

❖ Белорусские астрономические олимпиады ❖



А. Л. Поплавский

*СЛОЖНЫЕ
АСТРОНОМИЧЕСКИЕ
ЗАДАЧИ*



Минск: Издательский центр БГУ, 2007 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В начале нового тысячелетия астрономия – одна из наиболее динамично развивающихся наук. Это связано с использованием современных наблюдательных средств: огромных наземных телескопов, космических обсерваторий, новых цифровых приемников электромагнитного излучения, детекторов нейтрино; усовершенствованием аналитических моделей и методов; внедрением и развитием вычислительных методов: цифровой обработки данных, численных методов, позволяющих решать сложнейшие задачи и обслуживать системы наблюдательной астрономии. Очень часто новые открытия меняют знания об окружающей Вселенной на наших глазах. Например, исследование реликтового излучения привело к открытию его анизотропии и, как следствие, неизотропности Вселенной и совсем другим сценариям эволюции; в Солнечной системе обнаружен новый класс объектов – пояс транснептуновых астероидов; обнаружены внесолнечные планеты, доказано, что планетные системы – достаточно распространены во Вселенной. Вершиной успеха современной астрономии явилось открытие небесных объектов с совершенно необычными физическими свойствами. Во-первых, это нейтронные звезды, проявляющие себя как пульсары и магнитары, которые представляют собой очень компактные, размером около десятков километров, массивные (несколько масс Солнца) объекты. Магнитное поле таких звезд может достигать величины $\sim 10^{16}$ гаусс. В таких громадных полях полностью изменяется структура вещества и его свойства. Во-вторых, это черные дыры – области пространства-времени, которые ничто, даже свет, не в состоянии покинуть. Долгое время существование таких объектов казалось фантастикой, пока прямые наблюдения не подтвердили их существование в начале 1990-х гг. В последнее время происходит тесный синтез астрономии, биологии и синергетики. Такой подход позволяет рассматривать происхождение и человека в рамках эволюции галактик, звезд и планетных систем.

Стало очевидным, астрономия должна играть значительную роль в современном образовании. Ее место – на вершине пирамиды знаний как дисциплины, завершающей не только физико-математическое образование школьников, но и их мировоззренческое и экологическое образование, нравственное и эстетическое воспитание.

В настоящее время астрономия – одна из немногих дисциплин естественнонаучного цикла, пользующаяся огромной популярностью среди учащихся среднеобразовательных учебных заведений любого возраста. Интерес школьников к науке о небе проявляется в наблюдениях за звездным небом, чтении научно-популярной литературы, участии в научно-практических конференциях и олимпиадах. Сегодня белорусские астрономические олимпиады имеют 12-летнюю историю. Этот «возраст» нельзя назвать солидным по сравнению с олимпиадами по физике и математике в республике, однако почти таков возраст и Международных астрономических олимпиад (IAO). Исходя из того факта, что на рубеже тысячелетий астрономия получила новое рождение, этот срок является немалым.

В последние годы прослеживается заметная тенденция к увеличению сложности заданий республиканских, областных и районных олимпиад. Это связано с тем, что реальный уровень знаний участников олимпиад уже давно существенно превосходит уровень школьной программы. Данный сборник содержит 37 астрономических задач повышенной сложности, которые использовались на республиканских, областных, районных олимпиадах последних лет, а также на II Заочной астрономической олимпиаде лицея БГУ. Большая часть задач составлена автором сборника, задачи 26 и 37 предложены Н. И. Стетюкевичем, задача 27 придумана в соавторстве. Также использованы «ремейки» на некоторые задачи из других источников. Данный сборник может быть рекомендован для подготовки к олимпиадам, для самообразования школьникам, студентам и преподавателям.

А. Л. Поплавский

1. Лунное затмение. Бывают случаи, когда Луна, находящаяся в полном затмении, восходит раньше захода Солнца, так что оба светила видны одновременно, и, следовательно, Солнце должно быть видно с Луны, а между тем, Луна в затмении. Как это объяснить?

2. Вечный день. Поспорили двое ученых. Один считал, что для того, чтобы у них в городе всегда был день, надо полностью остановить вращение Земли вокруг своей оси, другой же утверждал, что достаточно будет уменьшить скорость вращения, но не останавливать ее совсем. Кто из них прав? Почему?

3. Наблюдение Полярной звезды. Известен такой анекдот: «Сержант одной из минских воинских частей на плацу проводит урок астрономии:

– Посмотрите вверх, перед нами – Полярная звезда.

Один солдат жалуется:

– Товарищ сержант, шапка спадает!

Сержант:

– Понял! Взводоод! Два шага назад – шагом марш!!!»

Предположим, что сержант решил довести взвод до того места, где шапка действительно перестанет спадать. Оцените, сколько шагов придется при этом сделать. Угол наклона головы, при котором сваливаются шапки, оцените самостоятельно.

4. Летние каникулы. Вернувшись после летних каникул, лицеист рассказал своим одноклассникам очень много интересных и удивительных историй. Но друзья, никогда не выезжавшие за пределы г. Минска, не поверили в некоторые из его историй. А поверите ли в них вы?

а) «...Есть город, в котором день равен ночи круглый год, а иногда в полдень стоящие на земле предметы не отбрасывают теней!..»

б) «...А в одной из стран Солнце в течение дня находится все время в северной части неба...»

в) «...А еще я был в стране, где у серпа Луны ночью рога всегда направлены вверх...»

5. Новый год. Посмотрите на карту Минска и скажите, с какой скоростью и по каким улицам надо бежать по городу из лицея БГУ, чтобы момент Нового года продлился максимально долго.

6. Планета X. Космонавты подлетели к неизвестной планете, масса которой оказалась в 10 раз больше земной, а вот плотность такая же. Оставив звездолет на планетостационарной орбите, они опустились на ее поверхность прямо под ним и с удивлением обнаружили, что сила тяжести тут такая же, как и на Земле. На какой высоте над поверхностью планеты кружил в это время их звездолет?

7. Лунные приключения. В некотором тридевятом лунном царстве, тридесятом лунном государстве жили-были лунный волк, лунный заяц и лунный лис. Как-то раз сидел голодный лунный волк в Океане Бурь на лунном экваторе и выл вверх, на сияющую голубую Землю. Вдруг мимо пробежал лунный заяц. «О! Лунный заяц!» – осенило лунного волка, и с криком «Ну, лунный заяц, погоди!» он бросился вдогонку. А в это время рядом оказался лунный лис. «Ну, нехай лунний вовк спіймае його...» – подумал лунный лис. «Та я з'їм! А що не з'їм, то...» – привычно вторило было в ответ лунное эхо, но осеклось – ведь на Луне нет атмосферы. Тем временем на Земле происходило лунное затмение 7 сентября 2006 года. Его наблюдали учащиеся лицея БГУ на набережной реки Свислочь. А что могли видеть в это время лунный волк, догоняющий лунного зайца, и лунный лис, строящий свои коварные планы?

8. Вокруг света за 80 дней. Филеас Фogg отправился в свое знаменитое кругосветное путешествие (Ж.Верн, «Вокруг света за восемьдесят дней») из Лондона 2 октября 1872 года. Во время путешествия он проехал через Суэц (9 октября), Бомбей (20 октября), Калькутту (25 октября), Гонконг (6 ноября), Иокогаму (13 ноября), Сан-Франциско (3 декабря), Нью-Йорк (11 декабря) и вернулся в Лондон 20 декабря. Как изменялась высота Солнца над горизонтом (в полдень по Гринвичскому времени) в течение путешествия?

9. Экваториальные созвездия. Используя данные школьного учебника по астрономии и карту звездного неба, перечислите все экваториальные созвездия для Урана, если «полярной звездой» для него является Антарес.

10. Эклиптика. Какой угол образует эклиптика с горизонтом в момент захода точки весеннего равноденствия для наблюдателя, расположенного на широте ϕ ?

11. Полярные звезды. Определите, какая звезда могла быть Полярной на Земле во время последнего оледенения в Европе (13 000 лет назад), во время строительства египетских пирамид (4600 лет назад) и во время начала межгалактических перелетов (через 9000 лет)? Для решения вам возможно придется воспользоваться подробными картами звездного неба или компьютером.

12. Парадоксальная планета. Экспедиция межзвездного корабля прибыла на планету, обращающуюся вокруг далекой звезды, и высадилась на ее северное полушарие (60° с.ш.). Хотя температурные условия на поверхности планеты были очень похожи на земные, наблюдавшаяся в пункте посадки картина поразила даже весьма опытных путешественников. Центральное светило заходило каждый раз точно на западе, причем ровно через 16,14 земных суток после предыдущего захода, а вот восходило попутешественниками на севере и на юге! Оцените наклон экватора планеты к плоскости орбиты, а также определите ее расстояние от звезды, период обращения и массу самой звезды, если известно, что данная звезда относится к главной последовательности, и для таких звезд светимость пропорциональна третьей степени массы.

13. Полет на Солнце. Известен такой анекдот середины 1970-х годов:

«— Товарищи космонавты! Вам выпала почетная обязанность первыми полететь на Солнце!

— Но там же жарко! Какой корабль это выдержит?

— Эх, какие вы умные! Наверху сидят люди не глупее вас! Полетите ночью! А наши советские корабли все выдержат!»

Предполагая, что наши советские корабли действительно могут выдержать все, что угодно (любые тепловые и механические перегрузки), найдите минимально возможный период обращения такого корабля вокруг Солнца (обоснуйте, почему такой период минимален), зная, что видимый с земли угловой размер Солнца равен 0,0093 радиан.

14. Еще одно утро в Арктике. Определите продолжительность восхода Солнца и дату начала полярного дня на северном полюсе Земли. Угловой диаметр Солнца равен $32'$, максимальное суточное изменение его склонения составляет $23'$, рефракция у горизонта равна $35'$.

15. Планета вокруг испаряющейся звезды. Планета обращается на близкой круговой орбите вокруг красного гиганта, непрерывно теряющего массу за счет истечения вещества в межзвездное пространство. Найдите период обращения такой планеты в момент, когда плотность звезды составляла $0,1 \text{ г}/\text{см}^3$. Какую форму имеет орбита планеты и почему?

16. Звездное скопление. Рассеянное звездное скопление имеет видимый визуальный блеск 1^m . Из какого максимального числа видимых невооруженным глазом звезд может оно состоять?

17. Крабовидная туманность. Найдите наибольшее смещение бальмеровской линии водорода H_α (лабораторная длина волн – 656,5 нм) в спектре Крабовидной туманности (угловой диаметр равен $6'$, расстояние от Солнца – 1700 пк), которая является остатком сверхновой, вспыхнувшей в 1054 г. н. э.

18. В далеком космосе. Опишите вид звездного неба для наблюдателя, находящегося:

- в спиральном рукаве галактики в созвездии Андромеды;
- в ядре нашей Галактики.

19. Египетские олимпиады. Во время проведения астрономических олимпиад в Древнем Египте существовало правило: не принимались апелляции школьников в день, когда Звезда фараонов (современное название –

Сириус, экваториальные координаты в эпоху древнеегипетских олимпиад: $\alpha = 3^{\text{h}}11^{\text{m}}$, $\delta = -36,0^\circ$) находилась на максимальной высоте над горизонтом в полночь по солнечному времени. В какой день года могло действовать данное правило? Найдите высоту Сириуса в указанный момент, если ширина места проведения олимпиад $\phi = 30^\circ$.

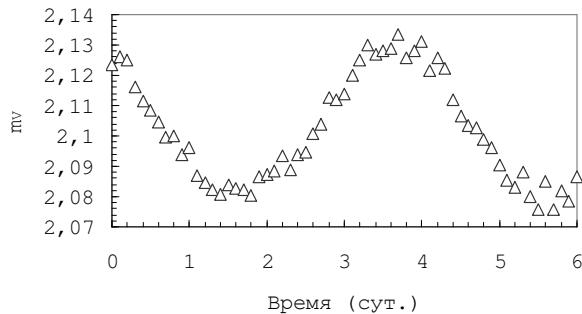
20. Комета. Долгопериодическая комета в афелии своей орбиты видна в противостоянии с Солнцем. Через какой промежуток времени комета будет находиться в соединении? Определите скорость кометы в перигелии, если перигелийное расстояние равно 1 а.е.

21. OWL. Одним из наиболее значительных проектов Европейской южной обсерватории является создание Ошеломляющее большого телескопа (OverWhelmingly Large telescope, OWL) с диаметром главного зеркала 100 м и дифракционным качеством изображений в видимом диапазоне. Рассчитайте, можно ли с помощью OWL «увидеть» пятна на звездах: α Центавра А (расстояние от Солнца – 1,3 пк), α Ориона (расстояние – 200 пк).

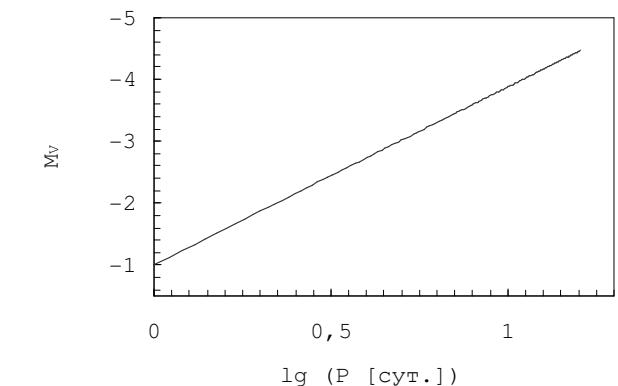
22. Затмения на Марсе. Какие типы затмений Солнца Фобосом могут видеть наблюдатели марсианской астрономической обсерватории? На сколько звездных величин станет темнее на Марсе в момент наибольшей фазы затмения? Угловой диаметр Солнца при наблюдении с Земли равен $32'$; средний радиус орбиты Марса – 1,524 а.е., его экваториальный радиус – 3390 км; поперечник Фобоса – 28 км \times 20 км, радиус его орбиты – 9380 км.

23. Цефеида. С помощью зависимости период – абсолютная звездная величина и кривой изменения блеска цефеиды α Малой Медведицы определите: период пульсаций, абсолютную звездную величину, расстояние от Солнца и относительное изменение светимости Полярной звезды (в %).

**Кривая блеска
(зависимость видимой звездной величины от времени)
для цефеиды α Малой Медведицы**



Зависимость период – абсолютная звездная величина для цефеид



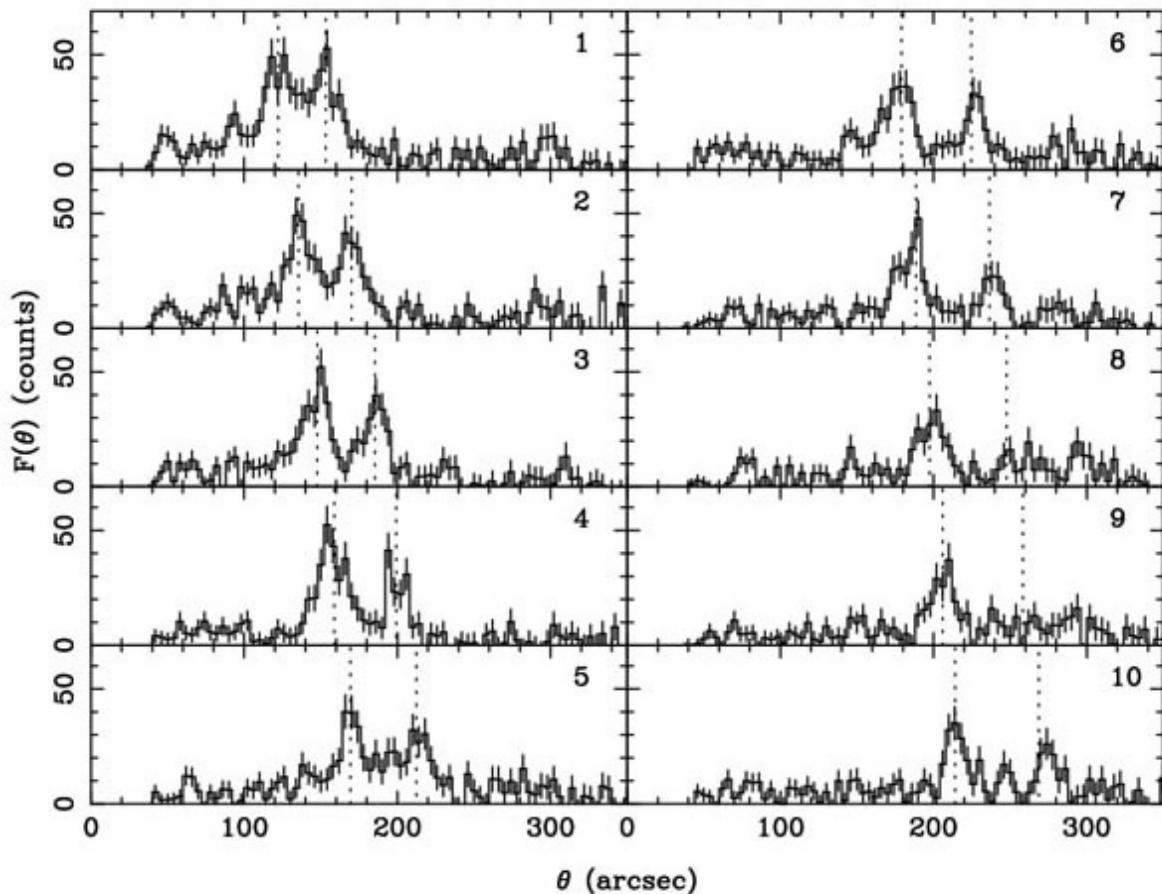
24. Антиземля. В различных СМИ регулярно обсуждается Антиземля – гипотетическая планета, движущаяся вокруг Солнца по орбите Земли с отставанием от последней на полгода, служащая базой для злобных инопланетян и т. п. Докажите, что Антиземли не существует (указав максимальное число аргументов).

25. Гамма-всплеск. Гамма-всплеск GRB 031203 был открыт 3 декабря 2003 года космической обсерваторией «Интеграл». Всплеск продолжался около 30 секунд. С помощью 6,5-метрового телескопа им. Банаде всплеск был отождествлен с наблюдаемой в оптическом диапазоне галактикой с $z = 0,105$ (расстояние 450 Мпк). Примерно через 6 часов после вспышки к наблюдениям приступил орбитальный рентгеновский телескоп XMM-Newton, который зарегистрировал послесвечение всплеска.

Вокруг точечного источника послесвечения наблюдались два ярких кольца. Последующие наблюдения показали, что эти кольца довольно быстро расширялись и ослабевали. Данные наблюдений XMM-Newton – зависимость потока от углового радиуса (в угловых секундах) для разных моментов времени – приведены на рисунке, первое наблюдение сделано через 7,0 часов после момента всплеска, в дальнейшем наблюдения выполнялись каждые 1,6 часа. Положения колец отмечены пунктирными линиями.

«Кольца» возникли в результате рассеяния рентгеновского излучения всплеска на находящихся в Галактике пылевых туманностях, имеющих

форму тонкой «занавески», плоскость которой перпендикулярна к лучу зрения. Оцените расстояние до этих пылевых «занавесок». Оцените средние скорости, с которыми увеличивались размеры колец на этих «занавесках».



26. Армагеддон (дню Хэлоуина посвящается...). В космосе обнаружен астероид, имеющий относительно Земли скорость 1 км/с, прицельный параметр 60 000 км, удаление 1 млн км. По данным радиолокации, он имеет диаметр 3 км и среднюю плотность $3,7 \text{ г/см}^3$. Определите тип орбиты астероида, время до наибольшего сближения с Землей, возможность столкновения и энергию вероятного удара в тротиловом эквиваленте (1 мегатонна тринитротолуола равна $4,2 \times 10^{15}$ Дж).

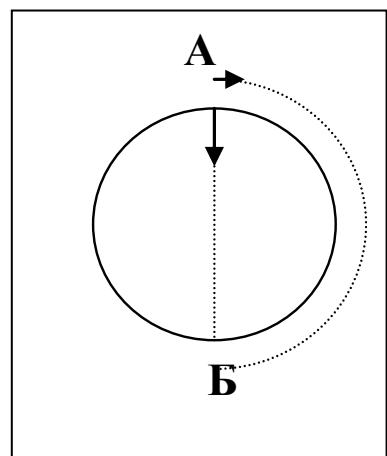
27. Марсианские хроники. Во время проведения раскопок древнего марсианского города Сидония были обнаружены записи о результатах древнемарсианских астрономических наблюдений: продолжительность солнечных суток длиннее звездных в 1,0015 раз, периоды смены фаз естественных спутников 0,31 и 1,231 марсианских солнечных суток, синодический период одной из внутренних планет 1,136 марсианского года. На ос-

новании этих данных определите продолжительность года (в марсианских солнечных сутках), отношение больших полуосей орбит спутников, средний радиус орбиты наблюданной планеты и ее максимальное угловое удаление от Солнца.

28. Белорусский геостационарный спутник. В ноябре 2106 года на геостационарную орбиту был запущен первый белорусский искусственный спутник Земли. Определите азимут и высоту спутника относительно горизонта в г. Могилеве, если спутник расположен над меридианом г. Минска.

29. Парадоксальная планета-2. Путешественники из второго тура заочной олимпиады продолжают свои исследования планет вокруг далеких звезд. На этот раз они приземлились на планету с удивительной атмосферой. Сделав необходимый анализ, главные герои убедились, что показатель преломления газов атмосферы вблизи поверхности равен 1,5! Под каким углом к горизонту будет видна местная полярная звезда в зависимости от широты северного полушария? К каким другим наблюдательным эффектам приведет такая необычная атмосфера?

30. Галактическая регата. Поспорили учащиеся лицея БГУ: как быстрее пересечь сферическую галактику M87 (из точки А в точку Б). Снарядили две экспедиции. Первая, состоящая из физиков, отправилась вдоль диаметра с нулевой начальной скоростью. Вторая, состоящая из математиков, начала облет по низкой орбите. Какая из групп быстрее достигнет финиша? Для каждой из групп определите зависимость скорости от расстояния до центра галактики, максимальную и среднюю скорости движения. Осевым вращением галактики пренебречь, массу считать равномерно распределенной. Необходимые данные о галактике (массу и радиус) возьмите из сети Интернет.



31. Мыс Горн. Каковы были показания часов капитана Жака Ива Кусто, идущих по гринвичскому звездному времени, в момент верхней кульминации Солнца при нахождении океанографического судна «Калипсо»

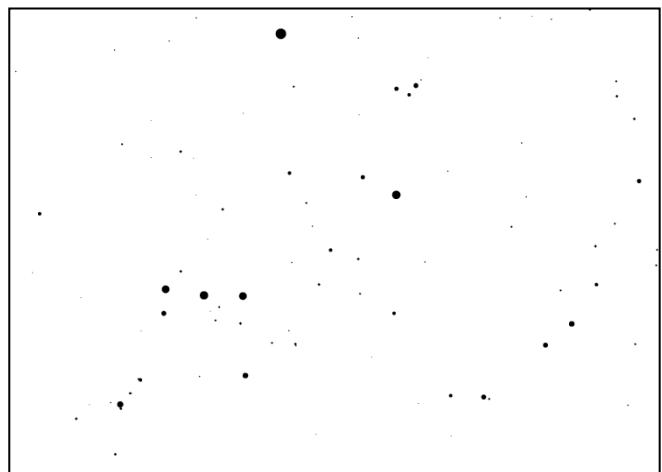
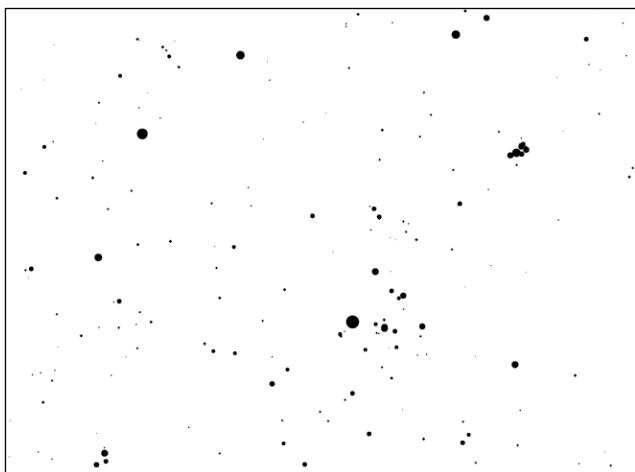
в акватории мыса Горн (56° ю.ш., 67° з.д.) в день зимнего солнцестояния 1986 года? Найдите горизонтальные координаты Солнца в этот момент.

32. Комета. Оцените возможные наибольшее и наименьшее расстояния от Солнца кометы, имеющей период обращения 1 год.

33. Объект X. В Солнечной системе обнаружен объект сферической формы, диаметром 1500 км и радиусом орбиты 50 а.е. К какому классу небесных тел относится найденное тело? Опишите его возможный состав.

34. Зеркальная Луна. В рамках программы Организации Объединенных Планет по реорганизации поверхностей естественных спутников Солнечной системы было решено покрасить Луну зеркальной, абсолютно отражающей краской. Определите видимую звездную величину и температуру такой «зеркальной» Луны, если до окрашивания она имела блеск $-12,7^m$ и отражающую способность 0,07.

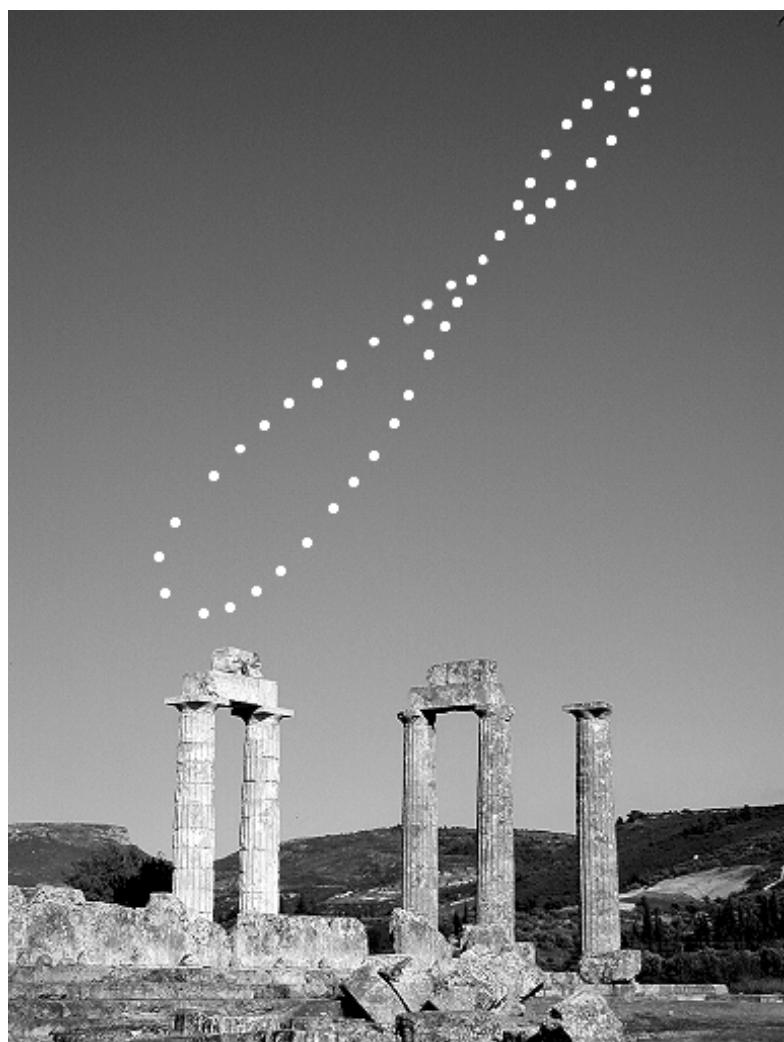
35. Созвездия. Какие созвездия изображены на рисунках внизу? Перечислите собственные названия самых ярких звезд и опишите наиболее яркие туманности и звездные скопления в данных созвездиях. Каковы условия их видимости в день выполнения задания?



36. Объект на рисунке. Какой объект изображен на рисунке? Укажите его обозначение по каталогу Месье, созвездие, в котором находится, и тип звезды в центре. Объясните механизм образования и свечения объекта.



37. Аналемма. а) Объясните вид данной солнечной аналеммы. Укажите:
б) точки солнцестояний и равноденствий; в) положение Солнца в день практического тура XII Республиканской олимпиады по астрономии (29 марта 2006 года). г) Вычислите средний интервал между экспозициями.



РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

- 1.** Из-за рефракции объекты, находящиеся под горизонтом, могут стать видимыми. Поскольку рефракция на горизонте составляет $35'$ (что превышает угловой диаметр дисков Солнца и Луны), то Луна (или Солнце), находящиеся под горизонтом, могут стать видимыми полностью.
- 2.** Если остановить вращение Земли полностью, день все равно будет сменяться ночью. Это связано с тем, что при годичном обращении вокруг Солнца Земля все равно будет поворачиваться разными сторонами, и сутки будут длиться целый год. Для того чтобы был вечный день, необходимо заставить Землю вращаться синхронно, т. е. ее период вращения вокруг оси должен быть равен одному году. Получается, что прав был второй ученый.
- 3.** Для решения этой задачи необходимо было экспериментально определить, при каком угле поднятия головы происходит явление спадания шапки. Полярная звезда видна под углом к горизонту, равным ϕ . Для Минска это 54° . Нет смысла брать широту города с большей точностью, так как Полярная звезда находится не совсем на северном полюсе мира, и ее положение относительно него изменяется не более, чем на один градус. Чтобы шапка у солдат не спадала, им необходимо переместиться по меридиану в более южные широты. К сожалению, мне не удалось определить точно угол спадания, так как для этого необходимы специальные условия: прическа в стиле солдат-новобранцев и сама солдатская шапка. Опрос, проведенный среди учащихся военной кафедры БГУ, показал, что шапка все-таки спадает при углах меньших $\phi = 54^\circ$. Будем решать задачу в общем виде. С учетом точности положения Полярной звезды, взводу придется пройти на юг на расстояние, кратное длине дуги меридиана, соответствующей одному градусу, т. е. путь, равный $n \cdot 111$ км. Поэтому идти придется долго в любом случае. Считая длину шага 0,5 м, получим число шагов, равное $n \cdot 220\,000$.

4. Никто не сомневается в том, что лицеисты никого никогда не обманывают. Не исключение и главный герой данной задачи.

- а) Такая ситуация возможна на экваторе.
- б) Если считать северной частью неба часть небесной сферы, заключенную между точками северо-запада, северо-востока и зенита, то описанная ситуация возможна после осеннего и до весеннего равноденствия в южном полушарии Земли.
- в) Такое возможно на тех широтах, где эклиптика может быть расположена перпендикулярно математическому горизонту, т. е. в странах тропического пояса.

5. Бежать нужно на запад со скоростью, компенсирующей угловую скорость вращения Земли. Для широты Минска соответствующая линейная скорость будет равна $2\pi R_{\oplus} \cos \phi / 24^h = 270$ м/с, т. е. для продолжения праздника нужно научиться бегать почти со скоростью звука! К сожалению, улиц в западном направлении нет. Поэтому, если начинать забег из лицея, то бежать нужно по ул. Ульяновской со скоростью в полтора раза большей (так как улица расположена в направлении на юго-запад), потом по улице Бобруйской до пл. Мясникова в северо-западном направлении (скорость также должна быть больше 270 м/с), и т.д. Можно бежать точно на запад, но это будет сложнее, так как придется бежать через дворы.

6. Задача является самой сложной в первом туре олимпиады. Планетостационарная орбита – орбита в экваториальной плоскости планеты с периодом, равным периоду ее обращения вокруг оси, т. е.

$$\frac{(R_{\text{пл}} + h_{\text{пл}})^3}{T_{\text{пл}}^2} = \frac{GM_{\text{пл}}}{4\pi^2}. \quad (1)$$

С учетом равенства плотностей планеты и Земли, находим радиус планеты:

$$\frac{R_{\text{пл}}^3}{R_3^3} = 10 \Rightarrow R_{\text{пл}} = \sqrt[3]{10} R_3 = 13700 \text{ км.} \quad (2)$$

По условию задачи на экваторе сила тяжести равна земной, это значит, что у планеты сравнительно быстрое вращение. Найдем период вращения из условия:

$$\frac{GM_{\text{пл}}}{R_{\text{пл}}^2} - \frac{4\pi^2 R_{\text{пл}}}{T_{\text{пл}}^2} = \frac{GM_3}{R_3^2}. \quad (3)$$

Из последнего равенства находим период вращения планеты:

$$T_{\text{пл}} = 2\pi \sqrt{\frac{R_3^3}{(1 - 1/\sqrt[3]{10})GM_3}} = 1,920 \text{ часа.} \quad (4)$$

Из (1–4) получаем:

$$R_{\text{пл}} + h_{\text{пл}} = \sqrt[3]{\frac{T_{\text{пл}}^2 GM_{\text{пл}}}{4\pi^2}} = 16\,900 \text{ км}, \quad (5)$$

тогда высота обращения спутника $h_{\text{пл}} = 3200 \text{ км.}$

7. Во время наблюдения лицеистами лунного затмения 7 сентября экваториальная часть Океана Бурь Луны находилась в полутени Земли. Следовательно, лунные заяц, волк и лис могли видеть частное солнечное затмение, при этом Земля закрывала правую нижнюю часть диска Солнца.

8.

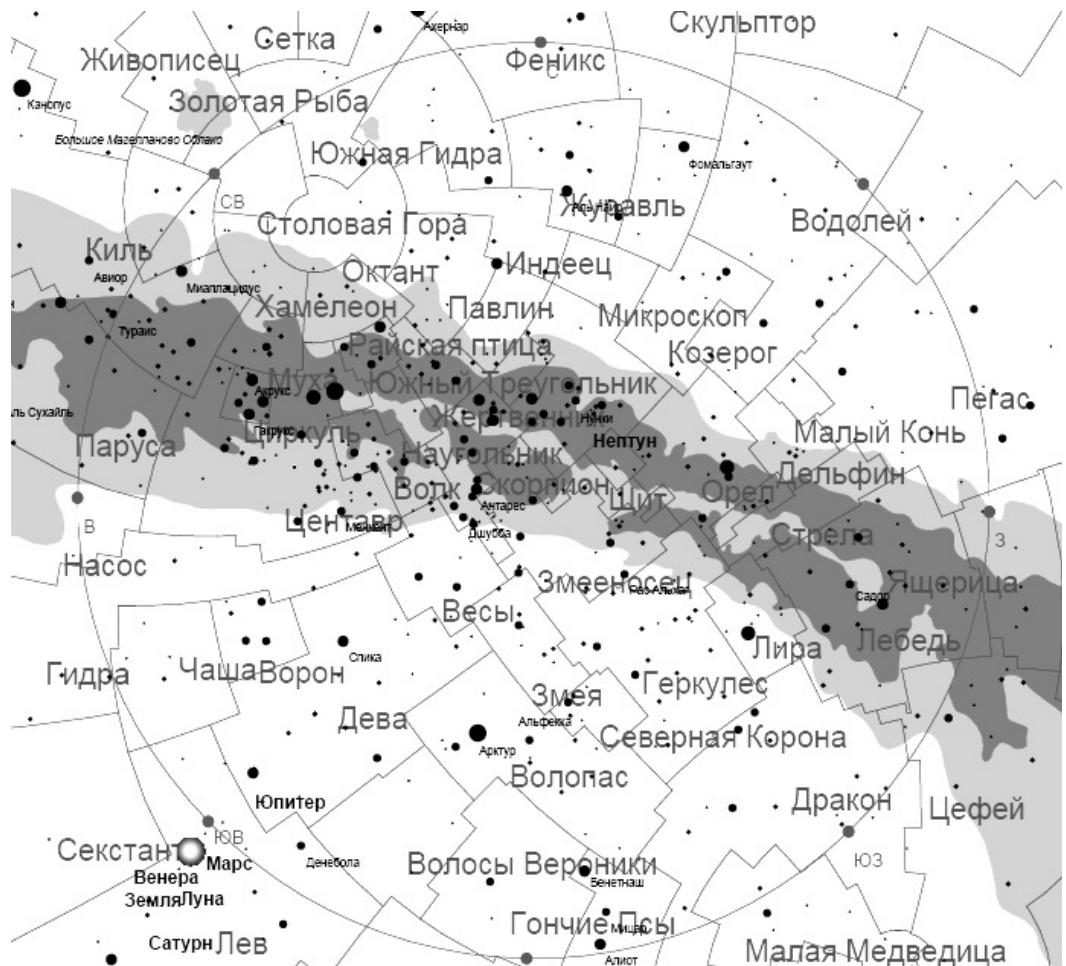
$$T_m = T_0 + \lambda = 12^h + \lambda;$$

$$t_c = \lambda;$$

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \lambda.$$

Город	Широта, °	Долгота, °	Дата	Склонение Солнца, °	h, °
Лондон	51,0	0	2 октября	-3,5	35,5
Суэц	30,0	32,5	9 октября	-6,1	42,37
Бомбей	19,0	72,8	20 октября	-10,2	12,6
Калькутта	22,6	88,2	25 октября	-12	-2,9
Гонконг	22,3	114,2	6 ноября	-15,9	-27,9
Иокогама	35,5	139,5	13 ноября	-17,9	-50,1
Сан-Франциско	37,6	-122,5	3 декабря	-22	-38,5
Нью-Йорк	40,8	-74	11 декабря	-22,9	-3,5
Лондон	51,0	0	20 декабря	-23,4	15,6

9.



10. Угол наклона равен $90^\circ - \varphi + 23^\circ 26'$.

11. Координаты северного полюса эклиптики: $\alpha = 18^h$, $\delta = 66,5^\circ$. Считая проекцию прецессионного движения Земли на небесную сферу окружностью, получаем: 13 000 лет назад – α Лиры, 4600 лет назад – α Дракона, через 9000 лет – между δ и τ Лебедя.

12. Угол наклона экватора к плоскости орбиты: 60° . Период обращения вокруг звезды: 32,28 суток. Радиус орбиты: 0,12 а.е. Масса звезды: 0,25 массы Солнца.

13.

$$T_{\min} = \left(\frac{0,0093}{2} \right)^{3/2} \text{ лет} = 2,8 \text{ часа.}$$

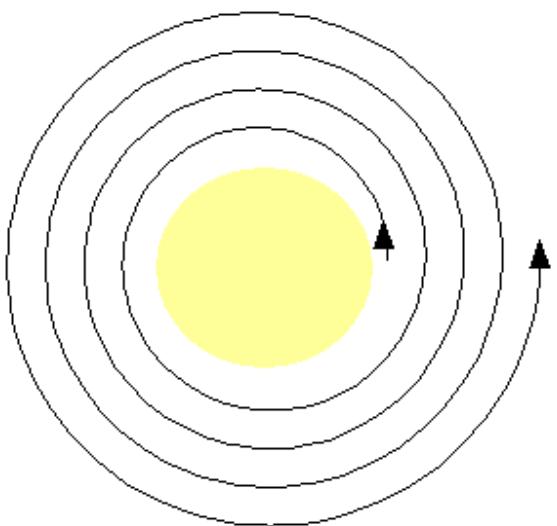
14. Появление центра Солнца на горизонте на северном полюсе происходит в моменты равноденствий, когда его склонение $\delta_{\odot} = 0^\circ$. Поэтому в первом приближении считают началом полярного дня день весеннего равноденствия, т. е. 21 марта (это среднее по годам значение даты). Однако, на самом деле, день начинается в момент появления верхнего края диска Солнца, а не его центра, над горизонтом. Кроме того, на время восхода влияет атмосферная рефракция.

Длительность восхода Солнца на полюсе $t_{\text{восх}}$ равна отношению его углового диаметра 2ρ к суточному изменению склонения $\Delta\delta$. Указанное в задаче максимальное значение величины $\Delta\delta$ достигается в моменты равноденствий, поэтому

$$t_{\text{восх}} = \frac{2\rho}{\Delta\delta_{\max}} = 1 \text{ сутки } 9 \text{ часов } 23 \text{ минуты.}$$

Из-за того, что началом полярного дня считают появление верхнего края диска Солнца на горизонте, этот момент наступает на $t_{\text{восх}}/2$ суток раньше весеннего равноденствия, а вследствие рефракции, увеличивающей видимую высоту светила, еще на $35'/\Delta\delta_{\max}$ суток раньше. Поэтому, полярный день на северном полюсе начинается на $t_{\text{восх}}/2 + 35'/\Delta\delta_{\max} = 2,2$ суток раньше момента весеннего равноденствия, т.е., в среднем, 19 марта.

15. Найдем период обращения планеты с помощью третьего обобщенного закона Кеплера: $\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2} \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$, где r – средний радиус орбиты.



Так как орбита планеты близкая, то плотность массы, заключенной внутри сферы радиуса r приблизительно совпадает со средней плотностью звезды. Поэтому преобразуем полученную формулу для периода с учетом выражения для плотности: $T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$, т. е.

период обращения зависит только от средней плотности звезды. Получим

$$T = 3,75 \times 10^4 \text{ с} = 10,4 \text{ часа.}$$

Вследствие того, что притягивающая планету масса непрерывно уменьшается, орбита планеты имеет вид раскручивающейся спирали, шаг витков которой зависит от темпа потери звездой своей массы. Форма орбиты схематически представлена на рисунке. Для построения точной орбиты необходимо решать сложные дифференциальные уравнения, учитывающие потерю массы звезды, поэтому в качестве правильного ответа принимается качественное описание и схематический рисунок, подобный изображенному выше. При этом период, найденный выше, является временем, за которое планета проходит один виток спирали.

16. Для того чтобы скопление содержало наибольшее число звезд, видимых невооруженным глазом, необходимо, чтобы все звезды имели блеск 6^m (это предельная звездная величина для среднестатистического человека с хорошим зрением). Тогда число звезд в скоплении $N = 10^{0,4(6-1)} = 100$.

17. Смещение линий в спектре туманности обусловлено ее расширением, которое в рамках данной задачи будем считать сферически-симметричным. Поэтому ближайшая к наблюдателю часть туманности приближается, а наиболее далекая – удаляется. Найдем скорость расширения внешних слоев туманности, зная время расширения t , видимый угловой диаметр d и расстояние r .

$$V = \frac{d_{\text{рад}} r}{2t} = \frac{d'' r}{2t \cdot 206265''}.$$

Так как $t = 2005 - 1054 = 951$ год, получим $V = 1500 \text{ км/с}$. Тогда смещение

$$\text{спектральной линии H}_\alpha: \Delta\lambda = \frac{V}{c} \lambda_0 = 0,005 \lambda_0 = 0,005 \cdot 656,5 \text{ нм} = 3,3 \text{ нм}.$$

Это смещение линий и будет наибольшим, поскольку скорость расширения внешних частей оболочки сверхновой – наибольшая.

18. Наблюдая за звездным небом на планете одной из звезд спирального рукава галактики M31 в созвездии Андромеды, вы не заметите качественной разницы по сравнению с привычным земным небом. Из-за схожих физических условий в спиральных рукавах Галактики и M31 на небе также

будет виден Млечный путь, звезды будут расположены на небесной сфере приблизительно с такой же видимой плотностью, которую, как известно, ограничивает межзвездное поглощение. Однако привычных фигур созвездий, планет и Луны не будет. Новые светила заменят знакомые объекты небесной сферы.

Звездное небо при наблюдении из ядра Галактики будет существенно отличаться от земного. Основные отличия будут следующими:

1. Вследствие повышенной пространственной плотности звезд в ядре, их будет намного больше на небе, и они будут ярче. Большинство видимых звезд – звезды поздних спектральных классов.
2. Так как форма ядра – сплюснутый сфериод, на небе не будет аналога земного Млечного пути.
3. Центральная область – одна из наиболее старых в Галактике, следовательно, в ядре должно содержаться значительное число остатков звездной эволюции: белых карликов, нейтронных звезд, черных дыр. Такие объекты и их взаимодействие с окружающим веществом могут быть видны на небесной сфере.
4. Главным явлением на небе ядра Галактики станет черная дыра в центре Галактики, масса которой составляет ~ 3 млн солнечных масс. Взаимодействие ее с веществом, аккреция, нетепловое излучение окружающей плазмы в широком диапазоне спектра, вспышки излучения, выбросы вещества – эти проявления активности черной дыры центра Галактики можно будет увидеть на небе.

- 19.** Для определения даты действия правила, указанного в задаче, найдем звездное время момента верхней кульминации Звезды фараонов. Так как в момент верхней кульминации Сириуса (как и любого другого светила) его часовой угол $t = 0^{\text{h}}$, то звездное время $s = t + \alpha = \alpha = 3^{\text{h}}11^{\text{m}}$. В первом приближении разность звездного и среднего солнечного времен $s - T_{\text{C}} = 24^{\text{h}} N / 365,25$, где N – число солнечных суток после осеннего равноденствия. Так как верхняя кульминация происходила в местную среднюю солнечную полночь, $N \approx 48$ дней, или, считая днем осеннего равноденствия 22 сентября, искомая дата – 9 ноября. Высоту Сириуса в верхней кульминации найдем по формуле $h = 90^{\circ} - \varphi + \delta = 60^{\circ} - 36^{\circ} = 24^{\circ}$.

20. В соединении комета будет находиться через половину своего синодического периода, который неизвестен, так как неизвестен ее звездный период. Но комета – долгопериодическая (т. е. ее период обращения вокруг Солнца превышает 200 лет) и находится в афелии орбиты, поэтому ее собственным движением можно пренебречь. Тогда в соединении она будет находиться через половину орбитального периода Земли, т. е. через 0,5 года. Долгопериодическая комета, приближающаяся к Солнцу на 1 а.е. в перигелии, должна иметь очень вытянутую орбиту, близкую к параболе. Поэтому, ее скорость в перигелии

$$V_{\text{п}} \approx \sqrt{2GM_c/r} = \sqrt{2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30} / (1,5 \cdot 10^{11})} \text{ м/с} = 42 \text{ км/с.}$$

21. Для ответа на вопросы задачи определим разрешающую способность OWL. Дифракционное качество изображений связано с разрешающей способностью равной дифракционному пределу. Тогда в оптическом диапазоне $\beta = 138''/D_{\text{мм}} = 0,00138''$. Рассчитаем линейные размеры объектов, видимых с помощью OWL под углом β на расстояниях 1,33 пк и 200 пк. В первом случае получаем $d_{\alpha \text{ Cen}} = \beta_{\text{рад}} \cdot 1,33 \text{ пк} = 270 \text{ 000 км}$. Так как звезда α Центавра А является солнцеподобной, то полученный размер соответствует $\sim 0,2$ диаметра звезды. Очевидно, что таких пятен не бывает. Рассмотрим случай с Бетельгейзе (α Ориона): $d_{\alpha \text{ Ori}} = \beta_{\text{рад}} \cdot 200 \text{ пк} = 4,1 \times 10^7 \text{ км}$. Так как звезда является сверхгигантом, ее диаметр $\approx 900 D_c = 900 \cdot 2 \cdot 7 \cdot 10^5 \text{ км} = 1,25 \cdot 10^9 \text{ км}$. Тогда величина $d_{\alpha \text{ Ori}}$ будет составлять 0,033 диаметра Бетельгейзе. В последнее десятилетие доказано, что такие и намного больших размеров пятна могут существовать на звездах-сверхгигантах. В результате приходим к, казалось бы, неожиданному выводу. Пятна с помощью OWL можно наблюдать только на более далекой Бетельгейзе. *Примечание: для решения данной задачи необходимо знание характеристик солнцеподобных звезд и сверхгигантов.*

22. Определим угловые размеры Фобоса в сравнении с угловыми размерами Солнца для наблюдателей марсианской астрономической обсерватории. Рассмотрим крайний случай – наблюдатель находится на экваторе Марса, т. е. ближе всего к Фобосу, обращающемуся по круговой экваториальной орбите на высоте $h = 9380 \text{ км} - 3390 \text{ км} = 5990 \text{ км}$. При этом спутник Марса имеет угловые размеры $(28/5990) \text{ рад} \times (20/5990) \text{ рад} = 16' \times 11,5'$. Угловой диаметр Солнца равен $(32/1,524)' = 21'$. Легко видеть, что Фобос не сможет полностью закрыть Солнце при наблюдении из любой точки поверхности Марса. Поэтому в марсианской обсерватории можно увидеть только кольцеобразное затмение при наибольшем закрытии диска Солнца (оно будет квазикольцеобразным из-за несферичности Фобоса) и частные фазы. Определим, на сколько звездных величин станет темнее. При наибольшей фазе Фобос закрывает Солнце своим наибольшим поперечником. Будем считать этот поперечник эллиптическим. Тогда отношение освещенности во время затмения к освещенности до затмения $E_{\text{затм}}/E_0 = 1 - S_\Phi/S_C$, где S_Φ – площадь наибольшего сечения Фобоса. Т.к. площадь эллипса равна πab (a – большая полуось, b – малая), получим $E_{\text{затм}}/E_0 = 1 - (16' \cdot 11,5')/(21')^2 = 0,58$. Следовательно, изменение звездной величины $\Delta m = 2,5 \lg(E_0/E_{\text{затм}}) \approx 0,6^m$. Таким образом, на Марсе станет темнее всего на $0,6^m$.

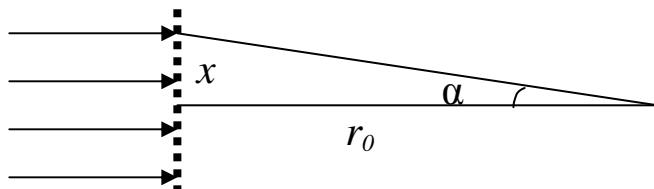
23. В задаче кривая блеска и зависимость период – абсолютная звездная величина представлены по данным спутника HIPPARCOS. Звездные величины приведены в лучах V (зеленая область спектра). С помощью кривой блеска находим период Полярной звезды: $P = 4,0$ сут. Вычислив десятичный логарифм этой величины, по графику период – абсолютная звездная величина определяем $M_V = -2,7^m$. Расстояние найдем по формуле: $5 \lg r = m_V + 5 - M_V$. Откуда $r = 92$ пк. Найдем относительное изменение светимости, предварительно определив по кривой блеска максимальную ($2,13^m$) и минимальную ($2,08^m$) видимые звездные величины:

$$\Delta L/L = (L_{\max} - L_{\min})/L_{\max} = 1 - 2,512^{(2,13-2,08)} = 0,047 = 4,7\%.$$

24. Теоретически, тело, имеющее массу и размеры Земли, могло бы существовать в диаметрально противоположной земле точке орбиты. Такое частное решение задачи трех тел устойчиво, что было доказано Эйлером. Однако:

- ✓ Антиземля давно была бы обнаружена с помощью космических аппаратов и по возмущениям движений внутренних планет и астероидов.
- ✓ На практике такое тело не смогло бы сформироваться, так как это противоречит теории протопланетного диска и образования планет.
- ✓ И главное. Возмущения со стороны других планет рано или поздно привели бы к возможному столкновению Земли и Антиземли.

25.



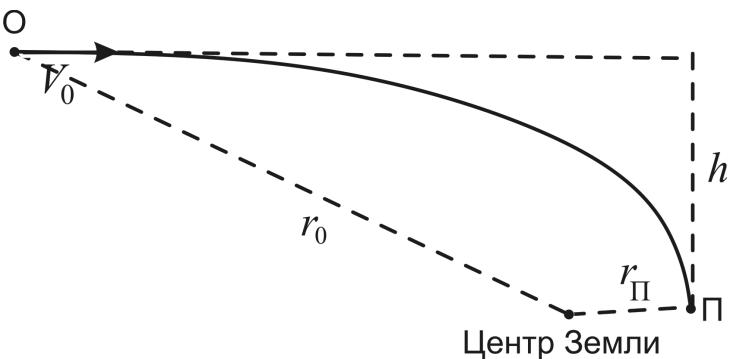
Расстояние до «занавесок» находим по формуле: $r_0 = \frac{\tau_0 c}{\sqrt{1 + \alpha^2} - 1}$. Получим

1450 пк до первой и 870 пк до второй.

Время, ч	7	8,6	10,2	11,8	13,4	15	16,6	18,2	19,8	21,4	Угловые скорости	Линейные скорости
Угловые размеры первой «занавески», "	120	135	150	160	170	180	190	200	205	215	6,60"/час	1330 с
Угловые размеры второй «занавески», "	155	170	185	200	215	220	235	250	260	270	7,99"/час	960 с

26. Так как полная энергия астероида положительна, его орбита – гипербола, которая очень близка к параболе. Возможность столкновения определим из закона сохранения энергии и второго закона Кеплера. Если рас-

стояние в перигее (точка П на рисунке) окажется меньше радиуса Земли – столкновение произойдет.



$$\begin{cases} \frac{V_0^2}{2} = -\frac{GM}{r_\Pi} + \frac{V_\Pi^2}{2}; \\ V_0 h \cdot \Delta t = V_\Pi r_\Pi \cdot \Delta t. \end{cases}$$

Так как $V_0^2 \ll V_\Pi^2$, получим

$$r_\Pi = \frac{V_0^2 h^2}{2GM} \approx 4500 \text{ км} < \text{радиуса Земли!}$$

Оценим энергию удара:

$$W = K = \frac{mV^2}{2} = (11200)^2 \frac{m}{2} = 780 \text{ Гт ТНТ.}$$

Найдем время до столкновения. Считая полную скорость астероида приблизительно равной его радиальной скорости, получим

$$t = - \int_{r_0}^{6371 \text{ км}} \frac{dr}{\sqrt{2GM/r}} = 8,6 \text{ суток.}$$

27. Пусть P – продолжительность марсианских солнечных суток, S – звездных, T – года. Из уравнения синодического движения

$$T = \frac{SP}{P-S} = \frac{P}{P/S-1} = \frac{P}{1,0015-1}$$

следует, что марсианский год равен 666,7 марсианских солнечных суток. Нетрудно догадаться, что описанные в задаче спутники являются Фобосом и Деймосом, хотя в эпоху древней марсианской цивилизации их названия могли быть иными. Для расчета больших полуосей спутников необходимы сидерические периоды (T_1 и T_2), которые найдем по формуле

$$T_{1,2} = \frac{T_0 P_{1,2}}{T_0 - P_{1,2}},$$

где P_1 и P_2 – соответствующие синодические периоды, T_0 – продолжительность марсианского года. Так как $P_{1,2} \ll T_0$, получим: $T_1 = 0,31$ марсианских солнечных суток (м.с.с.), $T_2=1,23$ м.с.с. Тогда по третьему закону Кеплера

$$\frac{a_1}{a_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{2/3} = 0,40.$$

Большая полуось внутренней планеты равна $(1,136/[1,136+1])^{2/3} = 0,656$ марсианских а.е. (м.а.е.). Максимальное угловое удаление от Солнца $\varphi = \arcsin 0,656 = 41^\circ$. Можно догадаться, что данная планета – Земля.

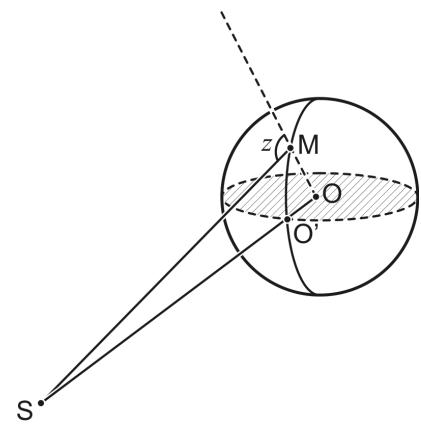
28. Радиус орбиты спутника

$$r_s = OS = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} = 42,3 \text{ тыс. км.}$$

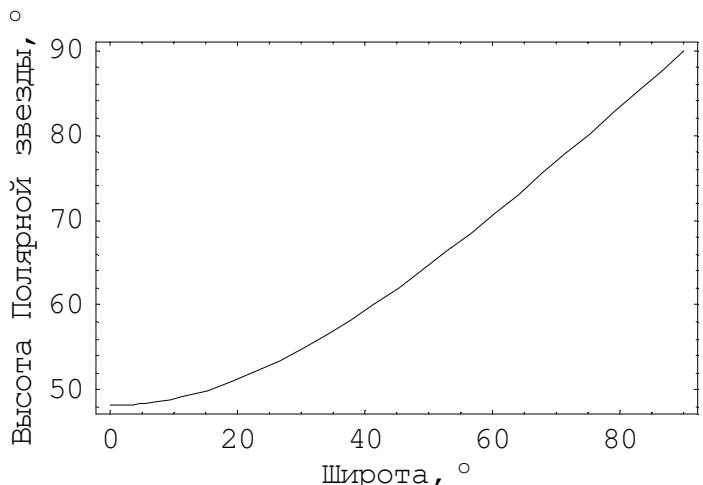
Минск ($\varphi = 53^\circ 54'$, $\lambda = 27^\circ 33'$) и Могилев ($\varphi = 53^\circ 54'$, $\lambda = 30^\circ 19'$) находятся на одной широте, что упрощает задачу. В Минске (точка М на рисунке) спутник находится на небесном меридиане, при этом его зенитное расстояние z_M найдем по теореме синусов:

$$\frac{r_s}{\sin(180^\circ - z_M)} = \frac{R_3}{\sin(z_M - \Phi_M)} \Rightarrow \sin z_M = 6,639 \sin(z_M - \Phi_M).$$

Решая данное уравнение численно, получим $z_M = 61,5^\circ$. Соответственно, $h_M = 90^\circ - 61,5^\circ = 28,5^\circ$. При изменении долготы на $2^\circ 46'$ высота спутника практически не изменится, а по азимуту сместится на запад на угол около $3,5^\circ$. Поэтому горизонтальные координаты спутника в Могилеве будут равны: $A = 3,5^\circ$, $h = 28,5^\circ$.



29. Планета с исключительным показателем преломления атмосферы у поверхности $n = 1,5$ будет иметь сильную рефракцию, которая приведет к различным наблюдательным эффектам. Выведем формулу, связывающую угол рефракции



и показатель преломления. Простую формулу можно получить, если рассмотреть плоскопараллельную модель атмосферы планеты:

$$\sin(z' + \rho) = n \sin z',$$

где z' – видимое зенитное расстояние объекта, ρ – угол рефракции. С учетом полученной формулы, высота местной полярной звезды над горизонтом изображена на графике.

30. Математики двигаются по круговой орбите с постоянной скоростью $V_M = \sqrt{GM/R}$. Время, за которое они достигнут точки В:

$$t_M = \frac{T_M}{2} = \pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}} = 71 \text{ млн лет.}$$

При этом максимальная и средняя скорости равны. Физики двигаются по диаметру галактики по гармоническому закону:

$$g(t) + \frac{GM(r)}{r^2} = 0 \Rightarrow g + \frac{GM}{R^3} r = 0,$$

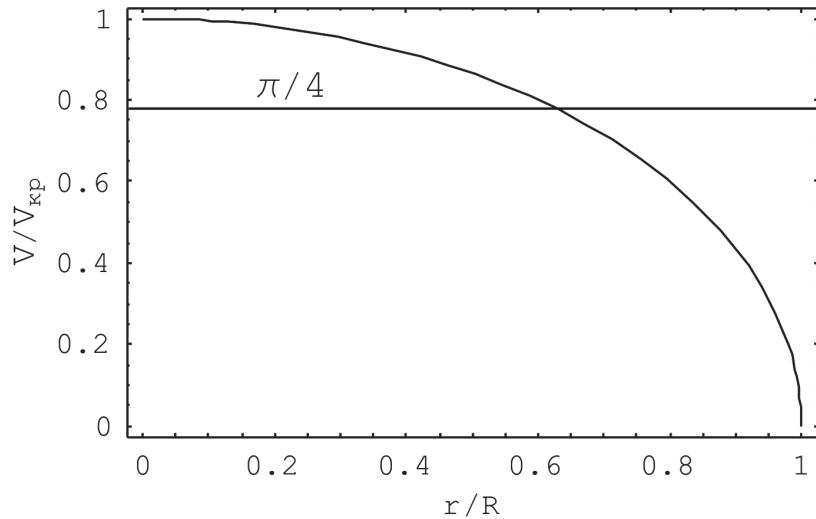
где g – ускорение на расстоянии r от центра. Циклическая частота колебания равна корню квадратному из коэффициента при координате. Поэтому период колебания физиков $T_{Ph} = 2\pi\sqrt{R^3/(GM)}$, время достижения точки В равно $t_{Ph} = T_{Ph}/2 = t_M$. Победила дружба. Зависимость скорости от радиальной координаты найдем из уравнения движения:

$$V \frac{dV}{dr} = -\frac{GM}{R^3} r \Rightarrow V(r) = V_{kp} \sqrt{1 - r^2/R^2},$$

где V_{kp} – круговая скорость (скорость движения математиков). Максимальная скорость $V_{max} = V(r=0) = V_{kp}$. Среднюю скорость найдем по теореме о среднем:

$$\langle V \rangle = \frac{1}{R} \int_0^R V(r) dr = \frac{\pi}{4} V_{kp}.$$

На рисунке изображены зависимости средней и максимальной скоростей.



31. Пусть S_0 – показания часов Жака Ива Кусто, тогда из определения разности звездного времени получим

$$S - S_0 = \lambda,$$

где S – местное звездное время, λ – долгота. Местное звездное время в момент верхней кульминации Солнца в день зимнего солнцестояния равно

$$S = t_C + \alpha_C = \alpha_C = 18^h,$$

где t_C и α_C – соответственно, часовой угол и прямое восхождение Солнца. С учетом двух формул получим

$$S_0 = S - \lambda = 18^h - \left(\frac{-67^\circ}{15^\circ/h} \right) = 18^h + 4^h 28^m = 22^h 28^m.$$

Солнце находится в верхней кульминации, его высота над горизонтом

$$h = 90^\circ - |\phi| + |\delta| = 90^\circ - 56^\circ + 23,5^\circ = 57,5^\circ.$$

Вследствие нахождения экипажа «Калипсо» в южном полушарии, при вычислении высоты широта и склонение Солнца брались по модулю. Так как в момент верхней кульминации Солнце находилось в северной части небесного меридиана, его азимут равен 180° .

32. По третьему закону Кеплера, комета, имеющая период обращения 1 год имеет большую полуось орбиты:

$$a = T^{2/3} = 1 \text{ а.е.}$$

При этом наибольшее расстояние от Солнца – это расстояние в афелии – будет равно

$$r_A = a(1 + e) = (1 + e) \text{ а.е.},$$

где e – эксцентриситет орбиты. Расстояние r_A будет наибольшим в том случае, если эксцентриситет будет равен 1. Такая орбита называется вырожденной эллиптической, представляющая собой отрезок прямой линии.

При этом $r_A = 2$ а.е. и расстояние в перигелии

$$r_{\Pi} = (1 - e) \text{ а.е.} = 0.$$

Однако такая ситуация возможна, если комета и Солнце – материальные точки, имеющие нулевые размеры. На практике это не так. Поэтому минимальное расстояние – это радиус Солнца. Найдем эксцентриситет и r_A для этого случая.

$$r_{\Pi'} = (1 - e') = \frac{696\,000 \text{ км}}{149\,600\,000 \text{ км/а.е.}} \Rightarrow e' = 0,995\,35$$

и

$$r_{A'} = (1 + e') = 1,995\,35 \text{ а.е.}$$

33. По современной классификации планетных тел, принятой в августе 2006 года Генеральной ассамблей Международного астрономического союза, найденный объект относится к карликовым планетам. Радиус орбиты 50 а.е. свидетельствует о том, что карликовая планета расположена в поясе транснептуновых объектов. Поэтому ее состав будет соответствовать составу объектов данного пояса. Предполагается, что объекты по со-

ставу представляют собой лед с небольшими примесями органических веществ, т.е. близки к кометному веществу.

Приложение к задаче 33

Определение понятия «Планета»

(Резолюция 5 для 26-й ГА МАС)

Оригинал статьи: www.iau2006.org

Современные наблюдения изменили наше понимание Солнечной системы, что сказалось на номенклатуре ее объектов, отражающих это понимание. В частности это относится к определению понятия «планета». Слово «планета» изначально означало «блуждающую звезду» – огонёк, перемещающийся по небу. Последние открытия заставляют нас создать новое определение этого понятия, которое находится в согласии с имеющейся научной информацией. (Здесь мы не будем касаться верхней границы масс, разделяющей планеты и звезды.)

МАС предлагает принять решение, что планеты и другие тела Солнечной системы будут определяться следующим образом:

Планеты – небесные тела, которые:

1) имеют достаточную массу для того, чтобы их самогравитация пре-взошла твердотельные силы, таким образом они находятся в гидростатическом равновесии и имеют близкую к шару форму¹; и

2) обращаются вокруг звезд и при этом не являются ни звездами, ни спутниками планет².

Мы проводим различие между 8 классическими планетами, открытыми до 1900 года, которые движутся по почти круговым орбитам вблизи плоскости эклиптики, и остальными планетоподобными объектами, обращающимися вокруг Солнца. Все эти объекты меньше Меркурия. Напри-

мер, согласно приведенному выше определению астероид Церере относится к планетам. Для того, чтобы отличать Цереру от классических планет мы будем ссыльаться на нее как на «карликовую планету» («dwarf planet»)³.

Согласно данному определению, Плутон, а также несколько крупных недавно открытых транснептуновых объектов являются планетами. В отличие от классических планет эти объекты сильно наклоненные (к эклиптике) орбиты с высокими эксцентриситетами и орбитальные периоды, превосходящие 200 лет. Мы выделяем эти планетарные объекты, прототипом которых является Плутон, в новую категорию, которую будем называть «плутоны».

Все не планетарные объекты, обращающиеся вокруг Солнца, относятся к категории «Малых тел Солнечной системы» («Small Solar System Bodies»)⁴.

¹ Это относится к объектам с массой выше 5×10^{20} кг и диаметром больше 800 км. МАС будет удостоверять принадлежность к планетам объектов, близких к указанной границе.

² Два или более объектов могут составлять кратную систему. Первичный (более массивный) объект такой системы является планетой, если он независимо (в одиночку) удовлетворяет приведенному выше определению. Вторичный объект, удовлетворяющий определению, определяется как планета, если барицентр кратной системы находится вне первичного тела. Вторичные объекты, не удовлетворяющие приведенным условиям, являются «спутниками» (планет). Согласно этому определению, компаньон Плутона Харон также является планетой, а система Плутон – Харон – двойной планетой.

³ Если окажется, что астероиды Паллада (Pallas), Веста (Vesta) и/или Гигея (Hugeia) находятся в гидростатическом равновесии, то они будут отнесены к планетам, к классу «карликовых планет».

⁴ Этот класс включает большую часть астероидов Солнечной системы, близкие к Земле объекты (NEOs) астероиды-трокянцы Марса, Юпитера и Сатурна, большинство Кентавров, большая часть транснептуновых объектов (TNOs) и кометы. В предложенной номенклатуре понятие «малая планета» («minor planet») не используется.

34. После окрашивания Луна будет отражать все падающее на нее излучение, т. е. будет отражать в $1/0,07 = 14,3$ раз больше энергии. При этом ее блеск станет ярче на $2,5 \lg 14,3 = 2,9^m$ и составит $-12,7^m - 2,9^m = -15,6^m$. Полностью отражающая все падающее излучение Луна охладится до абсолютного нуля.

35. На рисунке слева изображено созвездие Тельца, справа – Ориона. Оба созвездия – зимние.

Телец	
M1	Крабовидная туманность (NGC 1952, разг. «Краб») – газообразная туманность, являющаяся остатками сверхновой. Расположена на расстоянии около 6500 световых лет от Земли, имеет диаметр в 6 световых лет и расширяется со скоростью в 1000 км/с. В центре туманности находится нейтронная звезда
M45	Плеяды (звездное скопление) (NGC 7089 или Семь сестер) – рассеянное скопление; одно из самых ближайших к Земле и одно из наиболее заметных для невооруженного глаза рассеянных скоплений
Орион	
M42	Туманность Ориона (NGC 1976) является светящейся эмиссионной туманностью с зеленоватым оттенком и находится внизу кольца созвездия Ориона. Это одна из ярчайших туманностей, видимых невооруженным глазом в ночном небе. M42 находится на расстоянии около 1600 световых лет от планеты Земля, имеет 33 световых года в поперечнике и является одной из ярчайших диффузных туманностей, видимых в ночном небе
M43	(NGC 1982) – эмиссионная туманность. Звездная величина $+9^m$. Освещаяющая звезда HD 37061. Спектральный тип освещющей звезды B1V
M78	(NGC 2068) – отражающая туманность.

36. На рисунке изображена планетарная туманность «Кольцо» в созвездии Лиры. В каталоге Месье объект обозначен номером M57. Туманность образована оболочкой маломассивной звезды (типа Солнца), сброшенной в конце эволюции после стадии красного гиганта. В центре рисунка – остаток начальной звезды – горячая плотная звезда – белый карлик с температурой около 50 000 К. Механизм свечения туманности – переизлучение ультрафиолетового излучения центральной звезды в оптическом диапазоне.

37. а) Солнечная аналемма – траектория движения центра истинного Солнца относительно среднего Солнца. По форме напоминает восьмерку. Такую траекторию описывает в течение года центр Солнца, если его положение фиксировать в одно и то же время суток. На фотографии изображена многократная экспозиция Солнца на один и тот же кадр в течение года в разные дни в одинаковые моменты среднего солнечного времени. Ось аналеммы направлена на северный полюс мира, небесный экватор делит ее пополам в перпендикулярном направлении. Снимок сделан в северном полушарии. Об этом свидетельствует малая петля аналеммы, направленная вверх. В данном случае направление на северный полюс мира соответствует вечерним часам.

б) Точки солнцестояний – крайние точки «восьмерки», так как в этих местах склонение Солнца достигает экстремумов. Верхняя точка – день летнего солнцестояния, нижняя – зимнего. Точки равноденствий – промежуточные значения, расположенные на небесном экваторе. Определим, какая из точек соответствует дню весеннего равноденствия. Местное среднее солнечное время в моменты экспозиций: $T_m = t + 12^h + \eta = \text{const}$. Откуда $t = t_0 - \eta$, где t_0 – часовой угол оси аналеммы. Для 20.03 $\eta \approx 10$ минут (хорошие астрономы должны это знать), тогда $t < t_0$, и точки весеннего и осеннего равноденствий указаны на рисунке.

в) Зная видимое движение истинного Солнца, легко указать его положение в день XII Республиканской олимпиады по астрономии (см. рисунок).

г) Средний интервал между экспозициями найдем по формуле:

$$\Delta\tau = \frac{365 \text{ суток}}{44 \text{ интервала}} = 8,3 \text{ суток.}$$

