

## 55 Московская Астрономическая Олимпиада (2001 год)

### 1 тур

#### 7 класс и моложе

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

5.2. Объясните русскую поговорку “Если месяц по зорям ходит — к затмению Солнца”. Всегда ли она выполняется?

5.3. 22 июня Солнце поднялось на максимальную высоту  $60^{\circ}$  над горизонтом. На какую высоту оно поднимется в этом пункте 21 декабря?

5.4. Предположим, что сегодня Юпитер и Сатурн одновременно вступили в противостояние с Солнцем. У какой из этих планет следующее противостояние наступит раньше?

5.5. У жителей будущего возникло желание избавиться от Луны с ее постоянными приливами и отливами. Какую дополнительную скорость надо сообщить Луне, чтобы она покинула Землю?

#### 8 - 9 классы

5.6. Почему в “Астрономических календарях” для переменных звезд — цефеид приводятся моменты максимумов, а для затменных переменных звезд — моменты минимумов блеска?

5.7. Перечислите шесть самых ярких светил земного неба (в большую часть времени), начиная с самого яркого. Всегда ли эта последовательность остается такой же?

5.8. Недавно была открыта комета, имеющая блеск  $10^{\text{м}}$ . Расчеты орбиты показали, что через два месяца она вдвое приблизится к Солнцу и Земле. Можно ли будет наблюдать ее невооруженным глазом в это время? Считать, что яркость кометы обратно пропорциональна четвертой степени расстояния до Солнца.

5.9. Ранним вечером вы видите восходящую кроваво-красную Луну. Свидетелями какого явления вы стали?

5.10. Космонавт, выйдя из корабля, летящего по круговой орбите вокруг Земли, бросил 3 камня: один вперед, по ходу движения, другой назад, а третий вбок, перпендикулярно плоскости орбиты. Корабль совершил один оборот, оказавшись в той же точке. В каком положении будут камни 1, 2, 3 относительно корабля?

#### 10 - 11 классы

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

5.12. Почему большинство полных лунных затмений с фазой больше 1.75 оказываются невидимыми в России?

5.13. Чему равна максимальная скорость метеора при его влете в атмосферу Земли?

5.14. 1 января в 00 часов по всемирному времени произошло солнечное затмение, 5 января в 00 часов — покрытие Венеры Луной, а 6 января в 00 часов — покрытие Юпитера Луной. Какое еще астрономическое явление произойдет в январе и в какой день?

5.15. Напоминаем, что стационарным называется спутник, период обращения которого равен звездным суткам для данной планеты. Для всех ли планет Солнечной системы создание стационарного спутника является возможным?

### 2 тур

#### 7 класс и моложе

5.16. Какого из четырех типов затмений не существует на Земле и почему: полного солнечного, кольцеобразного солнечного, полного лунного, кольцеобразного лунного.

5.17. 1 апреля звезда Арктур кульминировала в  $01^{\text{ч}}40^{\text{м}}$ , а звезда Вега — в  $06^{\text{ч}}01^{\text{м}}$  местного времени. Какая из этих звезд первой кульминирует 1 июня?

5.18. Чему равна максимальная длина хвоста кометы, наблюдаемой с Земли?

5.19. Два поезда выехали с одинаковой скоростью на запад и восток из пункта А в момент захода Солнца. Пассажиры какого из поездов раньше встретят рассвет?

5.20. В пространстве Солнечной системы движется космический корабль в виде большой сферы, которая наполовину черная, а наполовину белая. Какой стороной к Солнцу в конце концов развернется корабль?

#### 8 - 9 классы

5.21. На каких широтах Луна может не скрываться над горизонтом в течение всех суток? Изменится ли эта область в ближайшие 5-6 лет?

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

5.23. Вы находитесь на 60-й параллели. Сегодня звезда взошла в 16<sup>h</sup>00<sup>m</sup>, а зашла в 23<sup>h</sup>00<sup>m</sup> по московскому времени. Куда вам нужно отправиться завтра, чтобы наблюдать восход и заход этой звезды в то же время?

5.24. 20 декабря произошло солнечное затмение. Удастся ли увидеть Луну невооруженным глазом 21 декабря в 18 часов по местному времени на широте Москвы? на экваторе?

5.25. В научно-популярном астрономическом журнале за 2000 год в статье “Космоплавание под солнечным парусом” авторы пишут следующее: “...теперь повернем плоский зеркальный парус под углом к лучам. Фотоны начнут отскакивать от паруса подобно шарикку пинг-понга, брошенному под углом к столу. Часть импульса, направленную параллельно парусу, фотоны сохранят у себя, так что парусу достанется меньше, чем в полном раскрытии к лучам. Величина светового давления упадет, а направление давления будет совпадать с нормалью к парусу, отложенной с теневой стороны. Поворачивая парус, мы получаем возможность управлять направлением тяги “солнечного двигателя”, однако за это придется платить ее величиной: плоский парус, поставленный перпендикулярно лучам, вообще не даст никакой тяги”. Подтвердите или опровергните утверждение авторов статьи.

10 - 11 классы

5.26. Две звезды имеют температуры поверхности 10000К и 50000К и одинаковые радиусы. Какая из звезд будет ярче в красной области спектра (7000 ангстрем) и во сколько раз?

5.27. Как известно, благодаря эффективному механизму разогрева температура солнечной короны (2 млн К) намного выше температуры поверхности Солнца (6000К). Почему температура короны именно такая, и что мешает ей нагреться еще сильнее?

5.28. Оцените максимальную продолжительность покрытия звезды Луной.

5.29. 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.

5.30. В научно-популярном астрономическом журнале за 2000 год в статье “Космоплавание под солнечным парусом” авторы пишут следующее: “Набегающие фотоны дважды обмениваются импульсом с парусом: первый раз — при поглощении, как в случае с черным парусом, и второй раз — при переизлучении в обратном направлении. Величина силы светового давления при этом окажется вдвое больше, чем на черный парус равной площади”. Подтвердите или опровергните утверждение авторов статьи.

## 55 Московская Астрономическая Олимпиада (2001 год)

1 тур

7 класс и моложе

5.1. 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).

5.2. Смысл этой поговорки состоит в том, что солнечное затмение может наступить только в новолуние, а за несколько дней до новолуния Луна имеет форму серпа и наблюдается только на фоне утренней зари. Разумеется, эта поговорка выполняется не всегда, так как не в каждое новолуние наступает солнечное затмение, и не каждое солнечное затмение будет видно в Вашем наблюдательном пункте.

5.3. Как известно, высота светила в верхней кульминации  $h$  выражается через его склонение  $\delta$  и широту места наблюдения  $\varphi$  соотношением

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

где  $\delta > 0$  к северу от небесного экватора и  $\delta < 0$  к югу. Однако здесь нужно сделать оговорку, что данная формула справедлива для светил, кульминирующих к югу от зенита, а если кульминация происходит на севере, то данная формула дает значение высоты, вычтенное из  $180^\circ$ .

В условии задачи не сказано, в какой стороне горизонта кульминировало Солнце — на севере или на юге. Если кульминация произошла на юге, то  $h = 60^\circ$ , и дело происходило в северном полушарии, на широте

$$\varphi = 90^\circ + \varepsilon - h = 53.5^\circ.$$

Здесь  $\varepsilon = 23.5^\circ$  — угол наклона экватора к эклиптике, равный склонению Солнца в день летнего солнцестояния 22 июня. В этом случае 21 декабря, когда склонение Солнца будет равно  $-\varepsilon$ , Солнце поднимется на максимальную высоту

$$h = 90^\circ - \varphi - \varepsilon = 13^\circ.$$

Если же кульминация происходила на севере, то в формулу нужно подставить  $h = 120^\circ$ , широта равна

$$\varphi = 90^\circ + \varepsilon - h = -6.5^\circ,$$

что означает, что данная точка находится в южном полушарии Земли. 21 декабря максимальная высота Солнца составит

$$h = 90^\circ - \varphi - \varepsilon = 73^\circ,$$

причем Солнце будет кульминировать на юге.

5.4. Синодический период внешней планеты  $S$ , равный интервалу между двумя ее последовательными противостояниями, связан с периодом обращения планеты  $T$  и Земли  $T_E$  вокруг Солнца следующим соотношением:

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

Из формулы видно, что чем больше период обращения планеты вокруг Солнца, тем меньше ее синодический период (Земля в своем вращении вокруг Солнца быстрее нагонит эту планету). Поэтому более далекий от нас Сатурн вступит в следующее противостояние раньше Юпитера.

5.5. Луна обращается вокруг Земли почти по круговой орбите, то есть ее скорость (около 1.02 км/с) близка к первой космической для данного расстояния от Земли. Чтобы покинуть Землю, Луна должна иметь вторую космическую скорость, большую в 1.41 раза и составляющую около 1.45 км/с, то есть для реализации своей

фантастической идеи жители будущего должны будут придать Луне дополнительную скорость, равную 0.43 км/с.

Разумеется, если не ставить задачу увести Луну от Земли единственным импульсом, то тяга двигателя может быть гораздо меньшей. Но это уже заслуживает отдельного разговора.

#### 8 - 9 классы

5.6. С первого взгляда может показаться, что для всех типов периодических переменных звезд лучше всего приводить моменты именно максимумов, а не минимумов блеска — ведь максимум гораздо легче наблюдать. На самом деле это так для всех переменных звезд, кроме затменных. У них не существует максимума как такового, блеск звезды долго держится на максимальном уровне, почти не меняясь между резкими и острыми минимумами, связанными с затмением одной звезды другой в двойной паре. Поэтому для затменных переменных звезд в справочниках приводят моменты минимумов блеска.

5.7. Чаще всего последовательность шести ярчайших светил неба выглядит следующим образом: Солнце, Луна, Венера, Юпитер, Сириус, Канопус. Но в эту шестерку периодически может “вторгаться” планета Марс, которая во время противостояний может доходить до шестого или пятого места, а во время великих противостояний — даже до четвертого места. Планета Меркурий может подниматься до шестого, а в периоды невидимости во время верхних соединений — и до пятого места. А вот Сатурн всегда остается пусть ненамного, но слабее Канопуса и в первую шестерку светил неба не попадает.

5.8. Когда комета приблизится к Солнцу в два раза, она станет посылать в космическое пространство в 16 раз больше света. При этом она еще вдвое приблизится к Земле, и ее видимая яркость на нашей планете усилится в 64 раза. Нетрудно посчитать, что при этом ее звездная величина уменьшится чуть более, чем на  $4.5^m$  (вспомните, что разница в  $5^m$  соответствует отношению яркостей в 100 раз, а  $1^m$  — в 2.512 раза). То есть, она будет светить чуть ярче звезды  $5.5^m$ , то есть вполне сможет быть найдена невооруженным глазом на темном ясном безлунном небе, разумеется, если не будет находиться слишком близко к Солнцу.

5.9. Скорее всего, вы стали свидетелем того, насколько по-разному земная атмосфера поглощает лучи разного цвета. Когда светило находится вблизи горизонта, это чувствуется сильнее всего. Больше всего поглощаются (и рассеиваются) синие лучи, кстати, поэтому же ясное дневное небо имеет голубой цвет. Меньше всего поглощаются красные, они, в основном, и доходят до ваших глаз, когда вы видите красную Луну.

Менее вероятно, хотя и возможно, что вы стали свидетелем лунного затмения. Когда Луна находится в тени Земли, она приобретает красный цвет (причина этого опять-таки в поглощении света атмосферой Земли). Но если Луна во время затмения только восходит над горизонтом, значит Солнце только что зашло в противоположной точке неба, и еще очень светло. А увидеть Луну в затмении на светлом небе непросто.

5.10. До того, как космонавт бросил камни, они вместе с кораблем летели по круговой орбите с первой космической скоростью. После броска камень 1 получил дополнительную скорость и перешел на эллиптическую орбиту, у которой точка броска стала перигеем. Большая полуось орбиты стала немного больше, значит, по закону Кеплера период обращения тоже чуть увеличился, и по завершении оборота космического корабля камень 1 еще не закончит свой оборот и, следовательно, окажется сзади корабля. Камень 2, брошенный назад, напротив перейдет на более низкую орбиту, у которой точка броска будет апогеем, и после оборота корабля окажется спереди. Таким образом, камни 1 и 2 фактически поменяются местами.

Камень 3 получит боковое приращение скорости, что практически не скажется на большой полуоси орбиты и периоде обращения. Это единственный камень, который космонавт вполне может поймать на следующем обороте корабля, при этом прилетит он со стороны, противоположной направлению броска.

#### 10 - 11 классы

5.11. Меркурий находится в восточной элонгации, значит, он может быть найден ранним вечером на заходе или сразу после захода Солнца. Очевидно, что при фиксированном угловом расстоянии от Солнца его проще будет найти там, где он будет находиться точно над зашедшем светилом, то есть в том месте, где эклиптика будет перпендикулярна горизонту и проходить через зенит.

Так как дело происходит вечером во второй половине марта, то заходящее Солнце находится вблизи точки весеннего равноденствия рядом с горизонтом. В зените тогда будет точка летнего солнцестояния, отстоящая от него на  $90^\circ$  к востоку, то есть это будет северный тропик с широтой  $\varphi = +23.5^\circ$ .

5.12. Такую большую фазу может иметь только центральное или почти центральное лунное затмение, во время которого Луна будет находиться вблизи точки перигея орбиты, а Земля — около точки афелия своей орбиты вокруг Солнца. Последнее условие выполняется в летние месяцы — в июне и июле. Но в это время

Луна в России видна низко над горизонтом и очень недолго. Поэтому такое затмение с большой вероятностью может быть невидимым в нашей стране.

5.13. Метеорные частицы обращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, поэтому вблизи Земли их скорость (относительно Солнца) не может превышать вторую космическую скорость, определяемую соотношением

$$v_0 = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

и равную 42.1 км/с (здесь  $M$  — масса Солнца, а  $R$  — расстояние от Земли до Солнца). Земля движется по орбите со скоростью 29.7 км/с, и если метеорное тело летит навстречу Земле, его относительная скорость может достичь  $v=71.8$  км/с. Наконец, во время падения на Землю, имеющую массу  $m$  и радиус  $r$ , метеороид получает ускорение за счет притяжения Земли. Его максимальная скорость определяется из закона сохранения энергии

$$v_{\text{MAX}}^2 = v^2 + \frac{2Gm}{r}$$

и составляет 72.7 км/с.

5.14. Для решения учтем, что Луна движется вдоль эклиптики со скоростью от  $11.5^\circ$  до  $14.5^\circ$  в день в зависимости от расстояния до Земли. Через четыре дня после новолуния и солнечного затмения Луна прошла на небе мимо Венеры, находящейся, таким образом, вблизи момента наибольшей восточной элонгации (ее угловое расстояние от Солнца не может быть более  $47^\circ$ ). В это время Венера, как и Солнце, движется вдоль эклиптики на восток со скоростью около  $1^\circ$  в сутки. Еще через сутки произошло покрытие Луной Юпитера, значит 5 января он находился примерно в  $13^\circ$  к востоку от Венеры. Скорость движения Юпитера вдоль эклиптики во время вечерней видимости составляет около  $0.2^\circ$  в день, то есть Венера, нагоняя его со скоростью  $0.8^\circ$  в сутки, нагонит его через 16 дней, 21 января, и вступит с ним в красивое соединение, судя по всему, достаточно тесное, раз обе планеты были покрыты Луной, то есть находились на практически одинаковом угловом расстоянии от эклиптики.

5.15. Из III обобщенного закона Кеплера запишем выражение для большой полуоси орбиты  $R$  (в случае круговой орбиты — ее радиуса) через массу центрального тела  $M$  и период обращения вокруг него  $T$ :

$$R = \left( \frac{GMT^2}{4\pi^2} \right)^{1/3}.$$

Если в эту формулу подставить значение  $T$ , равное периоду осевого вращения планеты, то мы получим выражение для радиуса орбиты стационарного спутника. Рассчитав это значение для планет Солнечной системы, мы обнаружим, что лишь у Меркурия и Венеры стационарных спутников быть не может, так как радиусы их орбит (140 тысяч и 1.5 млн км соответственно) слишком велики, и орбиты будут неустойчивыми из-за сильного гравитационного влияния Солнца. Радиусы стационарных орбит Земли и Марса (42 тысячи и 20 тысяч км соответственно) очень удобны для запуска искусственных спутников, коих у Земли уже великое множество, и у Марса наверняка когда-нибудь появятся. Радиус стационарной орбиты Юпитера (160 тысяч км) близок к радиусам орбит его естественных спутников группы Амальтеи, а у Сатурна (110 тысяч км) даже чуть меньше, чем у внутренних спутников. У близнецов Урана и Нептуна радиус стационарной орбиты равен около 84 тысячи км, что также близко к орбитам их малых спутников. Ну, а для Плутона проводить расчеты не нужно — вы наверняка знаете, что это единственная планета Солнечной системы, имеющая естественный стационарный спутник — Харон. Радиус его орбиты равен 19 тысяч км.

2 тур

7 класс и моложе

5.16. Земная тень на расстоянии, равном радиусу лунной орбиты, имеет поперечник, значительно превосходящий размер Луны. Поэтому кольцеобразного лунного затмения быть не может. Остальные три типа затмений, перечисленные в условии задачи (полное солнечное, кольцеобразное солнечное и полное лунное) возможны и периодически наблюдаются на нашей планете.

5.17. Звездные сутки приблизительно на 4 минуты короче солнечных, и поэтому в каждый следующий день отдельно взятая звезда кульминирует на 4 минуты раньше, чем в предыдущий. За месяц время кульминации звезды смещается на 2 часа. Поэтому 1 июня Вега, кульминировавшая 1 апреля в  $06^{\text{h}}01^{\text{m}}$ , будет кульминировать около 2 часов, а вот Арктур, который 1 апреля кульминировал в  $01^{\text{h}}40^{\text{m}}$ , будет кульминировать до полуночи, около  $21^{\text{h}}40^{\text{m}}$ . Таким образом, 1 июня первой кульминирует Вега.

5.18. Как известно, хвост кометы направлен от Солнца. Поэтому если комета вдруг окажется между Солнцем и Землей, а ее хвост будет достаточно длинным и ярким, его видимая длина на небе достигнет  $180^\circ$ ! При этом хвост будет простираться от Солнца до противосолнечной точки неба. Конечно, при этом сама комета будет находиться в соединении с Солнцем и видна не будет. У кометы, находящейся на угловом расстоянии  $d$  от Солнца, длина хвоста может достигать  $180^\circ - d$ . Последний раз комета с хвостом длиной около  $100^\circ$  наблюдалась в 1996 году (комета Хиакутаке).

5.19. Суточное движение поверхности Земли за счет осевого вращения направлено с запада на восток. Поэтому скорость поезда, отправившегося на восток, сложится со скоростью суточного вращения, что уменьшит наблюдаемую с поезда продолжительность солнечных суток. Пассажиры этого поезда встретят рассвет раньше пассажиров другого поезда, который поехал в западном направлении, и на котором солнечные сутки будут длиться более 24 часов.

5.20. На оба полушария корабля будет действовать давление поглощаемого ими солнечного света. Но у белой полусферы 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.

8 - 9 классы

5.21. Лунная орбита наклонена к плоскости эклиптики на угол  $5^\circ 09'$ . Поэтому, в зависимости от расположения орбиты Луны относительно эклиптики, пределы, в которых изменяется склонение Луны в течение ее оборота вокруг Земли, могут изменяться от  $\pm 18^\circ 17'$  до  $\pm 28^\circ 35'$ . Этим и будет определяться широта, на которой Луна может не заходить за горизонт. На время проведения 2 тура Олимпиады (24 февраля 2001 года) максимальное склонение Луны составляло около  $\pm 22.5^\circ$ , и Луна могла стать незаходящим светилом на широтах более  $68^\circ$  (с учетом эффектов рефракции и параллакса). Через 5-6 лет наступит период “высокой Луны”, когда ее склонение будет достигать  $\pm 28.5^\circ$ , и она сможет стать незаходящим светилом уже на 62-й параллели.

5.22. Вторая космическая скорость, необходимая для того, чтобы с расстояния  $R=1$  а.е. преодолеть притяжение Солнца с массой  $M$  и улететь за пределы Солнечной системы, равна

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

и составляет 42.1 км/с. Но Земля сама движется по орбите со скоростью 29.8 км/с, и при запуске аппарата в направлении движения Земли его скорость относительно Земли может быть равна всего  $u=12.3$  км/с. Но такой скорость должна быть уже после преодоления земного притяжения. Для определения стартовой скорости воспользуемся законом сохранения энергии:

$$v_3 = \sqrt{u^2 + \frac{2Gm}{r}}.$$

В результате, третья космическая скорость  $v_3$  на Земле составляет 16.7 км/с (здесь  $m$  и  $r$  — масса и радиус Земли).

5.23. Так как по условию задачи продолжительность видимости звезды не должна измениться, вам нужно будет остаться на той же 60-й параллели. Если бы вы остались в той же точке, восход и заход звезды на следующий день произошел ровно через одни звездные сутки, то есть на  $\Delta t=3^{\text{h}}56^{\text{c}}$  раньше, чем в первый день. Чтобы наблюдать восход и заход звезды в то же московское время, вам нужно будет отправиться на запад, чтобы ваша долгота уменьшилась на  $3^{\text{h}}56^{\text{c}}$ , то есть на  $59'$ . Учитывая, что длина 60-й параллели вдвое меньше длины экватора (около 20000 км), получаем, что вам нужно будет отправиться на запад на 54.7 км.

5.24. Солнечные затмения происходят в новолуние, значит 21 декабря Луна предстанет в виде однодневного серпа, заходящего вскоре после Солнца. Такой серп можно увидеть при благоприятных

обстоятельствах вечером, хотя продолжительность его видимости очень мала. На экваторе Солнце в любой день заходит чуть позже 18 часов по местному времени, и увидеть Луну ровно в 18 часов невооруженным глазом будет еще трудно (хотя в бинокль можно попробовать, но лучше просто подождать 20-30 минут). На широте Москвы 21 декабря к 18 часам Солнце уже опустится глубоко под горизонт, но и молодая Луна также успеет зайти, и ее видно не будет.

5.25. Все написанное в статье в целом верно для идеального зеркального паруса. В действительности часть фотонов будут поглощаться парусом без отражения или отражаться в произвольных направлениях. Поэтому кроме основной компоненты тяги, направленной, как написано в статье, в направлении нормали с теневой стороны паруса, появится небольшая компонента, направленная вдоль распространения света, падающего на парус. Это несколько не ставит под сомнение идею “солнечного двигателя”, просто при его работе необходимо будет учитывать эффекты неидеальности паруса и стремиться их уменьшить.

10 - 11 классы

5.26. Как известно, чем больше температура звезды, тем в более коротковолновую область спектра смещен максимум ее излучения. Однако при равных радиусах звезд более горячая звезда будет излучать больше энергии во всех диапазонах электромагнитного излучения, как это следует из формулы Планка, просто в длинноволновой области разница будет меньше. Длина волны 7000 ангстрем намного больше, чем длина волны максимума излучения для обеих звезд, и в этой (релей-джинсовской) области спектра светимость звезды пропорциональна  $R^2T$  (а не  $R^2T^4$ , как для полной светимости). Следовательно, более горячая звезда будет в этих лучах в 5 раз ярче.

5.27. За счет передачи энергии магнитоакустическими волнами солнечная корона разогревается до температуры в 2 млн К. Скорость протонов  $v$ , соответствующую данной температуре  $T$ , рассчитывается по следующей формуле:

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m_p}},$$

что составляет около 220 км/с (здесь  $k$  — постоянная Больцмана,  $m_p$  — масса протона). Но эта скорость, как мы можем убедиться, ненамного меньше второй космической скорости на расстоянии порядка 2 радиусов Солнца. То есть, более быстрые протоны будут покидать Солнце, образуя солнечный ветер. Протоны, остающиеся в короне, просто не могут иметь большей кинетической температуры.

5.28. При покрытии далекой звезды Луной область видимости этого явления (назовем ее тенью) движется в пространстве со скоростью, равной скорости орбитального движения Луны, которая минимальна, когда Луна достигает точки апогея своей орбиты, и составляет 0.96 км/с. Размер области тени равен диаметру Луны (3476 км). Но нужно также учитывать, что Земля вращается вокруг своей оси, и в самом благоприятном случае скорость суточного вращения (достигающая на экваторе 0.46 км/с) может быть сонаправлена со скоростью движения тени. Таким образом, скорость движения тени по поверхности Земли будет равна всего 0.50 км/с, и максимальная продолжительность покрытия составит 6952 секунды, или 1 час 55 минут 52 секунды.

5.29. Из данных наблюдений мы сможем легко определить радиус орбиты планеты. Он равен

$$r = \frac{vT}{2\pi} = 10 \text{ а. е.},$$

где  $v$  и  $T$  — орбитальная скорость и период обращения планеты. Орбита планеты видна с Земли под углом  $\delta=0.064''$ , откуда расстояние до звезды равно

$$d = \frac{r}{\delta}.$$

Выражая величину  $d$  в парсеках, получаем 156.25 пк.

По обобщенному третьему закону Кеплера мы получаем, что масса звезды равна 10 массам Солнца. Для звезд главной последовательности справедливо, что их светимость возрастает с массой по закону  $L \sim M^N$ , где  $N$  не меньше 3. То есть, светимость этой звезды будет по крайней мере в 1000 раз превышать светимость Солнца, а значит ее абсолютная звездная величина будет по крайней мере  $m_0=-2.8$ . С расстояния  $d$  видимая звездная величина этой звезды будет не слабее

$$m = m_0 - 5 + 5 \lg d = 3.2,$$

то есть звезда будет видна невооруженным глазом.

5.30. Это будет так только при нормальном падении света на парус. При падении света под углом отношение импульсов уже не будет равно 2, мало того, направления импульсов будут разными. Черный парус будет получать импульс в направлении распространения света, а зеркальный — в направлении нормали на теневой стороне паруса (смотрите задачу 5.25). Кроме этого, как и в задаче 5.25, все сказанное верно только для идеального паруса, отражающего весь падающий на него свет. Реальный парус будет поглощать часть фотонов, что будет снижать его эффективность и изменять направление тяги.