2$ . Вычислите радиус видимой внешней и внутренней границ оболочки, температуру внешней границы оболочки, определите зависимость плотности пылевой материи в оболочке от расстояния до звезды. Найдите массу оболочки и темп потери массы. Температуру плавления пылинок считать равной  $1500\text{ K}$ , радиус пылинок равен  $1\text{ мкм}$ , их плотность –  $3\text{ г}/\text{см}^3$ . Считать, что газа в туманности в  $200$  раз больше, чем пыли, но поглощение создается только пылью.

14.9. Время от времени в далеких галактиках происходят гамма-всплески – достаточно короткие, в среднем несколько секунд, вспышки жесткого гамма-излучения, средняя энергия кванта составляет примерно  $1\text{ МэВ}$ . Поток квантов от гамма-всплесков, которые регистрируются на орбите Земли, должен превышать  $50$  квантов в секунду на квадратный сантиметр. Энергия, выделяемая гамма-всплеском за  $1$  секунду, составляет  $10^{49}\text{ эрг}$ , излучение испускается в виде двух противоположно направленных конусов с углом раствора  $10$  градусов. Гамма-всплески с такими параметрами фиксируются в среднем  $1$  раз в неделю. Как часто происходят гамма-всплески в отдельной галактике? С какого расстояния они видны? Насколько чаще или реже стали бы наблюдавшиеся гамма-всплески, если бы ширина конуса излучения в них была в  $2$  раза меньше?

14.10. Известно, что температура реликтового излучения в направлении с галактическими координатами  $l = 264^\circ$  и  $b = 48^\circ$  больше среднего на  $\Delta T = 3.35\text{ мК}$ , причем это отклонение наибольшее по всему небу. Определить скорость движения галактики как целого относительно реликтового фона.

## **Часть 15. Астрономический тест**

В каждом из вопросов нужно расположить четыре объекта A, B, C и D в порядке возрастания параметра, указанного в условии.

15.1. Слои в атмосфере Земли – высота:

A – ионосфера, B – тропосфера, C – слой серебристых облаков, D – озоновый слой.

15.2. Месяцы – продолжительность гражданских сумерек на широте Москвы:

A – июнь, B – август, C – октябрь, D – декабрь.

15.3. Звезды – время от восхода до захода на широте  $+45^\circ$ :

A – Вега, B – Капелла, C – Ригель, D – Сириус.

15.4. Звезды – время от восхода до захода на широте  $0^\circ$ :

A – Альдебаран, B – Альтаир, C – Канопус, D – Фомальгаут.

15.5. Звезды – размер области видимости на Земле:

A – Арктур, B – Акрукс, C – Поллукс, D – Процион.

15.6. Созвездия – сезон наилучшей видимости в хронологии от начала до конца года:

A – Геркулес, B – Гидра, C – Малый Пес, D – Кит.

15.7. Метеорные потоки – период активности в хронологии от начала до конца года:

A – Геминиды, B – Квадрантиды, C – Ориониды, D – Персеиды.

15.8. Периоды обращения Луны – продолжительность:

A – синодический, B – сидерический, C – аномалистический, D – драконический.

15.9. Либрации Луны – максимальная величина:

A – по широте, B – по долготе, C – физическая, D – параллактическая.

15.10. Явление – максимальная продолжительность:

A – солнечное затмение, B – теневое лунное затмение, C – покрытие Луной конкретной звезды на эклиптике, D – прохождение Меркурия по диску Солнца.

15.11. Явление – частота наступления на Земле:

A – солнечное затмение, B – теневое лунное затмение, C – покрытие Луной конкретной звезды на эклиптике, D – прохождение Меркурия по диску Солнца.

15.12. Планеты – яркость:

A – Венера (наибольшая элонгация), B – Марс (великое противостояние), C – Марс (среднее противостояние), D – Юпитер (среднее противостояние).

15.13. Планеты – синодический период:

A – Меркурий, B – Венера, C – Марс, D – Юпитер.

15.14. Планеты – максимальная высота над горизонтом в ночное время на широте Москвы:

A – Меркурий, B – Венера, C – Марс, D – Юпитер.

15.15. Планеты – средняя плотность:

A – Земля, B – Марс, C – Юпитер, D – Сатурн.

15.16. Спутники планет – размеры:  
А – Луна, В – Ганимед, С – Каллисто, D – Титан.

15.17. Тела Солнечной системы – период обращения вокруг Солнца:  
А – комета Галлея, В – комета Хейла-Боппа, С – комета Энке, D – Нептун.

15.18. Звезды – кратность:  
А –  $\alpha$  Близнецов, В –  $\alpha$  Центавра, С –  $\theta$  Ориона, D – Солнце.

15.19. Звезды – масса:  
А – Солнце, В – Альциона, С – белый карлик (максимум), D – красный карлик.

15.20. Звезды – возраст:  
А – Солнце, В – Альциона, С – Спика, D – звезда в скоплении M13.

15.21. Звезды – эффективная температура:  
А – Альдебаран, В – Вега, С – Капелла, D – Ригель.

15.22. Галактики – масса:  
А – Галактика Млечный Путь, В – туманность Андромеды, С – туманность Треугольника, D – Большое Магелланово Облако.

15.23. Галактики – относительное содержание газа:  
А – линзовидные, В – неправильные, С – спиральные, D – эллиптические.

15.24. Объекты Вселенной – светимость:  
А – Галактика Млечный Путь, В – квазар, С – шаровое скопление, D – сверхновая звезда.

15.25. Методы определения расстояний во Вселенной – максимальное измеряемое расстояние:  
А – цефеиды, В – параллакс, С – красное смещение, D – сверхновые I типа.

## **Часть 16. Задачи первых Московских Астрономических Олимпиад**

### ***1 Олимпиада (1947 год), I тур***

16.1. Чем объясняются белые ночи?

16.2. Орбиты двух комет лежат в плоскости эклиптики. Кометы имеют перигелийные расстояния 0.5 а.е. и 2.5 а.е. Длины их хвостов превышают 100 млн км. Может ли Земля пройти через хвосты этих комет?

16.3. В какое время и на какой высоте кульминирует Марс, находясь в противостоянии 22 декабря в Москве? В каком созвездии он при этом находится?

### ***1 Олимпиада (1947 г.), II тур***

16.4. Путешественник заметил, что во время затмения ущербление диска Солнца началось прямо снизу. Где и когда это могло быть?

16.5. Какой вид имеет спектр быстро вращающейся планеты, если щель спектрографа направлена вдоль ее экватора?

16.6. Во сколько раз изменится радиус цефеиды, если амплитуда изменения ее блеска равна  $1.5^m$ , а яркость единицы поверхности остается постоянной?

### ***2 Олимпиада (1948 год), I тур***

16.7. В какое время и на какой высоте кульминирует Юпитер в момент его противостояния в Москве 22 июня? В каком созвездии он виден?

16.8. В романе Жюля Верна «Гектор Сервадак» описывается «комета Галлия» с расстоянием от Солнца в афелии 820 млн км и периодом обращения 2 года. Могла ли быть такая комета?

16.9. Найти отношение радиусов в затменно-переменной системе типа Алголя, если затмение центральное, спутник темный, а отношение блеска в максимуме и минимуме равно  $n$ .

### ***2 Олимпиада (1948 год), II тур***

16.10. Наблюдатель видел, как во время солнечного затмения ущербление началось сверху. Где и когда это могло быть?

16.11. Установить соотношение между расстояниями  $a$  планет от Солнца и линейными скоростями  $v$  в их орбитальном движении, считая орбиты планет круговыми.

16.12. Расстояние до Сириуса (2.7 парсека) уменьшается на 8 км ежесекундно. Через сколько лет блеск Сириуса возрастет вдвое?

### ***3 Олимпиада (1949 год), I тур***

16.13. Описать созвездия Ориона и Стрельца с наиболее примечательными объектами.

16.14. Как (в принципе) А.А. Белопольский при помощи спектроскопа смог установить метеоритное строение кольца Сатурна?

16.15. Какие видимые пути на небесной сфере должны описывать при параллактическом смещении звезды:  $\alpha$  Льва,  $\delta$  Ориона,  $\gamma$  Дракона и Полярная?

16.16. Если в каком-либо году затмение Солнца было 2 января, когда (приблизительно) в этом году могут быть затмения Солнца и Луны?

16.17. Разъяснить смысл народного суждения: «Месяц зимой ходит, как Солнце летом».

### ***3 Олимпиада (1949 год), II тур***

16.18. Верно ли, что 21 марта и 23 сентября день на Земле всюду равен ночи?

16.19. Определить диаметр звезды о Кита в километрах при ее видимом угловом диаметре 0.065" и параллаксе 0.024".

16.20. Синодический период внешней планеты составляет 417 суток. Каково ее среднее расстояние от Солнца?

### ***4 Олимпиада (1950 год), I тур***

16.21. 22 декабря во время полного затмения Луны произошло покрытие Юпитера Луной. В каком созвездии это происходило и в каком положении относительно Солнца и Земли был Юпитер?

16.22. Где полярный день длиннее – на северном или южном полюсе?

16.23. Найти ширину (в километрах) метеорного потока, метеоры которого наблюдались с 16 июля по 24 августа. Предполагается, что движение Земли перпендикулярно к оси потока.

16.24. Нарисовать расположение главных звезд и указать важнейшие объекты одного из следующих созвездий: Лира, Телец, Персей.

16.25. Какое созвездие дважды встречается на карте звездного неба? Видно ли оно вечером в марте?

### ***4 Олимпиада (1950 год), II тур***

16.26. Сколько времени прошло от соединения до противостояния планеты, если ее блеск за это время изменился на одну звездную величину?

16.27. Есть ли на Луне места, где Земля восходит и заходит?

16.28. В максимуме затменная переменная звезда имеет блеск  $6^m$ , в минимуме –  $8^m$ . Считая затмение центральным и спутник – темным, найти отношение объемов компонентов этой пары.

16.29. 1) Указать ориентировочно местонахождение созвездий Щита, Лисички, Стрелы, Малого Коня, Зайца, Вороны, Рыси.  
2) Какие из созвездий земного неба носят названия физических приборов?

3) Указать цвет и температуру звезд: Альдебарана, Бетельгейзе, Веги, Денеба, Проциона, Арктура, Капеллы и перечислить их в порядке убывания блеска.

16.30. В каком незодиакальном созвездии и когда бывает Солнце?

### **5 Олимпиада (1951 год), I тур**

- 16.31. Какие Вы знаете способы ориентировки по звездам, кроме Полярной?
- 16.32. Какие Вы знаете созвездия, не заходящие за горизонт на широте Москвы? Как они видны сегодня вечером (I тур Олимпиады проводился в апреле)?
- 16.33. Параллакс Солнца  $8.80''$ , а параллакс звезды  $0.44''$ . В сколько раз эта звезда дальше Солнца?
- 16.34. Какие Вы знаете работы М.В. Ломоносова в области астрономии?
- 16.35. Почему в средних широтах серп «молодой» Луны весной находится высоко над горизонтом и его рога направлены вверх, а осенью так бывает со «старой» Луной?

### **5 Олимпиада (1951 год), II тур**

- 16.36. Какой наибольшей высоты, в какой день года, в котором часу и в каком созвездии может достигать полная Луна на широте Москвы?
- 16.37. Каковы угловой диаметр и звездная величина Солнца с Плутона и во сколько раз освещение этой планеты Солнцем отличается от освещения Земли полной Луной?
- 16.38. Описать движение спутника Юпитера Амальтеи – суточное и относительно звезд – для наблюдателя на экваторе планеты, считая, что движение спутника происходит в плоскости экватора и орбиты планеты, совпадающих с плоскостью эклиптики.

### **6 Олимпиада (1952 год), I тур**

- 16.39. Что Вы знаете о созвездиях Андромеды, Пегаса и Кассиопеи?
- 16.40. 21 марта в истинный полдень длина тени вертикально стоящего столба равнялась высоте столба. На какой широте это было?
- 16.41. Указать (кратко) работы академика В.Я. Струве, характеризующие его как крупнейшего астронома XIX столетия.

### **6 Олимпиада (1952 год), II тур**

- 16.42. По спектру некоторой звезды, находящейся вблизи точки летнего солнцестояния, в 20-х числах марта была определена ее лучевая скорость, равная  $-70$  км/с. Через полгода измерения лучевой скорости дали результат  $-130$  км/с. Определить на этом основании, как это было впервые предложено академиком А.А. Белопольским, расстояние от Земли до Солнца.
- 16.43. Полное солнечное затмение происходит во второй половине июня около местного полудня. Нарисовать наблюдаемую картину видимых при этом планет и наиболее ярких звезд, учитывая, что Венера находится в наибольшей западной элонгации, Меркурий в нижнем соединении, Марс в противостоянии.
- 16.44. 20 марта в 18 часов по московскому декретному времени происходит покрытие Луной звезд Плеяд. Рассказать, как наблюдалось бы это явление в Москве, Свердловске, в Комсомольске-на-Амуре.

## РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### Часть 1. 60 Московская Астрономическая Олимпиада (2006 год)

#### I ТУР

##### **8 класс и моложе**

1.1. Это так на всех широтах в северном полушарии Земли. На экваторе полуденная высота Солнца 22 июня и 21 декабря одинакова, а южнее экватора Солнце 21 декабря поднимается выше, чем 21 июня.

1.2. Ближе всего к Земле (на 0.27 а.е.) подходит Венера во время нижнего соединения. На втором месте идет Марс во время великого противостояния (0.37 а.е.), на третьем – Меркурий во время нижнего соединения (около 0.6 а.е.). Марс во время противостояния прекрасно виден всю ночь как ярко-красная звезда, а вот Венера и Меркурий в нижнем соединении не видны, если только не проходят по диску Солнца.

1.3. Во время весеннего равноденствия Луна в первой четверти оказывается рядом с точкой летнего солнцестояния, поднимаясь на максимальную высоту и находясь над горизонтом в Москве наибольшее время.

1.4. Нет, так как радиус земной тени на расстоянии Луны почти в 3 раза больше радиуса Луны.

##### **9 класс**

1.5. Кульминация Солнца в летнее солнцестояние происходит к югу от зенита, следовательно широта места  $\varphi$  больше угла наклона экватора к эклиптике на тот момент  $\varepsilon$ . Значения высоты Солнца в верхней кульминации в летнее и зимнее солнцестояние выражаются формулами:

$$\begin{aligned} h_1 &= 90^\circ - \varphi + \varepsilon, \\ h_2 &= 90^\circ - \varphi - \varepsilon. \end{aligned}$$

По условию задачи, величина  $h_1$  равна  $63^\circ 45'$  ( $90^\circ$  минус зенитное расстояние), а величина  $h_2$  составляет  $16^\circ 03'$ . Отсюда получаем значение наклона экватора к эклиптике:

$$\varepsilon = (h_1 - h_2)/2 = 23^\circ 51'.$$

1.6. Орбитальная скорость и период обращения спутника связаны с его высотой над земной поверхностью  $h$  формулами:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}, \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{(R+h)^3}{GM}}.$$

Здесь  $M$  и  $R$  – масса и радиус Земли. Подставляя значения  $h$ , равные  $R/2$  и  $2R$ , получаем величины скорости и периода 6.46 км/с и 2ч35м для первого случая и 4.57 км/с и 7ч18м для второго случая.

1.7.  $2.5^m$ ,  $5^m$ ,  $7.5^m$ .

1.8. Ускорение свободного падения на поверхности планеты составляет:

$$g = \frac{GM}{R^2} = \frac{GM}{(3M/4\rho)^{2/3}} = \left(\frac{4}{3}\right)^{2/3} GM^{1/3} \rho^{2/3}$$

После изменения массы в  $m$  раз и плотности в  $n$  раз ускорение изменится в  $m^{1/3}n^{2/3}$  раз.

## 10 класс

1.9. Кульминация Солнца в летнее солнцестояние происходит к югу от зенита, следовательно широта места  $\varphi$  больше угла наклона экватора к эклиптике на тот момент  $\varepsilon$ . Значения высоты Солнца в верхней кульминации в летнее и зимнее солнцестояние выражаются формулами:

$$\begin{aligned} h_1 &= 90^\circ - \varphi + \varepsilon, \\ h_2 &= 90^\circ - \varphi - \varepsilon. \end{aligned}$$

По условию задачи, величина  $h_1$  равна  $63^\circ 45'$  ( $90^\circ$  минус зенитное расстояние), а величина  $h_2$  составляет  $16^\circ 03'$ . Отсюда получаем значение наклона экватора к эклиптике:

$$\varepsilon = (h_1 - h_2)/2 = 23^\circ 51'.$$

1.10. Значения первой и второй космической скорости на высоте  $h$  над поверхностью планеты выражаются формулами:

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}, \quad v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{R+h}}.$$

Здесь  $M$  и  $R$  – масса и радиус планеты. Подставляя численные значения, получаем значения для Земли: 7.8 км/с и 11.0 км/с, для Марса – 3.4 км/с и 4.9 км/с, для Юпитера – 42.0 км/с и 59.5 км/с. Скорость 9.5 км/с для Земли попадает в интервал между первой и второй космической, и аппарат будет двигаться по эллипсу, точка запуска будет перигеем орбиты. Гравитация Марса не сможет удержать искусственное тело, и оно удалится по гиперболе. А вот мощное притяжение Юпитера приведет к падению тела вскоре после запуска.

1.11. Полная Луна располагается в 389 раз ближе к Земле, чем к Солнцу. Поэтому при наблюдении с Солнца Луна будет иметь звездную величину

$$m_2 = -12.7 + 5 \lg 389 = 0.25.$$

Видимый диск Земли будет больше лунного в  $3.67^2$ , то есть в 13.47 раз, а поверхностная яркость Земли превысит лунную в 5.6 раза (в соответствии с альбедо). В итоге, Земля будет ярче Луны в 75 раз, и ее звездная величина составит

$$m_1 = 0.25 - 2.5 \lg 75 = -4.4.$$

Угловое расстояние между Землей и Луной во время первой и третьей четверти на Земле будет достигать  $9'$ , и если бы мы могли проводить наблюдения с Солнца, то увидели бы красивую двойную планету. При этом диски Земли и Луны были бы неразличимы невооруженным глазом.

1.12. Ускорение свободного падения на поверхности планеты составляет:

$$g = \frac{GM}{R^2} = \frac{GM}{(3M/4\rho)^{2/3}} = \left(\frac{4}{3}\right)^{2/3} GM^{1/3} \rho^{2/3}$$

После изменения массы в  $m$  раз и плотности в  $n$  раз ускорение изменится в  $m^{1/3}n^{2/3}$  раз.

## 11 класс

1.13 Раз Солнце кульминирует к северу от зенита, то дело происходит южнее широты северного тропика, где в этот день кульминация происходит точно в зените. Широта тропика составляет  $+23^{\circ}26'$ , а указанная точка располагается на  $10^{\circ}41'$  южнее, то есть ее широта равна  $+12^{\circ}45'$ .

Во время равноденствий и солнцестояний верхняя кульминация Солнца на этой широте происходит к югу от зенита, и высота Солнца вычисляется по формуле:

$$h = 90^{\circ} - \varphi + \delta,$$

где  $\delta$  – склонение Солнца, равное нулю во время равноденствий и  $-23^{\circ}26'$  во время зимнего солнцестояния. Высоты в верхней кульминации получаются равными  $77^{\circ}15'$  и  $53^{\circ}51'$ .

Нижняя кульминация происходит на севере в дни равноденствий и на юге в день зимнего солнцестояния. Высота Солнца в нижней кульминации в дни равноденствия составляет

$$h = -90^{\circ} + \varphi + \delta = -77^{\circ}15',$$

в день зимнего солнцестояния:

$$h = -90^{\circ} - \varphi - \delta = -79^{\circ}19'.$$

1.14 Значения первой и второй космической скорости на высоте  $h$  над поверхностью планеты выражаются формулами:

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}, \quad v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{R+h}}.$$

Здесь  $M$  и  $R$  – масса и радиус планеты. Подставляя численные значения, получаем значения для Земли: 7.8 км/с и 11.0 км/с, для Марса – 3.4 км/с и 4.9 км/с, для Юпитера – 42.0 км/с и 59.5 км/с. Скорость 9.5 км/с для Земли попадает в интервал между первой и второй космической, и аппарат будет двигаться по эллипсу, точка запуска будет перигеем орбиты. Гравитация Марса не сможет удержать искусственное тело, и оно удалится по гиперболе. А вот мощное притяжение Юпитера приведет к падению тела вскоре после запуска.

1.15 Полная Луна располагается в 389 раз ближе к Земле, чем к Солнцу. Поэтому при наблюдении с Солнца Луна будет иметь звездную величину

$$m_2 = -12.7 + 5 \lg 389 = 0.25.$$

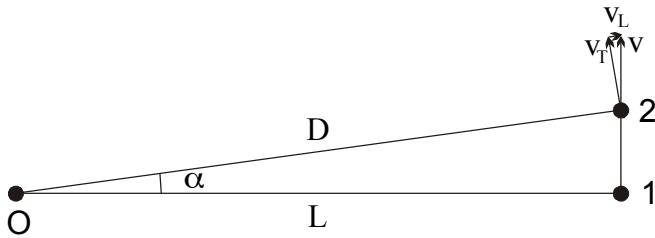
Видимый диск Земли будет больше лунного в  $3.67^2$ , то есть в 13.47 раз, а поверхностная яркость Земли превысит лунную в 5.6 раза (в соответствии с альбедо). В итоге, Земля будет ярче Луны в 75 раз, и ее звездная величина составит

$$m_1 = 0.25 - 2.5 \lg 75 = -4.4.$$

Угловое расстояние между Землей и Луной во время первой и третьей четверти на Земле будет достигать  $9'$ , и если бы мы могли проводить наблюдения с Солнца, то увидели бы красивую двойную планету. При этом диски Земли и Луны были бы неразличимы невооруженным глазом.

1.16 На рисунке цифрами 1 и 2 обозначены положения звезды 10000 лет назад и в настоящее время, наблюдатель находится в точке О. Из соотношения звездных величин получаем отношение расстояний до звезды в две эпохи:

$$\frac{L}{D} = 10^{-0.2 \cdot 0.1} = 0.955.$$



Отсюда угол  $\alpha$  между направлениями на два положения звезды составляет  $17.3^\circ$ . Так как параллакс звезды 10000 лет назад составлял  $0.15''$ , расстояние  $L$  равно 6.7 пк, а расстояние  $D$  – 7.0 пк. За 10000 лет звезда прошла в пространстве 2.1 пк. Ее полная скорость составляет 43.3 а.е. в год или 205 км/с. Для получения лучевой скорости полная скорость умножается на  $\sin \alpha$ , получаем 60.6 км/с (знак «+», так как звезда удаляется), тангенциальная скорость составляет 196 км/с или 41.3 а.е. в год. При современном параллаксе  $0.143''$  это соответствует собственному движению  $5.9''$  в год.

## II ТУР

### 8 класс и моложе

1.17. Разница в 5 звездных величин соответствует отношению яркостей, равному 100. Одна звезда первой величины светит как 100 звезд 6-й величины, то есть ярче 60 звезд 6-й величины.

1.18. Окружность земного экватора имеет длину примерно 40000 км. 60 дней равняются 1440 часам. Следовательно, средняя скорость путешественника составляла 27.8 км/ч.

1.19. В этом случае угловой диаметр Луны составил бы примерно  $0.5'$ , и ее диск не смогли бы различить невооруженным глазом даже зоркие люди.

1.20. Период обращения Юпитера вокруг Солнца составляет 11.86 лет, период обращения Сатурна – 29.5 лет. За 59 лет, прошедших с Первой олимпиады Юпитер сделал практически точно 5 оборотов, Сатурн – 2 оборота вокруг Солнца и оказались в том же положении на своих орбитах. Соответственно, во время Первой олимпиады эти две планеты располагались в тех же созвездиях.

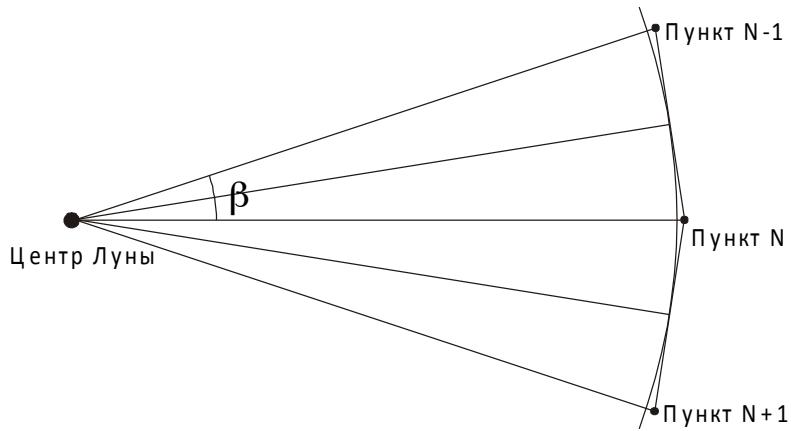
1.21. Синодический период астероида  $S$  составляет ровно 59 лет, при этом он внешний, радиус его орбиты больше 1 а.е. Такое может быть, только если астероид обращается вокруг Солнца в том же направлении, что и Земля, а период обращения  $T$  связан с периодом обращения Земли  $T_0$  соотношением:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} - \frac{1}{S}.$$

Отсюда получаем, что период обращения астероида составляет 1.0172 года или 1 год и 6.3 дня.

### 9 класс

1.22. На рисунке показана предельная ситуация, при которой все пункты располагаются вдоль экватора Луны равномерно, и с одного пункта будут видны два соседних пункта прямо на лунном горизонте.



Угол  $\beta$  с вершиной в центре Луны между направлениями на два соседние пункта равен  $6^\circ$ , так как число пунктов равно 60 и они покрывают всю окружность экватора. Минимальная высота пунктов связи над поверхностью Луны составляет

$$h = \frac{R}{\cos(\beta/2)} - R = 2.4 \text{ км.}$$

Здесь  $R$  – радиус Луны (1738 км).

1.23. Пока путешественник совершил свою поездку, неподвижный наблюдатель отсчитал 60 солнечных суток. Звездных суток, которые на 3 минуты 56 секунд короче солнечных, прошло несколько больше – 60.164. Путешественник, двигаясь навстречу суточному движению Солнца и звезд, ускорял их видимое суточное вращение и, завершив целый оборот, увеличил число фиксируемых им звездных суток на 1, насчитав их всего 61.164 или примерно 61 суток и 4 часа. Продолжительность звездных суток, которую зафиксировал путешественник, составила  $(60/61.164) = 0.981$  дня или 23 часа и 32.6 минут.

1.24. Длина малого круга небесной сферы, описываемого суточным движением звезды со склонением  $+60^\circ$ , вдвое короче большого круга небесной сферы – экватора. То есть, за 1 час эта звезда описывает дугу вдвое короче, чем звезда на небесном экваторе, то есть дугу длиной  $7.5^\circ$ . Поле зрения телескопа  $1^\circ$  такая звезда пересечет по диаметру за 8 минут, то есть за вдвое большее время, чем экваториальное светило. Включение часовогого механизма телескопа,двигающего телескоп вслед за звездой в  $(61/60)$  раз быстрее, чем движется звезда, приведет к тому, что звезда в поле зрения пойдет в обратную сторону со скоростью, в 60 раз меньшей скорости своего суточного движения. На пересечение поля зрения телескопа по диаметру звезде потребуется 480 минут или 8 часов. Эту звезду можно будет наблюдать в телескоп без коррекции большую часть ночи. Увеличение телескопа на ответ не влияет.

1.25. Выражая радиус  $R$  и массу  $M$  шарового скопления в системных единицах, получим соответственно  $1.8 \cdot 10^{18} \text{ м}$  и  $1.2 \cdot 10^{38} \text{ кг}$ . Для объекта, находящегося на краю этого сферически-симметричного скопления, вторая космическая скорость составит

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = 9.4 \cdot 10^4 \text{ м/с}$$

или 94 км/с. Звезда со скоростью 60 км/с не сможет покинуть шаровое скопление.

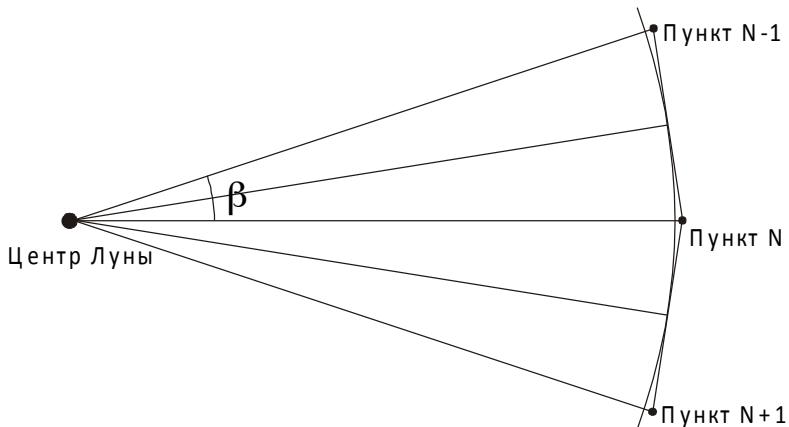
1.26. Синодический период астероида  $S$  составляет ровно 59 лет, при этом он внешний, радиус его орбиты больше 1 а.е. Такое может быть, только если астероид обращается вокруг Солнца в том же направлении, что и Земля, а период обращения  $T$  связан с периодом обращения Земли  $T_0$  соотношением:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} - \frac{1}{S}.$$

Отсюда получаем, что период обращения астероида составляет 1.0172 года. По III закону Кеплера получаем, что радиус орбиты астероида равен 1.0115 а.е. В момент противостояния астероид находился в 0.0115 а.е. или в 1.7 млн км от Земли.

## 10 класс

1.27. На рисунке показана предельная ситуация, при которой все пункты располагаются вдоль экватора Луны равномерно, и с одного пункта будут видны два соседних пункта прямо на лунном горизонте.



Угол  $\beta$  с вершиной в центре Луны между направлениями на два соседние пункта равен  $6^\circ$ , так как число пунктов равно 60 и они покрывают всю окружность экватора. Минимальная высота пунктов связи над поверхностью Луны составляет

$$h = \frac{R}{\cos(\beta/2)} - R = 2.4 \text{ км.}$$

Здесь  $R$  – радиус Луны (1738 км).

1.28. Поверхностная яркость участка солнечной поверхности пропорциональна температуре в четвертой степени, и в пятне она будет составлять 0.935 от поверхностной яркости соседних областей Солнца. В то же время, это пятно будет занимать  $(1/3600)$  от всей угловой площади солнечного диска. В итоге, изменение звездной величины составит

$$\Delta m = -2.5 \lg \frac{3599 + 0.935}{3600} = 0.00002.$$

1.29. Длина малого круга небесной сферы, описываемого суточным движением звезды со склонением  $+60^\circ$ , вдвое короче большого круга небесной сферы – экватора. То есть, за 1 час эта звезда описывает дугу вдвое короче, чем звезда на небесном экваторе, то есть дугу длиной  $7.5^\circ$ . Поле зрения телескопа  $1^\circ$  такая звезда пересечет по диаметру за 8 минут, то есть за вдвое большее

время, чем экваториальное светило. Включение часового механизма телескопа,двигающего телескоп вслед за звездой в (61/60) раз быстрее, чем движется звезда, приведет к тому, что звезда в поле зрения пойдет в обратную сторону со скоростью, в 60 раз меньшей скорости своего суточного движения. На пересечение поля зрения телескопа по диаметру звезде потребуется 480 минут или 8 часов. Эту звезду можно будет наблюдать в телескоп без коррекции большую часть ночи. Увеличение телескопа на ответ не влияет.

1.30. Выражая радиус  $R$  и массу  $M$  шарового скопления в системных единицах, получим соответственно  $1.8 \cdot 10^{18}$  м и  $1.2 \cdot 10^{38}$  кг. Для объекта, находящегося на краю этого сферически-симметричного скопления, вторая космическая скорость составит

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = 9.4 \cdot 10^4 \text{ м/с}$$

или 94 км/с. Звезда со скоростью 60 км/с не сможет покинуть шаровое скопление.

1.31. Синодический период астероида  $S$  составляет ровно 59 лет, при этом он внешний, радиус его орбиты больше 1 а.е. Такое может быть, только если астероид обращается вокруг Солнца в том же направлении, что и Земля, а период обращения  $T$  связан с периодом обращения Земли  $T_0$  соотношением:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} - \frac{1}{S}.$$

Отсюда получаем, что период обращения астероида составляет 1.0172 года. По III закону Кеплера получаем, что радиус орбиты астероида равен 1.0115 а.е. В момент противостояния астероид находился в 0.0115 а.е. или в 1.7 млн км от Земли. Это в 4.4 раза дальше Луны, при этом астероид светит на  $20^m$  или в  $10^8$  раз слабее полной Луны. Астероид и Луна находятся примерно на одинаковом расстоянии от Солнца, альбедо их также одинаково. Следовательно, отношение их радиусов составляет

$$\frac{r}{R} = \left( \frac{4.4^2}{10^8} \right)^{1/2} = 4.4 \cdot 10^{-4}.$$

Радиус астероида получается равным примерно 750 метрам.

## 11 класс

1.32. Лучевая скорость галактики в 60 раз меньше скорости света и составляет 5000 км/с. Приняв постоянную Хаббла равной 65 км/с\*Мпк, получаем расстояние до галактики: 77 Мпк. Галактика наблюдается «с ребра», и ее радиус виден на Земле под углом  $1'$  или  $2.9 \cdot 10^{-4}$  радиан, значит, пространственный радиус галактики  $R$  составляет около 22 кпк или  $7 \cdot 10^{20}$  м.

Для оценки мы можем считать, что галактика влияет на свои внешние области так, как будто вся ее масса сосредоточена в центре, а орбиты звезд во внешней части круговые. Орбитальная скорость этих звезд равна 60 км/с, и масса галактики будет равна

$$M = \frac{v^2 R}{G} = 4 \cdot 10^{40} \text{ кг}$$

или  $2 \cdot 10^{10}$  масс Солнца.

1.33. Поверхностная яркость участка солнечной поверхности пропорциональна температуре в четвертой степени, и в пятне она будет составлять 0.935 от поверхностной яркости соседних областей Солнца. В то же время, это пятно будет занимать (1/3600) от всей угловой площади солнечного диска. В итоге, изменение звездной величины составит

$$\Delta m = -2.5 \lg \frac{3599 + 0.935}{3600} = 0.00002.$$

1.34 Длина малого круга небесной сферы, описываемого суточным движением звезды со склонением  $+60^\circ$ , вдвое короче большого круга небесной сферы – экватора. То есть, за 1 час эта звезда описывает дугу вдвое короче, чем звезда на небесном экваторе, то есть дугу длиной  $7.5^\circ$ . Поле зрения телескопа  $1^\circ$  такая звезда пересечет по диаметру за 8 минут, то есть за вдвое большее время, чем экваториальное светило. Включение часовогого механизма телескопа,двигающего телескоп вслед за звездой в (61/60) раз быстрее, чем движется звезда, приведет к тому, что звезда в поле зрения пойдет в обратную сторону со скоростью, в 60 раз меньшей скорости своего суточного движения. На пересечение поля зрения телескопа по диаметру звезде потребуется 480 минут или 8 часов. Эту звезду можно будет наблюдать в телескоп без коррекции большую часть ночи. Увеличение телескопа на ответ не влияет.

1.35. Световому сигналу потребовалось 59 лет, чтобы достичь далекой звезды и вернуться обратно (будем считать, что «братья по разуму» ответили мгновенно). Следовательно, расстояние до звезды составляет 29.5 световых лет или 9 парсек. Звезда солнечного типа на таком расстоянии имеет блеск  $4.5^m$  и видна невооруженным глазом, а в 10 раз более слабый спутник выглядит как звезда  $7^m$ , для его наблюдений достаточен небольшой бинокль. Однако нам необходимо также выяснить, в какой телескоп удастся увидеть две звезды по отдельности. Масса главной звезды близка к массе Солнца, звезда-спутник, судя по всему, примерно вдвое уступает по этому показателю. Система обращается вокруг общего центра масс с периодом 60 лет, из обобщенного III закона Кеплера оцениваем расстояние между звездами: примерно 20 а.е. Максимальное Угловое расстояние между звездами при наблюдении из Солнечной системе составляет примерно  $2''$ , и для ее наблюдения нужен телескоп с диаметром объектива не менее 7 см.

1.36. Синодический период астероида  $S$  составляет ровно 59 лет, при этом он внешний, радиус его орбиты больше 1 а.е. Такое может быть, только если астероид обращается вокруг Солнца в том же направлении, что и Земля, а период обращения  $T$  связан с периодом обращения Земли  $T_0$  соотношением:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} - \frac{1}{S}.$$

Отсюда получаем, что период обращения астероида составляет 1.0172 года. По III закону Кеплера получаем, что радиус орбиты астероида равен 1.0115 а.е. В момент противостояния астероид находился в 0.0115 а.е. или в 1.7 млн км от Земли. Это в 4.4 раза дальше Луны, при этом астероид светит на  $20^m$  или в  $10^8$  раз слабее полной Луны. Астероид и Луна находятся примерно на одинаковом расстоянии от Солнца, альбедо их также одинаково. Следовательно, отношение их радиусов составляет

$$\frac{r}{R} = \left( \frac{4.4^2}{10^8} \right)^{1/2} = 4.4 \cdot 10^{-4}.$$

Радиус астероида получается равным примерно 750 метрам.

Круговая орбитальная скорость астероида составляет 0.9943 от орбитальной скорости Земли, его скорость относительно Земли  $v = 0.0057$  от орбитальной скорости Земли или всего 170 м/с, однако

взаимодействием астероида с Землей мы пренебрегаем. Угловая скорость астероида на расстоянии 1.7 млн км составит  $10^{-7}$  рад/с или 0.5 градуса в день. Пренебрегая параллактическим смещением спутника, получаем, что рассеянное звездное скопление Ясли астероид будет пересекать в течение 3 дней и 4 часов.

## **Часть 2. 61 Московская Астрономическая Олимпиада (2007 год)**

### **I ТУР**

#### **7 класс и моложе**

2.1. Речь идет о первом искусственном спутнике Земли, запущенном 4 октября 1957 года.

2.2. Очевидно, оба родственника родились 29 февраля: эта дата появляется в календаре один раз в четыре года, когда номер года делится на 4. Дедушка Вани родился 29 февраля  $2004 - 60 = 1944$  года.

Случай с прадедушкой Джонни интереснее: он впервые смог отметить свой день рождения в 8 лет потому, что год, когда ему исполнилось 4, високосным не был, хотя его номер и делился на 4. Таким годом был 1900: по современному, григорианскому календарю годы, номера которых кратны 100, считаются високосными только если на 4 делится количество сотен в их номерах. Итак, прадедушка Джонни родился 29 февраля 1896 года.

2.3. Да, может, если наблюдения ведутся в южном полушарии Земли.

2.4. В течение года на такой планете проходят одни звездные и ни одних солнечных суток. Солнечные сутки на этой планете имеют бесконечно большую длительность.

#### **8-9 классы**

2.5. Речь идет о первом искусственном спутнике Земли, запущенном 4 октября 1957 года.

2.6. Очевидно, оба родственника родились 29 февраля: эта дата появляется в календаре один раз в четыре года, когда номер года делится на 4. Дедушка Вани родился 29 февраля  $2004 - 60 = 1944$  года.

Случай с прадедушкой Джонни интереснее: он впервые смог отметить свой день рождения в 8 лет потому, что год, когда ему исполнилось 4, високосным не был, хотя его номер и делился на 4. Таким годом был 1900: по современному, григорианскому календарю годы, номера которых кратны 100, считаются високосными только если на 4 делится количество сотен в их номерах. Итак, прадедушка Джонни родился 29 февраля 1896 года.

2.7. Астрономам, работающим в оптическом диапазоне спектра, днем мешает яркий фон неба, образованный рассеянием лучей Солнца в атмосфере Земли. Радиоволны рассеиваются значительно слабее, и днем можно проводить астрономические наблюдения в радиодиапазоне.

2.8. В течение года на такой планете проходят одни звездные и ни одних солнечных суток. Солнечные сутки на этой планете имеют бесконечно большую длительность.

#### **10 класс**

2.9. Мартовскими вечерами высоко в небе расположена точка летнего солнцестояния, расположенная на границе созвездий Тельца и Близнецов. Эклиптика, проходящая через эту точку, образует большой угол с горизонтом. Рога молодой Луны на западе направлены примерно вдоль эклиптики, и лунный серп практически «лежит» на своей спине.

*Другой вариант решения.* Поскольку описан март, будем для определённости считать, что Солнце находится в точке весеннего равноденствия. Луна перемещается вблизи эклиптики и в начале лунного месяца опережает Солнце по эклиптике на  $30-45^\circ$ . В марте растущая Луна находится примерно там, где Солнце будет в апреле-мае, то есть существенно севернее небесного

экватора, поэтому заходящее Солнце освещает её как бы снизу, и лунный серпик сильно наклонён к горизонту.

2.10. По обобщенному III закону Кеплера получаем, что масса Солнца должна была бы увеличиться в 8 раз.

2.11. Астрономам, работающим в оптическом диапазоне спектра, днем мешает яркий фон неба, образованный рассеянием лучей Солнца в атмосфере Земли. Радиоволны рассеиваются значительно слабее, и днем можно проводить астрономические наблюдения в радиодиапазоне.

2.12. В течение года на такой планете проходят одни звездные и ни одних солнечных суток. Солнечные сутки на этой планете имеют бесконечно большую длительность.

## 11 класс

2.13. Мартовскими вечерами высоко в небе расположена точка летнего солнцестояния, расположенная на границе созвездий Тельца и Близнецов. Эклиптика, проходящая через эту точку, образует большой угол с горизонтом. Рога молодой Луны на западе направлены примерно вдоль эклиптики, и лунный серп практически «лежит» на своей спине.

*Другой вариант решения.* Поскольку описан март, будем для определённости считать, что Солнце находится в точке весеннего равноденствия. Луна перемещается вблизи эклиптики и в начале лунного месяца опережает Солнце по эклиптике на  $30\text{--}45^\circ$ . В марте растущая Луна находится примерно там, где Солнце будет в апреле-мае, то есть существенно севернее небесного экватора, поэтому заходящее Солнце освещает её как бы снизу, и лунный серпик сильно наклонён к горизонту.

2.14. Полюса Земли – идеальное место для демонстрации суточного вращения Земли с помощью маятника Фуко. Закрепленный в неподвижной точке на Земле, маятник будет сохранять плоскость своих колебаний во внешней системе координат, а Земля будет вращаться под маятником. В результате, земной наблюдатель зарегистрирует равномерное вращение плоскости колебаний маятника относительно земных предметов с периодом в одни сутки.

На экваторе Земли ситуация совершенно противоположная. Ось маятника будет перпендикулярна оси вращения Земли, и поверхность Земли не будет совершать вращения относительно оси маятника. Плоскость колебаний маятника Фуко не будет смещаться относительно земных предметов, и доказать осевое вращение Земли с помощью маятника Фуко не удастся.

2.15. При хороших атмосферных условиях разрешающая способность небольших телескопов определяется размером дифракционного изображения точечного источника (звезды), который в голубых лучах меньше, чем в красных. Поэтому в голубых лучах звезды разрешаются легче.

2.16. Красное смещение квазара существенно меньше единицы, и мы можем пользоваться нерелятивистскими формулами. Скорость удаления квазара составляет 47.4 тысяч километров в секунду. Считая постоянную Хаббла равной  $65 \text{ км}/(\text{с}\cdot\text{Мпк})$ , получаем, что расстояние до квазара  $r$  равно 730 Мпк. Абсолютная величина квазара равна

$$M = m + 5 - 5\lg r = -26.5.$$

Светимость квазара составляет  $3 \cdot 10^{12}$  светимостей Солнца или  $10^{39}$  Вт.

## II ТУР

### 7 класс и моложе

2.17. Нужно посмотреть, в какую сторону движется Солнце по небосводу. Если слева направо (с востока на запад через юг), то его склонение отрицательно, и в Москве сейчас зима. Если справа налево (с востока на запад через север), то в Москве лето.

2.18. При наблюдении с видимого полушария Луны (за исключением его краев, где существенно влияний либраций), Земля постоянно находится над горизонтом, и днем, и ночью.

2.19. В южных широтах суточный путь Солнца образует большой угол с горизонтом, и оно быстро уходит на большую глубину, сокращая продолжительность сумерек.

2.20. Вечером в зените видна Большая Медведица, а высоко над восточным горизонтом поднялся Арктур. Такая ситуация имеет место в середине весны, в апреле. Если у Венеры период вечерней видимости в апреле, то она появляется на западе, заходя на северо-западе. В течение всего периода видимости Венера постепенно опускается к горизонту, и не может пересекать сучок березы снизу вверх.

### **8-9 классы**

2.21. Нужно посмотреть, в какую сторону движется Солнце по небосводу. Если слева направо (с востока на запад через юг), то его склонение отрицательно, и в Москве сейчас зима. Если справа налево (с востока на запад через север), то в Москве лето.

2.22. Расстояние между Землей и Марсом может быть от 0.4 а.е. в великих противостояниях до 2.6 а.е. в соединении. Примем, что Марс находится на расстоянии в 2 а.е. Тогда время распространения радиосигнала от Марса к Земле и обратно составляет 2000 секунд или 33 минуты. За это время марсоход должен пройти не более 10 метров, то есть его безопасная скорость составляет 30 сантиметров в минуту. Во время великих противостояний марсоход может двигаться в пять раз быстрее, со скоростью 1.5 метра в минуту.

2.23. В южных широтах суточный путь Солнца образует большой угол с горизонтом, и оно быстро уходит на большую глубину, сокращая продолжительность сумерек.

2.24. Вечером в зените видна Большая Медведица, а высоко над восточным горизонтом поднялся Арктур. Такая ситуация имеет место в середине весны, в апреле. Если у Венеры период вечерней видимости в апреле, то она появляется на западе, заходя на северо-западе. В течение всего периода видимости Венера постепенно опускается к горизонту, и не может пересекать сучок березы снизу вверх.

### **10 - 11 классы**

2.25. Разность показаний часов составляет 4 часа 24 минуты. Однако даже при центральном лунном затмении теневая фаза - от первого контакта диска Луны с тенью Земли до последнего - продолжается меньше четырех часов.

Ситуация проясняется, если вспомнить, что московское время не течёт непрерывно. Дважды в год - при введении летнего времени и при его отмене - стрелки часов, идущих по московскому времени, переводят соответственно на час вперёд или назад. Всё становится на свои места, если предположить, что реально теневая фаза затмения продолжалась 3 часа 24 минуты, но во время затмения был произведён переход на летнее время.

Летнее время вводится в ночь на последнее воскресенье марта. Следовательно, затмение произошло между 25 и 31 марта, вскоре после весеннего равноденствия, когда Солнце находится в восточной части созвездия Рыб.

Во время лунного затмения Луна находится вблизи противоположной Солнцу точки эклиптики, то есть немного восточнее точки осеннего равноденствия - в созвездии Девы.

2.26. Видимое излучение центральной звезды будет в значительной степени задерживаться атмосферой планеты, не попадая на ее поверхность. В то же время тепловая энергия будет уходить от планеты свободно, так как она попадает в инфракрасную область. Эта ситуация обратна парниковому эффекту, она приведет к значительному похолоданию на планете.

2.27. Орбитальная скорость Земли составляет 30 км/с, а время ее жизни – 4.5 миллиардов лет или  $1.4 \cdot 10^{17}$  секунд. Путь, пройденный Землей, составляет  $4 \cdot 10^{18}$  км или 140 кпк. Это близко к расстоянию до ближайших карликовых галактик.

2.28. Скорости кометы в перигелии и афелии выражаются формулами:

$$v_P = \sqrt{\frac{GM}{a} \cdot \frac{1+e}{1-e}}, \quad v_A = \sqrt{\frac{GM}{a} \cdot \frac{1-e}{1+e}}.$$

В итоге, по условию задачи

$$\frac{1+e}{1-e} = 10, \quad e = \frac{9}{11} = 0.818.$$

2.29. Угловой диаметр Венеры в момент наибольшей элонгации составляет  $25''$ , а угловой диаметр Луны равен  $30'$ . Увеличение телескопа составляет 72, а диаметр его объектива в 72 раза превышает диаметр зрачка глаза, то есть он равен примерно 45 см.

## **Часть 3. 62 Московская Астрономическая Олимпиада (2008 год)**

### **I ТУР**

#### **7 класс и моложе**

3.1. Частное солнечное затмение?

3.2. Солнце на востоке, а идти нужно на юг, то есть направо относительно Солнца.

3.3. На юге Солнце опускается под большим углом к горизонту, а значит скорость захода Солнца за горизонт больше.

3.4. Есть, на южном полюсе Земли.

#### **8-9 классы**

3.5. Частное солнечное затмение

3.6. Солнце на востоке, а идти нужно на юг, то есть направо относительно Солнца

3.7. На юге Солнце опускается под большим углом к горизонту, а значит скорость захода Солнца за горизонт больше.

3.8. (8-10 класс) Освещение значительно уменьшится. Поскольку площадь поверхности спутника будет много меньше площади одной стороны кольца. Выразим площадь кольца.

$$S_K = \pi \cdot (R_1^2 - R_2^2)$$

, где R1 и R2 внешний и внутренний радиусы кольца, пусть h- толщина кольца, а r – радиус получившегося спутника. Чтобы его найти приравняем объем кольца к объему спутника

$$\pi \cdot (R_1^2 - R_2^2) \cdot h = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$r = \left(\frac{3}{4}h\right)^{1/3} \cdot (R_1^2 - R_2^2)^{1/3}$$

Запишем отношение площадей поверхностей половины кольца и половины спутника, т.к. к Сатурну повернута только половина спутника.

$$\frac{S_K}{S_C} = \frac{\pi \cdot (R_1^2 - R_2^2)}{4\pi \cdot r^2} = \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{4 \left(\frac{3}{4}h\right)^{2/3} \cdot (R_1^2 - R_2^2)^{2/3}} = \left(\frac{2}{3h}\right)^{2/3} \cdot (R_1^2 - R_2^2)^{1/3}$$

Следовательно площадь спутника будет много меньше площади кольца.

#### **10-11 классы**

3.9. На Северном полюсе можно видеть лунные затмения зимой (21 февраля) и некоторые из солнечных затмений летом (затмение 1 августа там будет видно)

3.10. При равных ускорениях свободного падения плотность обратно пропорциональна радиусу, поэтому у Меркурия она в 1.4 раза больше (у Меркурия –  $5.4 \text{ г}/\text{см}^2$ , у Марса –  $3.9 \text{ г}/\text{см}^2$ )

3.11. Марс с диаметром 6800 км имеет видимый диаметр  $25''$ , с увеличением 600 раз –  $250'$ . Минимальная различимая деталь будет в 125 раз меньше, то есть 54 км.

3.12 (11 класс) сравнивая звезду  $6^m$  с Солнцем, получаем поток энергии от звезды –  $10^{-10} \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Принимая расстояние до фонаря 5 км, получаем его мощность – всего 0.03 Вт. По-видимому, автор стихов существенно ошибся со звездной величиной огней у пристани..

## II ТУР

### 7 класс и моложе

3.13. Полная Луна проходит низко на юге, серп – высоко, восходя на северо-востоке, заходя на северо-западе.

3.14. Любая из внешних планет (кроме Меркурия и Венеры).

3.15. Одноименные – через 23ч 56м, разноименные – через 11ч58м.

3.16. Планеты не мерцают. Можно отличить их, зная карту звездного неба.

3.17. Атмосфера разреженна, уменьшается яркость фона неба.

### 8-9 классы

3.18. Полная Луна проходит низко на юге, серп – высоко, восходя на северо-востоке, заходя на северо-западе.

3.19. Внешняя планета не может иметь такого синодического периода. Внутренняя – может, при периоде обращения 0.5 года и радиусе орбиты 0.63 а.е.

3.20. Одноименные – через 23ч 56м, разноименные – через 11ч58м.

3.21. Планеты не мерцают. Можно отличить их, зная карту звездного неба.

3.22. Атмосфера разреженна, уменьшается яркость фона неба.

### 10-11 классы

3.23. При склонении больше  $+56^\circ$  разность равна  $2*(90^\circ - \delta)$ . При склонении от  $-56^\circ$  до  $+56^\circ$  разность составляет  $2*(90^\circ - 56^\circ) = 68^\circ$ . При склонении ниже  $-56^\circ$  разность равна  $2*(\delta + 90^\circ)$ .

3.24. Внешняя планета не может иметь такого синодического периода. Внутренняя – может, при периоде обращения 0.5 года и радиусе орбиты 0.63 а.е.

3.25. Плеяды находятся на  $5^\circ$  выше эклиптики. Поэтому узлы орбиты располагаются в  $90^\circ$  к востоку и западу от них. Солнце бывает в них в феврале и августе. Тогда и возможны затмения.

3.26. Не будут видны звезды, отстоящие от Солнца на  $\pm 18^\circ$  по прямому восхождению, то есть занимающие 1/10 небесной сферы. Поэтому можно будет увидеть примерно 5400 звезд.

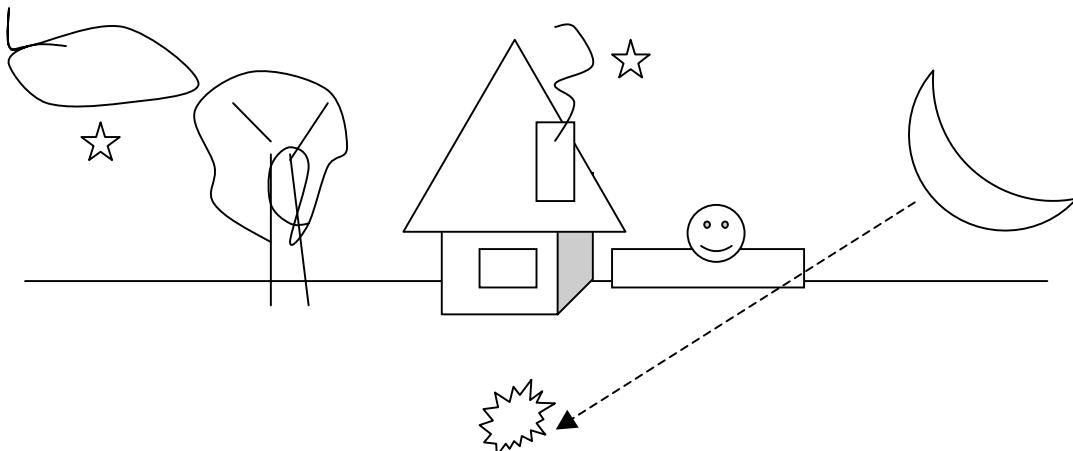
3.27. Звезда станет ярче в 1600 раз, то есть ее радиус увеличится в 40 раз.

## 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 синодические 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 юношой с козой на левом плече (звезда Капелла, от лат. *capella* – козочки), 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 доантинческие 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 уместились 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 β Тельца в бинокль и школьный телескоп можно рассмотреть три рассеянных звёздных скопления – M36, M37 и M38. Самое яркое и богатое из них – M37.

Эрихтоний (Возничий) – царь Афин, рождённый Геей полузмеёй-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, избрёл 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 M35, 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 к Близнецам 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 Т 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 выше, виден Денеб ( $\alpha$  Лебедя). 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.

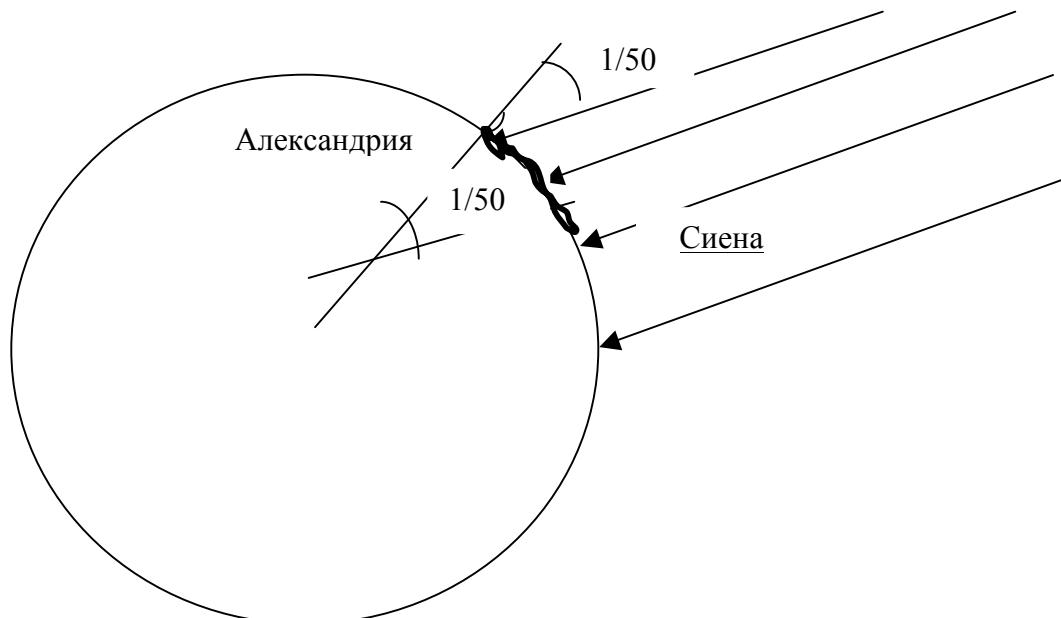
$$4.6b \text{ (11 класс) } F_q = k \cdot e^2 / r^2, \quad F_g = G \cdot m_e \cdot m_p / r^2 ;$$

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

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

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 40000км, 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  $t = Q:L = 2 \cdot 10^{37} / 4 \cdot 10^{26} = 5 \cdot 10^{10}$  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!). а =  $T^{2/3} = 84^{2/3} = 19,2$  а.е. Угловой диаметр Солнца, видимый с Земли, равен около  $30\text{¢}$ , на Уране угловой размер Солнца будет  $30\text{¢}/a = 30\text{¢}/19,2 = 1,5\text{¢}$ . Разрешающая способность глаза составляет около  $1\text{¢}$ , 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 нейtronов будет обратно пропорциональна кубу расстояния между ними, т.е. концентрация  $n \approx 1/d^3 = 10^{45} \text{ 1/m}^3$ . Плотность

равна  $\rho = n \cdot m_n = 1,7 \cdot 10^{18} \text{ кг}/\text{м}^3$ . 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  $t = r/V = r/Hr = 1/H = 1/75 \text{ км}/\text{сМпк}$ . 1 Мпк =  $3 \cdot 10^{19} \text{ км}$ . Подставляем в формулу вместо Мпк км и км сокращаются и остается  $t = 4 \cdot 10^{17} \text{ с} = 13 \cdot 10^9 \text{ лет}$

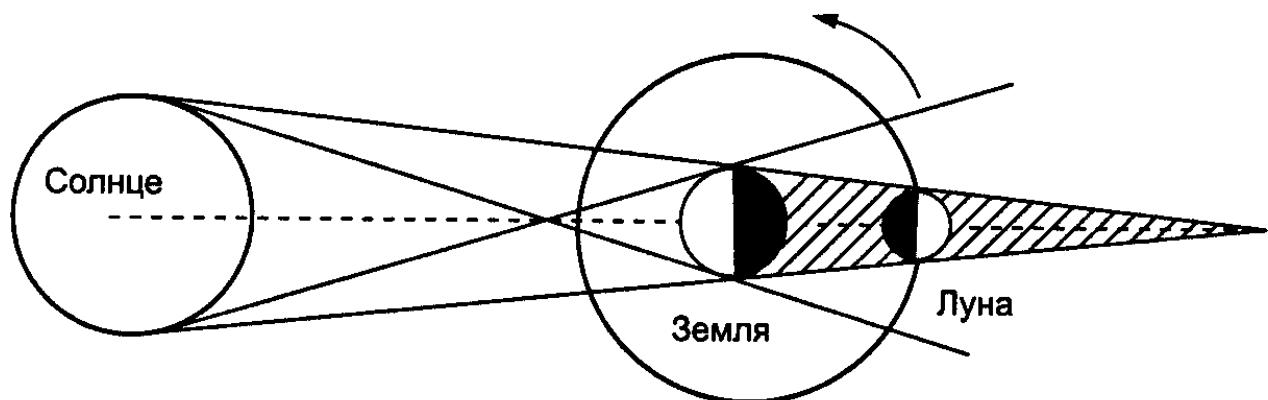
4.12 Одна При таком расстоянии период обращение планеты Куаур равен  $T = \sqrt[3]{a^3 - 49 \cdot 7} = 343$  года, таким образом за год планета перемещается всего на  $360^\circ/343 = 1,05^\circ/\text{год}$  или на  $10''/\text{сутки}$ . Протяженность созвездия Змееносца составляет около  $10-20^\circ$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

## Часть 5. 64 Московская Астрономическая Олимпиада (2010 год)

### Отборочный этап

#### 5-9 классы

5.1. Ежегодно повторяются те астрономические явления, которые связаны только с движением Земли по орбите вокруг Солнца, то есть равноденствия, солнцестояния и максимумы метеорных потоков. Эти явления повторяются приблизительно в одни и те же даты, например, весеннее равноденствие приходится на 20 или 21 марта, поскольку в нашем календаре есть високосные годы. У метеорных потоков неточное повторение дат максимумов связано также и с дрейфом их радиантов. Остальные упомянутые явления либо имеют периодичность, отличную от земного года (полнолуния, затмения Солнца, затмения Луны, противостояния планет, максимумы блеска переменных звёзд), либо вообще непериодичны (появление ярких комет, вспышки сверхновых).



5.2. Луна должна быть почти втрое меньше диаметра земной тени на расстоянии лунной орбиты. Ночная сторона нашего спутника, разумеется, должна быть тёмной.

5.3. Затмения происходят тогда, когда Луна в полнолуние или новолуние оказывается вблизи эклиптики. Плеяды расположены примерно на 5 градусов севернее эклиптики, и покрывать их Луна может только находясь на наибольшем удалении от узлов своей орбиты. Вблизи эклиптики она окажется только через неделю. Поэтому завтра ни солнечное, ни лунное затмение произойти не может.

5.4. Итак, "половинка Луны" видна на фоне Млечного Пути. Перемещаясь вблизи эклиптики, Луна пересекает Млечный Путь дважды в месяц: на границе Тельца и Близнецов и на границе Скорпиона и Стрельца, то есть вблизи точек солнцестояний. "Половинка Луны" может быть как растущей, так и стареющей и располагаться как на  $90^\circ$  западнее Солнца, так и на  $90^\circ$  восточнее. В обоих случаях получается, что Солнце находится на эклиптике вблизи точек равноденствий. Итак, наблюдение сделано в марте или в сентябре.

#### 10 - 11 класс

5.6. Поскольку противостояние Сатурна почти совпадает по времени с весенним равноденствием, сама планета находится в 2010 году вблизи точки осеннего равноденствия, то есть на небесном экваторе ( $\delta=0^\circ$ ).

Поэтому через зенит она проходит для наблюдается, находящегося на экваторе Земли. 22 марта. Сатурн будет располагаться на небесной сфере напротив Солнца, поэтому в местную полночь он будет в верхней кульминации. Применим формулу для расчёта высоты светила в кульминации:  $h = (90^\circ - \phi) + \delta$ ,  $h = 34^\circ 15'$ .

5.7. Спроецироваться для земного наблюдателя на диск Солнца внутренняя планета может только тогда, когда в момент нижнего соединения она находится вблизи плоскости эклиптики, то есть вблизи узлов своей орбиты. Узлы орбиты Меркурия ориентированы в пространстве так, что на одной линии с ними Земля оказывается в мае и ноябре.

Орбита Меркурия существенно эллиптична. В ноябре, вблизи перигелия своей орбиты, планета находится ближе к Солнцу (и дальше от Земли), и потому проецируется на диск Солнца чаще, чем в мае, вблизи афелия.

5.8 Освещённость лунной поверхности обратно пропорциональна квадрату расстояния от Солнца до Луны. В фазе первой четверти Луна находится на расстоянии примерно 1 а.е. от Солнца, в фазе полнолуния – в среднем на  $384400 \text{ км}$  дальше. Значит освещенность измениться в  $\frac{(a+R)^2}{a^2} = (1 + 384400/1,5 \cdot 10^8)^2 \approx 1,003$ , т.е. около 3%.

5.9 Видимый угловой диаметр Марса обратно пропорционален расстоянию между Землёй и планетой. В афелии Марс расположен на расстоянии  $a_m(1+e)$  от Солнца, в перигелии – на расстоянии  $a_m(1-e)$ . Расстояние между Землёй и Марсом в афелийном и перигелийном противостоянии относятся как

$$(a_m(1+e)-1)/(a_m(1-e)-1).$$

С другой стороны, это отношение равно 25/13. Запишем уравнение и решим его относительно  $e$ :

$$(a_m(1+e)-1)/(a_m(1-e)-1)=25/13, e=0,1.$$

### Заключительный этап

#### 5-9 классы

5.10 Венера может наблюдаться в зодиакальном созвездии Близнецов. Также она может наблюдаваться в северной части созвездия Ориона, так как это всего на несколько градусов южнее эклиптики, а отклонение Венеры от эклиптики может достигать  $8^\circ$ . Венера была видна в созвездии Ориона в августе 1996 года. В созвездии Большого Пса, далеком от эклиптики, Венера находится не может?

5.11. Звездные сутки, равные периоду вращения Земли относительно неподвижных звезд, чуть короче солнечных и равны примерно 23 часа 56 минут. Поэтому данная звезда за эти сутки успеет зайти за горизонт и вновь взойти в 23 часа 57 минут по местному времени, то есть пересечет горизонт еще дважды (если, конечно, за оставшиеся три минуты звезда не зайдет обратно за горизонт).

5.12. Минимальный угловой размер объекта, заметного в телескоп, (его “разрешающая сила”) определяется размером объектива и свойствами земной атмосферы, через которую проходит свет звезды. Волновая природа света приводит к тому, что даже совершенно точечный источник будет виден в телескоп как диск, окруженный системой колец. Размер этого диска тем меньше, чем больше диаметр объектива телескопа, но даже для крупных телескопов он составляет порядка 0.1 угловой секунды. Кроме этого, изображение размывается земной атмосферой, и размеры “дисков дрожания” звезд редко бывают меньше одной угловой секунды. Истинные угловые диаметры далеких звезд значительно меньше, и мы не можем увидеть их в телескоп, какое увеличение мы бы ни использовали.

5.13. Главными светилами на небе галилеевых спутников Юпитера будут Солнце и сам Юпитер. Солнце будет ярчайшим светилом неба, хотя оно будет значительно слабее и меньше, чем на Земле, поскольку Юпитер и его спутники находятся в 5 раз дальше от Солнца, чем наша планета. Юпитер, напротив, будет иметь огромные угловые размеры, но светить он будет все же слабее

Солнца. При этом Юпитер будет виден только с половины поверхности спутника, оставаясь неподвижным на небе, так как все галилеевы спутники, как Луна к Земле, повернуты к Юпитеру одной стороной. В своем движении по небу Солнце на каждом обороте будет заходить за Юпитер, и будут происходить солнечные затмения, и лишь при наблюдении с самого удаленного спутника, Каллисто, затмения может не наступить.

Кроме Солнца и Юпитера, на небе будут хорошо видны остальные спутники этой планеты, во время противостояний с Солнцем очень ярким (до  $-2''$ ) будет Сатурн, немного ярче станут и другие, более удаленные планеты Солнечной системы: Уран, Нептун и Плутон. А вот планеты земной группы будут видны хуже, и дело не столько в их блеске, сколько в малом угловом расстоянии от Солнца. Так, наша Земля будет внутренней планетой, которая даже во время наибольшей элонгации будет отходить от Солнца всего на  $11^\circ$ . Однако этого углового расстояния может быть достаточно для наблюдений с поверхности спутника Юпитера, лишенного плотной атмосферы, рассеивающей свет Солнца. Во время наибольшей элонгации расстояние от системы Юпитера до Земли составит

$$d = \sqrt{a^2 - a_0^2} = 5.106 \text{ а.е.}$$

Здесь  $a$  и  $a_0$  — радиусы орбит Юпитера и Земли. Зная расстояние от Земли до Луны (384400 км), мы получаем максимальное угловое расстояние между Землей и Луной, равное  $1'43.8''$ , что в принципе достаточно для их разрешения невооруженным глазом. Однако блеск Луны в этот момент будет составлять  $+7.5''$ , и она не будет видна невооруженным глазом (блеск Земли будет около  $+3.0''$ ). Земля и Луна будут намного ярче вблизи верхнего соединения с Солнцем ( $-0.5''$  и  $+4.0''$  соответственно), но в это время их будет трудно увидеть в лучах дневного светила.

**5.14 (5-7 классы)** Суточное движение поверхности Марса происходит за счет осевого вращения направленного с запада на восток. Поэтому скорость марсохода, отправляющегося на восток, сложится со скоростью суточного вращения, что уменьшит для этого аппарата продолжительность солнечных суток.

**5.15 (8-9 классы)** На оба полушария корабля будут действовать давление поглощаемого ими солнечного света. Но у белой полусфера эта сила будет больше, так как это полушарие будет еще и рассеивать фотоны в обратном направлении. В результате белое полушарие в конце концов повернется от Солнца, а черное полушарие — к Солнцу.

## 10 - 11 класс

**5.16.** Ускорение свободного падения на поверхности планеты  $g$  равно

$$g = \frac{GM}{R^2},$$

где  $M$  и  $R$  — масса и радиус планеты. Масса Марса составляет 0.107 от массы Земли, а его радиус — 0.533 радиуса Земли. В итоге, ускорение свободного падения  $g$  на Марсе равно 0.377 от этой же величины на Земле. Период колебаний часов  $T$  с маятником длины  $l$  равен

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

и маятниковые часы на Марсе будут идти в 1.629 раз медленнее, чем на нашей планете.

5.17 Звезда Альдебаран находится неподалеку от эклиптики в созвездии Тельца. Солнце проходит эту область неба в конце мая — начале июня. Луна в фазе первой четверти отстоит от Солнца на  $90^\circ$  к востоку и находится в том месте неба, куда Солнце придет через три месяца. Следовательно, сейчас конец февраля — начало марта.

5.18 . Фаза Венеры равна 1.0 в верхнем соединении и 0.5 в наибольшей элонгации вне зависимости от того, проводим ли мы наблюдения с Земли или с Марса. Таким образом, нам нужно всего лишь рассчитать, на сколько изменится расстояние до Венеры в той или иной конфигурации, если пункт наблюдения переместится с Земли на Марс. Обозначим через  $a_0$  радиус орбиты Венеры, а через  $a$  — радиус орбиты планеты, с которой ведутся наблюдения. Тогда расстояние до Венеры в момент ее верхнего соединения будет равно  $a+a_0$ , что составляет 1.723 а.е. для Земли и 2.247 а.е. для Марса. Тогда звездная величина Венеры во время верхнего соединения на Марсе будет равна

$$m_1 = -3.9 + 5 \lg (2.247/1.723) = -3.3.$$

Расстояние до Венеры в момент наибольшей элонгации равно

$$d = \sqrt{a^2 - a_0^2}$$

и составляет 0.691 а.е. для Земли и 1.342 а.е. для Марса. Звездная величина Венеры в момент наибольшей элонгации равна

$$m_2 = -4.4 + 5 \lg (1.342/0.691) = -3.0.$$

Интересно, что Венера светит на Марсе (как и Меркурий на Земле) в наибольшей элонгации слабее, чем в верхнем соединении.

5.19 Определим расстояние между звездами по III обобщенному закону Кеплера:

$$\frac{a^3}{T^2 M} = \frac{G}{4\pi^2} = const.$$

Здесь  $a$  — большая полуось орбиты (равная расстоянию между звездами в случае круговой орбиты),  $T$  — период обращения, а  $M$  — суммарная масса двух тел. Сравним данную систему с системой Солнце-Земля. Суммарная масса двух звезд в 10 раз превышает массу Солнца (масса Земли вносит ничтожно малый вклад), а период превышает период обращения Земли в 316 раз. В итоге, расстояние между звездами составляет 100 а.е. С расстояния в 100 пк эти две звезды будут видны не более чем в 1" друг от друга. Разрешить такую тесную пару в телескоп “ТАЛ-М” не удастся, какое увеличение мы бы ни использовали. В этом нетрудно убедиться, рассчитав размер дифракционных дисков данных звезд по известной формуле для зелено-желтых лучей:

$$\delta = \frac{14''}{D},$$

где  $D$  — диаметр объектива в сантиметрах. Здесь мы не учли влияние земной атмосферы, которое еще больше усугубит картину. Итак, данная пара будет видна в телескоп “ТАЛ-М” только как одиночная звезда.

5.20 Так как плотность парафиновой детали меньше плотности воды, и плотности масла, он будет плавать и в воде, и в масле, и в обоих случаях архимедова сила будет равна ее собственному весу

и не изменится, когда мы переложим деталь из воды в масло. Другое дело, что вес детали будет в 6 раз меньше, чем на Земле.

## Часть 6. 65 Московская Астрономическая Олимпиада (2011 год)

### Дистанционный тур

#### 1-4 классы

6.1. Больших планет в Солнечной системе восемь: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.

Плутон с 2006 года считается не планетой, а карликовой планетой (вместе с Эрида, Церера, Макемаке и Хаумеа).

Планеты Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн были известны с глубокой древности.

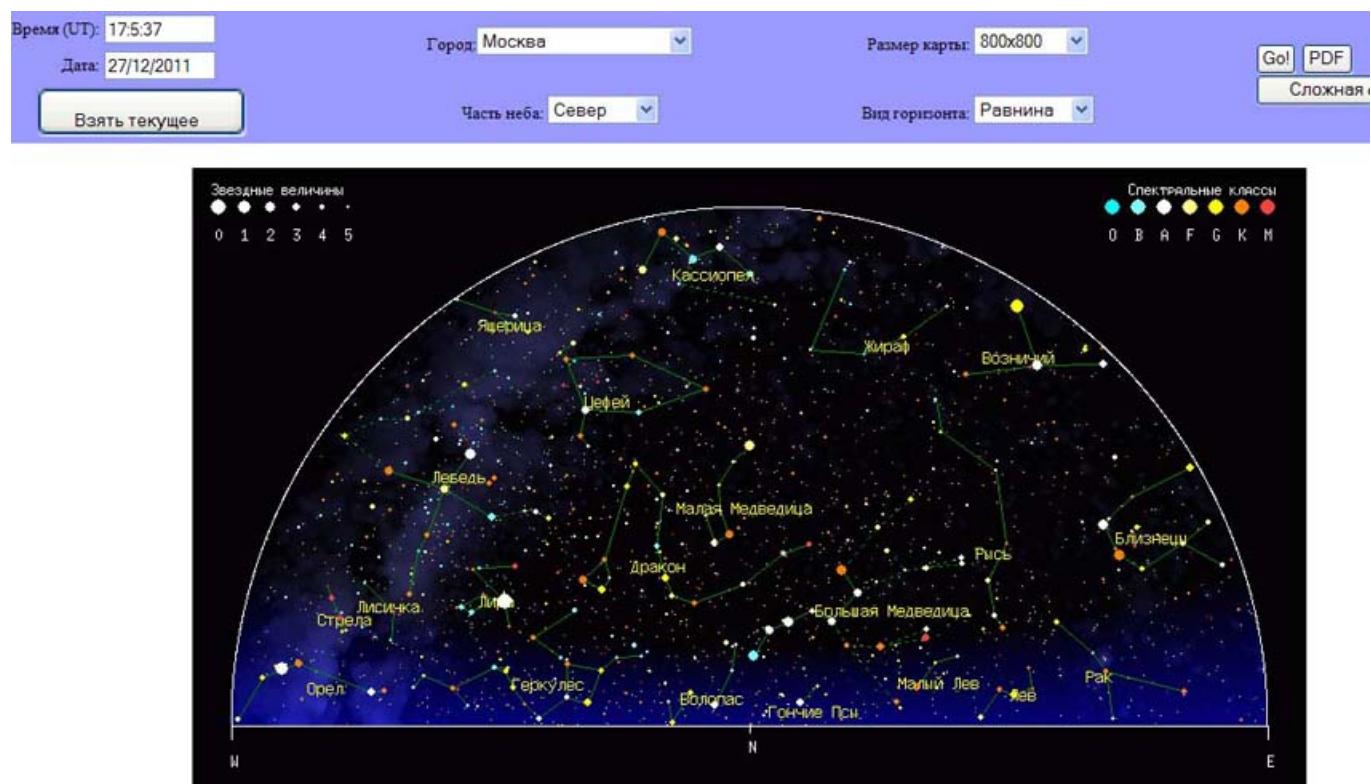
Землю как планету открыл Н.Коперник.

Уран был открыт в 1781 году Уильямом Гершелем.

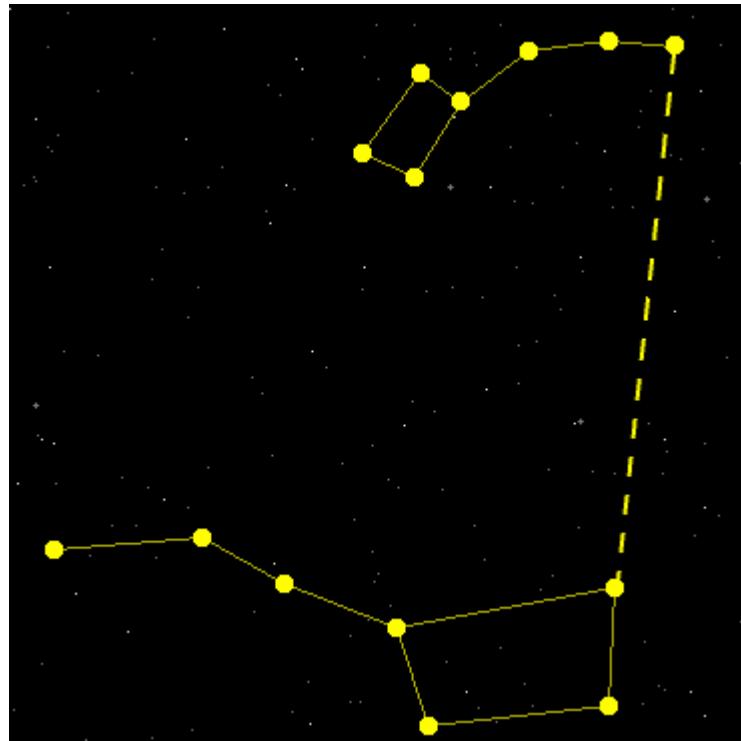
Нептун был открыт в 1846 году Урбеном Леверье.

6.2 Нет, для земного наблюдателя движение Солнца не всегда происходит слева направо. Например, в Южном полушарии жители Земли видят движение Солнца справа налево.

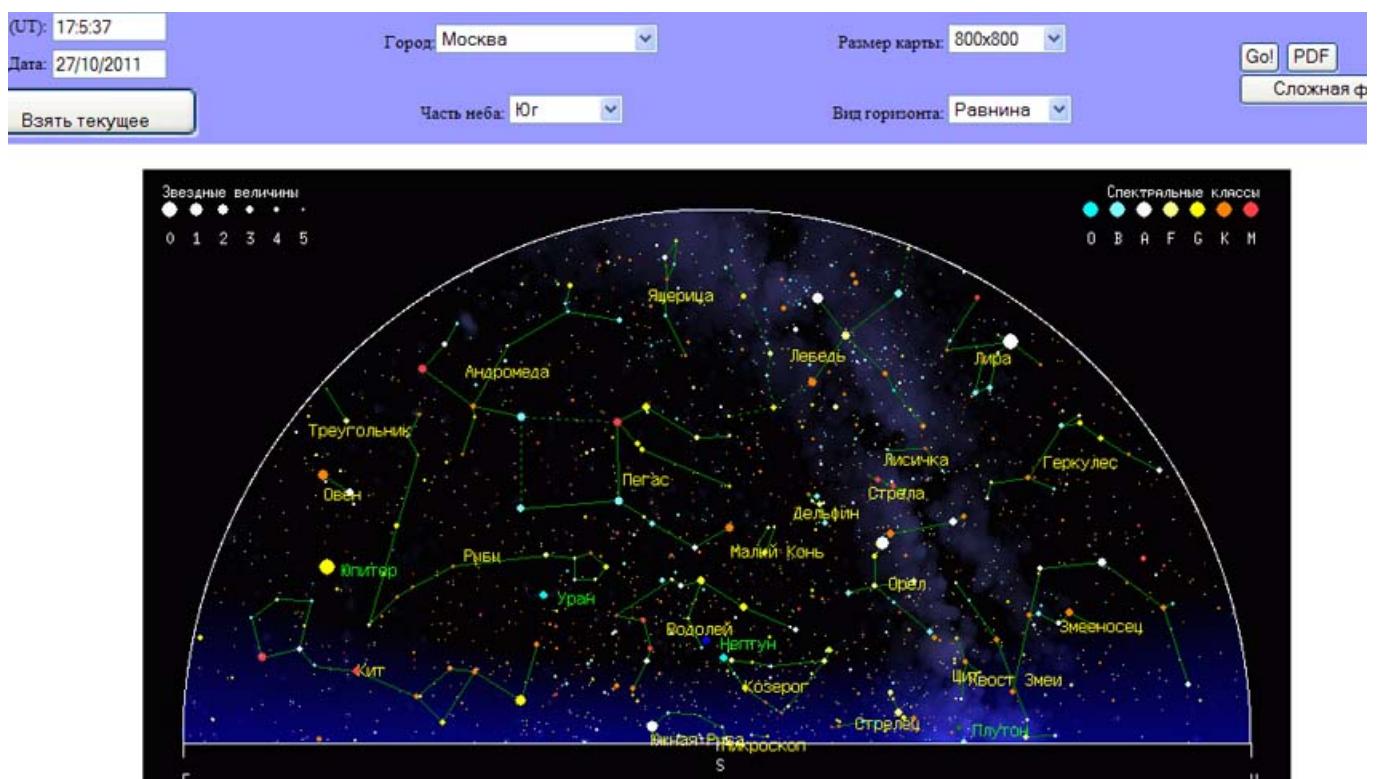
При движении в Северном полушарии, если наблюдатель движется с востока на запад не очень далеко от полюса и достаточно быстро, то он как бы обгоняет Солнце, и оно для него начинает двигаться справа налево.



6.3. В северной стороне неба. Карту звездного неба в декабре можно получить на определённую дату. <http://www.astronet.ru/db/map/> в Астронете. Чтобы найти Полярную звезду, надо от звёзд правой стороны Ковша отложить расстояние в 5 раз большее, которое и укажет на Полярную звезду, которая находится строго на севере.



6.4 По карте звездного неба в октябре <http://www.astronet.ru/db/map/> Астронета видно, что «водные» созвездия вечером можно наблюдать в октябре



6.5 Юпитер.

6.6 затмения Солнца в Москве видны часто, но только частные. Полные солнечные затмения можно наблюдать очень редко. Так, например, в Москве полные солнечные затмения наблюдались 11 августа 1123 г., 20 марта 1140 г. (т. е. через 16 лет), 7 июня 1415 г. (через 275 лет), 25 февраля 1476 г. (через 61 год) и в ее окрестностях - 19 августа 1887 г. (через 411 лет). Очередное полное затмение Солнца в Москве, продолжительностью около 4 мин, произойдет лишь 16 октября 2126 г.

При наблюдениях солнечных затмений нужно пользоваться защитой глаз.

## 5-6 классы

6.6 Открытие новых созвездий ожидать не стоит. Так как в 1922 году в Риме, решением I Генеральной ассамблеи Международного астрономического союза был окончательно утверждён список из 88 созвездий, на которые было разбито звёздное небо. А в 1928 году были приняты чёткие и однозначные границы между этими созвездиями, проведённые строго по кругам небесной сферы прямых восхождений и дугам склонений в экваториальной системе небесных координат на эпоху 1875.0. В течение пяти лет в границы созвездий вносились уточнения. В 1935 году границы были окончательно утверждены, и астрономы договорились, что больше изменять их не будут.

6.7 Какая планета отлично видна ночью высоко над горизонтом в декабре в Москве? Можно ли наблюдать в декабре несколько планет одновременно? Можно ли наблюдать в декабре несколько планет одновременно? Какую яркую планету можно наблюдать в декабре только утром? Из больших планет в декабре будут видны все, кроме Марса, который приближается к соединению с Солнцем. Меркурий в начале месяца будет обладать вечерней видимостью, а в конце - утренней.

Венера до середины декабря будет перемещаться по созвездию Девы, а затем перейдет в созвездие Весов (до конца месяца). Это значит, что планета будет видна утром.

Марс в начале декабря переходит из созвездия Змееносца в созвездие Стрельца и остается в нем до конца месяца, постепенно сближаясь с Солнцем. Поэтому наблюдать его не возможно.

Юпитер в середине декабря перейдет из созвездия Водолея в созвездие Рыб, постепенно сближаясь с Ураном (до 40 угловых минут). Гигант виден на вечернем и ночном небе (на юго-западе) 8 - 6 часов в виде яркой звезды. Значит именно его мы сможем увидеть высоко над горизонтом ночью.

Сатурн весь месяц перемещается по созвездию Девы (между звездами гамма и тета Vir). Планета видна в предрассветное время на юго-востоке от 5 до 7 часов в виде желтой звезды.

Уран виден в вечернее и ночное время на юго-западе в созвездии Рыб в градусе восточнее Юпитера. Это позволяет легко находить седьмую планету в бинокль и даже невооруженным глазом. Следовательно, невооруженным глазом ближе к утру, будет видно одновременно планеты: Венеру, Сатурн, Юпитер и Уран.

6.8 Это означает, что Луна в 12 часов 04 минуты по московскому времени закроет 0,81 от видимого диаметра Солнца. Это очень большая фаза частного затмения, при котором уже станет заметно, что дневного света стало меньше, станут видны солнечные зайчики в виде серпов.

6.9 Большой Пёс (лат. Canis Major) — созвездие южного полушария неба, самая яркая звезда — Сириус, имеет блеск  $-1,46^m$ . Наилучшие условия видимости в декабре—январе. Расположено к юго-востоку от Ориона («под правой ногой»); частично лежит в Млечном Пути. На территории России наблюдается полностью в южных и центральных районах и частично — в северных.

Большой Пёс — древнее созвездие, конфигурацией ярких звёзд действительно напоминающее собаку, сформировалось вокруг главной звезды Сириус. Мифы о происхождении звезды переносятся и на всё созвездие. Так, древнегреческие мифы называют прототипом небесного Пса собаку Ориона (созвездие находится рядом) или Икария. Созвездие включено в каталог звёздного неба Клавдия Птолемея «Альмагест» под названием «Пёс».

В этом созвездии находится ярчайшая звезда всего неба — Сириус (а Большого Пса), имеющая звёздную величину  $-1,46^m$ . Эта бело-голубая звезда выглядит столь яркой (ее имя происходит от греческого seirios, «ярко горящий») потому, что расстояние до неё всего 8,57 св. года. Блеск Сириуса столь велик ещё и потому, что его светимость в 23 раза выше, чем у Солнца. В Древнем Египте Сириус называли «Звезда Нила», поскольку первый утренний восход Сириуса предвещал разлив Нила в дни летнего солнцестояния. К тому же Сириус и само созвездие уже 5000 лет назад ассоциировалось с собакой; его древнейшее шумерское название — «собака

солнца», греки называли его просто «собакой», а римляне — «собачкой» (Canicula, отсюда летний период отдыха — каникулы).

Из интересных созвездий расположенных рядом с Большим писом можно выделить Орион, Единорог и Корму. В которых содержится большое количество галактических туманностей и рассеянных звездных скоплений.

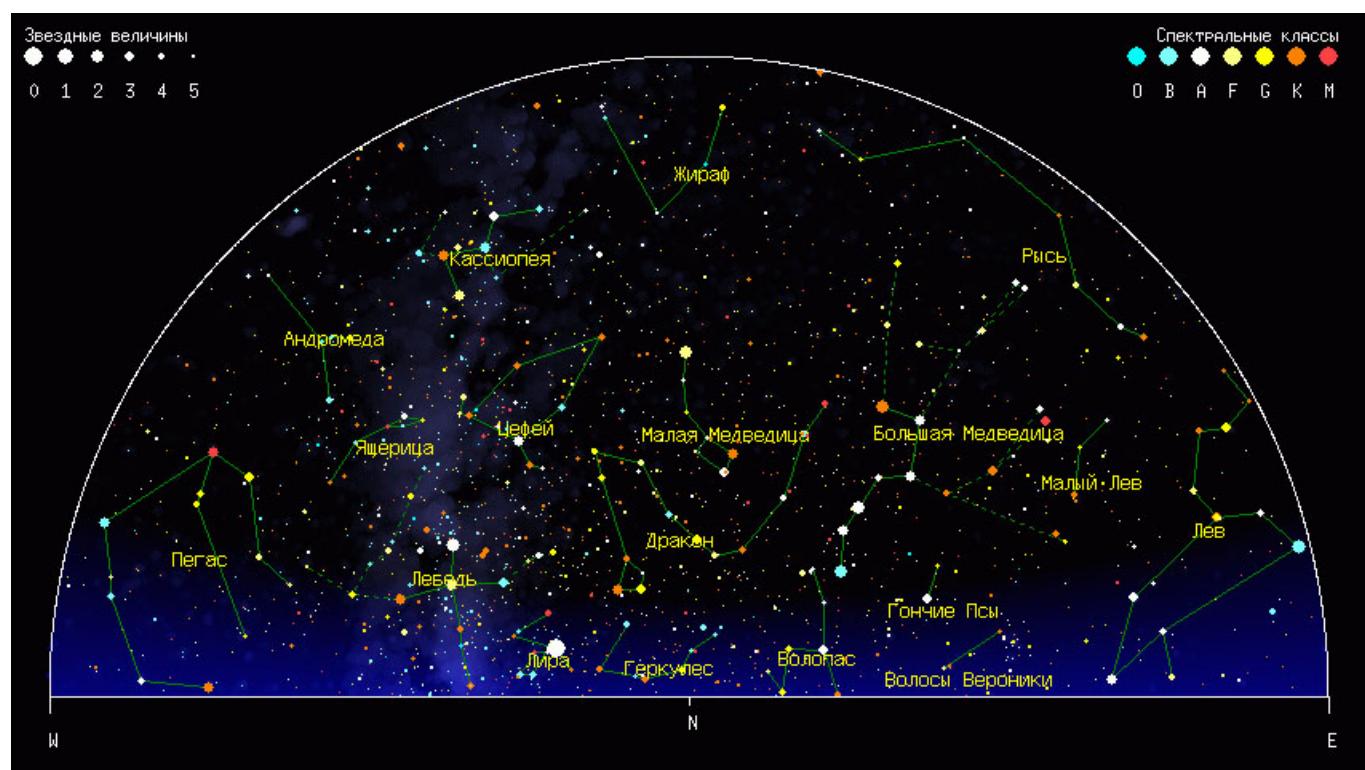
6.10 Галактики, видимые невооружённым глазом для наблюдателя с острым зрением при очень тёмном небе во время ясной погоды.

1. Млечный Путь -наша галактика. Большинство объектов, видимых невооружённым глазом на небе.
2. Большое Магелланово Облако - спутник Млечного Пути, видна только в южном полушарии. Самая яркая туманность на небе
3. Малое Магелланово Облако (NGC 292) - спутник Млечного Пути, так же видна только в южном полушарии.
4. Галактика Андромеды (M31, NGC 224) - также называется Туманностью Андромеды. Находится в созвездии Андромеды.
5. Галактика Треугольника (M33, NGC 598) - наблюдение невооружённым глазом очень затруднено, но возможно в хороших астрономических условиях при отсутствии засветки.
6. Галактика Боде (M81, NGC 3031) - наблюдение невооружённым глазом очень затруднено, но возможно в хороших астрономических условиях при отсутствии засветки.

Следовательно в наших широтах при идеальных условиях можно наблюдать четыре галактики из шести доступных для невооруженного человеческого глаза.

## 7-8 классы

6.11 Посмотрите на созвездие Большая Медведица. Как вы думаете, в каком месяце и во сколько времени велись наблюдения в Москве? Подсказка: обратите внимание на стороны горизонта. Сайт Астронет: <http://www.astronet.ru/db/map/>



6.12 В декабре самые продолжительные ночи, и это неудивительно, так как 22 декабря наступает день зимнего солнцестояния и вместе с ним астрономическая зима. В этот день Солнце достигает своего минимального склонения  $-23^{\circ} 27'$ , благодаря этому продолжительность дня на широте

Москвы составит всего около 7 часов. Севернее продолжительность дня еще короче, а за Полярным кругом – в Мурманской области, на Таймыре и Чукотке – в течение нескольких суток Солнце вообще не восходит. В этих регионах будет полярная ночь. Дальше или ближе к Солнцу находится в эти дни Земля? Сделайте поясняющий чертёж.

6.13. На каких планетах земной группы дневное небо черное, голубое и красноватое?

6.14. В 2010/2011 уч.году произойдут пять затмений (три частных солнечных и два полных лунных), четыре из которых будут видны в нашей стране. 15-16 июня 2011 года состоится самое продолжительное полное лунное затмение в первые двадцать лет XXI века. Начало полной фазы 23 часа 37 минут. Длительность полной фазы будет очень велика – 1 час 41 мин. В каком созвездии будет находиться Луна? Почему лунное затмение видно одновременно из многих районов Земли, а солнечное затмение – только внутри узкой полосы, размер которой около 200 км?

6.15. Каковы размеры Солнечной системы? Сколько свет идет от Солнца до Земли? От Солнца до границ Солнечной системы?

### 9– 11 классы

6.16 Во сколько раз упадет светимость Солнца, если половина его поверхности покроется пятнами? (Температура солнечного пятна 4200 К).

6.17 Предположим, что в солнечной системе есть планета «Противоземля» малой массы, движущаяся точно по орбите Земли с отставанием на полгода. Удалось бы эту планету зарегистрировать с помощью наземных обсерваторий?

6.18 Во сколько раз изменилась бы максимальная продолжительность полного солнечного затмения на Земле (7,5 мин), если бы наша планета вращалась вокруг своей оси вдвое быстрее?

6.19 Что называется парниковым эффектом и на сколько градусов поднимается температура вследствие парникового эффекта:

- a) на Венере
- b) на Земле
- c) на Марсе
- d) на Титане.

Какой газ является основным парниковым газом на них?

6.20 Допустим, что планета Земля стала вращаться вокруг Солнца по сильно вытянутой эллиптической орбите, и в то же время ось вращения перпендикулярна плоскости ее орбиты.

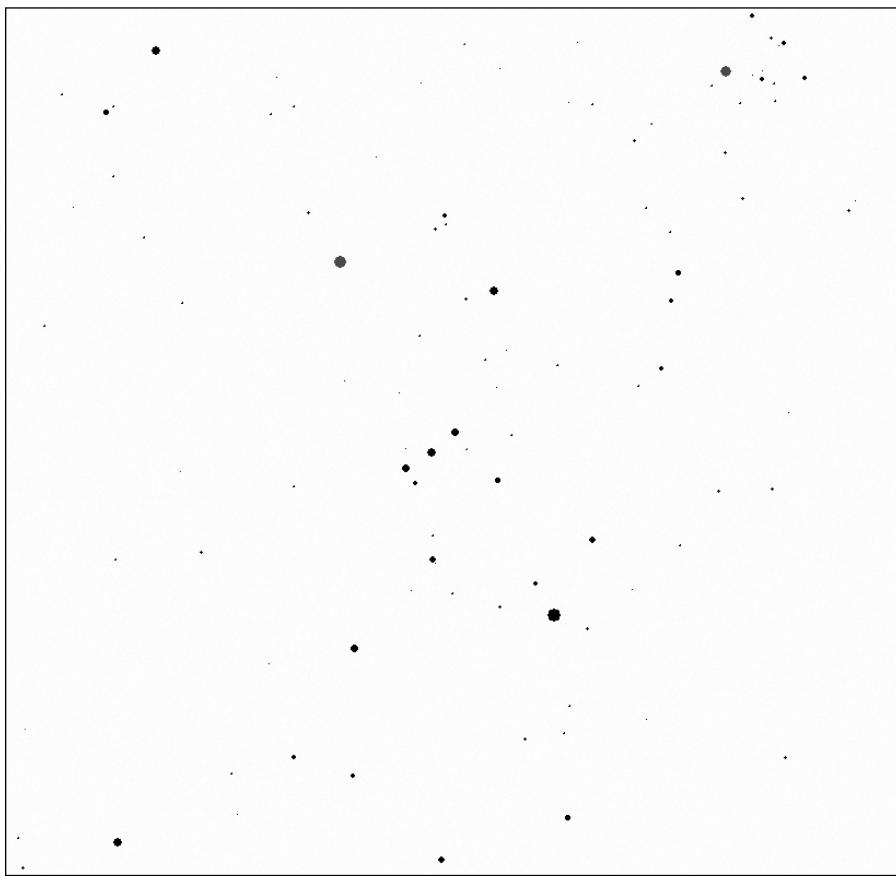


Как происходит смена времен года? Что произойдет с климатом Земли?

6.21 Перед вами три карты звёздного неба. Первая - из атласа Яна Гевелия (1690), вторая – Илайджи Бурритта (1835), третья - современная. Какая между ними основная разница в подходе к определению созвездий?

## **Очный тур**

### **5-7 класс**



6.22. На рисунке приведено созвездие Ориона. В ответе нужно было указать название созвездия, имена ярких звезд: Бетельгейзе, Ригель, Беллатрикс, нарисовать и подписать Большую туманность Ориона (M42), туманность Факел, можно назвать астеризмы -- пояс Ориона, меч Ориона, а также части созвездия Тельца, в котором видны Альдебаран и Гиады

6.23. Созвездия: Лебедь, Микроскоп, Орион, Рак, Телец, Ящерица

6.24. Метеоры на Меркурии наблюдать будет невозможно, из-за отсутствия у этой планеты атмосферы, но можно будет наблюдать падение метеоритов на поверхность планеты, в том числе и по микро меркури-трясениям, возникающим после удара твердого тела о поверхность Меркурия.

6.25. Подвижная карта звездного неба показывает небо, которое находится над головой. Соответственно, когда мы «переносим» небо на листок бумаги, мы его переворачиваем вокруг линии север-юг, и точки востока и запада меняются местами.

6.26. Черное море находится значительно южнее Финского залива, и, соответственно, оно имеет меньшую широту. Из-за этого угол, под которым Солнце будет заходить за горизонт на Черном море будет больше, чем в северных широтах, а значит над Черным морем путь Солнца при заходе будет короче и оно быстрее его пройдет. По этой причине закат Солнца над Черным морем будет короче, чем в Санкт-Петербурге

### **8-9 класс**

6.27. Сначала подумаем, где могло быть сделано наблюдение. Поскольку лежит снег, тропики исключаются. Поскольку тонкий месяц виден на тёмном небе, полярные широты, где эклиптика проходит вблизи горизонта, также исключаются. Наконец, южнее 30 параллели южной широты обе Медведицы не восходят, поэтому средние широты южного полушария тоже исключаются. Итак, место наблюдения -- средние широты северного полушария.

Теперь подумаем, когда могло быть сделано наблюдение. Поскольку месяц тонкий, наблюдение сделано либо вечером сразу по окончании сумерек, либо утром перед рассветом. Медведиц на небе две, но в стихотворении речь идёт именно о Большой Медведице - Малая находится далеко от эклиптики, и под ней - на севере - в средних северных широтах Луна не бывает видна никогда. Эклиптика проходит через созвездия Льва и Девы, расположенные неподалёку от Большой Медведицы. Растущий месяц бывает в этих созвездиях, когда Солнце находится в созвездиях Близнецов и Рака, то есть летом. Следовательно, наблюдался старый месяц, что соответствует положению Солнца в Деве или Весах. С учётом выпавшего снега делаем вывод, что наблюдение сделано перед рассветом в ноябре.

6.28. В день весеннего и осеннего равноденствия день будет равен ночи. После дня осеннего равноденствия день будет уменьшаться, а ночь увеличиваться. До дня весеннего равноденствия идет аналогичный процесс с той же скоростью, только в другую сторону. Поэтому 20 февраля день будет длиннее, так как до дня весеннего равноденствия останется 31 день. А 30 октября со дня осеннего равноденствия пройдет 38 дней.

Отметим, что данное рассуждение справедливо для северного полушария. В южном полушарии день будет уменьшаться после дня весеннего равноденствия, а увеличиваться после дня осеннего равноденствия. Поэтому для южного полушария ответ будет противоположным: там световой день 30 октября будет длиннее, чем 20 февраля.

На экваторе же световой день в любую дату составляет 12 часов.

6.29. Ось вращения Луны вокруг Земли находится практически в плоскости эклиптики. Луна будет выше всего над горизонтом, когда у нее будет самое большое склонение. В фазе первой четверти Луна будет находиться на расстоянии 90 угловых градусов от Солнца со стороны востока. Солнце в течение года движется по эклиптике с запада на восток. Получается, что в созвездие близнецов Солнце придет через три месяца, значит, Солнце будет находиться в созвездие Рыбы. Получается, что это месяц март.

Возможен такой вариант:

Ось вращения Луны вокруг Земли находится практически в плоскости эклиптики. Луна будет выше всего над горизонтом, когда у нее будет самое большое склонение. Это произойдет, если ее прямое восхождение будет равно 6 часам. В фазе первой четверти Луна будет находиться на расстоянии 90 угловых градусов от Солнца со стороны востока. Значит, прямое восхождение Солнца должно быть меньше на 6 часов, то есть 0 часов. Солнце будет находиться в точке весеннего равноденствия, а значит, будет месяц март.

Общий ответ.

Для северного полушария.

Максимальная высота объекта во время кульминации находится по формуле:

$$h = 90 - \delta + \phi$$

, где  $h$  – максимальная высота объекта над горизонтом, отмеряемая от точки юга,  $\phi$  – широта места наблюдения,  $\delta$  – склонение объекта. Склонение Луны меняется практически также как и склонение Солнца с  $-23,5$  до  $23,5$  градусов. Ось вращения Луны вокруг Земли находится практически в плоскости эклиптики. Луна будет выше всего над горизонтом, когда у нее будет самое большое склонение. Это произойдет, если ее прямое восхождение будет равно 6 часам. В фазе первой четверти Луна будет находиться на расстоянии 90 угловых градусов от Солнца со стороны востока. Значит, прямое восхождение Солнца должно быть меньше на 6 часов, то есть 0 часов. Максимальное склонение в первой четверти Луна будет иметь в марте. Соответственно для всех широт, севернее  $23,5$  градусов – это будет месяц март. Для широты  $0$  градусов это будет

месяц июнь, так как Луна в первой четверти в этот месяц будет иметь склонение 0 градусов. Соответственно для широт от 23,5 градусов до 0 градусов это будет время с марта по июнь.

Для южного полушария.

Максимальная высота объекта во время кульминации находится по формуле:

$$h = 90 + \delta - \phi$$

, где  $h$  – максимальная высота объекта над горизонтом, отмеряемая от точки юга,  $\phi$  – широта места наблюдения,  $\delta$  – склонение объекта. Склонение Луны меняется практически также как и склонение Солнца с -23,5 до 23,5 градусов. Ось вращения Луны вокруг Земли находится практически в плоскости эклиптики. Луна будет выше всего над горизонтом, когда у нее будет самое маленькое склонение. Это произойдет, если ее прямое восхождение будет равно 18 часам. В фазе первой четверти Луна будет находиться на расстоянии 90 угловых градусов от Солнца со стороны востока. Значит, прямое восхождение Солнца должно быть меньше на 6 часов, то есть 12 часов. Минимальное склонение в первой четверти Луна будет иметь в сентябре. Соответственно для всех широт, южнее -23,5 градусов – это будет месяц сентябрь. Для широты 0 градусов это будет месяц декабрь, так как Луна в первой четверти в этот месяц будет иметь склонение 0 градусов. Соответственно для широт от -23,5 градусов до 0 градусов это будет время с сентября по декабрь.

6.30. Задача на вычисления и знание основных расстояний внутри Солнечной системы. Вычислим полный объем имеющихся стройматериалов:  $(100 \text{ км})^3 = 10^6 \text{ км}^3 = 10^{15} \text{ м}^3 = 10^{21} \text{ см}^3$ . Площадь поперечного сечения рельсы равна  $50 \text{ см}^2$ . Таким образом, из заданного куба можно сделать рельс длиной  $10^{21}/50 = 2 \cdot 10^{19} \text{ см}$ . Если считать, что рельс понадобится две, то длина дороги будет  $10^{19} \text{ см}$  или  $10^{19} \text{ см} = 6.7 \text{ млн. а.е.} = 3.3 \text{ пк}$ . Т.е. рельсы смогут достать до звезд в близкой окрестности Солнца, не говоря уже о Луне и Юпитере.

6.31 Внешние планеты перемещаются по небу попятным движением вблизи точек противостояния. Происходит это оттого, что в эти периоды времени пространственные скорости Земли и планеты направлены примерно в одном направлении. Поскольку скорость Земли выше, чем скорость внешней планеты, она её обгоняет. Для наблюдателя на Земле создается впечатление, что планета на фоне звезд начинает двигаться в обратном направлении. Если предположить, что орбиты планет круговые и лежать в одной плоскости, то промежутки времени между последовательными началами (окончаниями) попятного движения будут равны синодическому периоду планет.

Синодический период Сатурна равен 378 суток. Синодический период Марса равен 780 дней. Значит, периоды синодического движения для Сатурна будут наступать в 2 раза чаще.

Чем дальше планета, тем меньше её скорость. Значит, тем больше промежуток времени (а также часть земного года) в течение которого Земля может обгонять планету. Значит, Сатурн дальше движется попятным движением.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что скорее окажется, что попятно движется Сатурн, а не Марс.

## 10-11 класс

6.32. При решении задачи мы пренебрегаем рефракцией, поскольку её влияние в обоих случаях будет одинаковым. В точке востока восходят светила, находящиеся на небесном экваторе. Следовательно, восход при наблюдении из упомянутого пункта совпал с точным моментом весеннего равноденствия. Весеннее равноденствие повторится примерно через 365,25 суток (точнее, через 365,2422 суток – этот период называют тропическим годом) и уже не совпадёт с моментом восхода для этого пункта, поскольку число суток в году нецелое. Если год простой, то 21 марта следующего года Солнце (точнее, его центр) будет ещё южнее небесного экватора и

взойдёт южнее точки востока. Если год високосный, то 21 марта следующего года Солнце будет севернее небесного экватора и взойдёт севернее точки востока.

6.33. Обозначим  $r$  – расстояние от Земли до астероида,  $R$  – расстояние от Солнца до астероида,  $D$  – диаметр,  $A$  – альбедо,  $\Phi$  - фаза астероида,  $L_0$  – светимость Солнца. Тогда на Землю от астероида придет поток:  $F = A\Phi \frac{\pi D^2}{4} \frac{L_0}{4\pi R^2} \frac{1}{2\pi r^2}$ , а от Солнца поток  $F_0 = \frac{L_0}{4\pi R^2}$ . Отношение этих потоков:

$$\frac{F}{F_0} = A\Phi \frac{D^2}{4} \frac{1}{2r^2}.$$

Из формулы Погсона имеем:  $2.512^{m_0-m} = \frac{F}{F_0} = A\Phi \frac{D^2}{4} \frac{1}{2r^2}$ , где  $m_0$  – звездная величина Солнца.

$$\text{Отсюда: } D = r \times 2.512^{0.5(m_0-m)} \sqrt{\frac{8}{A\Phi}}.$$

Точки L4 и L5 расположены на орбите Земли в вершинах равносторонних треугольников Солнце-Земля-астероид. Поэтому расстояние до астероида  $r=R=1$  а.е. Фазовый угол будет равен  $60^\circ$ , значит фаза будет равна  $\Phi = \cos^2 \frac{\varphi}{2} = 0.75$ . Альбедо примем равным альбедо Луны  $A=0.1$ , а звездную величину Солнца  $-26.7$ . Значит диаметр астероида  $D=180$  м.

6.34. Найдем скорости объектов перед столкновением. Для этого найдем расстояние от Солнца до спутника в афелии его орбиты:  $Q=2a-q=3.5$  а.е. ( $q$  – расстояние в перигелии,  $a$  – большая полуось) и эксцентриситет орбиты спутника:  $q=a(1-e)$ , отсюда  $e=1-q/a=0.75$ . Т.к. столкновение происходит в афелии орбиты спутника, то скорость спутника будет равна

$$V = \sqrt{\frac{GM_0}{a} \frac{1-e}{1+e}} = V_k \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} = 21.1 * 0.38 = 8 \text{ км/сек, где } M_0 \text{ – масса Солнца, } V_k=21.1 \text{ км/сек –}$$

скорость кругового движения по орбите с  $a=2$  а.е. (скорость движения астероида).

Энергия, выделившаяся при столкновении будет равна (полный корректный вывод требует рассмотрения закона сохранения энергии совместно с законом сохранения импульса):  $E = \frac{mV_{om}^2}{2}$ ,

где  $V_{om}$  – скорость сближения объектов. Возможно 2 случая – столкновение на встречных курсах и столкновение спутника с догоняющим его астероидом.

1)  $V_{om}=29.1$  км/сек,  $E=8.5*10^{11}$  Дж, что соответствует  $2*10^5$  кг или 200 тонн в тротиловом эквиваленте.

2)  $V_{om}=13.1$  км/сек,  $E=1.7*10^{11}$  Дж, что соответствует  $4*10^4$  кг или 40 тонн в тротиловом эквиваленте.

6.35. Изменение блеска Солнца, наблюдаемого с Эриды, будет вызвано изменением расстояния до него из-за орбитального движения планеты. Расстояние в афелии орбиты  $R_a=a(1+e)$ , а в перигелии  $R_p=a(1-e)$ . По формуле Погсона амплитуда этого изменения будет равна:

$$\Delta m = 2.5 \lg \frac{E_p}{E_a} = 2.5 \lg \frac{R_a^2}{R_p^2} = 5 \lg \frac{R_a}{R_p} = 5 \lg \frac{1+e}{1-e} = 2.05$$

6.36. Обозначим большую звезду цифрой 1, а более меньшую цифрой 2. Найдем расстояние в periцентре и apoцентре для каждой звезды относительно центра масс. Центр масс находится по правилу рычага, соответственно можно записать:

$$\frac{R_{a1}}{R_{a2}} = \frac{M_2}{M_1}$$

$$R_{a1} + R_{a2} = R_{max}$$

Подставляя величины в данные формулы получаем  $R_{a1} = \frac{1}{4}R_{max} = 20$  а.е., а  $R_{a2} = \frac{3}{4}R_{max} = 60$  а.е. Аналогично проводятся расчеты для нахождения расстояний в моментperiцентра:

$$\frac{R_{p1}}{R_{p2}} = \frac{M_2}{M_1}$$

$$R_{p1} + R_{p2} = R_{min}$$

Подставляя величины в данные формулы получаем  $R_{p1} = \frac{1}{4}R_{max} = 15$  а.е., а  $R_{p2} = \frac{3}{4}R_{max} = 45$  а.е. Так как эксцентриситеты орбит двух звезд совпадают, то можно найти его только для орбиты одной из звезд:

$$\frac{R_{a1}}{R_{p1}} = \frac{1+e}{1-e}$$

$$\frac{4}{3}(1-e) = 1+e$$

Из этого выражения находится эксцентриситет  $e = \frac{1}{7} = 0,14$ .

Можно было сразу рассмотреть движение одной звезды относительно другой и получить тот же самый ответ.

Большая полуось двойной системы ( $a_1$ ) находится как половина суммы минимального и максимального расстояний.

$$a_1 = \frac{1}{2} * (R_{min} + R_{max})$$

$a_1 = 70$  а.е.

Период обращения системы можно найти с помощью уточненного третьего закона Кеплера.

Сравним эту систему с системой Солнце-Земля.

$$\frac{(M_1 + M_2)}{(M_C + M_3)} * \frac{T_1^2}{T_3^2} = \frac{a_1^3}{a_3^3}$$

Выражая  $T_1$ , получаем

$$T_1 = T_3 * \sqrt{\frac{(M_C + M_3)}{(M_1 + M_2)} * \frac{a_1^3}{a_3^3}}$$

Если принять  $a_3 = 1$  а.е. и  $T_3 = 1$  год, то получается:

$T_1 = 293$  года.

6.37. Данная звезда является спектрально-двойной. Слабая компонента линии натрия принадлежит звезде-спутнику. Исчезновения слабой линии указывают на то, что спутник периодически заходит за диск главной звезды, следовательно, мы находимся вблизи плоскости его орбиты. Предположим, что мы находимся точно в этой плоскости – оценочный характер задачи дает нам такое право. В этом случае синусоидальное изменение длины волны линии спутника указывает,

что его орбита близка к круговой, а орбитальная скорость связана с амплитудой изменения длины волны линии спутника  $\Delta\lambda$  соотношением:  $v=c\Delta\lambda/\lambda$ .

Получается, что скорость орбитального вращения спутника (30.5 км/с) близка к скорости орбитального вращения Земли. Умножив эту величину на продолжительность прохождения спутника за главной звездой, мы получаем диаметр главной звезды – 600 миллионов километров или 4 а.е., что в 500 раз больше диаметра Солнца. С Земли эта исполинская звезда видна как диск с диаметром 0,004", из чего мы получаем расстояние до звезды -- 1 кпк. Зная ее видимую звездную величину, мы получаем ее абсолютную звездную величину:  $m_0=m+5-5\lg r = -5.3$ .

Светимость звезды в 10 000 раз больше светимости Солнца, а радиус превышает солнечный в 500 раз. Поток энергии с единицы площади данной звезды в 25 раз меньше, чем у Солнца, следовательно, по закону Стефана-Больцмана, температура поверхности звезды меньше солнечной в  $25^{1/4}$  раз и составляет примерно 2700 К.

Для нахождения массы звезды сравним двойную систему с системой Солнце—Земля и будем считать массу спутника много меньшей массы звезды. Запишем обобщенный III закон Кеплера в относительных величинах:

$$a^3/T^2 M = v^3 T/M = \text{const.}$$

Здесь  $M$  – масса центрального тела,  $a$  – радиус круговой орбиты,  $T$  – период обращения и  $v$  – орбитальная скорость спутника. Учитывая, что последняя из этих величин у Земли и звезды-спутника практически одинаковы, а период обращения звезды-спутника составляет 30 лет, получаем, что масса звезды равна 30 массам Солнца. Данная звезда представляет собой огромный и холодный красный сверхгигант.

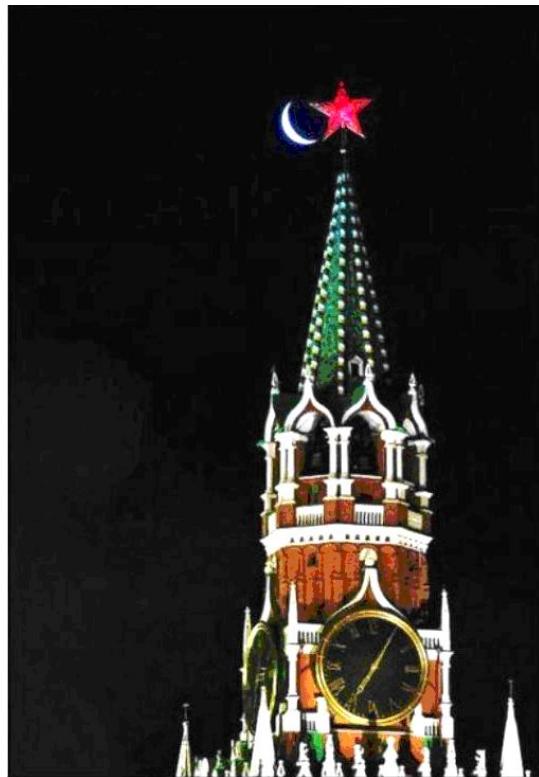
## **Часть 7. 66 Московская Астрономическая Олимпиада (2012 год)**

### **Дистанционный тур**

#### **1-4 классы**

7.1. Венера. Высоко можно наблюдать Юпитер.

7.2 Часы на Спасской башне Кремля показывают пять минут восьмого. Поскольку видна старая Луна, это утро. Совершенно темно в семь утра на широте Москвы бывает в декабре и начале января.



7.3. Невооруженным глазом можно видеть: спутники планет: Луна.

- Планеты: Марс на востоке, Юпитер на юго-западе.
- Галактики: M31 Туманность Андромеда
- Скопления: Плеяды
- В школьный телескоп:
  - спутники планет: Луна. 4 спутника Юпитера (галилеевы спутники).
  - Планеты: Марс на востоке, Уран на западе, Юпитер на юго-западе.
  - Галактики: M31 Туманность Андромеда, M82, M 33 в Треугольнике, M 101 «Водоворот».
  - Туманности: Туманность Ориона.
  - Скопления: Плеяды M45
  - Карликовые планеты: Церера, Веста.

7.4. Увидеть Луну днём можно, хотя и не всегда. Нельзя видеть днём полную Луну, так как в это время она под горизонтом. Растворяющий и старый серпик тоже нельзя видеть днём, потому что их яркость меньше яркости дневного неба. А вот Луну на второй неделе лунного месяца при ясном небе можно увидеть во второй половине дня; Луну на третьей неделе – в первой половине дня.

7.5 Лунные затмения происходят достаточно регулярно, до 3-х раз в год. Следующее полное затмение будет только 15 апреля 2014 года.

7.6 Невооружённым глазом, без защиты, наблюдать Солнце нельзя. Зоркие люди могут заметить Венеру на диске Солнца при использовании темного светофильтра. 6 мая 1761 во время прохождения планеты Венеры по диску Солнца Ломоносов открыл существование атмосферы у Венеры, впервые правильно истолковав «выпячивание» солнечного края при прохождении Венеры через край диска Солнца.

## 5-6 классы

7.7 От новолуния до следующего новолуния проходит 29,5 суток. За год укладывается 12 полных лунных (синодических) месяцев, и 11 суток остаётся в остатке. Поэтому 13 новолуний в году может только в том случае, если первое новолуние произошло не позже 11 января. Это выполняется только в каждом третьем году.

Вторая часть загадки тоже не вполне верна. Увидеть Луну днём можно, хотя и не всегда. Нельзя видеть днём полную Луну, так как в это время она под горизонтом. Растущий и старый серпик тоже нельзя видеть днём, потому что их яркость меньше яркости дневного неба. А вот Луну на второй неделе лунного месяца при ясном небе можно увидеть во второй половине дня; Луну на третьей неделе – в первой половине дня.

7.8 Сначала подумаем, где могло быть сделано наблюдение. Поскольку лежит снег, тропики исключаются. Поскольку тонкий месяц виден на тёмном небе, полярные широты, где эклиптика проходит вблизи горизонта, также исключаются. Наконец, южнее 30 параллели южной широты обе Медведицы не восходят, поэтому средние широты южного полушария тоже исключаются. Итак, место наблюдения - средние широты северного полушария.

Теперь подумаем, когда могло быть сделано наблюдение. Поскольку месяц тонкий, наблюдение сделано либо вечером сразу по окончании сумерек, либо утром перед рассветом. Медведиц на небе две, но в стихотворении речь идёт именно о Большой Медведице - Малая находится далеко от эклиптики, и под ней - на севере - в средних северных широтах Луна не бывает видна никогда. Эклиптика проходит через созвездия Льва и Девы, расположенные неподалёку от Большой Медведицы. Растущий месяц бывает в этих созвездиях, когда Солнце находится в созвездиях Близнецов и Рака, то есть летом. Следовательно, наблюдался старый месяц, что соответствует положению Солнца в Деве или Весах. С учётом выпавшего снега делаем вывод, что наблюдение сделано перед рассветом в ноябре.

7.9 Такое может произойти только на экваторе.

7.10 В этом созвездии две звезды нулевой величины, 5 звёзд второй и 4 третьей величины, причём среди ярчайших звёзд есть переменные. Вообще, по данным на 2011 год Орион занимает второе место среди созвездий по числу переменных звезд — их там насчитывается 2777. Созвездие легко разыскать по трём бело-голубым звёздам, изображающим пояс Ориона — Минтака ( $\delta$  Ориона), что по-арабски значит «пояс», Альнилам ( $\varepsilon$  Ориона) — «жемчужный пояс» и Альнитак ( $\zeta$  Ориона) — «кушак». Они отстоят друг от друга на одинаковом угловом расстоянии и расположены в линию, указывающую юго-восточным концом на голубой Сириус (в Большом Псе - со стороны Альнитак), а северо-западным концом — на красный Альдебаран (в Тельце). Наиболее яркие звёзды: Ригель, Бетельгейзе и Беллатрикс. В Орионе расположена видимая невооружённым глазом Большая туманность Ориона.

Средняя звезда в Мече Ориона —  $\theta$  Ориона, известная кратная звёздная система: четыре её ярких компонента образуют маленький четырёхугольник — Трапецию Ориона. Кроме того, там ещё четыре более слабые звезды. Все эти звёзды очень молоды, они недавно сформировались из межзвёздного газа в невидимом облаке, занимающем всю восточную часть созвездия Ориона. Лишь маленький кусочек этого облака, нагретый молодыми звёздами, виден под Поясом Ориона в небольшой телескоп и даже в бинокль как зеленоватое облачко; это самый интересный объект в созвездии — Большая туманность Ориона (M42), удалённая от нас примерно на 1500 световых лет

и имеющая диаметр 20 световых лет (в 15 000 раз больше диаметра Солнечной системы). Она была первой туманностью, сфотографированной астрономами (Генри Дрейпер, 1880).

На  $0,5^\circ$  к югу от восточной звезды Пояса ( $\zeta$  Ориона) расположилась широко известная тёмная туманность Конская Голова (B 33), которая хорошо видна на ярком фоне туманности IC 434.

7.11а (5-8 класс) По расположению Большой Медведицы заключаем, что изображён западный участок горизонта. Над горизонтом видна полоса зари, следовательно, это вечер. Комета находится в созвездии Волопаса, её голова рядом со звездой Арктур. Слева вверху - созвездие Северная Корона.

Хвост кометы всегда направлен от Солнца, следовательно, направление на Солнце проходит левее (восточнее) направления на Спиру. Таким образом, Солнце находится на границе созвездий Девы и Весов. Картина написана в конце октября - начале ноября.

7.11б (9-11 класс) Комета была открыта итальянским астрономом Джованни Донати 2 июня 1858 г. Она была также первой сфотографированной кометой. Наиболее близкого к Земле положения достигла 10 октября 1858 г. По расположению Большой Медведицы заключаем, что изображён западный участок горизонта. Над горизонтом видна полоса зари, следовательно, это вечер. Комета находится в созвездии Волопаса, её голова рядом со звездой Арктур. Слева вверху - созвездие Северная Корона. Хвост кометы всегда направлен от Солнца, следовательно, направление на Солнце проходит левее (восточнее) направления на Спиру. Таким образом, Солнце находится на границе созвездий Девы и Весов. Картина написана в конце октября - начале ноября.



### 7-8 классы

7.12 6 июня 2012 года Венера появится у северо-восточного лимба Солнца. Невооружённым глазом, без защиты, наблюдать Солнце нельзя. Зоркие люди могут заметить Венеру на диске Солнца при использовании темного светофильтра. 6 мая 1761 во время прохождения планеты Венеры по диску Солнца Ломоносов открыл существование атмосферы у Венеры, впервые правильно истолковав «выпячивание» солнечного края при прохождении Венеры через край диска Солнца.

7.13 Выясним, в какую сторону горизонта могут быть направлены рога месяца. Молодой месяц бывает виден после захода Солнца и для наблюдателя из средних широт северного полушария располагается на небесной сфере левее (то есть южнее) точки захода Солнца. Старый месяц бывает виден перед восходом Солнца и располагается на небесной сфере правее (то есть тоже южнее) точки восхода Солнца. В обоих случаях рога месяца направлены от Солнца, то есть к югу. Если верить приметам, то скорей зимы после 23 октября не бывает, а ветра поздней осенью дуют исключительно южные.

#### 7.14 Решение.

а) Угловой размер самолёта составляет примерно половину лунного диска, т.е. около  $15'$ . При длине самолёта  $L$  от 30 до 40 м (современный лайнер) получаем расстояние  $3438L/15$ , т.е. от 7 до 9 км – вполне разумный ответ.

б) Определить стороны горизонты нам поможет рельеф Луны. Лунный терминатор проходит приблизительно с севера на юг (север слева, где Море Дождей). Нос самолёта проецируется на Море Кризисов, следовательно, сверху на картинке лунный восток, смотрящий на земной запад). Направление полёта самолёта – запад-северо-запад.

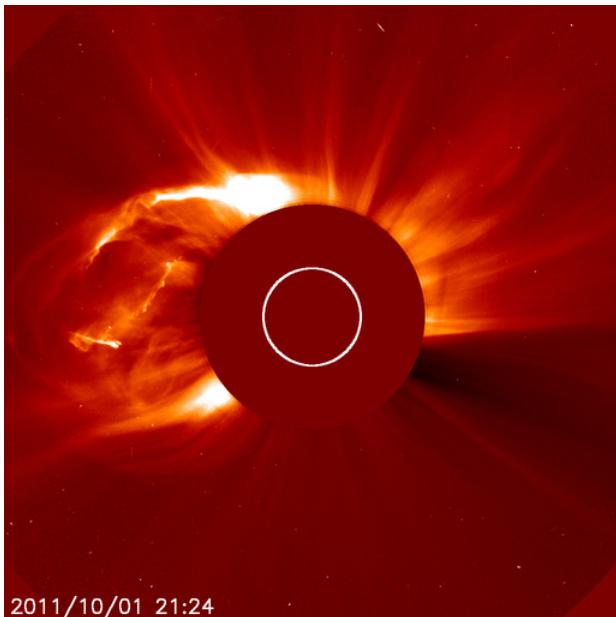
в) Поскольку самолёт мы видим «снизу», Луна находится высоко над горизонтом, вблизи кульминации. Судя по положению терминатора, возраст Луны 8-9 суток, и кульминирует она в 19-20 часов местного времени.

г) Т.к. Луна кульминирует вблизи зенита, фото сделано в тропических широтах. (Действительно, фото сделано на северо-востоке Австралии).

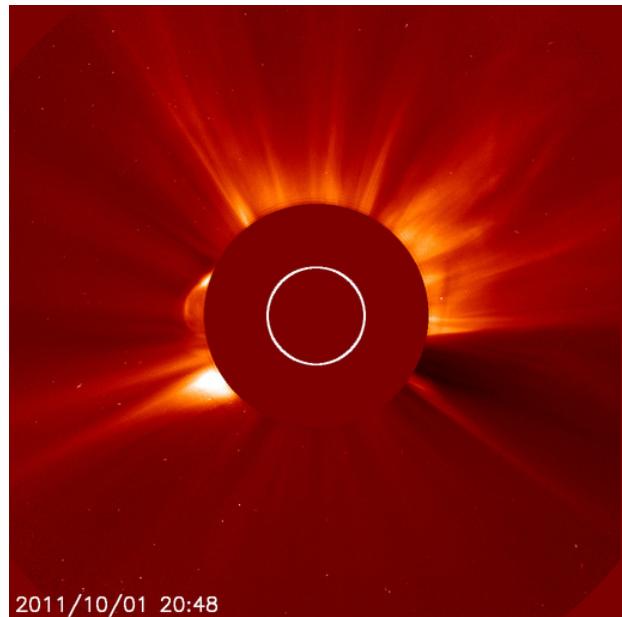


7.15 Время, за которое распространился ВКМ (выброс корональной массы) - 36 мин или 2160 с.

Диаметр Солнца равен 1 392 000 км. Размер выброса в 3 раза больше.  $R = 4 176 000$  км.  
Скорость  $V=R/t=4176\ 000\ 000\ \text{м} / 2160\ \text{с} = 1,93\ 106\ \text{м/с}$ .



2011/10/01 21:24



2011/10/01 20:48

7.16 75% образующихся сейчас звезд в Галактике рождается в ее спиральных рукавах, 15% - в межрукавном пространстве и 10% - в районе центра Галактики в области диаметром около 1 кпк. Области звездообразования выдает, как правило, присутствие массивных горячих и ярких звезд. Их век недолог, и потому наличие этих звезд есть явное указание на то, что родились они где-то здесь неподалеку в течение ближайших миллионов лет. Косвенными индикаторами звездообразования являются инфракрасное излучение пыли, нагретой горячими звездами, а также линии излучения водорода и других элементов, ионизованных этими звездами.

Один из ближайших к нам очагов недавнего звездообразования находится в направлении созвездия Орион. Область, заполненная молодыми яркими звёздами, и нагретым их излучением горячим газом, расположилась на краю гигантского холодного облака, занимающего почти все созвездие. В Туманности Ориона находится около 700 звезд, на различных этапах становления и развития.

В отражающей туманности M78 находится скопление примерно 45 переменных молодых звезд типа Т Тельца. Температура в их ядрах пока еще недостаточна, чтобы запустить термоядерную реакцию, которая начнётся приблизительно через 100 млн лет после образования звезды.

M43 (Messier 43, Мессье 43, другое обозначение — NGC 1982) — эмиссионная туманность в созвездии Орион. Является областью ионизированного водорода, где происходят процессы активного звездообразования.

В восточной части Туманности Конская голова (IC 434) находятся темные облака Lynds 1630, где формируются звезды.

Петля Барнarda — это остаток от взрыва сверхновой звезды, значит это область звёздообразования

7.17 Парсек связан с измерением расстояний до звезд по их параллаксу и составляет

1пк = 3,263 светового года

1кпк = 1000 пк

Расстояние - 8,5 кпк

$3,263 \times 1000 \times 8,5 = 277735,5$  св. лет от центра Галактики до Солнца

Наше Солнце находится, на расстоянии около 28 000 световых лет от центра Галактики.

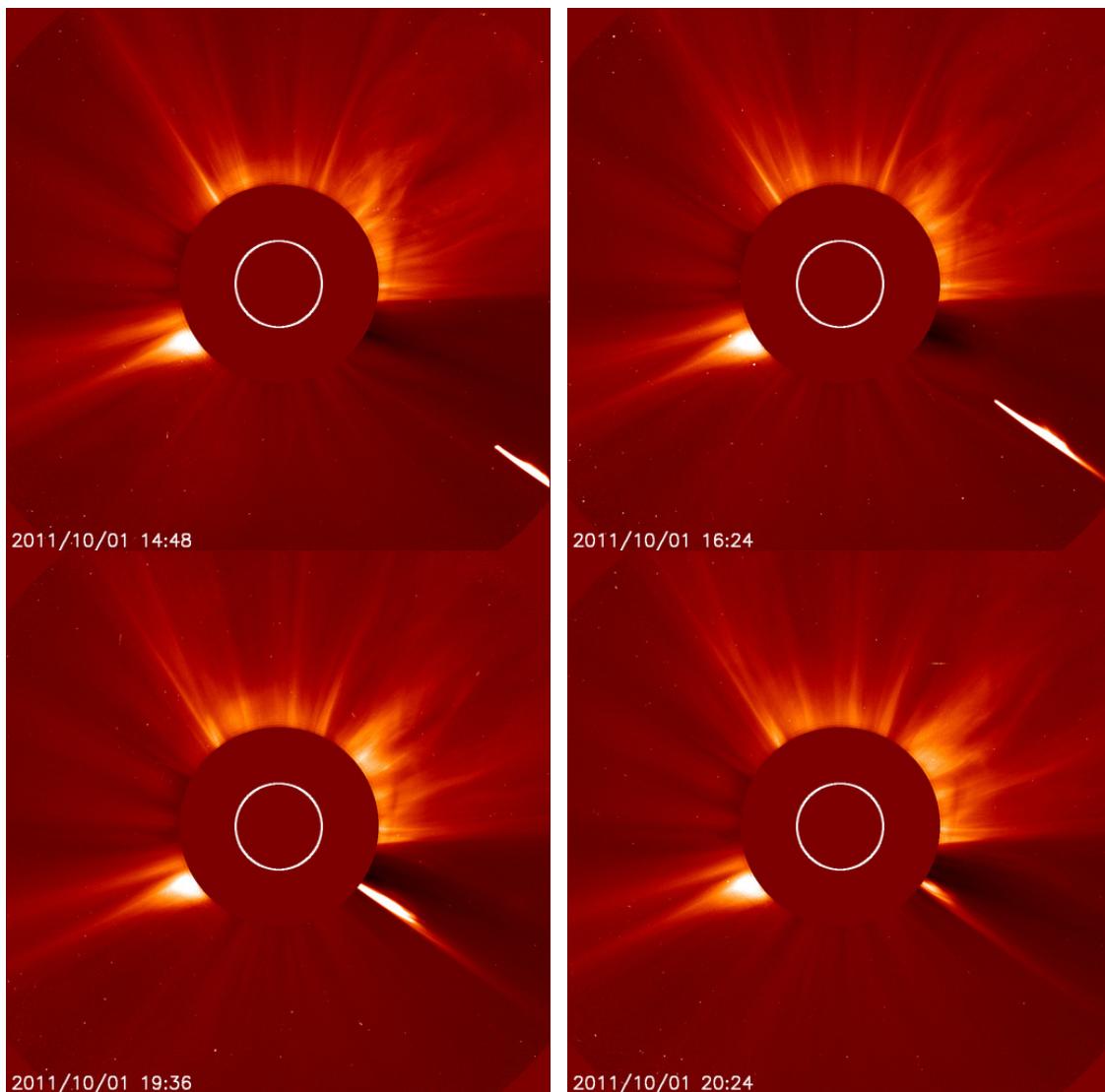
Свет идет 28 тысяч лет.

7.18 В 1762 г. М.В.Ломоносов построил телескоп, состоявший только из одного вогнутого зеркала и окуляра. Только в 1789 г. Гершель построил аналогичный телескоп, имя Гершеля было присвоено телескопам такого рода. Почему было так важно построить такие телескопы и чем они отличаются от предыдущих (системы Ньютона, системы Грегори, системы Кассегрена)?

## 9– 11 классы

7.19 6 июня 2012 года Венера появится у северо-восточного лимба Солнца. Невооружённым глазом, без защиты, наблюдать Солнце нельзя. Зоркие люди могут заметить Венеру на диске Солнца при использовании темного светофильтра. 6 мая 1761 во время прохождения планеты Венеры по диску Солнца Ломоносов открыл существование атмосферы у Венеры, впервые правильно истолковав «выпячивание» солнечного края при прохождении Венеры через край диска Солнца.

7.20 Диаметр белой окружности, изображающей Солнце, был равен 18 мм. Расстояние между этой белой окружностью и кометой на первом снимке – 50 мм, а расстояние между этой белой окружностью и кометой на втором снимке – 33 мм. Время между снимками – 1 час 36 минут. За это время комета прошла 17 мм, т.е. почти диаметр Солнца. А он в реальности равен 1392000 км. Значит, если считать, что комета движется в плоскости, параллельной плоскости фотографии, а не под углом к ней, то скорость примерно равна

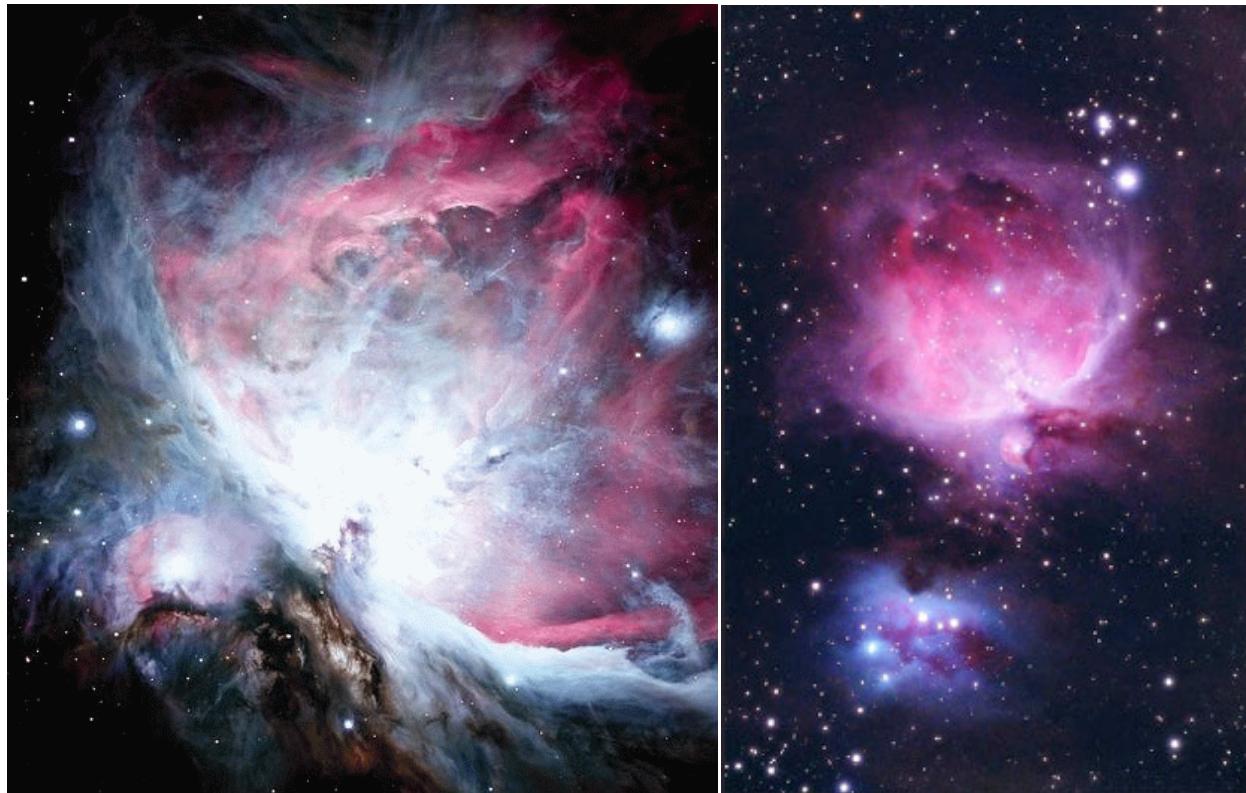


Если же комета движется под углом, то скорость больше 228 км/с.

7.21 Скорость вращения вещества на экваторе нейтронной звезды-пульсара можно оценить по формуле:  $V=2\pi R/T$ ,  $V=2 \cdot 3,14 \cdot 10 / 0,5 = 125,6$  км/с

Ответ: 126 км/с

7.22 Самая известная туманность - туманность Ориона, или М 42, видна невооруженным глазом в созвездии Ориона. Иногда эту туманность, чтобы отличить от других туманностей в созвездии Ориона, называют Большой туманностью Ориона. Большую туманность Ориона можно наблюдать невооруженным глазом в созвездии Ориона, ниже и левее так называемого пояса Ориона, состоящего из трех легко узнаваемых звезд.



Газовая туманность Большая туманность Ориона светится за счет молодых горячих звезд спектрального класса О. Эти звезды имеют мощное ультрафиолетовое излучение, которое ионизирует газ туманности Ориона. Такой ионизованный газ, в котором водород находится в ионизованном состоянии, т.е. потерял свой электрон, называют зоной Н II. В зонах Н II межзвездный газ практически полностью ионизован и нагрет до температуры  $T \sim 10^4$  К ультрафиолетовым излучением (с длиной волны  $\lambda < 912\text{Å}$ ) горячих звезд ранних спектральных классов.

Большая туманность Ориона представляет собой огромную область звездообразования и является одной из самых известных астрономических туманностей. Она расположена сравнительно недалеко от нас. Расстояние до туманности Ориона 460 пк. Диаметр туманности 35¢ или 5 пк. Масса 300 М Солнца.

На детальной фотографии туманности Ориона отчетливо видны тонкие волокна и толстые слои пыли и газа. Большую туманность Ориона можно наблюдать невооруженным глазом в созвездии Ориона, ниже и левее так называемого пояса Ориона, состоящего из трех легко узнаваемых звезд пояса Ориона. В каталоге Мессье туманность Ориона значится под номером M42 (NGC1976). Туманность расположена в нашей Галактике в том же самом спиральном рукаве, что и Солнце.

Большая туманность Ориона, голубоватые отражательные туманности, темная туманность Конская Голова – части гигантского молекулярного облака в созвездии Орион, размеры которого достигают нескольких сотен световых лет.

Все это части гигантского молекулярного облака, который простирается на 100 световых лет или на 50 диаметров Луны. Весь же комплекс гигантского молекулярного облака, в который входят Большая туманность Ориона, Туманность Конская Голова и другие туманности, обречен на медленный распад в течение примерно 100 000 лет.

7.23 Пользуясь законом Стефана-Больцмана, оцените светимость нейтронной звезды с температурой  $10^7$  К и радиусом 10 км в единицах светимости Солнца.

$$\frac{L}{L_\odot} = \frac{4\pi R^2 \sigma T^4}{4\pi R_\odot^2 \sigma T_\odot^4} = \left(\frac{R}{R_\odot}\right)^2 \left(\frac{T}{T_\odot}\right)^4 = \left(\frac{10 \text{ км}}{6,9 \cdot 10^5 \text{ км}}\right)^2 \left(\frac{10^7 \text{ К}}{6 \cdot 10^3 \text{ К}}\right)^4 = 1,6 \cdot 10^3$$

7.24 Ответ на первый вопрос.

Теоретическое или дифракционное разрешение приблизительно равно отношению длины волны излучения к диаметру объектива

Для видимых лучей  $\lambda = 500$  нм.

$$\beta = \frac{\lambda}{D} = \frac{5 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{0,2 \text{ м}} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ радиан} = 0,5''$$

Ответ на второй вопрос.

$$n = \frac{F}{f} = \frac{3 \text{ м}}{0,01 \text{ м}} = 300 \text{ раз}$$

### Очный тур

#### 7 класс и моложе

7.25 Раз Солнце освещает сетчатку глаза, значит мы его видим. Видим что-либо мы не только прямо перед собой, но и когда объект сбоку от нас. Для этого есть специальный термин — боковое зрение. Возникает вопрос, насколько «вбок» видит человек, или каково наше поле зрения?

Оценить поле зрения нетрудно. Вытяните перед собой обе руки и посмотрите вперед вдоль них. Продолжая смотреть вперед, разводите руки в стороны, пока не перестанете их видеть. Вы обнаружите, что ваши руки направлены практически в противоположные стороны.

Солнце на полюсах в течение года поднимается до высоты  $23,5^\circ$ . Как мы уже определили, мы сможем увидеть его на такой высоте. На других широтах Солнце может подниматься еще выше. Получается, что мы можем увидеть Солнце на любой широте.

7.26 Очевидно, что под воронками поэт подразумевает кратеры. Возразить на это можно следующее:

1. Сатурн — это газовый гигант. Его видимая поверхность — это его атмосфера. Поэтому не Сатурне не бывает кратеров;
2. Сейчас принято считать, что в подавляющем большинстве случаев кратеры образованы а результате падения метеоритов, а не в результате вулканической деятельности;
3. На Луне нет вулканов.

7.27 Старт корабля «Восток» с пилотом-космонавтом Юрием Алексеевичем Гагариным на борту был произведён 12 апреля 1961 года в 09:07 по московскому времени с космодрома Байконур. Позывной Гагарина был «Кедр».

В самом начале подъёма ракеты Гагарин воскликнул: «Поехали!». Ракета-носитель «Восток» проработала без замечаний, но на завершающем этапе не сработала система

радиоуправления, которая должна была выключить двигатели 3-й ступени. Выключение двигателя произошло только после срабатывания дублирующего механизма (таймера), но корабль уже поднялся на орбиту, высшая точка которой (апогей) оказалась на 100 км выше расчётной: рассекреченные параметры орбиты были  $327 \times 180$  км. Сход с такой орбиты с помощью «аэродинамического торможения» мог занять по разным оценкам от 20 до 50 дней

На орбите Гагарин провёл простейшие эксперименты: пил, ел, делал записи карандашом. «Положив» карандаш рядом с собой, он случайно обнаружил, что тот моментально начал упливать. Из этого Гагарин сделал вывод, что карандаши и прочие предметы в космосе лучше привязывать. Все свои ощущения и наблюдения он записывал на бортовой магнитофон. До полёта ещё не было известно, как человеческая психика будет вести себя в космосе, поэтому была предусмотрена специальная защита от того, чтобы первый космонавт в порыве помешательства не попытался бы управлять полётом корабля. Чтобы включить ручное управление, ему надо было вскрыть запечатанный конверт, внутри которого лежал листок с кодом, набрав который на панели управления, можно было бы её разблокировать.

В конце полёта тормозная двигательная установка (ТДУ) конструктора Исаева проработала успешно, но с недобором импульса, так что автоматика выдала запрет на штатное разделение отсеков. В результате, в течение 10 минут перед входом в атмосферу корабль беспорядочно кувыркался со скоростью 1 оборот в секунду. Гагарин решил не пугать руководителей полёта (в первую очередь — Королёва) и в условном выражении сообщил о нештатной ситуации на борту корабля. Когда корабль вошёл в более плотные слои атмосферы, то соединяющие кабели перегорели, а команда на разделение отсеков поступила уже от термодатчиков, так что спускаемый аппарат наконец отделился от приборно-двигательного отсека. Спуск происходил по баллистической траектории (как и у остальных космических кораблей серии «Восток» и «Восход»), то есть с 8—10-кратными перегрузками, к которым Гагарин был готов. Сложнее было пережить психологические нагрузки — после входа капсулы в атмосферу загорелась обшивка корабля (температура снаружи при спуске достигает 3—5 тысяч градусов Цельсия), по стёклам иллюминаторов потекли струйки жидкого металла, а сама кабина начала потрескивать.

На высоте 7 км в соответствии с планом полёта Гагарин катапультировался, после чего капсула и космонавт стали спускаться на парашютах раздельно (по такой же схеме происходила посадка и остальных пяти кораблей из серии «Восток»). Последней проблемой в этом полёте оказалось место посадки — Гагарин мог опуститься на парашюте в ледяную воду Волги. Гагарину помогла хорошая предполётная подготовка — управляя стропами, он увлёк парашют от реки и приземлился в 1,5—2 километрах от берега.

7.28 Поэт описывает восход полной Луны после полуночи, в предутренний час. Полная Луна расположена на небесной сфере напротив Солнца, восходит вечером и заходит одновременно с восходом Солнца. Перед рассветом восходит старая Луна в виде серпика, повернутого влево.

## 8-9 класс

7.29 Предположим сначала, что Новосибирск и Москва расположены в середине своих часовых поясов. Предположим, также, что самолёт летит вдоль параллели, на которой расположены Москва и Новосибирск. В таком случае, чтобы вылететь и приземлиться в одно и то же поясное время самолёт должен двигаться с той же скоростью, что и скорость вращения Земли на широте Москвы (Новосибирска).

Произвольная точка на земном экваторе за звездные сутки проходит расстояние 40000 км. Значит, она движется со скоростью около 1700 км/ч. На широте ф произвольная точка будет двигаться со скоростью в  $\cos \phi$  раз меньшей, т.е. 930 км/ч. Это немного превышает скорость пассажирских самолетов, а если учесть, что для взлета и посадки требуется дополнительные маневры, то средняя скорость реальных самолетов окажется еще меньше.

На точность наших расчетов повлияли следующие факторы. Во-первых, Москва и Новосибирск не находятся в серединах своих часовых поясов. Во-вторых, самолеты летают по путям, которые приблизительно совпадают с дугами больших кругов, проходящих через точки отправления и назначения, а не вдоль параллелей.

7.30 Сделаем рисунок: изобразим земной шар (точнее, его сечение плоскостью московского меридиана) и обозначим О — центр Земли, М — Москва и S — южный полюс. Пренебрегая сжатием Земли, будем считать треугольник MOS равнобедренным: угол MOS в нём равен  $146^\circ$ , т.к. широта Москвы —  $56^\circ$ . В точке М отрезок MO — это вертикаль, а MS — направление на южный полюс; угол между ними равен

$$(180^\circ - 146^\circ) : 2 = 17^\circ.$$

Теперь вычислим расстояние. Сторона MS треугольника равна

$$2 \cdot OM \cdot \cos 17^\circ = 1,93 \cdot OM.$$

Приняв земной радиус OM равным среднему (6370 км), получим MS = 12300 км.

7.31 Возможно ли, чтобы при наблюдении с Тритона Нептун «оставался на прежнем месте»? — Да, поскольку это синхронный спутник; период его вращения вокруг своей оси равен периоду обращения вокруг планеты, и направления вращений совпадают. Поэтому Тритон, подобно Луне, повёрнут к Нептуну одной своей стороной, и для наблюдателя, находящегося на этой стороне Тритона, Нептун висит над горизонтом в одном и том же месте.

Возможно ли, чтобы «Солнце ходило по кругу»? — Да, поскольку ось вращения Тритона сильно наклонена к эклиптике. Обращаясь вместе с Нептуном вокруг Солнца, Тритон попеременно «показывает» Солнцу то один, то другой свой полюс. Наблюдатель, расположенный в приполярной зоне, действительно может видеть незахождущее Солнце, описывающее полный круг за период вращения спутника (примерно за 6 суток).

Ошибка автора в другом. Персонаж видит Нептун низко над западным горизонтом, а Солнце — низко над восточным. Однако при таком расположении светил фаза Нептуна должна быть почти полной. Тогда как автор описывает «большой полумесяц».

7.32 На первый взгляд кажется, что утверждение правильное. Действительно, вплоть до 2100 года расхождений в счёте високосных лет у старого и нового стиля не будет. Расхождение появится 14 марта 2100 года по новому стилю, которому будет соответствовать 29 февраля по старому.

Тем не менее, утверждение из учебника не совсем точно. Дело в том, что следующий, XXII век начнётся только 1 января 2101 года! (Поскольку нулевого года в нашей эре не было, счёт лет в столетии начинается с первого года и заканчивается сотым). Таким образом, в конце XXI века будет период в несколько месяцев, когда разница стиля станет равной уже не 13, а 14 суток.

7.33 Место, из которого можно видеть все созвездия земного неба, существует — это экватор. При удалении наблюдателя в северное полушарие становятся невидимыми объекты, расположенные вблизи южного полюса мира, при удалении в южное полушарие — расположенные вблизи северного полюса мира. Самое северное из упомянутых созвездий — Дельфин, его центр имеет склонение примерно  $15^\circ$ , поэтому Дельфин не восходит южнее  $75^\circ$  параллели южной широты. Самое южное из упомянутых созвездий — Павлин, его центр имеет склонение примерно  $-65^\circ$ , поэтому Павлин не восходит севернее  $25^\circ$  параллели северной широты. Итак, между  $25^\circ$  параллелью северной широты и  $75^\circ$  параллелью южной широты каждое из упомянутых созвездий бывает видно над горизонтом.

Чтобы ответить на второй вопрос задачи, нужно знать прямые восхождения созвездий. Центр Часов имеет прямое восхождение  $3.5h$ , центр Весов  $-15h$ , центр Павлина  $-19.5h$ , центр Дельфина  $-20.5h$ . На экваторе все светила проводят над горизонтом и под горизонтом по половине суток, и несколько объектов могут быть видны одновременно, если их прямые восхождения лежат в интервале менее  $12h$ . Поэтому с экватора можно увидеть одновременно или Весы, Павлина и Дельфина, или Павлина, Дельфина и Часы.

И тем не менее увидеть все четыре созвездия над горизонтом одновременно возможно. Учтём, что Дельфин — самое северное из них — по прямому восхождению расположен примерно

в середине интервала. Удалимся в средние южные широты, где Павлин уже не заходит, и выберем момент, когда Дельфин кульминирует на севере. При этом Весы, опережающие Дельфина в суточном движении на пять часов, будут видны на западе, а Часы, отстающие на семь часов, — над юго-восточным горизонтом. Такую картину можно наблюдать в полночь в конце июля-начале августа (когда прямое восхождение Солнца равно 8.5h), до полуночи в сентябре-октябре и после полуночи в июне-июле.

## 10-11 класс

7.34 Предположим сначала, что Новосибирск и Москва расположены в середине своих часовых поясов. Предположим, также, что самолет летит вдоль параллели, на которой расположены Москва и Новосибирск. В таком случае, чтобы вылететь и приземлиться в одно и то же поясное время самолет должен двигаться с той же скоростью, что и скорость вращения Земли на широте Москвы (Новосибирска).

Произвольная точка на земном экваторе за звездные сутки проходит расстояние 40000 км. Значит, она движется со скоростью около 1700 км/ч. На широте  $\phi$  произвольная точка будет двигаться со скоростью в  $\cos \phi$  раз меньшей, т.е. 930 км/ч. Это немного превышает скорость пассажирских самолетов, а если учесть, что для взлета и посадки требуется дополнительные маневры, то средняя скорость реальных самолетов окажется еще меньше.

На точность наших расчетов повлияли следующие факторы. Во-первых, Москва и Новосибирск не находятся в серединах своих часовых поясов. Во-вторых, самолеты летают по путям, которые приблизительно совпадают с дугами больших кругов, проходящих через точки отправления и назначения, а не вдоль параллелей.

7.30 Предположим сначала, что Новосибирск и Москва расположены в середине своих часовых поясов. Предположим, также, что самолет летит вдоль параллели, на которой расположены Москва и Новосибирск. Поскольку Новосибирск находится восточнее Москвы, самолет летит с востока на запад, т.е. Против вращения Земли. В таком случае, чтобы вылететь и приземлиться в одно и то же поясное время самолет должен двигаться с той же скоростью, что и скорость вращения Земли на широте Москвы (Новосибирска).

Теперь учтем, что Москва и Новосибирск не обязательно должны располагаться в середине своих часовых поясов. Пусть  $n$  — разница часовых поясов Москвы и Новосибирска. Один часовой пояс занимает на поверхности Земли полосу  $15^\circ$ . Если Москва расположена на западной границе часового пояса, а Новосибирск на восточной границе, то расстояние между ними составит  $15^\circ (n + 1)$ , а если Москва находится на восточной границе пояса (как есть на самом деле), а Новосибирск на западной, то расстояние между ними составит  $15^\circ (n - 1)$ . Длина одного градуса на широте Москвы составляет 62 км. Значит расстояние между Москвой и Новосибирском составляет  $930 (n \pm 1)$  км. Отсюда мы видим, что абсолютная погрешность определения скорости самолета составляет 930 км/ч, вне зависимости от того, сколько часовых поясов разделяет Москву и Новосибирск. Относительная погрешность равна  $1/n$ .

7.35 Экваториальная монтировка телескопа устроена таким образом, чтобы одна из осей (полярная ось), вокруг которой может поворачиваться телескоп, совпадала бы с осью мира. Тогда во время наблюдений достаточно поворачивать телескоп вокруг этой оси со скоростью вращения небесной сферы, чтобы исследуемый объект всегда оставался неподвижным в поле зрения.

На разных широтах наклон оси мира к горизонту разный. Значит, при размещении телескопа на другой широте необходимо каким-либо образом изменить наклон его полярной оси.

Поскольку как Чили, так и Австралия находятся в южном полушарии, то полярная ось телескопов должна быть направлена на южный полюс мира. Для наблюдателя, смотрящего в направлении северного полюса мира, небесная сфера вращается против часовой стрелки, а для наблюдателя, смотрящего на южный полюс мира — по часовой стрелке. А это значит, что необходимо, соответствующим образом перенастроить часовой механизм телескопа (устройство, поворачивающий телескоп вокруг полярной оси).

7.36 Звездная величина Плутона меняется в зависимости от того, как далеко он расположен от Солнца и от Земли, но не бывает меньше 13.5, в то время как Галилей в свой телескоп с диаметром апертуры менее 4 см видел звезды примерно до +8 величины. Так что, он никак не мог разглядеть Плутон. Не зря его открыли только в XX веке с помощью фотопластинок.

Дополнительным препятствием для наблюдения Плутона вместе со спутниками Юпитера может служить следующее. Перигелий Плутон прошел примерно 20 лет назад (известно, что в конце XX века Плутон был ближе к Солнцу, чем Нептун). В перигелии Плутон максимально поднимается над плоскостью эклиптики. Галилей делал свои открытия около 400 лет назад, что составляет 1.6 250-летнего периода Плутона. Т.е., во времена Галилея Плутон не мог находиться вблизи Юпитера.

7.37 Приближённый ответ можно получить при помощи чертежа, выполненного с соблюдением масштаба.

Солнце обозначим в центре рисунка. Орбиту Земли изобразим в виде окружности радиусом 1 а.е. или 500 световых секунд (удобный масштаб в 1 см 0.2 а.е. или 100 св.с.). Положение Земли на орбите выберем произвольно. Орбита Венеры имеет диаметр 0.72 а.е (3.6 см). Осталось отметить на этой окружности точки, удалённые от Земли на 3 см. Таких точек (возможных положений Венеры) будет две. Из чертежа понятно, что направление от Венеры к Солнцу примерно перпендикулярно лучу зрения, поэтому фаза Венеры близка к 0.5.

Для получения точного ответа нужно применить тригонометрию. Сначала определим угол фазы SVT между направлениями с Венеры на Солнце и на Землю. В треугольнике SVT сторона ST равна 1 а.е., сторона SV равна 0.72 а.е. (орбиты планет считаем окружностями), сторона TV =  $c \cdot t = 3 \cdot 108 \text{ м/c} \cdot 300 \text{ с} = 9 \cdot 1010 \text{ м} = 0.6 \text{ а.е.}$

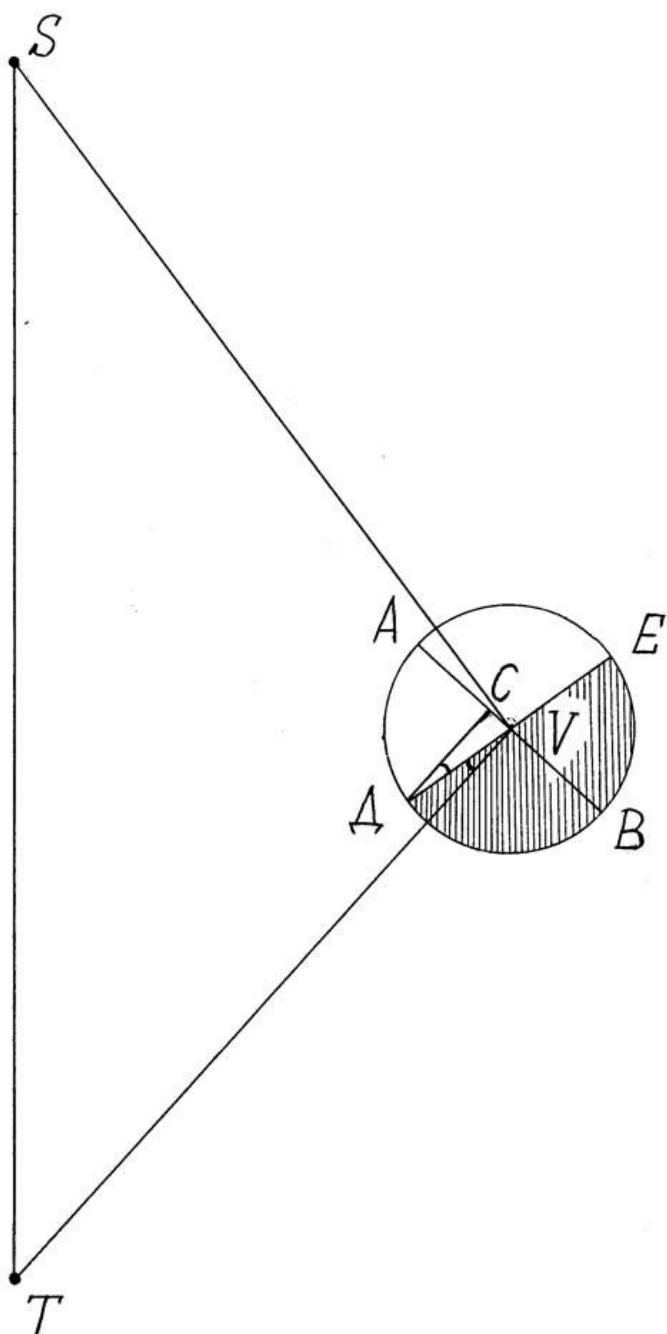
По теореме косинусов  
 $\cos \angle SVT = (SV^2 + TV^2 - ST^2) / (2 \cdot SV \cdot TV)$   
 $= -0.14$ , а сам угол  $\angle SVT = 98^\circ$

Поскольку плоскость терминатора DE перпендикулярна направлению на Солнце VS, угол DVT между лучом зрения земного наблюдателя и терминатором равен SVT -  $90^\circ = 8^\circ$ . Фазой планеты называют отношение освещённой части диаметра планеты ко всему диаметру:  $\Phi = AC/AB$ .

В треугольнике CDV угол CDV = DVT =  $8^\circ$ , а сторона CV = DV · sin $8^\circ$  = (AB/2) · sin $8^\circ$ .

Таким образом,

$$\Phi = (AB/2 - CV) / AB = (AB/2 - (AB/2) \cdot \sin 8^\circ) / AB = (1 - \sin 8^\circ) / 2 = 0.43.$$





7.38 Внимательный наблюдатель может опознать на фото участок звёздного неба (Справа Кастор и Поллукс, в центре Ясли, слева голова Льва и Регул) и вспомнить, что эклиптика расположена чуть ниже. Однако задачу можно решить и «в общем виде». В момент противостояния, в середине петли, Марс находится ближе к Земле, чем в других точках траектории. На небесную сферу петля спроектировалась севернее остальной траектории потому, что земной наблюдатель смотрел на планету «снизу», следовательно, Марс находился севернее плоскости эклиптики.

7.39 Сначала найдём абсолютную звёздную величину каждой из цефеид. Она однозначно определяется из зависимости

$$M_V = -1,01 + 2,87 \cdot \lg P$$

Отсюда получаем

$$M_1 = -2,38^m \quad M_2 = -5,02^m$$

Далее нужно использовать формулу Погсона

$$M - m = -5 \cdot \lg \left( \frac{r}{10} \right)$$

Отсюда получаем

$$r_1 = 7,52 \text{ кпк} \quad r_2 = 10,1 \text{ кпк}$$

То есть первое скопление ближе в 1.34 раза.

Но этот ответ будет неверным, так как не учтено межзвёздное поглощение, играющее значительную роль на таких расстояниях. Формула с учётом поглощения

$$M - m = -5 \cdot \lg\left(\frac{r}{10}\right) - \tau \cdot r$$

Результат в этом случае будет

$$r_1 = 2,44 \text{ кпк} \quad r_2 = 1,85 \text{ кпк}$$

То есть второе скопление ближе в 1.32 раза. Основная сложность состоит в получении этого результата, то есть в решении данного уравнения.

Наилучшие по точности решения могут быть получены графическим способом, а также с задания зависимости расстояние — звёздная величина с помощью таблицы значений. Также можно решить это уравнение с помощью приближений, например, с использованием приближения

$$e^x \sim 1 + x \quad 10^x \sim \ln(x)$$

То есть:

$$\begin{aligned} 10^{0,4 \cdot (M-m)} &= \frac{r}{10} \cdot 10^{0,4 \cdot \tau \cdot r} \\ 10^{0,4 \cdot (M-m)} &\approx \frac{r}{10} \cdot (1 + 0,4 \cdot \tau \cdot r) \end{aligned}$$

Из полученного квадратного уравнения можно получить расстояния

$$r_1 = 1,87 \text{ кпк} \quad r_2 = 1,80 \text{ кпк}$$

и соответствующее отношение 1.04. Затем этот ответ должен быть уточнён «подбором».

Ответ: Второе скопление ближе в 1.32 раза.

7.40 Оценим среднюю температуру на планете в periцентре как 300 К, в apoцентре — как 250 К. Будем считать, что поток тепла из недр планеты пренебрежимо мал по сравнению с излучением от звезды. Примем также, что альбедо планеты мало зависит от её температуры (в холодный сезон поверхность светлее, в тёплый в атмосфере больше облаков). Тогда уравнение теплового баланса будет выглядеть так:

$$E_1 \pi R^2 = \sigma T^4 4\pi R^2$$

, где  $R$  — радиус планеты,  $E_1$  — поток излучения через 1 кв.метр её сечения, а  $\sigma$  — постоянная Стефана-Больцмана.

Отсюда:

$$T^4 = \frac{E_1}{4\sigma},$$

, а отношение четвёртых степеней температур в periцентре и apoцентре равно отношению потоков излучения. С другой стороны, поток излучения ослабевает обратно пропорционально квадрату расстояния до звезды. Поэтому отношение потоков в periцентре и apoцентре равно:

$$\left(\frac{1+e}{1-e}\right)^2$$

, где  $e$  — эксцентриситет орбиты планеты. После подстановки этого отношения в предыдущее получаем:

$$\left(\frac{T_n}{T_a}\right)^2 = \left(\frac{1+e}{1-e}\right)$$

, откуда  $e = 0.18$  — всего вдвое больше, чем у Марса.

## **Часть 8. 67 Московская Астрономическая Олимпиада (2013 год)**

### **Дистанционный тур**

#### **1-4 классы**

8.1. Юпитер

8.2. Змееносец

8.3. В Астронете на карте звёздного неба <http://www.astronet.ru/db/map/> ввести дату и время наблюдения. Получить изображение звёздного неба. Полученный рисунок прикрепить в виде ответа.

8.4. Церера.

8.5. А – полное солнечное затмение, В – полное лунное затмение, С – покрытие Луной звезды, D – прохождение Меркурия по диску Солнца. ACBD

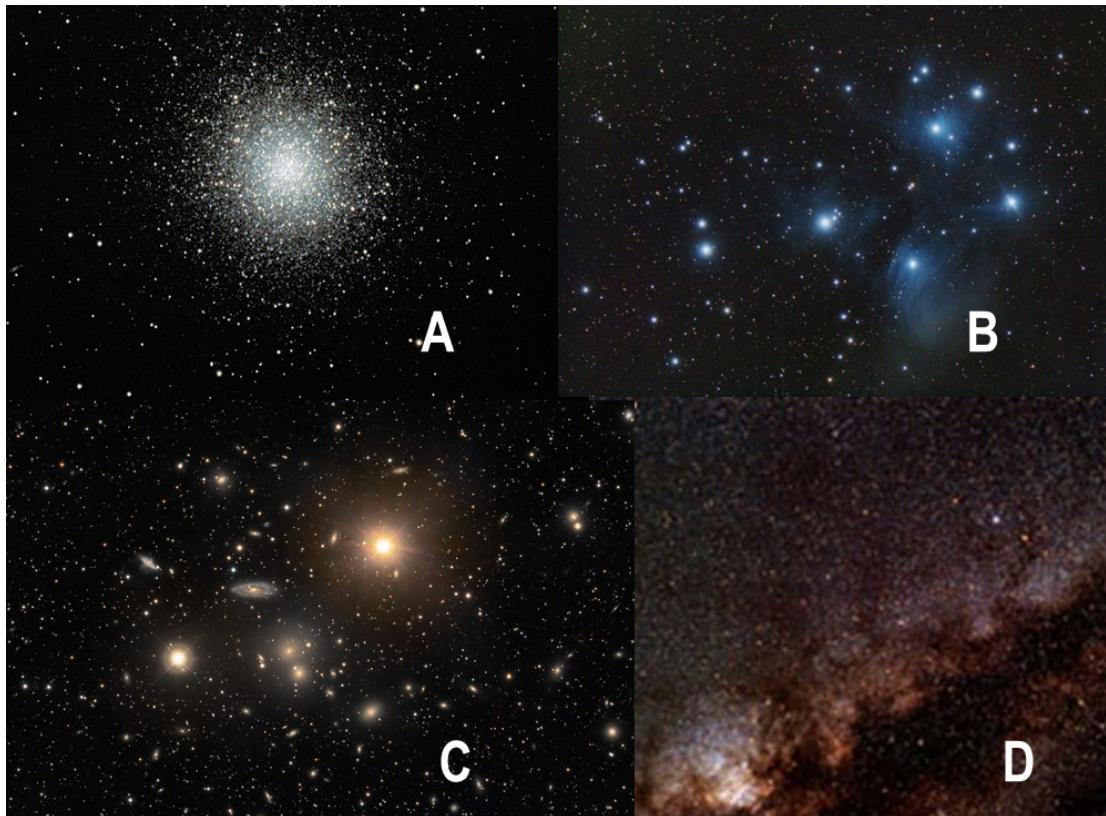
8.6. BADEC, Деймос, Луна, Каллисто, Титан, Ганимед

#### **5-6 классы**

8.7. В Астронете на карте звёздного неба <http://www.astronet.ru/db/map/> ввести дату и время наблюдения. Получить изображение звёздного неба. Полученный рисунок прикрепить в виде ответа.

8.8. А – Меркурий, В – Венера, С – Марс, D – Юпитер. ABCD

8.9. В



8.10. Результат взаимодействия двойных звёзд

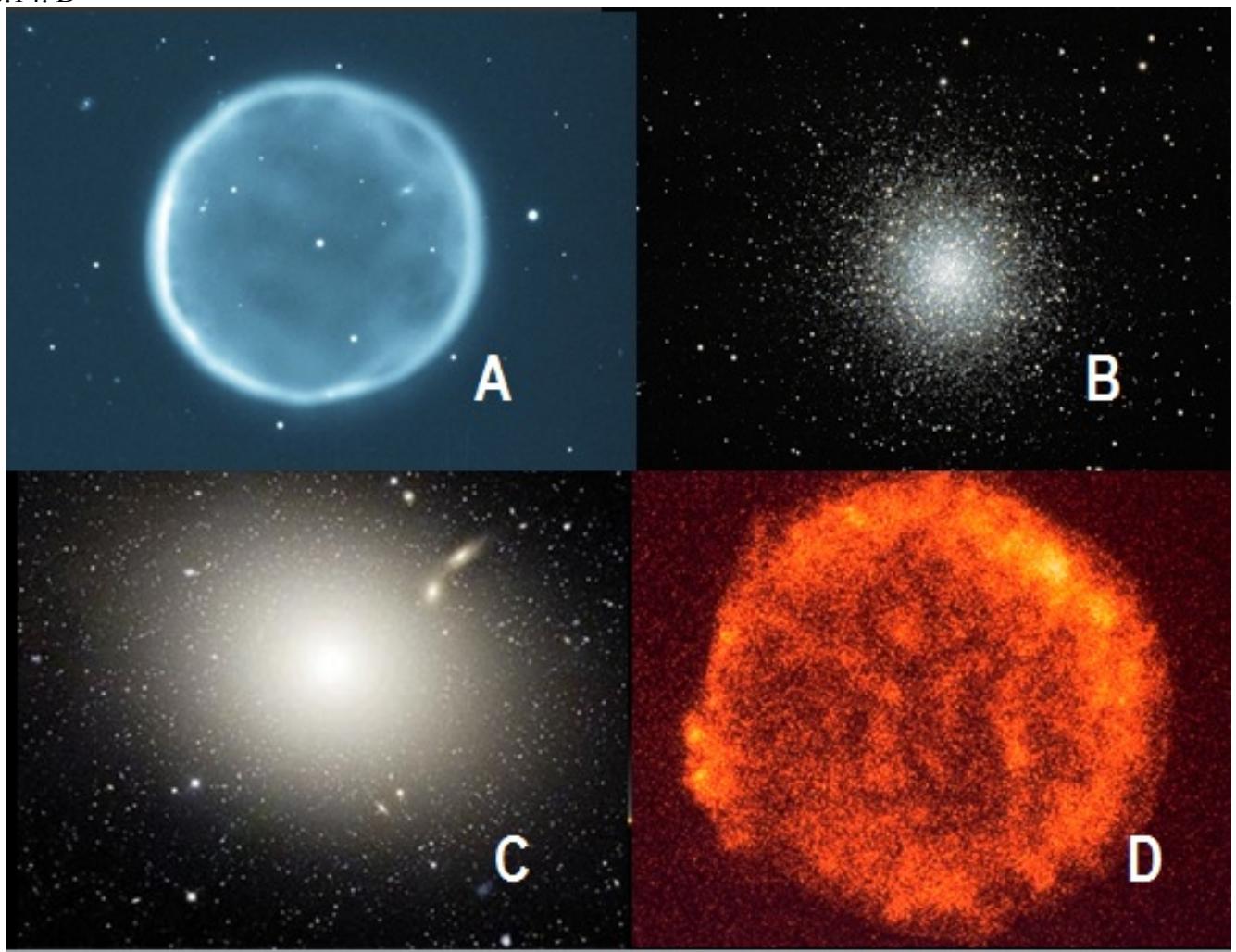
8.11. №3



8.12. ABDC, A – Меркурий, В – Венера, С – Марс, D – Юпитер.

8.13. Плоскость колец Сатурна совпадает с плоскостью экватора. Ось вращения Сатурна вокруг оси наклонена к плоскости его орбитального вращения вокруг Солнца на  $27^\circ$ . Поэтому вид колец с Земли сильно зависит от расположения Сатурна на орбите вокруг Солнца и в значительно меньшей степени – от положения Земли на своей орбите (из-за того, что орбита Сатурна наклонена к плоскости эклиптики на  $2,5^\circ$ ). Если пренебречь последним, то через какой интервал времени у Сатурна «исчезают» кольца, т.е. поворачиваются к Земле ребром и становятся невидимыми? Ответ дать в годах

8.14. В



8.15. Большую, чем у Юпитера, но меньшую, чем у Солнца

## 9-10 классы

8.16. CADB? A – комета Галлея, В – комета Хейла-Боппа, С – комета Энке, D – Нептун.

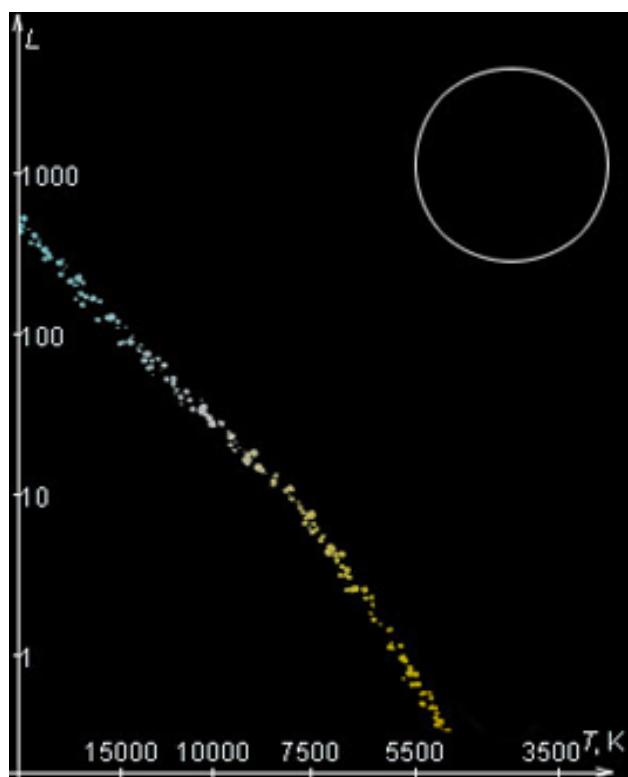
8.17. DBAC A – α Близнецов, В – α Центавра, С – θ Ориона, D – Солнце

8.18. CDAB. А – Галактика Млечный Путь, В – квазар, С – шаровое скопление, D – Сверхновая в Магеллановом облаке 1987 года.

8.19. Пятно в 2 раза больше, чем размеры Земли

8.20. ACBD, A – Альдебаран, В – Вега, С – Капелла, D – Ригель.

## 11 класс



8.21. DCAB, A – Вега, B – Капелла, C – Ригель, D – Сириус.

8.22. красные сверхгиганты

8.23. 1600

8.24. Решение:

$$R = V / H = (\Delta\lambda / \lambda_0) \cdot c / H,$$

где  $c = 3 \cdot 10^5$  км/с,  $\Delta\lambda/\lambda_0 = 0,1$ ,  $H = 60$  км/с·Мпк.

Расстояние до галактики  $R = 500$  Мпк.

Линейный размер

$$d = R \cdot \sin 1' = 145$$
 кпк.

Ответ. 500 Мпк, 145 кпк).

8.25. Эксцентриситет  $e = 0,55$ , афелий  $Q = 4,68$  а.е., большая полуось  $a = 3,02$  а.е.

## Очный тур

## 5-7 классы

8.26. Лишнее название здесь – Плеяды. Это звездное скопление. Остальные названия – это созвездия.

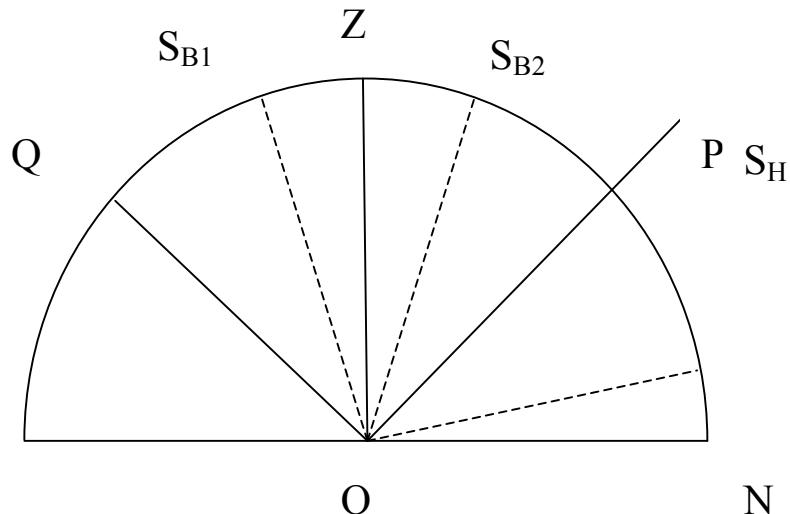
8.27. Змея, Змееносец. Границат на небе, причём созвездие Змеи разделено Змееносцем на две части. Линия эклиптики пересекает созвездие Змееносца, поэтому время от времени в нём можно наблюдать планеты Солнечной Системы, Луну, Солнце.

8.28. Неправильно указано расстояние до Луны. Оно составляет примерно 400 тыс. км, а не 150 тыс. км.

8.29. Тело размером порядка 20 метров вошло в атмосферу нашей планеты со скоростью  $\sim 18$  км/с. На поверхности Земли наблюдался пролёт очень яркого болида, по яркости сравнимого с Солнцем. За счёт нагрева в атмосфере объект раскололся на части. Взрывная волна, пришедшая с задержкой в пару минут. Именно её воздействие имело некоторую разрушительную силу. Фрагменты метеорита были обнаружены на поверхности, он относится к наиболее распространённому классу хондритов. Траектория астероида 2012 DA14 сильно отличается, так что это не связанные между собой события.

### 8-9 класс

8.30.



Так как не указано с какой стороны от зенита происходит верхняя кульминация рассматриваем четыре случая:

$$\delta_* < \varphi \quad h_h > 0$$

$$\begin{cases} h_{B1} = 90^\circ - \varphi + \delta_* = 3\varphi \\ h_h = \varphi - 90^\circ + \delta_* = \frac{1}{3}\varphi \end{cases}$$

$$\begin{cases} 90^\circ + \delta_* = (3+1)\varphi \\ -90^\circ + \delta_* = -\frac{3-1}{3}\varphi \end{cases}$$

$$+ \begin{cases} \delta_* = \frac{10}{6}\varphi \\ \varphi = \frac{180^\circ 3}{14} \end{cases} \quad \begin{cases} \delta_* = 64,3^\circ \\ \varphi \approx 38,6^\circ \end{cases}$$

Что противоречит первому неравенству, далее

$$\begin{aligned} \delta_* < \varphi & \quad h_n < 0 \\ \begin{cases} h_{B1} = 90^\circ - \varphi + \delta_* = 3\varphi \\ h_n = \varphi - 90^\circ + \delta_* = -\frac{1}{3}\varphi \end{cases} \\ \begin{cases} 90^\circ + \delta_* = (3+1)\varphi \\ -90^\circ + \delta_* = -\frac{3+1}{3}\varphi \end{cases} \\ + \begin{cases} \delta_* = \frac{8}{6}\varphi \\ \varphi = \frac{180^\circ 3}{16} \end{cases} & \quad \begin{cases} \delta_* = 45^\circ \\ \varphi \approx 33,7^\circ \end{cases} \end{aligned}$$

Что противоречит первому неравенству, далее

$$\begin{aligned} \delta_* > \varphi & \quad h_n \in \mathbb{A} \\ \begin{cases} h_B = 90^\circ + \varphi - \delta_* = 3\varphi \\ h_n = \varphi - 90^\circ + \delta_* = \left| \frac{1}{3}\varphi \right| \end{cases} \\ \begin{cases} 90^\circ - \delta_* = (3-1)\varphi \\ -90^\circ + \delta_* = -\frac{3 \mp 1}{3}\varphi \end{cases} \\ \begin{cases} \delta_* = 90^\circ \\ \varphi = 0^\circ \end{cases} \end{aligned}$$

Что противоречит условию задачи, так как высота в верхней кульминации в три раза больше широты места. Попробуем определить при каких коэффициентах  $m$  и  $n$  решение задачи существует.

$$\delta_* < \varphi \quad \delta_* > \varphi \quad h_h > 0$$

$$\begin{cases} h_{B1} = 90^\circ - \varphi + \delta_* = m\varphi \\ h_h = \varphi - 90^\circ + \delta_* = \frac{1}{n}\varphi \end{cases} \quad \begin{cases} h_{B2} = 90^\circ + \varphi - \delta_* = m\varphi \\ h_h = \varphi - 90^\circ + \delta_* = \frac{1}{n}\varphi \end{cases}$$

$$\begin{cases} 90^\circ + \delta_* = (m+1)\varphi \\ -90^\circ + \delta_* = -\frac{n-1}{n}\varphi \end{cases} \quad \begin{cases} 90^\circ - \delta_* = (m-1)\varphi \\ -90^\circ + \delta_* = -\frac{n-1}{n}\varphi \end{cases}$$

$$+ \begin{cases} \delta_* = \frac{mn+1}{2n}\varphi \\ \varphi = \frac{180^\circ n}{(m+2)n-1} \end{cases} \quad + \begin{cases} \delta_* = 90^\circ \\ \varphi = 0^\circ \end{cases}$$

$$\begin{cases} \delta_* = \frac{mn+1}{2((m+2)n-1)}180^\circ \\ \varphi = \frac{180^\circ n}{(m+2)n-1} \end{cases}$$

$$\delta_* < \varphi \quad m < 2 - \frac{1}{n}$$

$$\delta_* < \varphi \quad \delta_* > \varphi \quad h_h < 0$$

$$\begin{cases} h_{B1} = 90^\circ - \varphi + \delta_* = m\varphi \\ h_h = \varphi - 90^\circ + \delta_* = -\frac{1}{n}\varphi \end{cases} \quad \begin{cases} h_{B2} = 90^\circ + \varphi - \delta_* = m\varphi \\ h_h = \varphi - 90^\circ + \delta_* = -\frac{1}{n}\varphi \end{cases}$$

$$\begin{cases} 90^\circ + \delta_* = (m+1)\varphi \\ -90^\circ + \delta_* = -\frac{n+1}{n}\varphi \end{cases} \quad \begin{cases} 90^\circ - \delta_* = (m-1)\varphi \\ -90^\circ + \delta_* = -\frac{n+1}{n}\varphi \end{cases}$$

$$+ \begin{cases} \delta_* = \frac{mn-1}{2n}\varphi \\ \varphi = \frac{180^\circ n}{(m+2)n+1} \end{cases} \quad + \begin{cases} \delta_* = 90^\circ \\ \varphi = 0^\circ \end{cases}$$

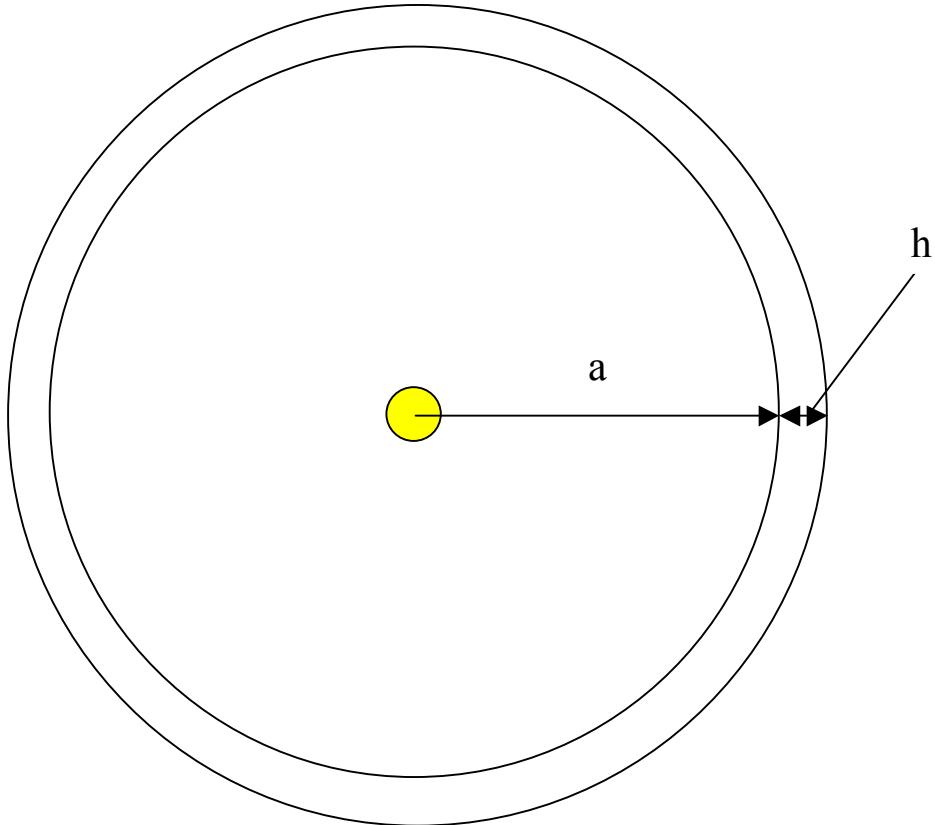
$$\begin{cases} \delta_* = \frac{mn-1}{2((m+2)n+1)}180^\circ \\ \varphi = \frac{180^\circ n}{(m+2)n+1} \end{cases}$$

$$\delta_* > \varphi \quad m < 2 + \frac{1}{n}$$

Ответ: таких комбинаций широты и склонения не существует

8.31. Поскольку орбита Земли близка к окружности, вектор её орбитальной скорости перпендикулярен радиусу и имеет такое же направление, в котором Солнце было видно с Земли четверть года назад. 2 декабря Солнце проецируется на созвездие Змееносца; туда и направлен вектор орбитальной скорости Земли 2 марта.

8.32.



Выведем соотношение площадей для того, чтобы ответить на второй вопрос задачи.

$$S_{CD} = 4\pi a^2, S_{\oplus} = 4\pi R_{\oplus}^2$$

$$\frac{S_{CD}}{S_{\oplus}} = \frac{4\pi a^2}{4\pi R_{\oplus}^2} = \left(\frac{a}{R_{\oplus}}\right)^2 = \left(\frac{1,5 \cdot 10^8}{6,4 \cdot 10^3}\right)^2 = 5,5 \cdot 10^8$$

$$V_{\oplus} = \frac{4}{3}\pi R_{\oplus}^3, M_{\oplus} = \frac{4}{3}\pi R_{\oplus}^3 \cdot \rho$$

$$V_{CD} = V_{CDu} - V_{CDB} = \frac{4}{3}\pi(a+h)^3 - \frac{4}{3}\pi a^3 =$$

$$= \frac{4}{3}\pi(a+h-a)(a^2 + 2ah + h^2 + a^2 + ah + h^2) =$$

$$= \frac{4}{3}\pi ha^2 \left(2 + 3\frac{h}{a} + 2\left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \approx \frac{8}{3}\pi a^2 h$$

$$V_{CD} = V_{\oplus}$$

$$\frac{8}{3}\pi a^2 h = \frac{4}{3}\pi R_{\oplus}^3$$

$$h = \frac{1}{2} \left(\frac{R_{\oplus}}{a}\right)^2 R_{\oplus} = \frac{R_{\oplus}}{2\left(\frac{a}{R_{\oplus}}\right)^2} = \frac{6,4 \cdot 10^6}{2 \cdot 5,5 \cdot 10^8} \approx 5,8 \cdot 10^{-3} [m]$$

$$h = N \cdot 5,8 \cdot 10^{-3} = (477 \div 640) \cdot 5,8 \cdot 10^{-3} \approx 2,8 \div 3,7 [m]$$

Чтобы ответить на первый вопрос нужно знать массу Земли или оценить массу всех планет в сумме в массах Земли. Грубо можно предположить, что масса равна 1,5-2 массы Юпитера, а так как масса Юпитера 318 Масс Земли, то масса всех планет около 477-640 масс Земли. Оценим сколько толщины сферы дает масса Земли.

Ответ: от 2,8 до 3,7 метров

8.33. Вес марсохода на Марсе меньше его веса на Земле во столько же раз, во сколько раз ускорение силы тяжести Марса меньше земного. Выразим  $g$  через среднюю плотность и радиус планеты:

$$g = \frac{GM}{R^2} \quad M = \rho V \quad V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

$$\text{отсюда } g = \frac{4}{3}\pi G\rho R$$

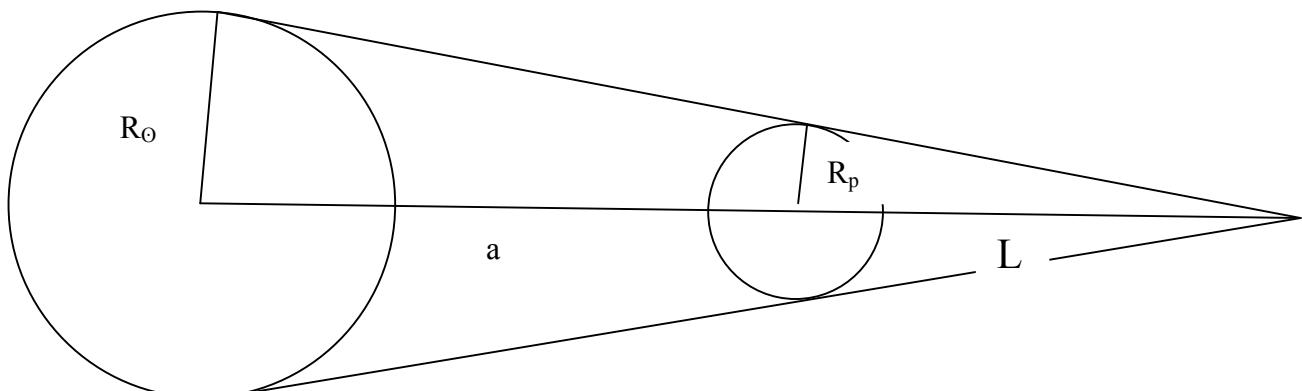
,то есть ускорение силы тяжести прямо пропорционально средней плотности планеты и радиусу планеты. Поэтому ускорение силы тяжести на Марсе составляет  $0,713 \times 0,533 = 0,380$  от земного, а вес марсохода –  $8,79 \text{ кН} \times 0,380 = 3,34 \text{ кН}$ .

8.34. Изменение блеска произошло в промежуток времени между первым касанием диска Венеры (1-й контакт) и диска Солнца и полным входом Венеры на диск Солнца (2 –й контакт). В процессе прохождения блеск Солнца оставался примерно постоянным (если мы не учитываем потемнение диска Солнца к краю, и прочие неравномерности распределения яркости, такие как Солнечные пятна и др.). Также плавно блеск вернулся к прежнему значению во время схода Венеры с диска Солнца. Оценим падение блеска. Пусть  $R$  и  $r$  – радиус диска Солнца и Венеры,  $R \sim 15'$ ,  $r \sim 0,5'$ . Вне транзита излучение Солнце приходит с площади  $\pi r^2$ . Яркость Солнца уменьшилась из-за того, что часть его излучающей поверхности оказалась заблокирована диском Венеры. По формуле Погсона:

$$\Delta m = 2,5 \lg \left( \frac{\pi R^2}{\pi R^2 - \pi r^2} \right) = 0,0012$$

### 10-11 класс

8.35. Посмотрим как формируется конус тени планеты:



Планета	Диаметр,	А а. е.	L
Меркурий	0,382	0,38	0,15
Венера	0,949	0,72	0,68
Земля	1,0	1,0	1,0
Марс	0,53	1,52	0,81

Даже, если не известно расстояние от Солнца до планеты исходя из выведенной формулы видно, что зависимость от расстояния до Солнца и радиуса планеты прямая. Значит нужно проверить две возможности, планету Юпитер самого большого диаметра в 0,001 солнечного и планету Нептун, как самую далекую.

$$\frac{R_\Theta}{a+L} = \frac{R_p}{L}$$

$$R_\Theta L - R_p L = aR_p$$

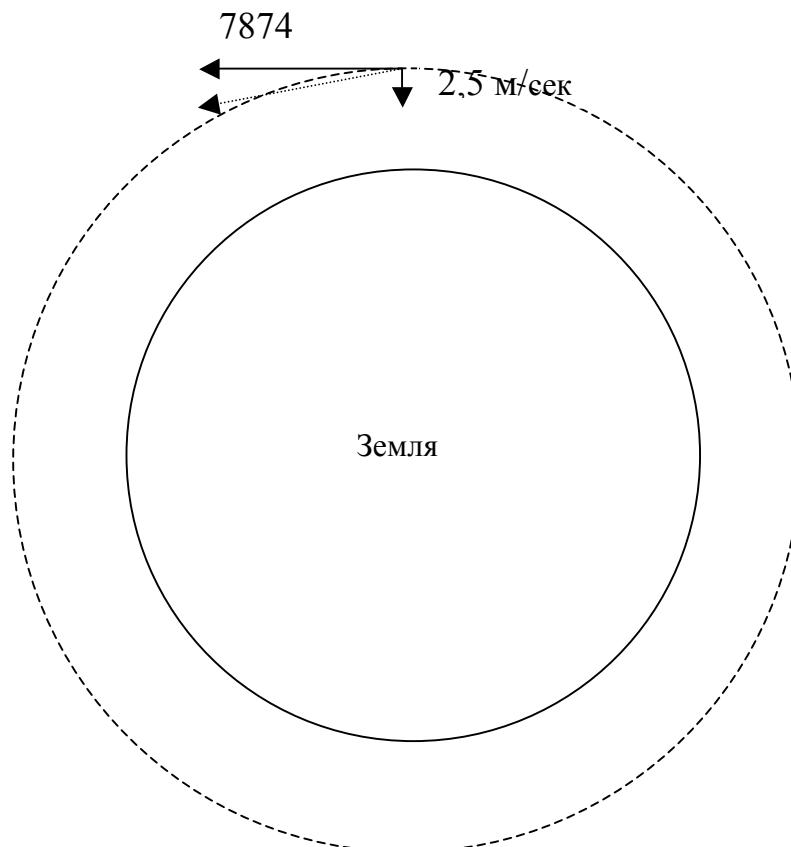
$$L = \frac{R_p}{R_\Theta - R_p} a \approx \frac{R_p}{R_\Theta} a$$

$$\frac{L_p}{L_\oplus} = \frac{\frac{R_p}{R_\Theta} a}{\frac{R_\oplus}{R_\Theta} a_\oplus} = \frac{R_p}{R_\oplus} \cdot \frac{a}{a_\oplus}$$

Возьмем и оценим во сколько раз отличается длина теней планет от длины земной тени

Ответ: Нептун, да превышает.

8.36.

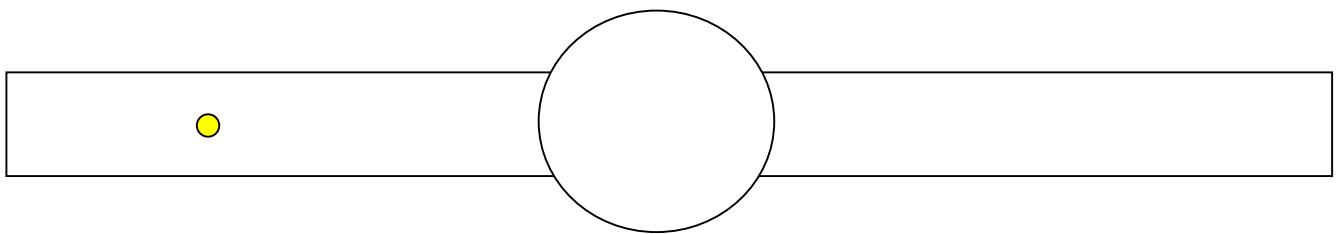


Скорость движения станции по круговой орбите вокруг Земли равна:

$$V = \sqrt{G \frac{M}{R+h}} = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{6,4 \cdot 10^{24}}{6,4 \cdot 10^6 + 0,5 \cdot 10^6}} \approx \sqrt{62 \cdot 10^6} \approx 7874 \text{ м/с} \approx 7,9 \text{ км/сек}$$

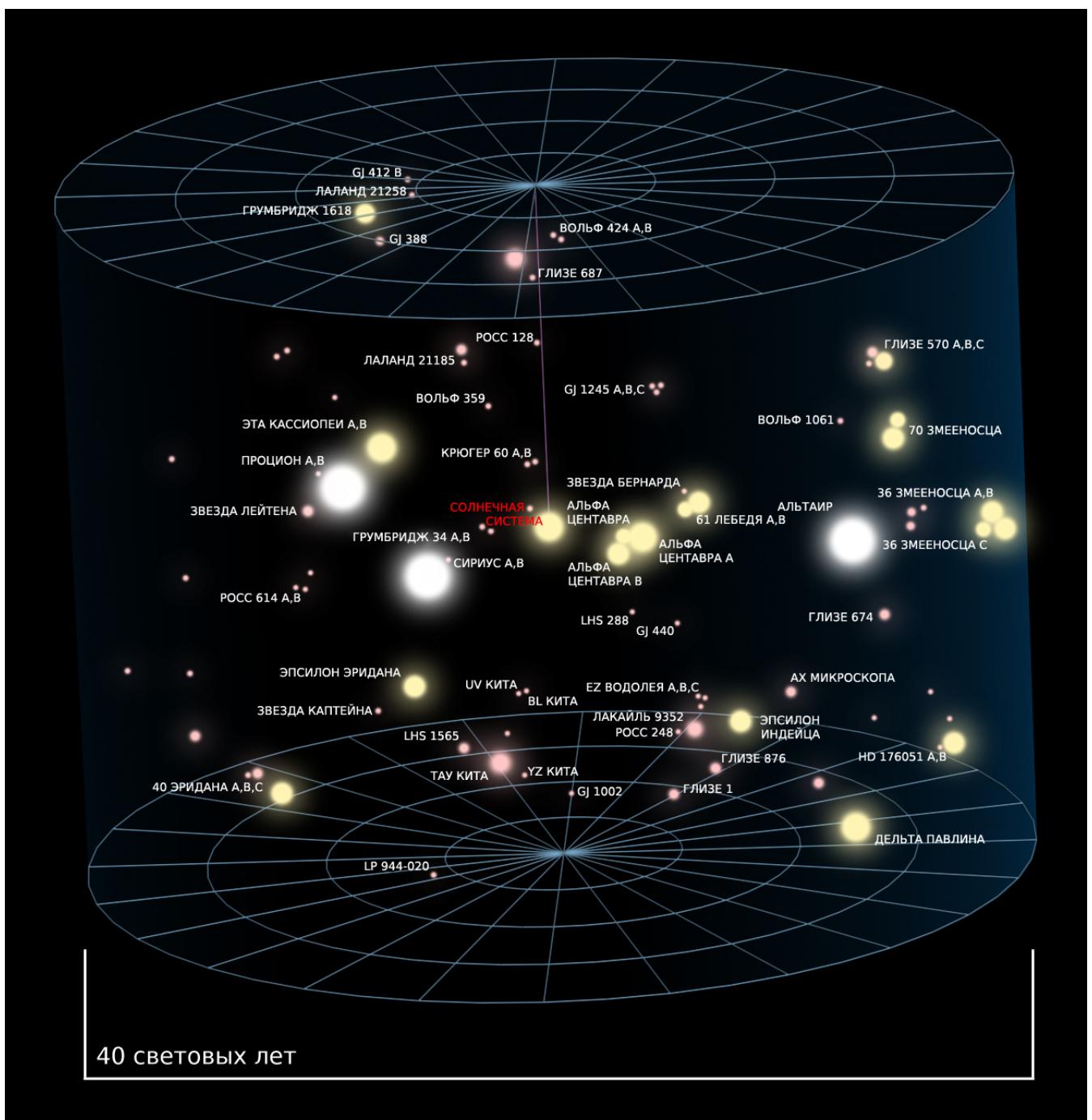
2,5 м/сек значительно меньше, чем 7874 м/сек, а так как скорости складываются, как векторы, то суммарное направление движения изменится очень мало. Значит космонавт не сможет достичь поверхности Земли. Он выйдет на орбиту.

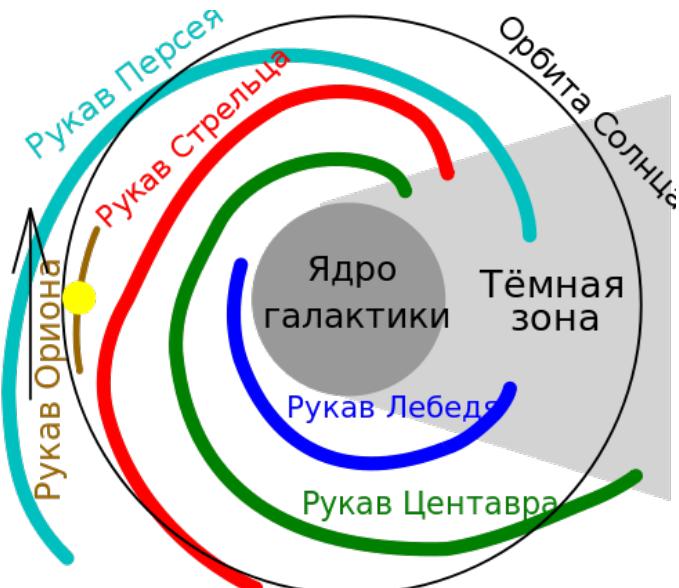
Ответ: Никогда, так как выйдет на эллиптическую орбиту



Так как наша галактика представляет собой диск диаметром 100-125 тысяч св. лет и толщиной в 400-600 св. лет, то относительно всех звезд количество близких из них будет в областях перпендикулярных плоскости галактики причем тем больше чем ближе к 90° галактической широты.

### Ближайшие звезды





смещениями, т.е. закон Хаббла для них должен выполняться.

По определению красного смещения  $z$

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$

Здесь  $v$  — скорость, с которой галактика удаляется от нас,  $c$  — скорость света,  $\lambda$  и  $\Delta\lambda$  — длина волны спектральной линии и её изменение, вызванное удалением галактики. Закон Хаббла выражается следующей формулой:

$$v = H_0 R$$

где  $H_0 \approx 70$  км / (с · Мпк) — постоянная Хаббла,  $R$  — расстояние до галактики.

Подставляя вторую формулу в первую выражаем расстояние до галактики:

$$R = \frac{zc}{H_0}$$

Расстояние до галактики А получается равным  $R_A = 200$  Мпк, а до галактики В —  $R_B = 400$  Мпк. В силу однородности и изотропности пространства галактика В будет удаляться от галактики А также в соответствии с законом Хаббла:

$$z_1 = \frac{DH_0}{c}$$

Здесь  $D$  — расстояние между А и В.

$$z_1 = \sqrt{z_A^2 + z_B^2} = 0,1$$

Карта Галактических рукавов, отметим, что от направления на рукава число близких звезд не зависит, так как рукава — видимая структура из О-В звезд и плотность звезд в рукавах такая же в среднем, как и на таком же расстоянии от центра Галактики вне рукава.

8.39. В соответствии с законом Хаббла мы видим, что галактики разлетаются от нас, а их лучевая скорость пропорционально расстоянию до них. Этот закон нарушается для очень близких галактик, которые гравитационно связаны с нашей Галактикой, а также для очень далеких, в динамику которых большой вклад вносит темная энергия. Обе рассматриваемые галактики обладают средними красными

## Часть 9. 68 Московская Астрономическая Олимпиада (2014 год)

### Дистанционный тур

#### 1-4 классы

9.1. Лето

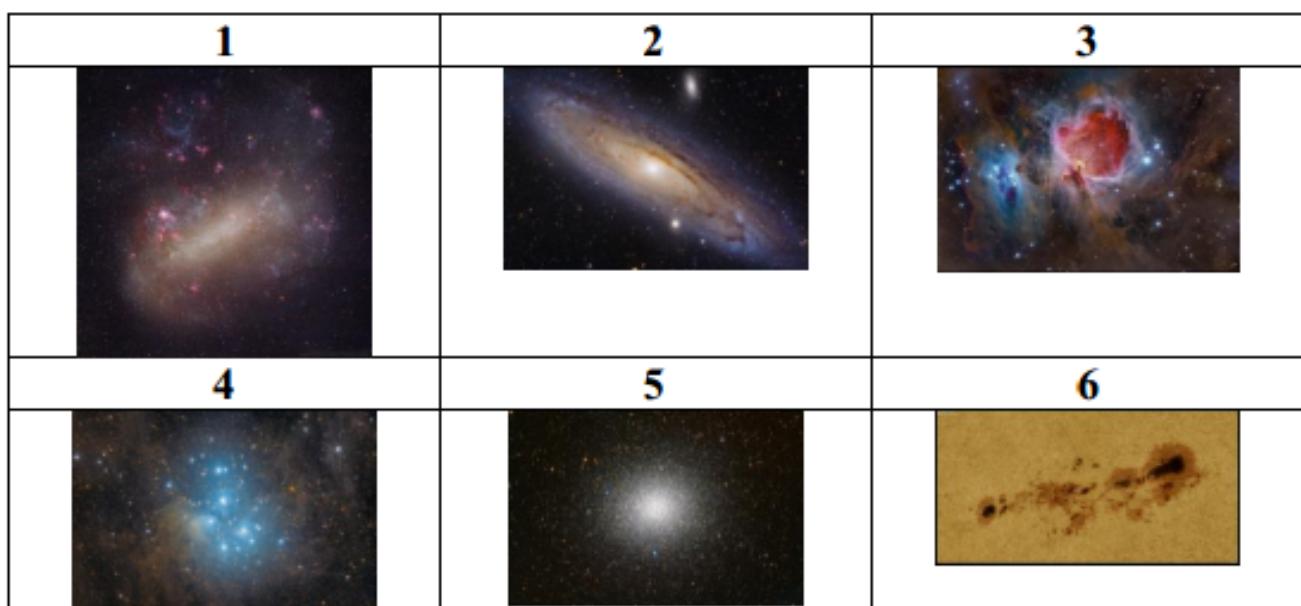
9.2. Не изменится

9.3. Венера, Марс, Юпитер, Сатурн

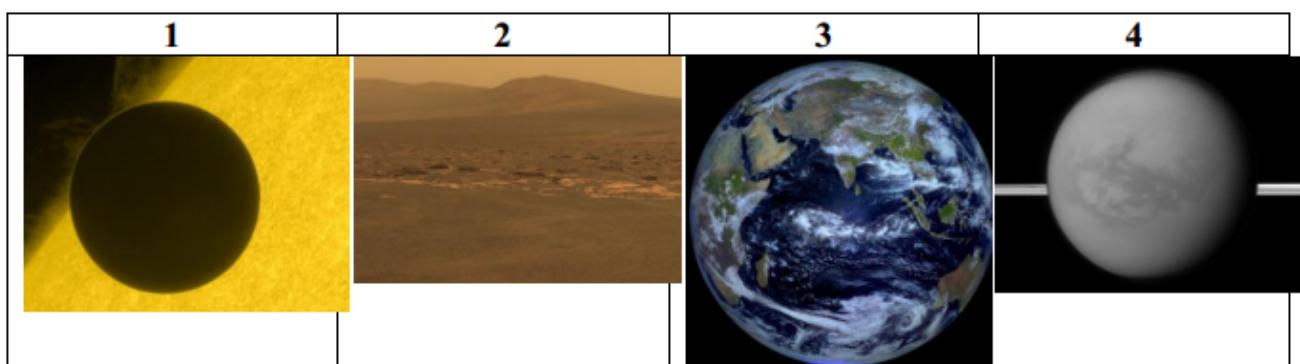
9.4. Пролёт кометы, вспышка новой звезды

9.5. Канопус, Толиман

9.6. 6, 4, 3, 5, 1, 2



9.7 1, 4, 3, 2



9.8 Меркурий, Венера, Марс, Юпитер

9.9 Кассиопея, Орион, Возничий

9.10 Первая космическая скорость равна:

$$V_I = \sqrt{\frac{GM}{R + h}}$$

Тогда время затрачиваемое спутником ,чтобы пролететь путь по круговой орбите равно:

$$t = \frac{S}{V} = \frac{2\pi(R + h)}{V} = \frac{2\pi(R + h)}{\sqrt{\frac{GM}{R + h}}} = \sqrt{\frac{4\pi^2(R + h)^3}{GM}} = 127 \text{ или } 128 \text{ минут}$$

9.11. Используем справочные данные, абсолютная звездная величина солнца  $M_V=+4.8m$ , расстояние до Сириуса 8,6 световых лет, что соответствует 2,6 пк, соответственно с расстояния Сириуса Солнце будет видно:

$$\frac{E_{10}}{E_C} = 10^{0,4(m_c - M_V)}$$

$$\frac{r^2}{10^2} = 10^{0,4(m_c - M_V)}$$

$$\lg 2,6 - 1 = 0,2(m_c - 4,8^m)$$

$$m_c = 5\lg 2,6 - 0,2 \approx 2^m$$

9.12. Оцените максимально возможную высоту Луны над горизонтом на широте Москвы в XXI веке, ответ выразить в градусах, округлив до ближайшего целого значения.

Во-первых вспомним, что наибольшая высота светила достигается в верхней кульминации:

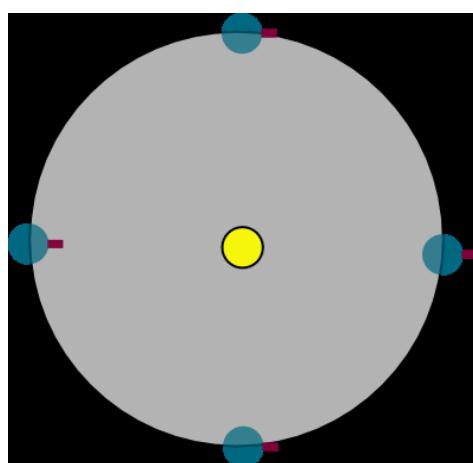
$$h = 90^\circ - \varphi + \delta + i$$

, где  $i$  – это наклонение лунной орбиты к плоскости эклиптики  $\approx 5^\circ$ , а максимальное склонение для Луны будет  $23,5^\circ$ , в точке летнего солнцестояния. Следовательно, ответ для широты Москвы  $55,5^\circ$  будет  $\approx 63^\circ$

### Очный тур

#### 1-5 класс

9.13. (Так же для 6-7 классов) Будет, в течение года звезда будет освещать разные полушария планеты.



9.14. (Так же для 6-7 классов) Нижние планеты (Меркурий и Венера), орбиты которых расположены ближе к Солнцу, не могут удаляться далеко от Солнца на небе, и видны либо вечером, либо утром.\* Прочие планеты могут находиться на небе в противоположной стороне от Солнца, и тогда их можно наблюдать вблизи полуночи. Марс, Юпитер и Сатурн имеют высокую яркость и легко видны без телескопа. Уран наблюдать без телескопа гораздо сложнее, но на тёмном небе (где-нибудь в Новомосковском округе) это в принципе возможно.

\* Если наблюдатель расположен вблизи полюсов Земли, нужно принимать во внимание полярную ночь, тогда это утверждение не вполне корректно, но в задаче речь идёт про Москву).

9.15. (Так же для 6-7 классов) На первом рисунке показано видимое движение звёзд в средних широтах северного полушария. Звёзды, по мнению художника, вращаются по часовой стрелке: восходят на западе, заходят на востоке. Это грубая ошибка. Необычайно большие видимые размеры звезд на небе можно считать за еще одну неточность.

На втором рисунке Земля повёрнута северным полюсом к Солнцу, а Луна обращается по меридиональной орбите. Кроме этого, не нарисована область полутени, значительно завышены размеры лунной тени на поверхности Земли.

На третьем рисунке кривизна орбиты Луны сильно преувеличена и в году получается целое число сидерических месяцев. Кроме этого освещенные части Земли и Луны закрашены темным.

9.16. Да конечно существуют, это северный и южный полюса. Это те места где суточный путь звезд параллелен математическому горизонту. Но если считать все звезды в том числе и Солнце, то таких мест на Земле не будет, так как на протяжении года Солнце восходит и заходит за горизонт из-за того, что оно движется по эклиптике.

## 6-7 класс

9.17. В 2013 году противостояния Юпитера не было потому, что предыдущее было в конце 2012 года (3 декабря), а следующее - в начале 2014 года (6 января). Соединение с Солнцем планета прошла в середине интервала между этими датами, в середине июня 2013 года, и находилась при этом на границе Тельца и Близнецов. После соединения планета двигалась в прямом направлении и перешла в созвездие Близнецов, где и находится в настоящее время.

9.18. (Так же для 8-9 классов) Луна может отклоняться от эклиптики не более чем на 5 градусов. (Для точного решения потребуется учесть также параллакс Луны.) Рыбы, Овен, Кит, Орион, Возничий, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Секстант, Ворон, Дева, Весы, Скорпион, Змееносец, Стрелец, Козерог, Водолей.

## 8-9 класс

9.19 Радиус планеты связан с ее массой и плотностью формулой:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3M}{4\pi\rho}} \sim \rho^{-1/3}$$

Плотность воды составляет 1 г/см<sup>3</sup> или 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Средняя плотность Земли примерно в 5,5 раз больше. Значит радиус шара с водой будет в 1,7 раза больше радиуса Земли, что составит 11300 км. Это вполне планетные размеры. В Солнечной системе таких планет нет (самая маленькая из планет-гигантов Нептун больше более чем в два раза), но среди внесолнечных планет есть «сверхземли» подобного размера.

Средняя плотность Солнца 1,5 г/см<sup>3</sup>, что совсем немного выше плотности воды. Очевидно, что искомый шар будет примерно Солнечного размера, а именно 1,1 радиуса Солнца или 800000

км. Таких звезд в Галактике множество. Впрочем, Солнце со временем само «распухнет» до такого размера.

Осталось разобраться с Галактикой. В нашей галактике по разным оценкам от 200 до 400 миллиардов звезд. Будем считать, что они все имеют массу Солнца. Тогда их суммарная масса около  $3 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ . Однако большую часть массы Галактики составляет темная материя, которой по массе раз в 10 больше, чем барионной материи. Таким образом, получаем оценку массы галактики  $3 \cdot 10^{12} M_{\odot}$ . Подставляем это значение в формулу, и получаем радиус шара  $10^{10}$  км или  $\approx 75$  а.е.

Таких больших одиночных объектов (планет, звезд) не существует. Для звездных скоплений это очень мало. Но вот двойные звезды вполне могут иметь такие расстояния между компонентами. Кроме того, несколько меньший размер имеет пояс Койпера, а чуть больший – размер пузыря в межзвездном газе, надутый солнечным ветром (ближайшая к нам его часть).

Надо заметить, что объекта с плотностью воды, массой равной массе галактики и найденным радиусом существовать не может. Гравитационный радиус для такой массы составляет:

$$R_G = \frac{2GM}{c^2} = 8,9 \cdot 10^{13} \text{ км} \approx 6 \cdot 10^5 \text{ а.е.} \approx 2,9 \text{ пк}$$

Черная дыра такой массы получается существенно больше.

9.20. Восходит в точке востока, а также заходит в точке запада могут только те светила, чье склонение равно 0. Юпитер в процессе своего движения вокруг Солнца движется по эклиптике, и имеет склонение 0 два раза за орбитальный период, когда проходит через точки весеннего и осеннего равноденствия.

Составим систему уравнений для верхней и нижней кульминации.

$$\begin{cases} h_B = 90 + \delta - \varphi \\ h_H = -90 + \delta + \varphi \end{cases}$$

Из этой системы можно определить склонение Юпитера. Оно составляет  $23,5^\circ$ . Значит, Юпитер находится в точке летнего солнцестояния, а в точке осеннего равноденствия окажется через четверть своего орбитального периода, т.е. почти через 3 года.

9.21. Вычислим сначала угловые размеры Луны:

$$\alpha = 2 \cdot \arctg \left( \frac{R_{\text{Л}}}{a_{\text{Л}}} \right)$$

,  $R_{\text{Л}}$  – радиус Луны,  $a_{\text{Л}}$  – расстояние до нее. В апогее ее орбиты  $\alpha_1=0.49^\circ$  градуса, в перигее  $\alpha_2=0.55^\circ$  градуса. Радиус монеты 25 мм. Чтобы она могла закрыть Луну полностью, ее угловые размеры должны быть не меньше.

$$\beta = 2 \cdot \arctg \left( \frac{25}{R} \right)$$

, где  $R$  – искомое расстояние. Из последнего выражения находим, что  $R_1=5.8$  м,  $R_2=5.2$  м. Задачу можно также решить, рассматривая подобные треугольники.

9.22. Проще запустить спутник с поверхности такого небесного тела, для которого меньше первая космическая скорость:

$$V = \sqrt{G \frac{M}{R}}$$

. Т.к. ускорение свободного падения

$$g = G \frac{M}{R^2} \quad V = \sqrt{gR}$$

Таким образом, при равных ускорениях свободного падения меньше первая космическая скорость будет у тела с меньшими размерами, т.е. у Меркурия.

Примечание (для справки, не оценивается). Несколько сглаживает различие скоростей тот факт, что при запуске с экватора Марса спутник может получить дополнительную скорость за счет осевого вращения планеты (Меркурий вращается вокруг своей оси очень медленно), но этой добавки не хватит ( $V=2\pi R/T=240$  м/сек), т.к. разница  $V$  для этих планет превышает 500 м/сек.

Ответ: с поверхности Меркурия.

9.23. Если свет от Денеба идет к Земле 1500 лет, значит расстояние до этой звезды 1500 световых лет или  $1500/3.26=460$  пк, далее, вспоминая, что расстояние в пк есть обратный параллакс в секундах дуги, получаем что необходимый угол будет  $1/460$  угловой секунды. То есть параллакс Денеба будет около  $0.002''$

9.24 Луна может отклоняться от эклиптики не более чем на 5 градусов. (Для точного решения потребуется учесть также параллакс Луны.)

Рыбы, Овен, Кит, Орион, Возничий, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Секстант, Ворон, Дева, Весы, Скорпион, Змееносец, Стрелец, Козерог, Водолей.

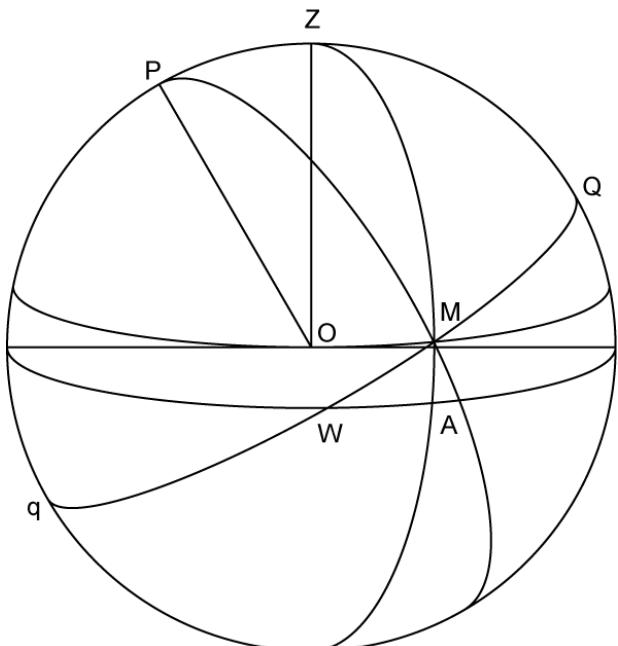
## 10-11 класс

### Короткие задачи

9.25. Для решения задачи определим часовой угол  $t$  светила  $M$  в момент его нахождения на критической высоте  $h = 15^\circ$ .

Вариант 1. Построим сферический треугольник  $MWA$ . В этом треугольнике сторона  $MW$  - дуга небесного экватора, равная  $90^\circ - t$ ; сторона  $MA$  – дуга вертикала светила равная  $h$ , а сторона  $WA$  – дуга горизонта. Угол при вершине  $A$  очевидно равен  $90^\circ$ , а угол при вершине  $W$  равен  $90^\circ - \varphi$ , где  $\varphi$  – широта. Применяя теорему синусов для такого треугольника, получим:

$$\frac{\sin(90^\circ - t)}{\sin 90^\circ} = \frac{\sin h}{\sin(90^\circ - \varphi)}$$



Отсюда

$$\cos t = \frac{\sin h}{\cos \varphi}$$

Подставляя значения, получаем

$$t = 68^\circ,5$$

Вариант 2. Рассмотрим параллактический треугольник PZM. Здесь PZ – дуга небесного меридиана, равная  $90^\circ - \varphi$ , ZM – зенитное расстояние светила, равное  $z = 90^\circ - h$ , а PM – полярно расстояние светила, равное, очевидно  $90^\circ$ . Угол при вершине P равен часовому углу светила. Воспользуемся теоремой косинусов для сферических треугольников:

$$\cos(90^\circ - h) = \cos 90^\circ \cos(90^\circ - \varphi) + \sin 90^\circ \sin(90^\circ - \varphi) \cos t = \cos \varphi \cos t$$

Мы получили формулу, идентичную той, что была получена в 1-м варианте.

Найденный часовой угол соответствует дуге от кульминации до критической высоты. Полная дуга, которую проходит светило, оставаясь в зоне видимости телескопа равна удвоенному часовому углу. Переведем эту величину во время, принимая во внимание тот факт, что небесная сфера вращается с периодом, равным звездным суткам:

$$T = 2t \cdot \frac{23^h 56^m}{360^\circ} = 9^h 6^m$$

9.26. Обозначим за  $\mu_1$  поверхностную яркость центра галактики, а за  $\mu_2$  поверхностную яркость на ее границе. Запишем формулу Погсона:

$$\frac{I_2}{I_1} = e^{-r/h} = 10^{0,4(\mu_1 - \mu_2)}$$

, где  $I_1$  и  $I_2$  - световые потоки от центра галактики и точки на ее границе соответственно. Из формулы найдем расстояние  $r$  – расстояние от центра галактики до точек, которые мы считаем граничными точками при наблюдениях.

$$r = -h \cdot \ln(10^{0,4(\mu_1 - \mu_2)}) = -h \cdot 0,4(\mu_1 - \mu_2) \cdot \ln 10 \approx 9,2 \text{ кпк}$$

Видимые угловые размеры радиуса  $r$  равны:

$$\alpha = \frac{r}{d} 3438' \approx 10,5'$$

9.27.  $L = 250 \text{ мкм}$ ,  $D = 3.5 \text{ м}$ .

Т.к. галактики далекие, их можно считать точечным объектами, и площадь каждой галактики не учитывать. (Можно оценить: размер галактики 10 кпк, расстояние 1 Гпк, угол  $10^{-5}$  рад, разрешение телескопа  $L/D \sim 7 \cdot 10^{-5} > 10^{-5}$ )

$A = (L/D)^2$  -- грубо, площадь диаграммы направленности телескопа.

Число источников  $N \sim 4 * \pi / A = 2.5 * 10^9$

Точное решение этой задачи учитывает вероятность не различить два источника по критерию Рэлея и требует применения статистики Пуассона. При вероятности 10% 1 источник должен приходиться на примерно 20 диаграмм направленности, т. е. ответ будет в 20 раз меньше.

Для упрощения задачи можно явно написать, что галактики можно считать точечными: «Этими источниками являются очень далекие галактики (на расстояниях несколько гигапарсек), поэтому их можно считать точечными.»

9.28. Для того, чтобы некий объект Солнечной системы упал точно на Солнце, необходимо, чтобы его тангенциальная скорость стала равной нулю. Поскольку изначально наш объект двигался по круговой орбите со скоростью  $V$ , значит его нужно остановить, придав скорость (или импульс) равную по величине и обратную по направлению имеющейся. В случае если переданная скорость окажется не в точности равна скорости объекта, а будет отличаться на величину  $\Delta V$ , то объект начнет двигаться по эллиптической орбите, а  $\Delta V$  будет его афелийной скоростью.

Пусть  $R$  – радиус орбиты объекта. Он попадет в Солнце, если перигелий его орбиты будет не больше радиуса Солнца ( $R_S$ ). В граничном случае большая полуось орбиты будет равна

$$a = \frac{R_S + R}{2}$$

Скорость тела на любом участке эллиптической орбиты равна

$$V = \sqrt{GM \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

где  $r$  – расстояние от фокуса. Для афелия формула приобретает вид

$$\Delta V = \sqrt{GM \left( \frac{2}{R} - \frac{2}{R_S + R} \right)} = \sqrt{GM \left( \frac{2R_S}{R(R_S + R)} \right)} \approx V \sqrt{\frac{2R_S}{R}}$$

Наконец, относительная ошибка будет равна

$$\varepsilon_V = \frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\frac{2R_S}{R}}$$

Объекты пояса Койпера в основной массе располагаются на расстояниях от 30 до 60 а. е. Значит, возможная ошибка может составить 0,018 — 0,012, или 1% — 2%

9.29. Параллакс - угол, под которым из окрестности двойной звезды (расстояние до которой  $d$ ) видна большая полуось орбиты Земли а вокруг Солнца:

$$d = \frac{1}{\pi}$$

Соответственно:

$$d = \frac{1}{\pi} \sim 35 \text{ пк}$$

Связь большой полуоси в линейной и угловой мере:

$$\alpha = \frac{a}{d}$$

, отсюда а.е.

$$a = \alpha \cdot d \sim 22 \text{ а.е}$$

Искомая суммарная масса двойной системы определяется через 3-й закон Кеплера:

$$M = \frac{a^3}{T^2} = 2,95 \text{ Масс Солнца}$$

9.30. Светимость звезды  $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$  Сравним отношение светимостей белого карлика и Солнца.

$$\frac{L_{wd}}{L_{sun}} = \frac{4\pi R_{wd}^2 \sigma T_{wd}^4}{4\pi R_{sun}^2 \sigma T_{sun}^4} = \left(\frac{R_{wd}}{R_{sun}}\right)^2 \left(\frac{T_{wd}}{T_{sun}}\right)^4,$$

зная что температура фотосферы Солнца 5800К, радиус Солнца 690000 км, радиус Земли 6400 км.

$$\frac{L_{wd}}{L_{sun}} = \left(\frac{R_{wd}}{R_{sun}}\right)^2 \left(\frac{T_{wd}}{T_{sun}}\right)^4 = \left(\frac{6400}{690000}\right)^2 \left(\frac{13000}{5800}\right)^4 = (0.009)^2 (2.24)^4 = 0.002.$$

Теперь посмотрим, с какого расстояния можно увидеть его невооруженным глазом. Если таким белым карликом заменить Солнце, то его бы яркость была в 500 раз меньше, что соответствует  $5 \cdot 100$  раз, т.е. на  $1.7+5=6.7$  звездных величин меньше Солнца с Земли. Далее вспоминаем, что звездная величина Солнца с Земли - -26.7, т.е. у белого карлика с расстояния в 1 а.е. будет -20 звездная величина. Вспомним, что освещенность создаваемая звездой обратно пропорциональна квадрату расстояния. Сравним такую освещенность для белого карлика с расстояния в 1 а.е. и с того расстояния, где белый карлик будет иметь звездную величину в 6.5 предельную для человеческого глаза.

$$\begin{aligned} \frac{E_1}{E_x} &= 10^{0.4(m_x - m_1)}, \left(\frac{R_x}{R_1}\right)^2 = 10^{0.4(m_x - m_1)}, \frac{R_x}{R_1} = 10^{0.2(6.5 - (-20))} = 10^{5.3} \\ &\approx 200000 \text{ а.е., что соответствует } \cong 1 \text{ пк.} \end{aligned}$$

### Длинная задача.

9.31.1 Если размер зеркала существенно меньше размера Луны, наблюдатель заметит отражение небольшого кусочка поверхности Солнца. Поверхностная яркость изображения совпадает с яркостью Солнца. Поэтому поток излучения от зеркала пропорционален площади зеркала. Его легко можно оценить , учитя равенство видимых и угловых размеров Луны и Солнца. Получаем:

$$m_m = m_c + 5 \lg \frac{D}{d}$$

, где  $m_c = -26,9$  - видимая величина Солнца,  $D \approx 3500$  км - диаметр Луны,  $d$  - диаметр зеркала. Т.е. для зеркала размером 35 м  $m_m \sim -2$ , для 3,5 км  $m_m \sim -12$ .

Однако будет ли такой объект заметен на фоне поверхности Луны? (Явление, естественно, возможно только на освещенной части Луны.) Для сопоставления учтем, что из-за атмосферной турбулентности на Луне в телескоп трудно различить детали размером менее 1 км (этот оценки можно получить , приняв угловое разрешение равным - 0,5 - 1".) Очевидно, если зеркало

превышает этот размер, оно будет заметно не поверхности Луны: яркость поверхности зеркала равна яркости Солнца, т.е. примерно в  $5 \cdot 10^5$  раз ярче окружающей поверхности. Оценка яркости поверхности Луны получается, если принять видимую звездную величину полной Луны  $m_C = -12,7$

Сравним поток излучения  $F_m$  от «пикселя» на поверхности Луны, содержащего зеркало размером  $d < d_{pix} = 1$  км с потоком  $F_0$  от «пикселя», не содержащего зеркала. Для простоты пусть Лунное альбето всюду одинаково. Тогда:

$$\delta = \frac{F_m}{F_0} = 1 + 5 \cdot 10^5 \frac{d^2}{d_{pix}^2}$$

Пиксель с зеркалом становится заметен, когда  $\delta \sim 2$ , т.е.

$$d = \frac{d_{pix}}{\sqrt{5 \cdot 10^5}} \approx 1,4 \cdot 10^{-3} d_{pix}$$

Таким образом, для телескопа получаем  $d_{\text{телескоп}} \approx 1$  м. Для глаза размер «пикселя» это  $1'$  или  $1/30$  диаметра Луны и минимальный размер зеркала  $d_{\text{глаз}} \approx 200$  м. (Заметим, что проведенная оценка является грубой и поэтому результаты округлены до одной значащей цифры.) Для большей надежности можно принять  $\delta \sim 10$ , при этом размеры зеркала увеличиваются в 3 раза.

Если зеркало выпуклое, в наблюдателя с противоположных краев зеркала попадают лучи, идущие под углом:

$$\alpha = \frac{4d}{D}$$

друг к другу. Яркость зеркала будет совпадать с яркостью Солнца, если этот угол меньше видимого углового размера Солнца.  $\alpha < 0,5^\circ$  или  $d < 7,6$  км. Т.е. при  $d < 7,6$  км результат не изменится, при больших размерах зеркала приведенные выше значения оценки потока от зеркала применять нельзя.

9.31.2. Если бы Солнце было неподвижно на земном небе, то максимальная длительность равнялась бы времени, в течении которого Луна на небе проходит относительно Солнца путь равный видимому угловому диаметру Солнца:

$$t_1 = \frac{0,5^\circ T}{360^\circ}$$

$T = 29,53$  дня – синодический период Луны. Получаем  $t \approx 1^h$

Скорость вращения Земли вокруг собственной оси вносит корректизы в эту оценку, поскольку размер Солнечного зайчика на Земле примерно равен диаметру Луны, около 3500 км, и время на которое точка на земном экваторе повернется на это расстояние примерно равно  $t_2 \approx 2^h$ . Поскольку Луна вращается в ту же сторону, что и Земля, максимальная длительность наблюдения увеличивается:

$$\frac{1}{t} = \frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \quad t = 2^h$$

9.31.3. Эта полоса вдоль экватора. Ширина определяется наклоном лунной орбиты к экватору ( $5^\circ$ ), наклоном лунного экватора к эклиптике ( $1,5^\circ$ ), угловым размером Земли ( $1^\circ$ ), видимой с Луны. Суммарная ширина полосы  $7,5^\circ$

## Практические задачи

9.32. По приложенной карте звездного неба можно определить угловое расстояние между звездами  $\nu$  и  $\mu$  Андромеды. Расстояние между этими звездами мало, поэтому можно с хорошей точностью воспользоваться обычной теоремой Пифагора:

$$\varphi = \sqrt{(\Delta\alpha \cdot \cos \delta)^2 + (\Delta\delta)^2} \approx 3^\circ$$

, где  $\Delta\alpha$  - разница прямых восхождений звезд,  $\delta$  – склонение звезды  $\mu$ ,  $\Delta\delta$  - разница склонений двух звезд.

Сравнив по фотографии расстояния, измеренные линейкой, между этими звездами и началом и концом следа метеора, можно получить следующую пропорцию:

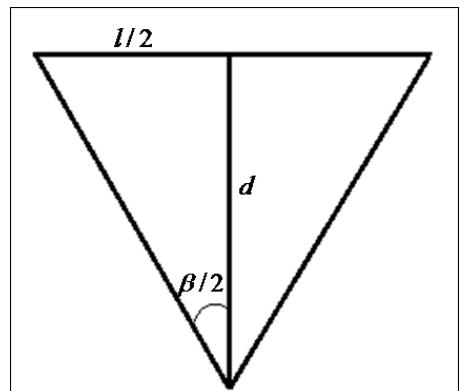
$$\frac{S_3}{S_M} = \frac{\varphi}{\beta}$$

, где  $S_3$  и  $S_M$  – измеренные линейкой расстояния между звездами и началом и концом следа соответственно. Из пропорции получаем, что угловые размеры следа примерно  $\beta \approx 12^\circ 40'$ .

Очевидно, что точка наблюдения и точки конца и начала траектории образуют равносторонний треугольник. Схематически изобразим его, и обозначим на нем нужные нам величины.

Тогда, решая этот треугольник, получаем, что длина траектории равна:

$$l = 2d \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \approx 55,2 \text{ км}$$



, тогда средняя скорость на этом отрезке пути равна  $V = 55,2 \text{ км/сек}$

9.33. Склонение звёзд, наблюдавшихся в зените равно широте местности, поэтому сразу можно сказать, что широта наблюдателя равна склонению Мирфака и составляет  $50^\circ$ . Его можно было определить с помощью прилагаемой карты неба. Также с помощью карты можно определить, что прямое восхождение Кохаба и Мирфака отличается на  $11,5$  часов. Это означает, что когда Мирфак проходит верхнюю кульминацию (находясь в зените), Кохаб в это время находится вблизи нижней кульминации на севере, куда и направлено окно. Высота звезды в нижней кульминации равна:

$$h = \varphi - 90^\circ + \delta = 50^\circ - 90^\circ + 74^\circ = 34^\circ.$$

Далее задача сводится к решению треугольников. Высота более низкой стены равна:

$$1,6 \cdot \operatorname{tg} 34^\circ \sim 1,08 \text{ м}$$

Соответственно, высота окна равна  $1,8 - 1,08 = 0,72 \text{ м}$ . Искомый угол равен  $\arctg \frac{1,6}{0,72} = 66^\circ$ .

## **Часть 10. 69 Московская Астрономическая Олимпиада (2015 год)**

### **Дистанционный тур**

10.1. (все классы) 1 - Солнце

10.2. (все классы) 2- 21 июня, поскольку афелий орбиты она проходит в начале июля.

10.3. (все классы) 2 - Землю, 3 – Метеоры

10.4. (все классы) 1 - В январе, т.к. самые длинные ночи ближе всего к зимнему солнцестоянию.

10.5. (все классы) 3 - Незадолго до восхода Солнца, т.к. в течении своего годичного движения Солнце смещается на восток.

10.6. (все классы) 4 - Солнечные пятна

10.7. (все классы) 7, 4, 3, 5, 2, 1, 8, 6, т.е: комета Чурюмова-Герасименко, Церера, Луна, Марс, Земля, Солнце, Бетельгейзе, туманность Андромеды

10.8. (6-11 классы) 5 - Планетарная туманность

10.9. (6-11 классы) 2 - Венера

10.10. (6-11 классы) Луна на земном небе видна под углом в  $0,5^\circ$ , и т.к. на лунном небе Земля будет иметь угловой диаметр в 4 раза больший -  $2^\circ$ , и зная, что диаметр Юпитера в 11 раз больше земного, то с расстояния Луны в 384000 км Юпитер будет виден под углом в  $22^\circ$ , а значит, для того чтобы он стал размером равным Луне необходимо от него удалиться в  $22/0,5 = 44$  раза, т.е. на  $15,8 \cdot 10^7$  км

10.11. (8-11 классы) Для правильного перевода необходимо учесть долготу – долгота КГО  $42^\circ 40'$ , значит Земля поворачивается на такой угол за 2 часа и 51 минуту. Именно на столько наступает полдень раньше в КГО нежели чем на нулевом меридиане. Далее учитывая то, что КГО находится во втором часовом поясе и на время проведения олимпиады у нас есть еще дополнительный час декретного времени получаем полную разницу между гринвичским и временем КГО 3 часа и вычитая разницу за счет долготы получаем - .12:09

10.12. (8-11 классы) M45 - Плеяды

10.13. (8-11 классы) 5 - Юпитер

10.14. (8-11 классы) Запишем отношение поверхностных яркостей:

$$\frac{P_{\text{перигелия}}}{P_{\text{афелия}}} = \frac{\frac{L_{\text{Солнца}}}{4\pi a_{\text{перигелия}}^2} / \pi \left( \frac{R_{\text{Солнца}}}{a_{\text{перигелия}}^2} \right)}{\frac{L_{\text{Солнца}}}{4\pi a_{\text{афелия}}^2} / \pi \left( \frac{R_{\text{Солнца}}}{a_{\text{афелия}}^2} \right)} = 1$$

0 – не изменится

10.15. (10-11 классы) 2 - Голубой гигант, 3 - Жёлтый карлик

$$10.16. (10-11 \text{ классы}) g = G \frac{\frac{4}{3}\pi R^3 \rho}{R^2} = \frac{4}{3}\pi G \rho R = 1,26 \text{ м/с}^2$$

10.17. (10-11 классы) Для такого спутника его угловая скорость должна быть равна угловой скорости движения облачного покрова:

$$\frac{2\pi R_{\text{венеры}}}{V_{\text{обл}}} = \frac{2\pi R_{\text{спут}}}{V_{\text{спут}}} = \frac{2\pi R_{\text{спут}}}{\sqrt{\frac{GM_{\text{венеры}}}{R_{\text{спут}}}}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 R_{\text{спут}}^3}{GM_{\text{венеры}}}} \quad R_{\text{спут}} = \sqrt[3]{\frac{GM_{\text{венеры}} R_{\text{венеры}}^2}{V_{\text{обл}}^2}}$$

Подставив значения, мы получим  $R_{\text{спут}} = 1,06 \cdot 10^5 \text{ км}$

## Очный тур

### 1-5 классы

10.18. Метеоритные кратеры образуются в результате столкновения астероида с поверхностью планеты. Среди перечисленных объектов Солнце, Юпитер и Сатурн не имеют твёрдой поверхности, поэтому кратеры на них образоваться не могут. На всех остальных объектах кратеры присутствуют. Самым крупным из перечисленных объектов является Солнце, самым маленьким — Луна.

10.19. Юпитер находится существенно дальше нашей планеты от Солнца, поэтому на небе Юпитера Земля всегда находится недалеко от Солнца. А это значит, мы всегда видим дневное полушарие планеты, Юпитер наблюдается как полный диск. Увидеть неосвещённую, ночную сторону этой планеты с Земли невозможно.

10.20. (1-5 и 6-7 классы) Домашнее задание было дано под Новый год, в конце декабря, вблизи дня зимнего солнцестояния. Это самый короткий световой день в северном полушарии и самый длинный — в южном. Из первого описания мы узнаем, что в городе Солнце вовсе не поднялось над горизонтом, а значит, город находится за полярным кругом. Это Мурманск. Второе описание соответствует движению Солнца зимой в Москве, а третье — находящемуся в южном полушарии Сиднею.

10.21. Частное солнечное затмение происходит, когда для наблюдателя на Земле диск Луны загораживает часть диска Солнца. Луна, как и любое непрозрачное тело, отбрасывает тень и полу充分肯定. При попадании в полу充分肯定 и наблюдалось частное затмение. Луна обращается вокруг Земли, а значит и полу充分肯定 движется по земной поверхности. Так что затмение будет начинаться в разных городах немного в разное время. Заметим, что это никак связано с наличием на Земле часовых поясов.

### 6-7 классы

10.22. Наилучшие условия сложатся при наблюдении с внутренних планет Солнечной Системы Меркурия и Венеры. Земля и Луна могут наблюдаться в противостоянии с этих планет, в это время они полностью освещены Солнцем. В тот момент, когда Луна находится на прямой между планетой и Землёй, к наблюдателю будет повёрнуто невидимое с Земли полушарие нашего спутника. Однако, не следует забывать, что Венера покрыта плотными облаками, и с её поверхности в видимых лучах нельзя наблюдать даже Солнце.

Наблюдение обратной стороны Луны с внешних планет, например, Марса, возможно, но её никогда нельзя будет увидеть целиком. В момент верхнего соединения Луна будет не видна из-за близости Солнца, а в других конфигурациях будет заметна фаза Луны

10.23. Световой год - это расстояния, которое преодолевает свет за юлианский год (365.25 дней). Скорость света также указана в условии, за секунду свет пролетает 300000 км или 0.3 млн км, следовательно за 3600 секунд (1 час) он преодолеет  $300000 \cdot 3600 = 1080$  млн. км, за сутки (24 часа) 25.92 млрд км, за год (365.25 суток) — 9.46 триллионов км. Таким образом, 1 световой год равен расстоянию в 9.46 триллионов ( $9.46 \cdot 10^{12}$ ) км.

Теперь вычислим с помощью указанной в условии формулы протяжённость орбиты Солнца. Диаметр орбиты равен удвоенному расстоянию от Солнца до центра галактики, протяжённость орбиты составит 169560 световых года. Данный путь Солнце преодолевает за 225 миллионов лет. Скорость движения по условию одинакова, это означает, что за миллион лет Солнце преодолеет 754 световых года, за тысячу лет — 0.754 световых года. Воспользовавшись вычислениями в начале задаче получаем, что за тысячу лет Солнце пролетит  $9.46 \cdot 0.754 \cdot 10^{12} = 7.13$  триллионов км. Следовательно, за год это расстояние составит 7.13 млрд км, за сутки — 19.5 млн километров, а за 3 часа — 2.5 миллиона километров, или 0.016 астрономических единиц.

10.24. Частное солнечное затмение происходит, когда для наблюдателя на Земле диск Луны загораживает часть диска Солнца. Луна, как и любое непрозрачное тело, отбрасывает тень и полутень. При попадании в полутень и наблюдается частное затмение. Луна вращается вокруг Земли, а значит и полутень движется по земной поверхности. Так что затмение будет начинаться в разных городах немного в разное время. Другая причина — наличие часовых поясов, но это скажется лишь на пояснном времени.

Размер полутени Луны измеряется тысячами километров (диаметр выше 3 тысяч километров), затмение происходит вблизи местного полудня, поэтому его также будет наблюдать в Киеве, расстояние до которого от Москвы меньше тысячи километров. А вот в Нью Йорке в это время будет ночь, поэтому там затмение наблюдать будет никак нельзя.

10.25. Цифрой 1 отмечено рассеянное звёздное скопление Плеяды, 2 — комета C/2014 Q2 Лавджоя (Lovejoy), 3 — искусственный спутник Земли Иридиум (Iridium). Самым близким к наблюдателю является объект 3, а самым далёким — объект 1.

## 8-9 классы

10.26. От момента когда «передний» край планеты впервые касается диска звезды, до момента, когда «задний» край звезды сходит с диска звезды, планете надо преодолеть расстояние равное сумме ее диаметра и диаметра звезды, т. е.  $l = 2R + 2r = 1.5 \cdot 10^6$  км.

Следует заметить, что планета движется не по прямой, а по дуге окружности. Но найденное расстояние примерно в 100 раз больше радиуса орбиты планеты. Столь короткая дуга мало отличима от прямой линии, что и позволяет нам упростить вычисления.

Поскольку далекая звезда похожа на Солнце, то по 3-му закону Кеплера орбитальный период экзопланеты будет такой же как у Меркурия. За один сидерический период  $T = 88$  дней экзопланета преодолеет расстояние  $L = 2\pi a_{\text{mer}} \approx 2.4$  а.е.  $\approx 3.6 \cdot 10^8$  км. Отсюда получаем ее скорость:

$$v = L / T \approx 48 \text{ км/с.}$$

Значит, прохождение будет происходить в течение времени  $t = l / v = 8.7$  часа = 8 ч. 41 мин.

10.27. К планетам земной группы относят Меркурий, Венеру, Землю и Марс. Венера покрыта столь густой пеленой облаков, что Солнце на венерианском небе не видно никогда. Значит, и восход Солнца увидеть не удастся. На остальных планетах восход увидеть в принципе можно.

Самым быстрым восход будет в том случае, когда Солнце будет вставать перпендикулярно горизонту, что возможно на экваторе планеты. На продолжительность восхода влияют два фактора: продолжительность солнечных суток на планете и угловой размер Солнца на небе

планеты. Чем короче сутки, т. е. Чем быстрее вращается планета, тем восход короче. Также, чем меньше видимый размер Солнца, тем восход короче.

Очевидно, Меркурий проигрывает по всем параметрам. На меркурианском небе Солнце самое большое, а солнечные сутки равны 176 дней.

Рассчитаем продолжительность восхода на Земле. Солнце имеет угловой размер  $32'$ , а солнечные сутки равны 24 часа. Значит минимальная продолжительность восхода составляет:

$$T_3 = \frac{32'}{360^\circ} 24 \text{ часа} \approx 2 \text{ минуты}$$

Минимальный размер солнечного диска на Марсе в афелии составляет  $19'$  (средний  $21'$ ). Продолжительность средних солнечных суток равна 24,66 часа. Отсюда:

$$T_M = \frac{19'}{360^\circ} 24,66 \text{ часа} \approx 1 \text{ минута } 18 \text{ секунд}$$

Для среднего размера диска Солнца получаем 1.4 мин. Значит самый короткий рассвет будет на Марсе.

10.28. Определим, сколько времени продолжалось плавание. Для начала вычислим расстояние между островами в градусах. Нуку-Хива находится на  $10^\circ 45'$  южнее и на  $17^\circ 18'$  восточнее Киритими. Поскольку события происходят около экватора, а разница широт точек начала и конца путешествия не очень велика, можно пользоваться обычной геометрией, а именно, теоремой Пифагора. Тогда искомое расстояние между островами составляет:

$$\gamma = \sqrt{10,75^2 + 17,3^2} = 20,37^\circ = 20^\circ 22' = 0,3555 \text{ радиан}$$

Расстояние, пройденное кораблем, равно  $l=R\gamma=2268$  км. При скорости 40 км/ч путешествие должно было занять 2 дня 8 часов 40 минут. Дальше можно рассуждать несколькими способами. Время на Киритими отличается от времени на Нуку-Хива на 23.5 часа, т. е. По времени Нуку-Хива путешественник отправился в путь в 12h 30m воскресенья. Тогда, прибыл он во вторник в 21h 10m.

С другой стороны, разница времени между островами  $24 - 9.5 - 14 = 0.5$  часов. Однако, где-то между ними проходит линия перемены дат. Поэтому реальная разница во времени  $23h 30m$

10.29. Большая полуось орбиты Марса равна  $a_m = 1.5$  а.е., Весты —  $a_v = 2.4$  а.е. Значит большая полуось орбиты аппарата на первом участке полета равна:

$$a_1 = \frac{a_m + a_v}{2} = 2 \text{ а.е.}$$

По 3-му закону Кеплера время перелета по этой орбите от Марса до Весты окажется равным:

$$T = T_0 \frac{1}{2} \left( \frac{a}{a_0} \right)^{3/2} = 1,4 \text{ года}$$

Здесь  $T_0 = 1$  год и  $a_0 = 1$  а.е. — сидерический период и радиус орбиты Земли. Прибыв на Весту космический аппарат совершил половину оборота вокруг Солнца, в то время, как Церера прошла лишь  $1.4 / 4.6 = 0.3$  своего пути. Значит, она отстает от Весты на  $180^\circ + 140^\circ - 1.4 / 4.6 \cdot 360^\circ \approx 210^\circ$ , или опережает на  $150^\circ$ .

Большая полуось орбиты перелета на Цереру равна:

$$a_1 = \frac{a_c + a_v}{2} = \frac{2,8 + 2,4}{2} = 2,6 \text{ а.е.2}$$

, а время перелета

$$T = T_0 \frac{1}{2} \left( \frac{a}{a_0} \right)^{3/2} = 2,1 \text{ года}$$

За это время Церера смещается по орбите на  $2,1 / 4,6 \cdot 360^\circ = 164^\circ$ , т. е. для того, чтобы аппарат встретился с Церерой, она должна опережать Весту на  $16^\circ$ .

Синодический период Цереры для наблюдателя с Весты равен:

$$S = \left( \frac{1}{T_v} - \frac{1}{T_c} \right)^{-1} = 16,6 \text{ лет}$$

Значит до нужной конфигурации осталось:

$$\frac{360^\circ - 164^\circ + 16^\circ}{360^\circ} \cdot S = 9,8 \text{ лет}$$

Все это время аппарат мог бы потратить на исследование Цереры. Полностью перелет от Марса к Церере занял бы 13,3 года.

10.30. Ловушка, пролетая сквозь облако заметает часть этого облака в форме цилиндра. Объем этого цилиндра равен:

$$V = \pi r^2 l = 1,2 \cdot 10^{15} \text{ м}^3$$

Здесь  $r$  — радиус ловушки,  $l$  — размер облака, т. е. длина пути корабля сквозь облако.

Всего в одном кубическом сантиметре облака содержится  $10^6$  частиц, из них только  $10^6 / 10^5 = 10$  молекул воды. Значит в одном кубическом метре  $10^7$  молекул воды. При такой концентрации тонна воды содержится в объеме  $3,3 \cdot 10^{21} \text{ м}^3$ . Т. е. при пролете через это облако (который будет продолжаться в течение 9,5 лет) собрать необходимую массу воды не удастся.

10.31. Измерим диаметр Луны с помощью линейки, получим величину 127 мм. Наибольший поперечник моря составляет около 1 см. Диаметр Луны равен 3476 км, значит наибольший поперечник  $D$  лунного моря достигает 274 км. Угловой размер (в радианах) можно оценить по формуле  $\alpha = D/L$ , где  $L$  — расстояние до Луны в момент наблюдений. Разумеется, наименьшим расстояние до Луны оказывается при наблюдении с Земли, но мы видим совершенно непривычную конфигурацию морей на Луне, а это значит что море находится на обратной, не видимой с Земли стороне. Поэтому данное море принципиально не наблюдаемо с нашей планеты, во всяком случае, в настоящее время. Формальный подсчет углового размера не является ошибкой, если есть указание на его «мнимый характер».

При наблюдении с Венеры наилучшие условия складываются, когда Земля и Луна находятся в противостоянии. В это время с Венеры виден полностью освещенный диск Луны. Пренебрегая эксцентриситетом орбит, расстояние в этот момент составляет  $1 - 0,72 = 0,277 \text{ а.е.} \approx 41,4 \text{ млн. км}$ . Подставляя это расстояния в формулу, находим угловой поперечный размер моря, составляющий  $6,61 \cdot 10^{-6}$  радиан или  $1,36''$ . Формальное разрешение 100-мм телескопа составляет  $140/100 = 1,4''$ . Таким образом, море видно с орбиты Венеры на пределе разрешения телескопа.

При наблюдении с Марса наибольший угловой размер Луны достигается при нижнем соединении Луны (при этом с Земли наблюдается противостояние Марса). Даже при «великих» противостояниях Марса расстояние не превышает 55 млн. км, что соответствует угловому размеру моря в  $4,98 \cdot 10^{-6}$  радиан или  $1,03''$ . Это чуть меньше разрешающей способности телескопа, но в данной конфигурации к наблюдателю на Марсе обращена ночная сторона Луны, и наблюдения

моря принципиально невозможны.

## 10-11 классы

10.32. Год с солнечными и звездными сутками связан уравнением синодического движения. Поскольку направление вращения вокруг светила и своей оси у планеты не совпадает искомое уравнение примет вид

$$\frac{1}{s} = \frac{1}{T} + \frac{1}{t}$$

Здесь  $t$  — звездные сутки планеты. Из условия известно, что  $T = 456,789 \cdot s = k \cdot s$ .  
Тогда:

$$\begin{aligned}\frac{1}{t} &= \frac{1}{s} - \frac{1}{T} = \frac{1}{s} - \frac{1}{ks} = \frac{(k-1)}{ks} \\ t &= \frac{k}{k-1} s = 20,0439^h = 20^h 2^m 40^s\end{aligned}$$

10.33. Для того, чтобы произошло Солнечное затмение, надо чтобы центр Луны на небе находился от эклиптики на расстоянии не дальше, чем сумма угловых радиусов луны и Солнца:  $\rho_L + \rho_S$ . Такое наклонение орбиты необходимо для регулярного наблюдения солнечных затмений наблюдателем в центре Земли. При перемещении по поверхности Земли видимые положения Луны и Солнца смешаются по отношению к положению далеких звезд и друг к другу. Это явление называется суточный параллакс. Горизонтальный параллакс Луны (угол, под которым виден радиус Земли с Луной) равен  $0.95^\circ = 57'$ . Горизонтальный параллакс Солнца почти в 400 раз меньше и его можно не учитывать. Таким образом, наклон лунной орбиты не должен превышать:

$$i = \rho_L + \rho_S + \pi \approx 15.5' + 16.0' + 57.0' = 88.5 \approx 1.48^\circ$$

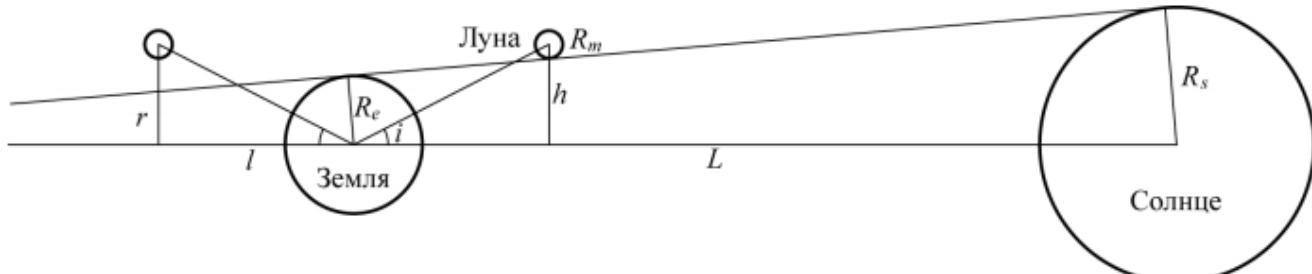
Радиус земной тени на расстоянии Луны равен:

$$r = R - l \rho_S = 4590 \text{ км.}$$

Здесь  $R$  — радиус Земли,  $l$  — расстояние до Луны. Ее угловой радиус получается равным:

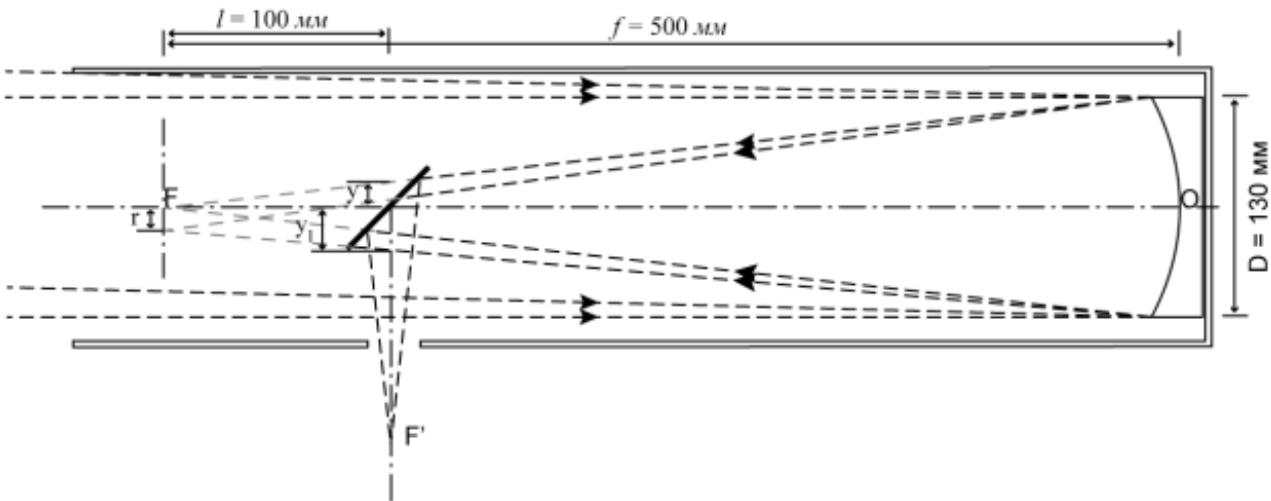
$$\gamma = \arctg \frac{r}{l} = 0.69^\circ \approx 41'$$

Ближайший к эклиптике край диска Луны может отстоять от нее до расстояния  $88.5' - 15.5' = 73'$ . Значит? теневые лунные затмения будут наблюдаваться не каждый месяц.



Последний вывод можно получить и более простым путем. Для этого, достаточно начертить на одном рисунке условия возникновения полного лунного и частного солнечного затмения. Видно, что для того, чтобы попасть в конус земной тени, Луне необходимо находиться ближе к эклиптике, чем в момент частного солнечного затмения.

10.34. Принципиальная схема телескопа системы Ньютона изображена на рисунке.



Параллельный пучок лучей от далекого объекта отражается в главном зеркале и собирается в фокусе. Для удобства на пути сходящихся лучей ставится плоское зеркало, которое выносит фокус за пределы трубы телескопа, где можно установить, например, окуляр для визуальных наблюдений. Очевидно, что вторичное зеркало затеняет главное зеркало, из-за чего не него попадает меньше света, чем могло бы попасть в отсутствие вторичного.

На первый взгляд, вторичное зеркало должно выбираться таким образом, чтобы перехватывать все лучи, отраженные главным зеркалом и собирающиеся в главном фокусе. Тогда оно будет вырезать из всего падающего потока кружок радиусом:

$$y = \frac{lD}{2f} = \frac{100\text{мм} \cdot 130\text{ мм}}{2 \cdot 500\text{ мм}} = 13\text{ мм}$$

Но эта формула работает только для светил, расположенных на оптической оси. Свет идущий от светил расположенных на краю поля зрения частично минует вторичное зеркало. Т. е. вторичное зеркало должно быть больше.

Обратим внимание, что при поле зрения  $1^\circ$  изображения объектов будут расположены в фокальной плоскости в кружке радиуса  $r=F \cdot \tan(0.5^\circ)=4.4$  мм. Тогда вторичное зеркало должно перехватить не только все лучи в конусе, с вершиной в фокусе, а все лучи в более широком усеченном конусе. Из соотношений для подобных треугольников получаем уравнение:

$$\frac{y_1 - r}{l} = \frac{D/2 - r}{f}$$

После несложных преобразований получаем радиус затеняемого кружка:

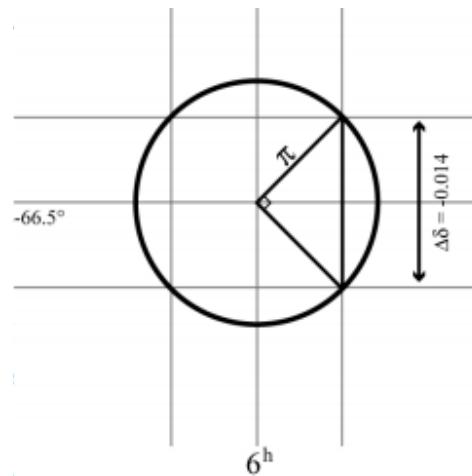
$$y_1 = r + \frac{(D/2 - r)l}{f} = 4.4 + \frac{(65 - 4.4) \cdot 100}{500} = 17\text{ мм}$$

Искомое ослабление можно найти следующим образом:

$$\Delta m = -2,5 \lg \left( 1 - \frac{4y_1^2}{D^2} \right) = 0,08^m$$

10.35. В течение года из-за параллакса звезда описывает на небе небольшой эллипс. Большая полуось этого эллипса равна величине параллакса данной звезды. Для звезд, расположенных на эклиптике, эллипсы вырождаются в отрезки, а в полюсах эклиптики, наоборот, превращаются в окружности.

Координаты заданной звезды совпадают с координатами южного полюса эклиптики, т. е. параллактическое смещение звезды происходит по окружности. За три месяца звезда прошла дугу этой окружности, равную  $90^\circ$ . Длина хорды, опирающейся на эту дугу, задана в условии. Отсюда легко посчитать радиус окружности:



$$\pi = \Delta \delta / \sqrt{2} = 0,0099''.$$

Наконец, находим расстояние до звезды:

$$d = 1/\pi = 1/0.0099'' \approx 100 \text{ пк.}$$

10.36. Рассмотрим самый «критический» случай. Человек падает в черную дыру, и достиг уже ее гравитационного радиуса  $r_g$ . Пусть  $M$  — масса черной дыры, а  $h$  — рост человека. Тогда между ногами и головой человека, если он падает вертикально, существует разница ускорений:

$$\Delta g = \frac{GM}{r_g^2} - \frac{GM}{(r_g + h)^2} = \frac{GM}{r_g^2} \left[ 1 - \left( 1 - 2 \frac{h}{r_g} \right) \right] = 2 \frac{GMh}{r_g^3}$$

Здесь мы учли малость величины  $h/r_g$  и воспользовались приближенной формулой  $(1+x)^n = 1+nx$ , справедливой при малых  $x$ . Гравитационный радиус черной дыры вычисляется по формуле:

$$r_g = 2 \frac{GM}{c^2}$$

где  $c$  — скорость света. Тогда:

$$\Delta g = \frac{hc^6}{4G^2 M^2} = 1,84 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$$

Итого, человек испытывает ускорение равное примерно  $0.00002g$ , что, очевидно, не опасно. Значит, на более далеком расстоянии приливные силы от этой черной дыры также не опасны.

10.37. По определению, красное смещение равно разности излученной и лабораторной длин волн, отнесенной к лабораторной длине волны:

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v_0 - v}{v}$$

Здесь учтено, что  $\lambda = c v^{-1}$ . Откуда берется изменение частоты (или длины волны)?

Для преодоления поля притяжения звезды квант света, как и любое материальное тело, должен израсходовать часть своей энергии. Как известно, энергия кванта  $\epsilon$  зависит от его частоты  $v$  как  $\epsilon = hv$ . Пусть частота кванта в момент излучения равна  $v_0$ , а в момент приема —  $v$ . Тогда уравнение сохранения энергии принимает вид:

$$hv = hv_0 - \frac{GMm_0}{R}$$

Здесь  $h$  — постоянная Планка,  $G$  — гравитационная постоянная,  $M$  и  $R$  — масса и радиус звезды,  $m_0$  — масса кванта в момент излучения. Формула Эйнштейна позволяет связать массу и энергию кванта:

$$\epsilon_0 = m_0 c^2 = hv_0 \quad m_0 = hv_0/c^2$$

Тогда уравнение сохранения энергии приобретает вид:

$$v = v_0 - \frac{GMv_0}{Rc^2} = v_0 \left(1 - \frac{GM}{Rc^2}\right)$$

Подставив полученное выражение в уравнение для определения красного смещения, получим:

$$z = \frac{v_0}{v} - 1 = \frac{1}{1 - \frac{GM}{Rc^2}} - 1 \approx 1 + \frac{GM}{Rc^2} - 1 = \frac{GM}{Rc^2}$$

Здесь мы учли, что для обеих звезд второе слагаемое в знаменателе много меньше 1 и применили приближенную формулу  $(1+x)^n \approx 1+nx$ , справедливую при малых  $x$ .

Осталось сравнить красные смещения от Солнца и Бетельгейзе:

$$\frac{Z_C}{Z_B} = \frac{M_C}{M_B} \cdot \frac{R_B}{R_C} = \frac{M_C}{17 \cdot M_C} \cdot \frac{800 \cdot R_C}{R_C} \approx 47$$

Итого, гравитационное красное смещение для Солнца почти в 50 раз больше.

Примечание. Для решения задачи допустимо сразу применять формулу для гравитационного красного смещения, как в упрощенном виде для слабых полей (в решении выше), так и релятивистскую  $z = (1 - r_g/R)^{-1/2} - 1$ , где  $r_g$  — гравитационный радиус.

10.38.1 Светимость Солнца растет со временем в геометрической прогрессии со знаменателем 1,1. Пусть  $t_0 = 10^9$  лет. Тогда светимость Солнца зависит от времени как

$$L(t) = 1,1^{t/t_0} \cdot L_0$$

, а за 5 миллиардов лет она возрастет до  $L(t) = 1,1^5 \cdot L_0 \approx 1,6L_0$

10.38.2 Границы зоны жизни определяются из величины эффективной температуры на поверхности планеты. Для того чтобы эта температура оставалась неизменной необходимо, чтобы освещенность планеты сохранялась. Поскольку освещенность  $E$  равна:

$$E = \frac{L}{4\pi r^2} = const \quad r \sim L^{1/2}$$

, и новые границы будут от 1 а.е. до 1.4 а.е

10.38.3 Темп потери массы также возрастает в геометрической прогрессии.

$$\dot{M}(t) = 1,1^{t/t_0} \cdot \dot{M}_0$$

В общем виде задача оказывается довольно сложной и требует интегрирования. Те, кто владеют таким математическим аппаратом, должны получить формулу для потери массы в виде

$$M(t) = \frac{\dot{M}_0 t_0}{\ln 1,1} (1,1^{t/t_0} - 1)$$

За 5 млрд. лет солнце потеряет всего лишь около  $0.032 M_0$ .

Можно найти решение приближенно. Например, вычислить средние значения  $\dot{M}$  для каждого прошедшего миллиарда лет и считать, что каждый миллиард лет потеря массы проходила с одинаковым (средним) темпом.

Еще один вариант решения, заметить, что

$$1,1^{t/t_0} = (1 + 0,1)^{t/t_0} \approx 1 + 0,1 t/t_0$$

Тогда можно считать, что Солнце теряет массу равноускоренно и

$$M(t) \approx \dot{M}_0 t + \frac{0,1 \dot{M}_0}{t_0} \cdot \frac{t^2}{2} \approx 0,032 M_0$$

10.38.4 Для ответа на этот вопрос надо рассчитать, какая полная энергия будет излучена Солнцем за 5 млрд. лет. Эта задача решается также как и предыдущая, а ответ будет  $E = 7,7 \cdot 10^{43}$  Дж. Энергия в Солнце вырабатывается за счет превращения водорода в гелий. Так как  $E = M_r c^2$ , то  $M_r$  есть та масса, которая «пропала» при слиянии четырех протонов в одно ядро гелия. Тогда

$$M_r = \frac{E}{c^2} = 8,6 \cdot 10^{26} \text{ кг} = 4,3 \cdot 10^{-8} M_0/\text{год}$$

Видим, что потеря массы солнечным ветром в три раза больше.

10.38.5 Средняя потеря массы Солнцем на стадии красного гиганта составляет

$$\frac{0,4}{10^8} = 0,4 \cdot 10^{-8} M_0/\text{год}$$

10.38.6 Если бы солнце потеряло 0,4 своей массы мгновенно, то планеты перешли бы на сильно вытянутые орбиты. Но при медленной потере массы, при заметном изменении массы Солнца происходит за время, сильно превышающее орбитальный период планет, последние будут медленно отодвигаться от Солнца по спирали. В каждый момент времени планеты будут оставаться на почти круговой орбите. Если вещество будет вытекать радиально, то момент импульса планет не изменится. Тогда момент импульса равен

$$mvR = m \sqrt{\frac{GM}{R}} R = m\sqrt{GMR}$$

, а закон сохранения импульса можно записать в виде

$$M_0 R_0 = MR$$

$$R = \frac{M_0}{M} R_0 = \frac{R_0}{0,6} \approx 1,7 R_0$$

Таким образом радиусы орбит планет вырастут в 1.7 раза

10.39. Случайные скорости галактик имеют характерную величину

$$\sigma = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

где  $M$  – масса скопления,  $R$  – его радиус.

«Протяженность» скопления по красному смещению около  $2\sigma$  (поскольку есть галактики, летящие как к наблюдателю, так и от него). Измерив линейкой «протяженность» скопления, получаем:  $2\sigma \approx 3600$  км/с,  $\sigma \approx 1800$  км/с. Поскольку погрешность измерений линейкой 0,5 мм, то погрешность определения характерной скорости составляет около 100 км/с.

Радиус скопления можно найти из его углового размера и среднего расстояния. Угловой размер можно определить с помощью транспортира, или вычислить, проведя несложные построения. В обоих случаях точность одинаковая, а угловой размер должен составить  $\theta = 1.5^\circ \pm 0.5^\circ = (0.026 \pm 0.009)$  рад. Средняя скорость скопления определяется также с помощью линейки:  $v = 16100 \pm 100$  км/с. Из закона Хаббла вычислим среднее расстояние

$$r = \frac{V}{H} = (230 \pm 2) \text{ Мпк}$$

Поперечный размер скопления

$$R = r \frac{\theta}{2} = (3 \pm 1) \text{ Мпк} = (9 \pm 3) \cdot 10^{22} \text{ м}$$

Масса скопления:

$$M = \frac{R\sigma^2}{G} = (4 \pm 2) \cdot 10^{45} = (2 \pm 1) \cdot 10^{15} M_0$$

10.40. Для начала надо определить масштаб фотографии. Для этого надо отождествить с помощью карты несколько звезд, расположенных в разных частях фотографии, определить их координаты и вычислить угловые и линейные расстояния между ними. Для хорошего определения масштаба нужно использовать несколько пар звезд, расположенные в разных частях фотографии. Усреднив несколько значений масштаба, кроме увеличения точности, можно обнаружить ошибки отождествления звезд, если такие есть. Итоговый масштаб должен получиться около  $2.3'/\text{мм}$  или  $26 \text{ мм}^\circ$ .

Проведя измерения можно определить, что диаметр комы на фотографии занимает примерно  $23'$  (значение может отличаться в зависимости от определения границы комы, но не должно отличаться очень сильно, например в 3 и более раз). На расстоянии 0.53 а.е. это составляет

$$D_c = 2 \cdot 0.53 \cdot \text{tg}(11.5') = 3.5 \cdot 10^{-3} \text{ а.е.} \approx 0.53 \text{ млн. км}$$

Хвост кометы имеет длину  $8.8^\circ$ , или  $l_x = 12$  млн. км. Однако, это не полная длина хвоста, а лишь его проекция на небесную сферу. Как известно, хвост кометы направлен от Солнца. Найдем положение Солнца.

Известно, что его эклиптическая долгота была равна  $18h 21$  декабря, а  $20$  марта, в день весеннего равноденствия, будет равна  $0h$ . Предполагая, что Солнце движется по эклиптике

равномерно, получим, что 17 января его эклиптическая долгота была примерно равна  $\lambda_s = 297^\circ$ . С помощью звездной карты можно определить экваториальные координаты кометы:  $\alpha_c = 3h 16m = 49^\circ$ ,  $\delta_c = 20^\circ$ . Комета находится западнее точки весеннего равноденствия. В этом месте эклиптика также находится в северном полушарии. Учитывая, что положение Солнца нам известно не очень точно, можно предположить, что комета также лежит на эклиптике. Тогда эклиптическая долгота кометы равна:

$$\lambda_c = \arccos(\cos \delta_c \cos \alpha_c) = 52^\circ$$

(Если точно перевести экваториальные координаты кометы в эклиптические, получим долготу  $52^\circ$  и широту  $1.8^\circ$ ) Надо заметить, что применение «плоской» формулы дает чуть завышенное значение  $53^\circ$ .

Итак, расстояние между кометой и Солнцем было  $\Delta\lambda = 115^\circ$ . Рассмотрим треугольник Солнце-комета-Земля. Расстояние от Солнца до кометы можно найти из теоремы косинусов:

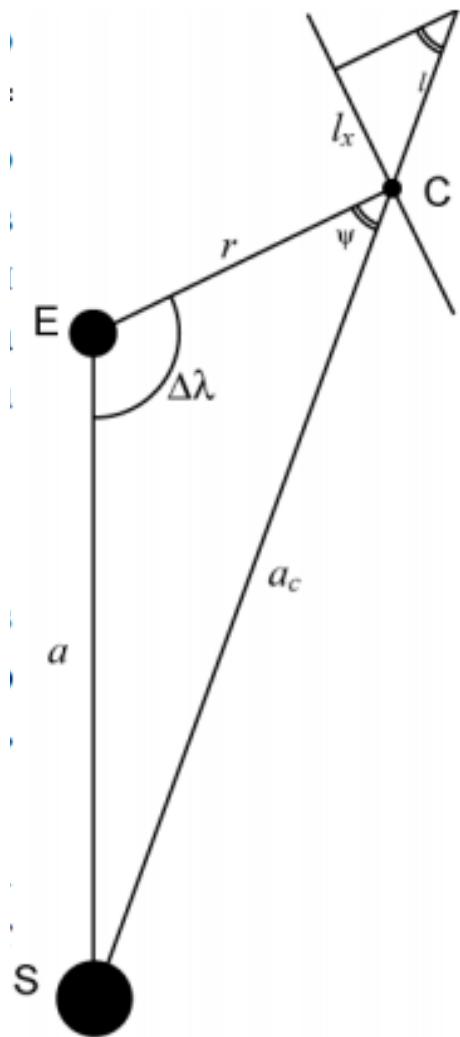
$$a_c = \sqrt{a^2 + r^2 - 2ar \cos \Delta\lambda} = 1,3 \text{ а. е.}$$

Из теоремы синусов находим угол  $\sin \psi$ :

$$\sin \psi = \sin \Delta\lambda \frac{a}{a_c} = 0,7$$

Отсюда длина хвоста

$$l = \frac{l_x}{\sin \psi} = 17 \text{ млн. км}$$



### Наблюдательный тур

#### 8-9 классы

10.41.1 (8-11 классы) Московское время 4.40, Звёздное время 15.24

10.41.2 (8-11 классы) Объект- Луна. Долгота—  $229^\circ$ , широта —  $+2,5^\circ$

#### 10-11 классы

10.42.3 Гидра - Дева - Волопас - Дракон - Цефей - Кассиопея - Андромеда - Рыбы

10.42.4 Луна, Юпитер, Вега, Арктур, Капелла.

10.42.5 Номера подходящих объектов Мессье:

3, 5, 13, 27, 29, 39, 40, 49, 51, 52, 53, 56-60, 63, 64, 81, 82, 84-92, 94, 97-102, 106, 108, 109

10.42.6 1. Вега ( $\alpha$ ) — Лира, 2. Юпитер — Рак, 3. Арктур ( $\alpha$ ) — Волопас, 4. Сатурн — Скорпион, 5. Алиот ( $\epsilon$ ) — Большая Медведица, 6. Этамин ( $\gamma$ ) — Дракон, 7. Альдерамин ( $\alpha$ ) — Цефей



# СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

## Основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная  $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2} = 6.67 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$

Скорость света в вакууме  $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с} = 2.998 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$

Постоянная Планка  $h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1} = 6.63 \cdot 10^{-27} \text{ г} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$

Постоянная Больцмана  $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} = 1.38 \cdot 10^{-16} \text{ г} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$

Универсальная газовая постоянная  $R = 8.31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1} = 8.31 \cdot 10^7 \text{ г} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$

Постоянная Стефана-Больцмана  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4} = 5.67 \cdot 10^{-5} \text{ г} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$

Масса протона  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1.67 \cdot 10^{-24} \text{ г}$

Масса электрона  $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 9.11 \cdot 10^{-28} \text{ г}$

Энергия ионизации атома водорода  $E_H = 13.6 \text{ эВ} = 2.18 \cdot 10^{-18} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} = 2.18 \cdot 10^{-11} \text{ г} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-2}$

Астрономическая единица 1 а.е. =  $1.496 \cdot 10^{11} \text{ м} = 1.496 \cdot 10^{13} \text{ см}$

Парsec 1 пк =  $206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м} = 3.086 \cdot 10^{18} \text{ см}$

## Данные о Солнце

Радиус 695 000 км

Масса  $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$

Средняя плотность  $1.41 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$

Ускорение силы тяжести на поверхности  $274.9807 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$

Вторая космическая скорость на поверхности 617.7 км/с

Светимость  $3.88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$

Спектральный класс G2V

Сидерический период вращения главного меридиана 25.38 суток

Средний синодический период вращения главного меридиана 27.275 суток

Видимая звездная величина  $-26.8^m$

Абсолютная визуальная звездная величина  $+4.82^m$

Абсолютная болометрическая звездная величина  $+4.74^m$

Показатель цвета (B-V)  $+0.67^m$

Температура поверхности около 6000К

Средний горизонтальный параллакс 8.794"

## Данные о Земле

Наименьшее расстояние от Солнца 0.983 а.е. или 147.1 млн км

Наибольшее расстояние от Солнца 1.017 а.е. или 152.1 млн км

Средняя скорость движения по орбите 29.79 км/с

Эксцентриситет орбиты 0.017

Тропический год 365.24219 суток

Сидерический год 365.25636 суток

Аномалистический год 365.25964 суток

Драконический год 346.62008 суток

Период вращения 23 часа 56 минут 04 секунды

Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000.0:  $23^\circ 26' 21.45''$

Годичная прецессия оси вращения 50.29"

Экваториальный радиус 6378.14 км

Полярный радиус 6356.77 км

Сжатие 1/298.3

Масса  $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$

Средняя плотность  $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$

Ускорение силы тяжести на поверхности (стандартное)  $9.807 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$

Вторая космическая скорость на поверхности 11.19 км/с  
 Атмосферное давление на уровне моря (стандартное)  $1.013 \cdot 10^5$  кг·м<sup>-1</sup>·с<sup>-2</sup>

## Данные о Луне

Среднее расстояние от Земли 384400 км  
 Минимальное расстояние от Земли 356410 км  
 Максимальное расстояние от Земли 406700 км  
 Средняя скорость движения по орбите 1.023 км/с  
 Средний эксцентриситет орбиты 0.055  
 Средний наклон плоскости орбиты к эклиптике 5°09'  
 Средний наклон экватора к эклиптике 1°33'  
 Максимальная либрация по долготе 7°54'  
 Максимальная либрация по широте 6°50'  
 Сидерический (звездный) период обращения 27.321662 суток  
 Синодический период обращения 29.530589 суток  
 Драконический период обращения 27.212221 суток  
 Аномалистический период обращения 27.554550 суток  
 Радиус 1738 км  
 Масса  $7.348 \cdot 10^{22}$  кг или 1/81.3 массы Земли  
 Средняя плотность 3.34 г·см<sup>-3</sup>  
 Ускорение свободного падения на поверхности 1.62 м·с<sup>-2</sup>  
 Вторая космическая скорость на поверхности 2.38 км/с  
 Визуальное геометрическое альбедо 0.12  
 Сфериическое альбедо 0.07  
 Видимая звездная величина в полнолуние -12.7<sup>m</sup>

## ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЦА И ПЛАНЕТ

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Геометр. альбедо	Видимая звездная величина**
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли	г·см <sup>-3</sup>		градусы		<i>m</i>
Солнце	$1.989 \cdot 10^{30}$	332946	695000	108.97	1.41	25.380 сут	7.25	—	-26.8
Меркурий	$3.302 \cdot 10^{23}$	0.05271	2439.7	0.3825	5.42	58.646 сут	0.00	0.10	-0.1
Венера	$4.869 \cdot 10^{24}$	0.81476	6051.8	0.9488	5.20	243.019 сут*	177.36	0.65	-4.4
Земля	$5.974 \cdot 10^{24}$	1.00000	6378.1	1.0000	5.52	23.934 час	23.45	0.37	—
Марс	$6.419 \cdot 10^{23}$	0.10745	3397.2	0.5326	3.93	24.623 час	25.19	0.15	-2.0
Юпитер	$1.899 \cdot 10^{27}$	317.94	71492	11.209	1.33	9.924 час	3.13	0.52	-2.7
Сатурн	$5.685 \cdot 10^{26}$	95.181	60268	9.4494	0.69	10.656 час	25.33	0.47	0.4
Уран	$8.683 \cdot 10^{25}$	14.535	25559	4.0073	1.32	17.24 час*	97.86	0.51	5.7
Нептун	$1.024 \cdot 10^{26}$	17.135	24746	3.8799	1.64	16.11 час	28.31	0.41	7.8
Плутон	$1.5 \cdot 10^{22}$	0.003	1160	0.1819	1.1	6.387 сут*	122.52	0.3	15.1

\* – обратное вращение.

\*\* – для наибольшей элонгации Меркурия и Венеры и среднего противостояния внешних планет.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРБИТ ПЛАНЕТ

Планета	Большая полуось		Эксцентриситет	Наклон к плоскости эклиптики	Период обращения	Синодический период
	млн.км	а.е.		градусы		сут
Меркурий	57.9	0.3871	0.2056	7.004	87.97 сут	115.9
Венера	108.2	0.7233	0.0068	3.394	224.70 сут	583.9
Земля	149.6	1.0000	0.0167	0.000	365.26 сут	—
Марс	227.9	1.5237	0.0934	1.850	686.98 сут	780.0
Юпитер	778.3	5.2028	0.0483	1.308	11.862 лет	398.9
Сатурн	1429.4	9.5388	0.0560	2.488	29.458 лет	378.1
Уран	2871.0	19.1914	0.0461	0.774	84.01 лет	369.7
Нептун	4504.3	30.0611	0.0097	1.774	164.79 лет	367.5
Плутон	5913.5	39.5294	0.2482	17.148	248.54 лет	366.7

## ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ СПУТНИКОВ ПЛАНЕТ

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрич. альбедо	Видимая звездная величина*
	кг	км	г/см <sup>3</sup>	км	сут		m
<b>Земля</b>							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
<b>Марс</b>							
Фобос	$1.08 \cdot 10^{16}$	~10	2.0	9380	0.31910	0.06	11.3
Деймос	$1.8 \cdot 10^{15}$	~6	1.7	23460	1.26244	0.07	12.4
<b>Юпитер</b>							
Амальтея	$7.17 \cdot 10^{18}$	~100	1.8	181300	0.498179	0.05	14.1
Ио	$8.94 \cdot 10^{22}$	1815	3.55	421800	1.769138	0.61	5.0
Европа	$4.8 \cdot 10^{22}$	1569	3.01	671100	3.551181	0.64	5.3
Ганимед	$1.48 \cdot 10^{23}$	2631	1.94	1070400	7.154553	0.42	4.6
Каллисто	$1.08 \cdot 10^{23}$	2400	1.86	1882800	16.68902	0.20	5.7
<b>Сатурн</b>							
Тефия	$7.55 \cdot 10^{20}$	530	1.21	294660	1.887802	0.9	10.2
Диона	$1.05 \cdot 10^{21}$	560	1.43	377400	2.736915	0.7	10.4
Рея	$2.49 \cdot 10^{21}$	765	1.33	527040	4.517500	0.7	9.7
Титан	$1.35 \cdot 10^{23}$	2575	1.88	1221850	15.94542	0.21	8.2
Япет	$1.88 \cdot 10^{21}$	730	1.21	3560800	79.33018	0.2	~11.0
<b>Уран</b>							
Миранда	$6.33 \cdot 10^{19}$	235.8	1.15	129900	1.413479	0.27	16.3
Ариэль	$1.7 \cdot 10^{21}$	578.9	1.56	190900	2.520379	0.34	14.2
Умбриэль	$1.27 \cdot 10^{21}$	584.7	1.52	266000	4.144177	0.18	14.8
Титания	$3.49 \cdot 10^{21}$	788.9	1.70	436300	8.705872	0.27	13.7
Оберон	$3.03 \cdot 10^{21}$	761.4	1.64	583500	13.46324	0.24	13.9
<b>Нептун</b>							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	1350	2.07	354800	5.87685**	0.7	13.5
<b>Плутон</b>							
Харон	$1.77 \cdot 10^{21}$	635	1.83	19410	6.38725	0.5	16.8

\* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет.

\*\* – обратное направление вращения.

# **СОДЕРЖАНИЕ**

## **Предисловие**

## **Московская Астрономическая Олимпиада глазами ее участников**

## **Условия задач**

- Часть 1. 60 Московская Астрономическая Олимпиада (2006 год)
- Часть 2. 61 Московская Астрономическая Олимпиада (2007 год)
- Часть 3. 62 Московская Астрономическая Олимпиада (2008 год)
- Часть 4. 63 Московская Астрономическая Олимпиада (2009 год)
- Часть 5. 64 Московская Астрономическая Олимпиада (2010 год)
- Часть 6. 65 Московская Астрономическая Олимпиада (2011 год)
- Часть 7. 66 Московская Астрономическая Олимпиада (2012 год)
- Часть 8. 67 Московская Астрономическая Олимпиада (2013 год)
- Часть 9. 68 Московская Астрономическая Олимпиада (2014 год)
- Часть 10. 69 Московская Астрономическая Олимпиада (2015 год)
- Часть 11. Дополнительные задачи
- Часть 12. Открытая Заочная Астрономическая Олимпиада (2006 год)
- Часть 13. Открытая Заочная Астрономическая Олимпиада (2007 год)
- Часть 14. Открытая Заочная Астрономическая Олимпиада (2008 год)
- Часть 15. Астрономический тест
- Часть 16. Задачи первых Московских Астрономических Олимпиад

## **Решения задач**

- Часть 1. 60 Московская Астрономическая Олимпиада (2006 год)
- Часть 2. 61 Московская Астрономическая Олимпиада (2007 год)
- Часть 3. 62 Московская Астрономическая Олимпиада (2008 год)
- Часть 4. 63 Московская Астрономическая Олимпиада (2009 год)
- Часть 5. 64 Московская Астрономическая Олимпиада (2010 год)
- Часть 6. 65 Московская Астрономическая Олимпиада (2011 год)
- Часть 7. 66 Московская Астрономическая Олимпиада (2012 год)
- Часть 8. 67 Московская Астрономическая Олимпиада (2013 год)
- Часть 9. 68 Московская Астрономическая Олимпиада (2014 год)
- Часть 10. 69 Московская Астрономическая Олимпиада (2015 год)
- Часть 11. Дополнительные задачи
- Часть 12. Открытая Заочная Астрономическая Олимпиада (2006 год)
- Часть 13. Открытая Заочная Астрономическая Олимпиада (2007 год)
- Часть 14. Открытая Заочная Астрономическая Олимпиада (2008 год)
- Часть 15. Астрономический тест
- Часть 16. Задачи первых Московских Астрономических Олимпиад

## **Справочные данные**