



АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ГАЗЕТА

2 раза в месяц

Каталог Мессье



M36 (NGC 1960)

Расстояние.....4300 св. лет
Физический размер.....15 св. лет
Угловой размер.....12'
RA.....5^h36.1^m
DEC.....+34°8'
Звездная величина.....6.0^m

История открытия

M36 было впервые обнаружено ранее 1654 года итальянским наблюдателем Джованни Баттиста Годьерна (1597–1660) как «туманное пятно». Тем не менее, его наблюдения были вскоре забыты, и эти записи были вновь найдены лишь в 1984 году. По этой причине Гийом Ле Жентиль (1725–1792) считается настоящим независимым открывателем скопления M36, обнаруженного им в 1749 году. Шарль Мессье провел свое наблюдение 2 сентября 1764 года, записав: «Звездное скопление в Возничем, в простой 3,5-дюймовый рефрактор звезды едва различимы, скопление не содержит туманности, его диаметр – 9'». Генрих Луи д'Арре (1822–1875) писал о скоплении: «Богатое скопление. Возникающие в центре мириады звезд выстраиваются в три тонкие спирали». Спиридон Гопцевич (1855–1936) около века назад рекомендовал M36 наблюдателям, так отзываясь о скоплении: «Очень большое, богатое и яркое, состоящее из рассеянных звезд от 8 до 10 звездной величины, которые включают в себя двойную звезду Σ 737 (компоненты с яркостью 8^m и 9^m, расстояние между ними

10.6"). Доступно даже для 3-дюймовых телескопов с малыми увеличениями».

Астрофизический взгляд

M36 – наименее богатое скопление из «большой тройцы» Возничего, только 178 звезд физически связаны между собой. Самая яркая звезда (блеск 8.8^m) – голубой гигант, спектрального типа B2 со светимостью 360 L_o, у других ярких звезд тоже спектральный класс B, в M36 вообще нет красных гигантов. Считается, что возраст скопления в районе от 20 до 40 миллионов лет. M36 располагается с внешней стороны спирального рукава галактики на расстоянии 4300 световых лет от нас. Примерно на том же расстоянии образовалась OB-ассоциация молодых, совместно формирующихся звезд, охватывающих пространство 560×260 световых лет. Самый яркий член этой ассоциации – χ Возничего с блеском 4.7^m. Тем не менее, пока остается неясно, связана ли каким-нибудь образом история формирования M36 с OB-ассоциацией. Некоторые звезды из M36 обладают очень большой скоростью вращения, так же как звезды типа Be (в их спектрах преобладают эмиссионные линии водорода, часто присутствует инфракрасное излучение) в Плеядах, самом известном молодом скоплении. M36 еще моложе и обладает некоторыми схожими мор-

фологическими свойствами с Плеядами, но располагается в 10 раз дальше от нас, чем M45. Примечателен объект в 25' к юго-западу от M36, это очень красная углеродная звезда OW Возничего, ее блеск колеблется от 12.3^m до 13.6^m.

Наблюдение

На хорошем небе высоко в горах M36 можно наблюдать невооруженным глазом. Бинокуляр 10×50 покажет маленькую туманность, которая разрешается на отдельные звезды. Скромный телескоп покажет около 30 звезд в M36, в 120-мм рефрактор можно увидеть уже вдвое больше. В центре скопления есть двойная звезда Σ 737 с компонентами яркостью 9.1^m и 9.4^m, расстояние между ними 11". Пара хорошо разрешается в 2-

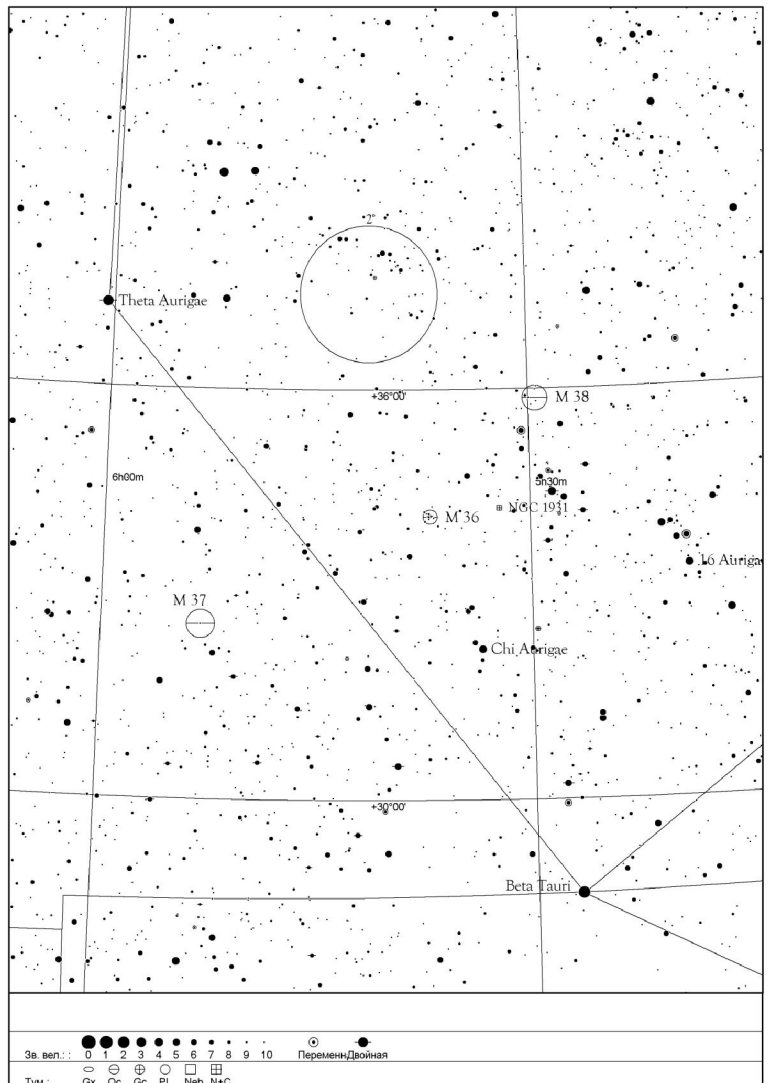
дюймовый рефрактор. Небольшая эмиссионная туманность NGC 1931 располагается в 1 градусе к западу от M36. 120-мм рефрактор покажет четыре плотно расположенные звезды в ее центре. Это яркие звезды скопления Stock 9, которое физически связано с NGC 1931.

Александр Смирнов

Источник: R. Stoyan, S. Binnewies, S. Friedrich and K.-P. Schroeder. «Atlas of the Messier Objects. Highlights of the Deep Sky».

Автор снимка: Штефан Зайп (Штутгарт, Германия).

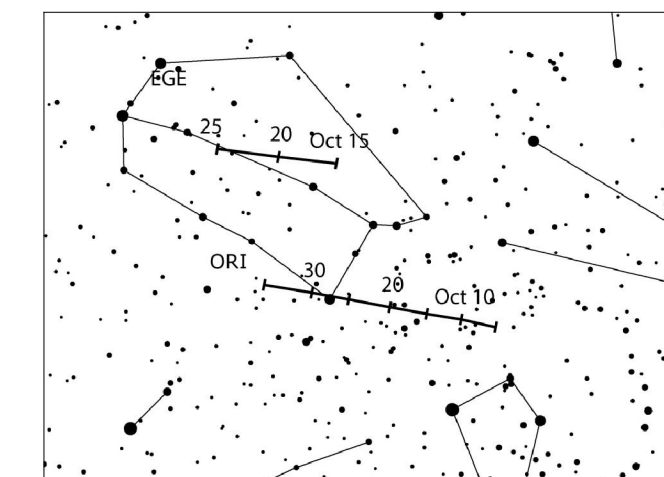
Поисковую карту подготовил Тимур Тураев.



Обзор поточной метеорной активности на октябрь 2011 года

Уже **4 октября** миновавшая фаза первой четверти Луны говорит нам, что в ближайшие дни наблюдения метеоров лучше проводить в более поздние часы после захода Луны. **12 октября** будет полнолуние, и с этого момента до достижения фазы последней четверти **20 октября** большая часть наблюдательного времени будет сопряжена с лунной засветкой. Зато на последней неделе месяца и, особенно, в период новолуния **26 октября** условия наблюдений будут идеальными, и можно будет наблюдать всю ночь напролет.

В течение всего месяца продолжает действовать поток южных Таурид (STA). На солнечной долготе 197° (**10 октября** около 20:00 по всемирному времени) ожидается их максимум на уровне $ZHR = 5$. Напомним еще раз наблюдателям, отправляющим отчеты своих визуальных наблюдений в Международную метеорную организацию (ИМО), что на период действия южных Таурид учет метеоров антисолнечного радианта



Карта смещения радиантов ORI и EGE.

на протяжении всего своего периода активности. Метеоры этого потока сравнительно медленные – **29 км/сек**. Радианты STA и NTA в течение октября будут смещаться вдоль эклиптики с запада на восток между созвездиями Овна и Кита в сторону созвездия Тельца. Максимум активности NTA будет в ноябре.

Уже со **2 октября** начал действовать один из главных потоков месяца –

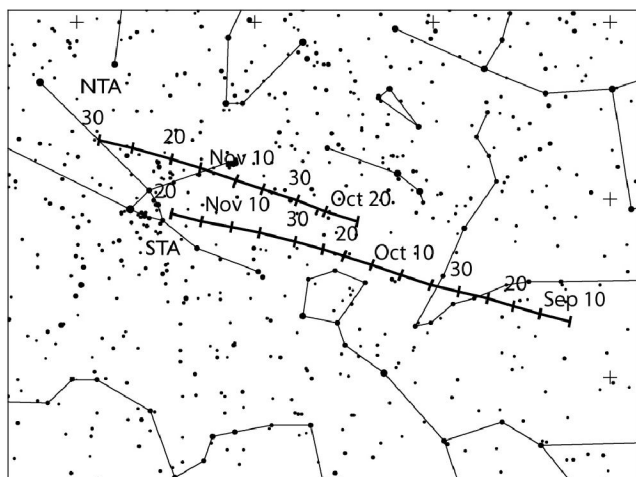
Ориониды весьма быстрые, даже быстрее Персеид, их скорость вхождения в атмосферу Земли – **66 км/сек**.

С **14 по 17 октября** активен малый поток ϵ -Геминид (EGE). Максимум его активности ожидается на 205° солнечной долготы (**18 октября** около 22:00 по всемирному времени), с ZHR всего лишь **3!** А если еще учесть лунную засветку в этот период, то увидеть метеоры

этого потока будет вообще крайне сложно. В остальном же метеоры этого потока еще быстрее, чем Ориониды, их скорость – **70 км/сек**.

«Хитом» месяца ожидаются Дракониды (DRA). В прошлом номере «Астрономической газеты» мы уже рассказали, по какой причине. Здесь же приведем сроки действия и характеристики потока: активен он с **6 по 10 октября**, максимум активности – **8 октября** (возможны два пика после 19 часов по всемирному времени), Дракониды – один из самых медленных метеорных потоков со скоростью всего **20 км/сек**. Мы убедительно просим всех – присылайте результаты своих наблюдений Драконид в Международную метеорную организацию (ИМО)! Если будут вопросы касательно этого, пишите нам в редакцию!

И наконец, в этом месяце будут активны еще два малых потока: Лео Минориды (LMI) с **19 по 27 октября** и δ -Ауригиды (DAU) с **10 по 18 октября**. Максимум быстрых (**62 км/сек**) метеоров LMI ожидается на 211° солнечной долготы (**24 октября** около 23:00 по всемирному времени), $ZHR = 2$. А максимум также быстрых (**67 км/сек**) δ -Ауригид будет на 198° солнечной долготы (**11 октября** около 21:00 по всемирному времени) с тем же ZHR .

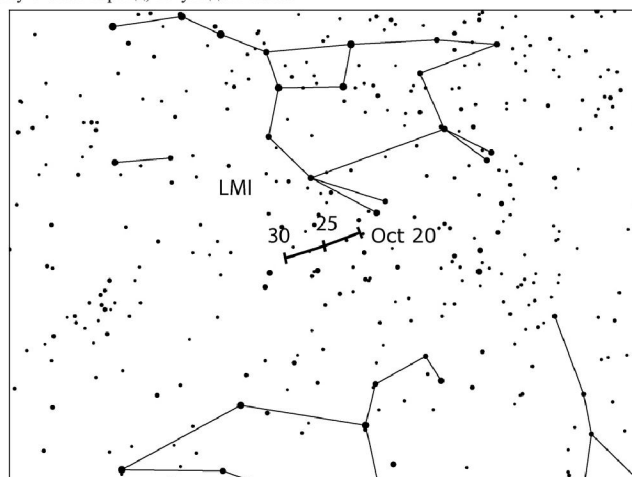


Карта смещения радиантов STA и NTA.

(ANT) не ведется, и их записывают как STA (или NTA, см. ниже)!

С **20 октября** к STA добавляются и северные Тауриды (NTA). Они, так же как и STA, являются заменителем ANT

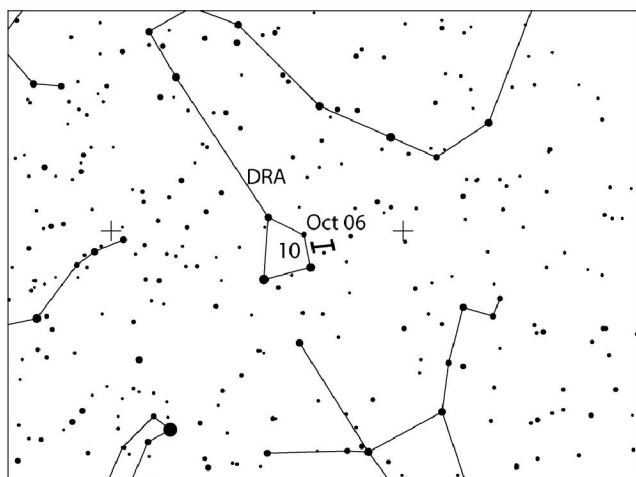
Ориониды (ORI). Действовать он будет весь месяц. Максимум приходится на 208° солнечной долготы (**21 октября** около 23:00 по всемирному времени) с зенитным часовым числом $ZHR = 25$.



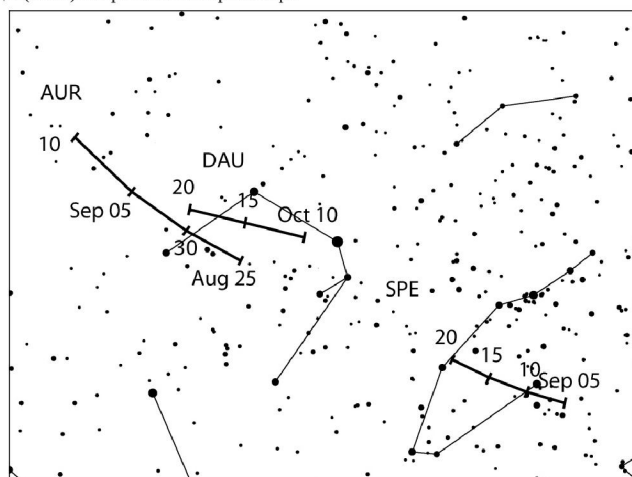
Карта смещения радианта LMI.

Источники: Международная метеорная организация (www.imo.net).

Сергей Шмальц



Карта смещения радианта DRA.



Карта смещения радианта DAU.

**C/2009 P1 (Garradd):
максимум впереди**

В последние месяцы комета Еленина очень много упоминалась в прессе с самых разных (преимущественно негативных и невежественных) сторон, и теперь, когда она разваливается, интерес к ней, безусловно, будет падать. В течение всего этого времени на нашем небе уже наблюдалась не вызвавшая столь бурного интереса, но, тем не менее, быстро

ярчавшая комета Гаррадда – C/2009 P1, которая сейчас при блеске уже около 7^m имеет прекрасные условия видимости для северных наблюдателей. Комета доступна для наблюдений даже в самые небольшие апертуры, показывает яркую, умеренно конденсированную кому, хорошо выраженное псевдоядро и определенный, хотя и не длинный (около трети градуса) пылевой хвост. Согласно прогнозам, с ноября до середины марта, т.е. в течение четырех с половиной месяцев, комета будет ярче шестой звездной величины. Можно отметить, что еще со времен Хейла-Боппа не было комет, которые бы сохраняли такую яркость столь длительный промежуток времени.

Сейчас C/2009 P1 расположена в Геркулесе, где будет оставаться до февраля. Исходя из этого, можно говорить о ее условиях видимости: для северных наблюдателей комета будет расположена высоко на вечернем небе в октябре, несколько ниже, но все еще хорошо – в ноябре, и около горизонта в конце сумерек вблизи Нового года. К тому времени комету будет уже лучше наблюдать низко на восточном небе в утренние часы.

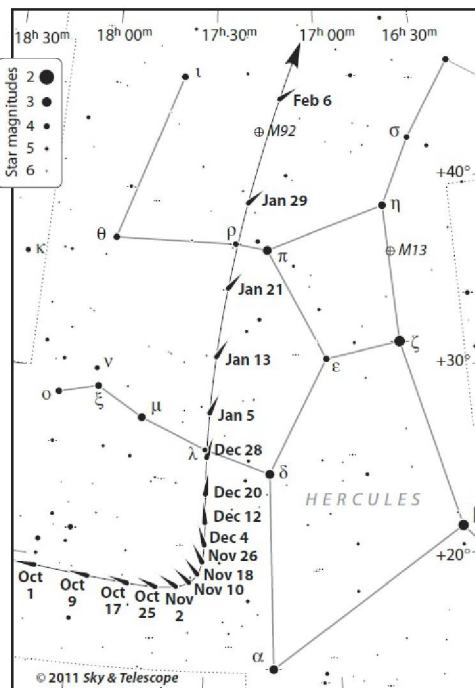


Фотография кометы была получена Михаэлем Егером (Австрия) 2 августа 2011 года.

Кометы в октябре

В октябре для средних любителей будет доступно уже большее количество комет, чем в последние месяцы. Жемчужиной продолжает оставаться комета Гаррадда, которая при блеске на уровне 7^m примостилась на вечернем небе в созвездии Геркулеса. В местах с низким уровнем засветки эта комета при телескопических наблюдениях продемонстрирует довольно широкий пылевой хвост, обладающий низкой поверхностной яркостью. Низко на утреннем небе расположена еще одна яркая комета с красивым хвостом – 45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova (Хонды-Мркоса-Пайдушаковой). Комета вступила в октябрь при блеске около 7^m, но, поднимаясь все выше на утреннем небе, будет неуклонно терять в блеске, ослабев на несколько звездных величин к концу месяца. Остальные хвостатые странницы месяца значительно слабее двух вышеупомянутых. Так, при блеске около 11^m в созвездии Рыси можно будет наблюдать C/2010 G2 (Hill / Хилла), которая уже прошла точку своего перигелия, но продолжает приближаться к нашей планете. В созвездии Рыб будет располо-

жена 78P/Gehrels (Герельса) при блеске 11-12^m. К сожалению, нашим ожиданиям относительно наблюдений кометы Леонида Еленина в октябре не суждено сбыться – эта комета распалась вблизи своего перигелия (см. предыдущий номер «Астрономической газеты»).



Поисковая карта кометы.

На утреннем небе в январе и феврале C/2009 P1 будет подниматься все выше и выше, 3 февраля объект вплотную подойдет к яркому шаровому звездному скоплению M92, после чего продолжит двигаться на север, в середине месяца переместившись на территорию Дракона. Всю весну комета будет сохранять хорошие условия видимости, перемещаясь по созвездиям Дракона, Малой и Большой Медведицы, Рыси, Рака и постепенно возвращаясь к вечерней видимости.

Почему же яркость этой кометы изменяется так медленно? Дело в том, что комета Гаррадда – умеренно отдаленная комета, но при этом довольно крупная и, как следствие, яркая сама по себе. Она никогда не подойдет ближе к Солнцу, чем на полторы астрономические единицы – именно таково расстояние ее перигелия (конец декабря 2010 года), при этом она не подойдет к Земле ближе 1.3 а.е. (таким будет минимальное расстояние в марте 2011 года). Если бы комета подошла лишь на 0.5 а.е. ближе к Солнцу и на 0.8 а.е. ближе к Земле, ее яркость приобрела бы уже отрицательные значения – безусловно, такая комета получила бы статус

«Большой кометы». Но и без того она будет прекрасным для наблюдений объектом в ближайшие месяцы. Приглашаем Вас оценивать блеск этой прекрасной хвостатой странницы и присылать свои оценки на наш конкурс визуальных наблюдателей комет!

Артем Новицонко



Комета 45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova, снятая Михаэлем Егером (Австрия) 29 сентября 2011 года.

Правда о периоде вращения Нептуна

После того как в 1989 году «Вояджер-2» пролетел через систему Нептуна, ученые смогли дать оценку скорости вращения этой планеты – 16 часов 6.5 минут. Но недавно Эрих Каркошка из Аризонского университета проанализировал движение двух выделяющихся образований в атмосфере Нептуна за последние 20 лет, назвав новую цифру – 15 часов 57 минут и 59 секунд.

Но не все планетологи согласились с выводами Каркошки. Они говорят, что это небольшое несоответствие указывает на то, что спустя 165 лет после открытия, самая удаленная планета Солнечной системы все еще хранит тайны.



Модель «Вояджера».

Вращение газовых гигантов

Скорость вращения газовых гигантов является непростой задачей. Их вращающиеся твердые ядра скрыты под плотной атмосферой, которая может вращаться с другой скоростью. К примеру, образования, находящиеся в атмосфере Юпитера на широтах в 10° от экватора оборачиваются за 9 часов 50.5 минут, а в более высоких широтах за 9 часов 55.7

минут. Кроме этого, некоторые отдельные видимые элементы могут оборачиваться и вовсе с неопределенной скоростью, как облака и шторма на Земле.

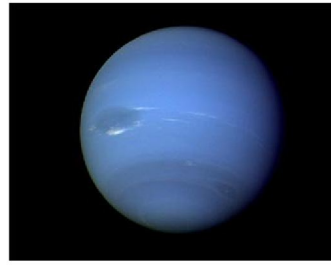
В 1950-х годах астрономы заметили, что импульсы радиосигналов от Юпитера повторяются через определенный интервал. Это происходит из-за того, что его магнитное поле вращается вместе с вращением ядра. Таким образом, ученые определили, что период вращения гиганта составляет 9 часов 55.5 минут.

Миссия «Вояджера» позволила посетить все четыре газовых гиганта нашей Солнечной системы. И с ее помощью астрономы смогли определить их скорости вращения. Для Сатурна это 10 часов 39 минут 22 секунды, для Урана – 17 часов 14.4 минуты. Но в 2004 году, когда «Кассини» достиг орбиты Сатурна, ученые увидели, что старый метод вычислений работает не совсем точно. Радиосигнал у Сатурна увеличился на 1%, и теперь составлял 10 часов 32 минуты и 35 ± 13 секунд.

«Эта миссия показала нам, что магнитное поле работает не как часы, а немного проскальзывает», – говорит Каркошка в своем релизе. «Ядро вращается и тянет вместе с собой магнитное поле, но из-за влияния солнечного ветра и различных других причин, магнитное поле вращается с другой скоростью.»

Поиск более точных методов

В своем исследовании Нептуна вместо радиоданных, полученных «Вояджером», Каркошка пользовался снимками КТ им. Хаббла. Проанализировав более



Снимок Нептуна, полученный «Вояджером-2».

500 снимков, он нашел два темных образования, которые назвал южным полярным элементом и южной полярной волной, они вращаются с постоянной скоростью еще с 1990-х годов. Вычисляя точную скорость вращения, он и стал опираться на эти элементы.

«Я считаю, что точность моих расчетов в тысячу раз лучше, чем измерения, проведенные «Вояджером», – заявляет исследователь. «Это серьезное совершенствование определения периода вращения для Нептуна, которое не было произведено ни для одной из других трех планет-гигантов за последние три столетия.»

Нерешенные проблемы

Планетологи соглашаются с тем, что результаты работы Каркошки любопытны и похвально, но все еще скептически относятся к тому, чтобы назвать полученный период вращения истинным. Они считают, что расхождения с величиной, полученной «Вояджером», может означать только то, что мы очень мало знаем о Нептуне.

«Выводом из этой работы может быть то, что мы видим стабильные структуры в атмосфере, которые могут

быть каким-то образом связаны с недрами планеты», – говорит планетолог Хайди Хаммель. «Принимая во внимание, что нам неизвестен связывающий механизм, можно сказать, что результаты интригующие, но не конечные.»

Уильям Курт, член команды, занимавшейся подсчетом данных «Вояджера», был впечатлен тем, насколько стабильной оказалась скорость вращения элементов атмосферы. Однако он не очень доволен тем, что под сомнения была поставлена техника определения скорости вращения по радиоданным. Как он пояснил, в случае с Сатурном магнитное поле не совсем связано с недрами, и наблюдаемое проскальзывание возникает в результате небольшого отклонения оси магнитного поля от оси вращения планеты. Но если этот угол увеличить, то магнитное поле становится сильнее связано с недрами. У Нептуна этот угол составляет 47° – значит, что магнитное поле больше говорит о поведении недр.

В общем, Курт уверен, что найденные несоответствия указывают на то, что нужно получить больше информации. Хаммель согласен с этим мнением и говорит, что это отличный повод для запуска новых миссий по исследованию холодных газовых гигантов – Урана и Нептуна, поскольку такие миссии как «Кеплер» и «COROT» обнаружили у других звезд больше планет с размерами как у Нептуна, нежели газовых гигантов вроде Юпитера.

Источник: Журнал «Sky&Telescope».

Михаил Митрошкин

Найдены лучшие доказательства существования жидкой воды на Марсе

Недавно команда ученых из NASA анонсировала возможные серьезные доказательства того, что на Марсе есть вода в жидком виде. К этому выводу пришли, изучая снимки, полученные с аппарата «Mars Reconnaissance Orbiter». На них видны сотни темных ручейков шириной от полуметра до 5 м, сходящих со стен кратеров. Они то исчезают, то снова появляются со сменой сезонов.

Ученые предполагают, что эти потоки могут оказаться потоками очень соленой воды – ее соленость превышает 50 промилле, тогда как средняя соленость морской воды на Земле составляет около 35 промилле. Такая вода остается на этих склонах жидкой при летних температурах, достигающих $250\text{--}300^\circ\text{K}$, или примерно от -25°C до $+25^\circ\text{C}$. При этом они подчеркивают, что сами по себе их наблюдения не подтверждают этой гипотезы; кроме того, источники таких «ми-

неральных ручьев», если они действительно существуют, также не ясны.

«Если сравнивать с Землей, то трудно предположить, что это может быть чем-то иным, кроме как ручьями, текущими со склонов. Вопрос в том, действительно ли это происходит на Марсе, и если да, то почему именно в этих местах», – отметил соавтор работы Ричард Зурек из Лаборатории реактивного движения NASA. Нужно сказать, что такие темные полосы были найдены на южных широтах от 32° до 48° на склонах, которые направлены в сторону экватора.

Гипотеза соленых ручьев, по мнению авторов исследования, лучше объясняет происхождение полос, некоторые из которых удлинились на 200 м всего за пару месяцев. В числе других возможных вариантов в статье называются ослабевающая со склонов порода, сезонные ветры или «пыльные демоны» – песчаные вихри. Однако ни одна из этих гипотез не объясняет все особенности расположения и сезонной динамики «ручьев».

Потенциальные ручьи значительно уже сухих каналов, похожих на овраги, на склонах Марса, которые были обнаружены ранее. Они встречаются примерно в 100 раз реже, чем такие овраги, но при этом на одном склоне может быть более тысячи полос. Всего ученым удалось достоверно подтвердить наличие ручье-подобных полос, исчезающих на зиму, на семи склонах, еще в 12 районах этот эффект пока не удалось зафиксировать для нескольких сезонов.

Ученые отмечают, что установленный на зонде спектрометр CRISM не обнаружил на обследованных им «речных» склонах следов воды. Это может означать, что предполагаемые ручьи там либо быстро пересыхают на поверхности, либо на самом деле текут неглубоко под ней. Авторы статьи подчеркивают, что полосы выглядят темными «не потому, что там мокро»: поток соленой воды может переносить частицы грунта или изменять свойства поверхности так, что она кажется более темной. Труднее объяснить, почему темные линии исчезают

с похолоданием, но исследователи надеются, что дальнейшие наблюдения помогут разгадать эту загадку.

В статье также отмечается, что модуль НАСА «Феникс», совершивший посадку на поверхность Марса в 2008 году, возможно, зафиксировал попадание капель такой соленой воды на свои «ноги», однако однозначных доказательств наличия жидкой воды в месте посадки получить не удалось.

По предположениям ряда ученых, примерно три миллиарда лет назад треть поверхности «Красной планеты» покрывал океан жидкой воды, в который впадали реки, а в атмосфере формировались облака и шли дожди. Если гипотезу соленых ручьев удастся подтвердить, это станет первым свидетельством наличия жидкой воды на нынешнем Марсе, а кроме того еще раз поднимет вопрос о вероятности зарождения жизни в других мирах.

Источник: Журнал «Sky&Telescope».

Михаил Митрошкин

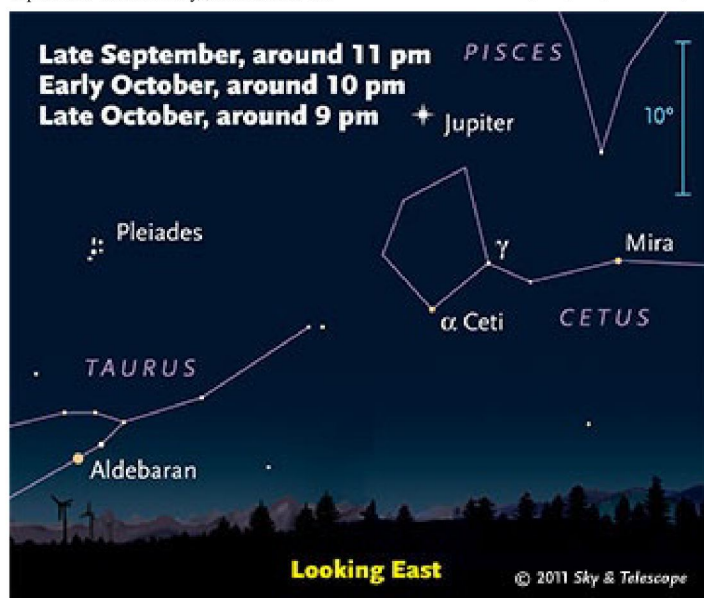
Наблюдаем Миру

Мира (омикрон Кита) – одна из самых известных переменных звезд, и именно сейчас, в период своего очередного максимума, она столь ярка, какой не была уже очень давно; яркость объекта сейчас около $+2.5^m$.

В переводе с латыни Мира – это «удивительная» или «замечательная», и это определение, безусловно, хорошо отражает сущность этой звезды. Она, безусловно, самая яркая звезда, яркость которой меняется примерно в 100 раз и более. Как правило, в минимуме звезда имеет блеск около 9^m и является трудным объектом для биноклярных наблюдений. Но прямо сейчас это одна из самых ярких звезд в своем небесном секторе. Этой осенью ее будет особенно лег-

ко найти, так как звезда расположена примерно в 15 градусах к югу от Юпитера. Пик яркости Миры в этот раз приходится примерно на 1 октября, после чего звезда будет слабеть примерно на одну величину в течение каждого последующего месяца, при этом будет всю осень и в начале зимы удобно расположена для наблюдений. Отслеживайте Миру, и вы будете поражены, насколько внешний вид созвездия Кита зависит от яркости этой звездочки.

С физической стороны Мира – огромный и древний красный гигант с диаметром в несколько сотен раз превышающим диаметр Солнца. Как и все красные гиганты, она теряет массу с огромной скоростью. Несколько лет назад спутник NASA «Galex» обнаружил, что газы около Миры имеют форму кометного хвоста и распространены при-



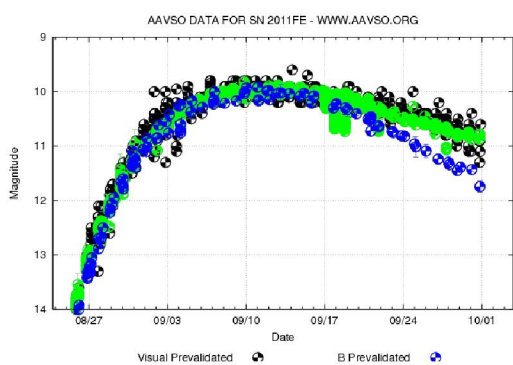
Мира на нашем небе.

SN 2011fe – ярчайшая сверхновая за последние 20 лет

24 августа 2011 года астрономы Паломарского обзора транзиентов обнаружили вспыхнувший объект в относительно недалеко от нас спиральной галактике M101 (NGC 5457). Транзиент, первоначально обозначенный как PTF11kly, имел блеск около 17.2^m , но с тех пор наращивал его очень быстро. Наблюдатели со всего мира, любители и

профессионалы, сразу стали отслеживать эту область, и информация о вспышке сверхновой звезды подтвердилась, вскоре объекту было присвоено официальное обозначение SN 2011fe. Эта сверхновая типа Ia является одной из самых ярких сверхновых, что наблюдались с Земли за последние 20 лет, и должна быть доступна для визуальных и фотографических наблюдений до конца 2011 и в первые месяцы 2012 года!

Сверхновые типа Ia образуются в



Кривая блеска SN 2011fe.



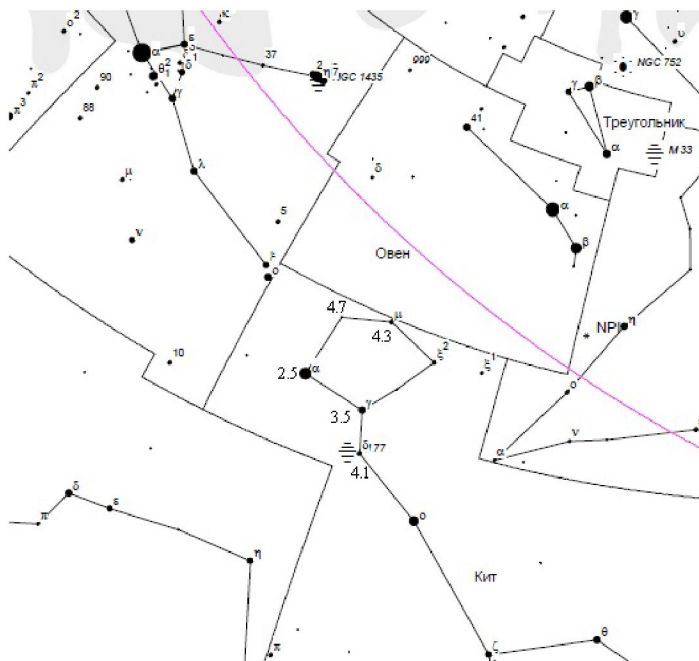
На этой двухцветной картинке, полученной спутником «Galex», дальний ультрафиолет обозначен синим цветом, а ближний – красным. Представляется, что Мира выбрасывает материал, который распространяется от нее в форме кометного хвоста. Следует также обратить внимание на отдельные особо плотные участки, близкие к звезде.

мерно на 2 градуса от самой звезды; они ярко светятся в дальнем ультрафиолете.

Источник: Журнал «Sky&Telescope».

Для оценки яркости Миры используйте карту звезд сравнения, приведенную ниже.

Артем Новичонок



результате коллапса белого карлика в тесных звездных парах, известных как катаклизмические переменные звезды. Когда белый карлик накапливает достаточное количество вещества от своего компаньона для достижения критической массы в 1.4 раза больше массы Солнца (предел Чандрасекара), он коллапсирует, а затем взрывается с огромной силой, становясь столь ярким объектом, что его можно увидеть из очень удаленных областей Вселенной. Исследование сверхновых такого типа космологически важно, так как информация об их видимом блеске может помочь скорректировать данные о расстоянии до галактик, в которых они сформировались. Открывая и исследуя сверхновые типа Ia, мы можем лучше понять структуру Вселенной, в которой живем.

Яркие сверхновые появляются на нашем небе нечасто, и эта звезда является собой как раз такой редкий случай. До этого последняя относительно яркая сверхновая, которая достигла блеска 10.0^m , была SN 1993J II типа, в то время

как последняя сравнительно яркая сверхновая типа Ia вспыхнула почти 40 лет назад – это была SN 1972E с максимальным блеском около 8.5^m . Текущая сверхновая вспыхнула в очень красивой галактике M101, удаленной от нас «всего лишь» на 20 миллионов световых лет – очень близко по сравнению с расстоянием до большинства звездных островов Вселенной.

Хотя максимум блеска уже пройден (он составил около 10.0^m в середине сентября), этот объект все еще легко увидеть визуально с использованием средних любительских инструментов. Сверхновая хорошо выделяется даже на слабом фоне галактики и является простым объектом для визуальной фотометрии. Сейчас область находится довольно удобно для наблюдений на вечернем небе, также можно получить свою оценку блеска и в предрассветные часы.

Источник: AAVSO.

Артем Новичонок

Слон или муха?

На протяжении последних двух месяцев в Интернете наблюдался определенный ажиотаж в связи с «неординарным» событием – неработающий американский исследовательский спутник «UARS» (Upper Atmosphere Research Satellite – Исследовательский спутник верхней атмосферы, см. рис. 1), запущенный в сентябре 1991 г. с борта шаттла «Discovery» и проработавший на орбите 14 лет, начал неуправляемое торможение в атмосфере Земли и должен упасть. Событие само по себе не редкое – за месяц в атмосфере Земли сгорает один-два десятка относительно крупных фрагментов «космического мусора», да и сгорание целых спутников не редкость. Но шумиха, поднятая СМИ, видимо, с подачи пресс-центра NASA, поднялась значительная – некоторые особо падали на «сенсации» СМИ поспешили опубликовать информацию, что «неизвестен и точный химический состав груза спутника. По приблизительным оценкам в нем не менее 30-ти кг плутония-238. При этом всего лишь 450 г этого вещества достаточно, чтобы вызвать рак у всего человечества» [2]. Конечно, подобная информация является откровенным враньем – химический состав спутника отлично известен и на его борту нет ни РИТЭГов (радиоизотопных термоэлектрических генераторов) [3] с плутоном, ни ядерного реактора с ураном, т.к. источником электроэнергии для «UARS» являются его панели солнечных батарей.



Рис. 1. Спутник «UARS» [1].

Падение спутников с радиоактивными материалами на борту, кстати говоря, имело место в истории. Спутник «Космос-954» с ядерным реактором на быстрых нейтронах на борту потерял ориентацию и вышел из-под контроля наземных служб в конце 70-х гг. XX века. Спутник не отработал команду увода на т.н. «орбиту захоронения» (на высоте 1000 км над поверхностью Земли) и начал снижение, в результате чего 24 января 1978 г. он вошел в плотные слои земной атмосферы и разрушился. Несгоревшие обломки упали на северо-западе Канады в районе Большого Невольничье-го озера, вызвав радиоактивное заражение территории площадью около 100.000 км², что вызвало крупный меж-

Спутник «UARS»: последние дни жизни

дународный скандал [4]. В настоящее время на «орбитах захоронения» остаются 29 советских спутников с подобными реакторами на борту [4] и множество радиоактивных осколков и других ИСЗ, так что случаи падения «горячих» фрагментов были и, увы, будут в дальнейшем. Также любители астрономии должны помнить и «мрачные пророчества» по поводу возможного гравитационного маневра АМС «Cassini-Huygens» в 1999 г. около Земли, когда станция с 32 кг плутония для бортового РИТЭГа должна была пролететь на расстоянии в несколько тысяч км от поверхности Земли. Тогда NASA было вынуждено подробно осветить программу предполетных испытаний контейнера РИТЭГа (прогрев в высокотемпературной печи, сбрасывание с большой высоты и т.д.), чтобы хоть частично успокоить общественность, подавляющую панику из-за публикаций в бульварной прессе. Участие скандала не обходит и управляемые спуски – чего только стоит эпопея по затоплению орбитальной станции «Мир» в 2001 году...

Не был «UARS» и самым крупным спутником, который неконтролируемо снижался, грозя упасть на головы обитателей нашей планеты – например, 7 февраля 1991 г. в малонаселенных районах на границе Чили и Аргентины упали фрагменты советской орбитальной станции «Салют-7», которая до входа в атмосферу имела размеры 14×4 м и весила порядка 20 тонн [5].

Дополнительную комичность истории по поводу падения «UARS» вносит то, что спутник был принудительно переведен на более низкую орбиту 15 декабря 2005 г., с тем, чтобы он сгорел в атмосфере и не был потенциальным источником «космического мусора» [6]. Перед этим была произведена пассивация, т.е. стравливание в космос остатков высококипящего горючего монометилгидразина – оставшееся количество не представляло никакой опасности для экологии, т.к. сгорело бы при входе спутника в наиболее плотные слои атмосферы (максимальный нагрев спутник испытывает при снижении его скорости до примерно 80% от орбитальной – высота максимального разогрева сильно зависит от формы и массы спутника, и в среднем составляет 40–70 км [8]). Но жадные до дешевых сенсаций «желтые» СМИ начали десятками печатать статейки в духе «спутник-убийца может упасть на Москву» – причем название городов менялось регулярно, в зависимости от территориальной принадлежности СМИ.

Как видим, волна слухов и пророчества, связанных с падением спутников,

регулярно возникает и едва ли станет меньше. В интервью «РИА Новости» редактор-обозреватель журнала «Новости космонавтики» Игорь Лисов заметил, что «...количество падающих спутников сейчас уже больше, чем два года назад. Эта тенденция продолжится, и таких космических аппаратов в ближайшие годы будет еще больше... Количество спутников, запущенных 20-30 лет назад и уже вышедших из строя, в ближайшие несколько лет существенно увеличится в связи с пиком солнечной активности (который придется на 2012–2013 гг. – В.М.), но для Земли это абсолютно не опасно» [7]. Важно не поддаваться панике и внимательно отделять компетентную информацию от журналистских выдумок. Что ж, пусть распространение подобной информации остается на совести журналистов и «независимых экспертов», а мы перейдем к рассмотрению последних дней жизни ИСЗ «UARS».

Он был старательным рабочим

Правильнее все же назвать «UARS» не рабочим, а ученым-исследователем. Он был разработан NASA для исследования атмосферы Земли, в частности озонового слоя. 15 сентября «UARS» был выведен на рабочую орбиту высотой 575×580 км с наклоном к экваториальной плоскости Земли $i = 57^\circ$ [1], спутник имел форму, близкую к параллелепипеду размерами 10,7×4,6 м («длина» × «диаметр») [9] и массу 5668 кг [6].

Первоначальный планируемый срок службы спутника был три года, но он проработал 14 лет, и к окончанию своего срока эксплуатации в 2005 г. 6 из 10 его научных приборов все еще были рабочими! На борту спутника размещались следующие основные исследовательские приборы [1]:

1. Спектрометр «CLAES» (Cryogenic Limb Array Etalon Spectrometer) – для измерения распределения и концентрации в атмосфере Земли азота, соединений хлора (фреонов), водяных паров и метана. Так как спектрометр охлаждался жидким неоном в «рубашке» из твердой углекислоты, то после их испарения в 1993 г. он перестал использоваться.

2. ИК-радиометр «ISAMS» (Improved Stratospheric And Mesospheric Sounder) – использовался для измерения термоэмиссии от атмосферного лимба Земли; получения данных о температуре атмосферы как функции давления (для тропосферы и мезосферы) и изучения динамики атмосферы; для изучения динамики паров воды в средней атмосфере

и понимания их роли в общей атмосферной циркуляции; для определения глобального распределения концентрации оксидов азота, определения их источников и влияния на озоновый слой; изучение вулканических аэрозолей и полярных стратосферных облаков. Инструмент работал до 1992 года.

3. Микроволновый радиометр «MLS» (Microwave Limb Sounder) – для детектирования естественного микроволнового теплового излучения Земли при построении вертикальных профилей содержания атмосферных газов, их температуры и давления. До 2005 г. каналы 63 ГГц и 205 ГГц радиометра были рабочими, а канал 183 ГГц перестал функционировать еще в 1992 г.

4. Затменный спектрометр «HALOE» (Halogen Occultation Experiment) – использовал затмение Солнца диском Земли для построения вертикальных профилей содержания озона, паров соляной (HCl) и плавиковой (HF) кислоты, метана, паров воды, оксидов азота в атмосфере, а также для изучения аэрозольных частиц.

5. Прибор «HRDI» (High Resolution Doppler Imager) – использовался для наблюдения линий поглощения и испускания молекулярного кислорода над лимбом Земли. Прибор работал до апреля 2005 г.

6. Интерферометр «WINDII» (Wind Imaging Interferometer) – изучал ветры, температуру и излучение от естественного свечения неба и полярных сияний.

7. Радиометр «SUSIM» (Solar Ultraviolet Spectral Irradiance Monitor) – измерял УФ-излучение Солнца, в том числе определял долю УФ-излучения, дошедшую до поверхности Земли и поглощенную верхней атмосферой.

8. Прибор «SOLSTICE» (Solar Stellar Irradiance Comparison Experiment) – использовался для изучения солнечного излучения. В качестве калибровочных источников излучения использовались яркие звезды ранних спектральных классов.

9. Радиометр «ACRIM2» (Active Cavity Radiometer Irradiance Monitor II) – использовался для измерения общего солнечного излучения, определения доли излучения Солнца, достигающего поверхности Земли.

В связи с поднявшейся шумихой вокруг падения «UARS» администрация NASA выпустила специальный буклет «Re-entry and Risk Assessment for the NASA Upper Atmosphere Research Satellite (UARS)» [6], в котором приводится оценка рисков от падения обломков спутника и даются оценки о вероятном составе обломков и их характеристиках. На рис. 2 показана фотография «UARS», опубликованная NASA, при его выведении на орбиту, на которой красными подписями отмечены основные блоки, которые могут не

сгореть в атмосфере и достичь поверхности Земли. Прогнозировалось, что упасть могут 26 обломков общей массой 526 кг, содержащих титан, алюминий и бериллий, которые выпадут в эллипсе рассеяния размерами до 600 км вдоль большой оси. Скорости падения при «приземлении» обломков могут достигать от 10 до 100 м/с. Указать даже приблизительное место падения не представляется возможным, т.к. даже за 2 часа до момента падения неопределенность по времени составляет в лучшем случае ± 25 минут, или ± 12000 км, что равно трети длины экватора Земли. Т.к. Земля на $\frac{1}{4}$ покрыта океаном, то вероятность выпадения фрагментов спутника на сушу не превышает 25% – даже с учетом того, что наклонение орбиты «UARS» составляет порядка 60° , и фрагменты могут выпасть только в пределах полосы 60° с.ш. – 60° ю.ш. Некоторый «избыток» суши в северном полушарии в этой полосе компенсируется ее «недостатком» в южном.

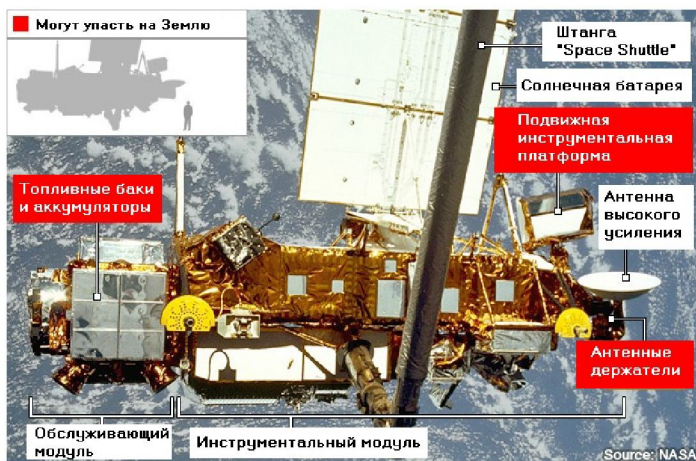


Рис. 2. Основные блоки ИСЗ «UARS». Красным отмечены элементы, которые могут не сгореть в атмосфере и достичь поверхности Земли.

Перейдем теперь к рассмотрению эволюции орбиты ИСЗ «UARS» за последние два года.

Корабль медленно идет на дно...

Для анализа орбиты ИСЗ использовались орбитальные элементы спутника «UARS» из личного архива автора, которые брались с ресурса www.space-track.org в течение двух лет. Большое подспорье при анализе оказала программа расчета параметров пролета спутников Heavensat [11] российского любителя астрономии Александра Лапина. Программа позволяет не только рассчитать обстоятельства пролета спутников над заданной точкой поверхности Земли, но и, в частности, строить графики изменения орбитальных параметров, что и было использовано. Более подробную информацию о программе Heavensat и работе с ней можно узнать на сайте программы [11], а также прочитать в главе «Готовимся к наблюдениям» [12] на сайте sat.belasto.net.

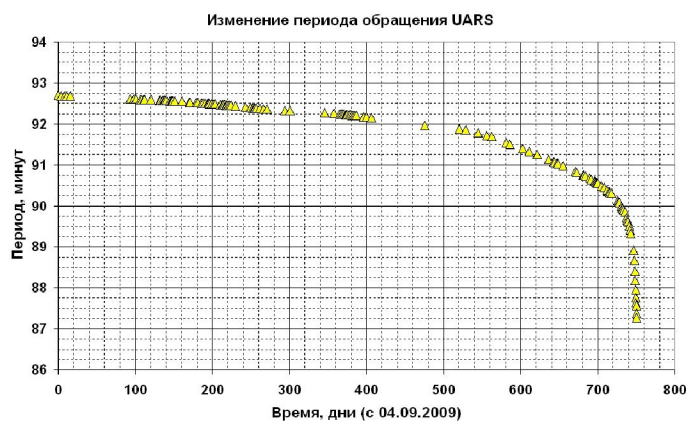


Рис. 3. Изменение периода обращения «UARS» с 4 сентября 2009 г. по 24 сентября 2011 г.

На рис. 3 показано изменение периода обращения «UARS» с 4 сентября 2009 г. по 24 сентября 2011 г. В 2009 г. спутник уже 4 года находился на «орбите смерти», которая постепенно уменьшалась, заставляя «UARS» обращаться все быстрее и быстрее. Темп уменьше-

четов.

Возникает вопрос – почему же период обращения спутника не просто уменьшается (т.е. он быстрее обращается вокруг Земли), а происходит это с ускорением, ведь спутник *тормозится* верхней атмосферой Земли? В обыденной жизни мы привыкли к тому, что если что-то *тормозится* в вязкой среде, то оно со временем будет двигаться все медленнее. Это парадоксальное поведение спутников получило название *аэродинамического парадокса спутников*.

На рис. 5 показаны силы, действующие на спутник, тормозящийся верхней атмосферой Земли. Вектор скорости V направлен в сторону движения спутника, спутник притягивает Земля с силой F_g , а атмосфера вызывает появление силы торможения $F_{сопр}$. В общем случае чтобы спутник двигался по орбите вокруг Земли, сила притяжения F_g должна уравновешиваться центробежной силой $F_c = mV^2/r$, где r – радиус орбиты спутника. Если F_g станет доминировать, спутник начнет падать на Землю, а если F_c будет преобладать – спутник улетит прочь от Земли.

Из рисунка видно, что т.к. F_g и F_c направлены в разные стороны, то сопротивление атмосферы заставляет спутник снижаться. Из третьего закона Кеплера мы знаем, что чем меньше радиус орбиты тела, обращающегося вокруг центра притяжения, тем меньше его период об-

ращения вокруг этого центра – из этого следует, что уменьшение орбиты спутника будет приводить к... увеличению его скорости! Для тех, кто более подробно интересуется математической стороной этого вопроса, рекомендую статью «Аэродинамический парадокс спутника» в журнале «Квант» [13].

Торможение в атмосфере приводит к тому, что спутник медленно по спирали начинает снижаться все ближе и ближе к поверхности Земли (см. рис. 6). При этом дистанция наибольшего удаления спутника от Земли – *апогей* A на рис. 6 – уменьшается гораздо быстрее, чем дистанция наименьшего удаления – *перигей* P . Это приводит к тому, что

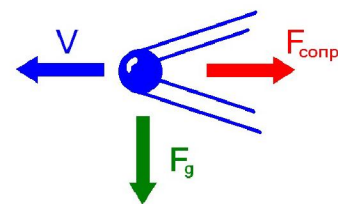


Рис. 5. Силы, действующие на спутник на низкой орбите.

орбита спутника, даже если она изначально была значительно эллиптической, к моменту сгорания ИСЗ будет почти круговой.

Чем больше тормозится спутник, тем под более отвесным углом он «врезается» в атмосферу при движении по спирали. Постепенно, из-за все большего возрастания плотности атмосферы на более низких высотах, на ко-

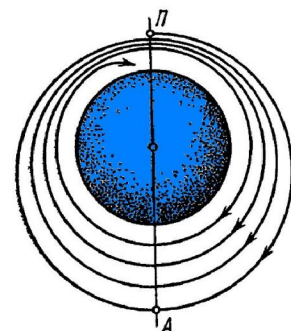


Рис. 6. Снижение спутника по спирали в результате торможения в атмосфере [8].

торые опускается спутник, сила сопротивления станет доминировать над составляющей силы притяжения вдоль траектории движения, и спутник не сможет завершить очередной виток – он «врезается» в атмосферу под слишком отвесным углом и начнет падение близкое к отвесному.

Для иллюстрации факта «округления» орбиты тормозящегося в атмосфере спутника посмотрим на рис. 7 – на нем показано изменение высоты перигея и апогея «UARS» в последние 50 дней его существования на орбите. Видно, что постепенно значения перигея и апогея выравниваются по мере уменьшения их значений.

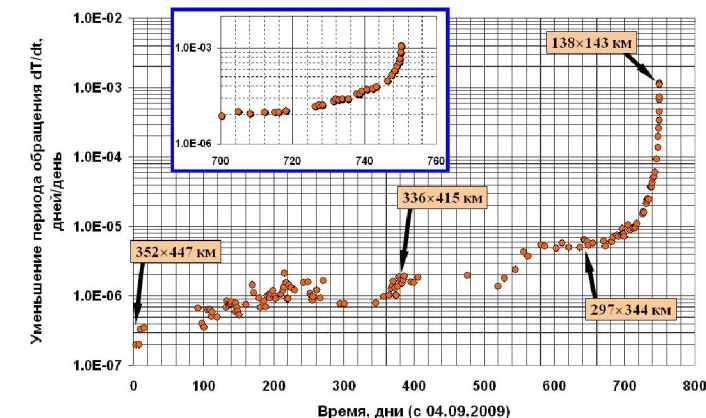


Рис. 4. Темп уменьшения периода обращения «UARS» с 4 сентября 2009 г. по 24 сентября 2011 г. На врезке показан участок для последних 50 дней «жизни» спутника.

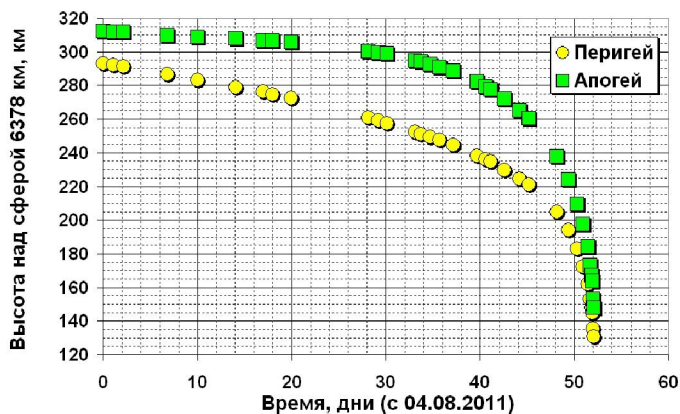


Рис. 7. Изменение высоты перигея и апогея «UARS» в последние 50 дней его существования на орбите.

Дополнительным подтверждением постепенного «округления» орбиты «UARS» может служить график изменения эксцентриситета орбиты, т.е. меры «сплюснутости» эллипса орбиты. Значение эксцентриситета для эллипса лежит в пределах от 0 до 1 и чем меньше это значение, тем ближе эллипс к окружности (для которой эксцентриситет равен нулю). На рис. 8 показаны эллипсы при разном значении эксцентриситета e , а на рис. 9 — график изменения эксцентриситета орбиты «UARS» за последние два года.

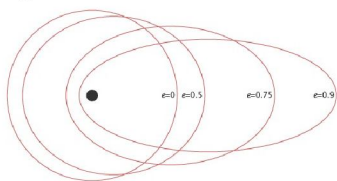


Рис. 8. Вид эллиптических орбит при различном значении эксцентриситета e [14].

Как видно, орбита «UARS» была почти круговой уже два года назад — эксцентриситет постепенно уменьшался с 0,008 до почти 0,001 к моменту сгорания. Периодические колебания эксцентриситета имеют период в полугодие и связаны, видимо, с влиянием притяжения Солнца на орбиту.

За счет торможения в верхней атмосфере время жизни спутников сильно зависит от величин апогея и перигея. В

таблице 1 представлены данные о времени жизни для спутника массой 100 кг и сечением 1 м^2 [15].

Высота перигея, км	Высота апогея, км				
	500	700	1000	1300	1600
200	9	18	37	58	82
230	25	52	102	165	237
260	53	116	238	370	535
300	114	260	545	890	1280
400	410	1120	2630	4450	6600

Как видно, даже на орбите 400×500 км такой спутник проживет немногим более года, хотя время жизни спутника быстро увеличивается по мере возрастания значений перигея и апогея. Тот факт, что на низких орбитах спутники не могут долго существовать без периодической коррекции орбиты, является, с одной стороны, негативным — нужно снабжать спутники двигателями и запасом топлива, а с другой, позитивным — этот процесс способствует утилизации неработающих спутников и их фрагментов из околоземного пространства.

Теперь переходим к самой интересной части — последним дням существования спутника на орбите.

Уходим в штопор, но продолжаем исследования

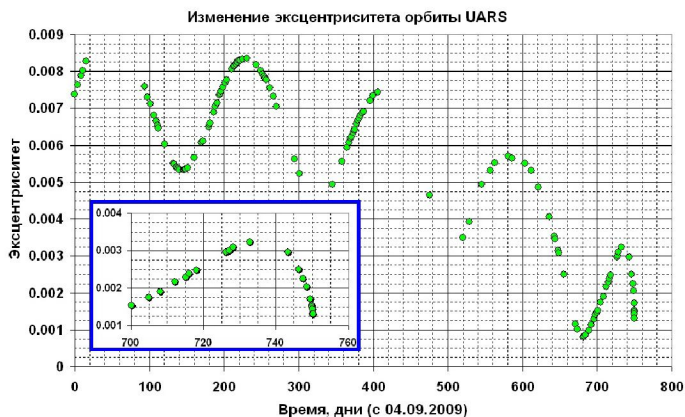


Рис. 9. График изменения эксцентриситета орбиты «UARS» за последние два года. На врезке показано изменение эксцентриситета за последние 50 дней существования спутника на орбите.

Примерно за месяц до расчетной даты сгорания «UARS» в атмосфере Земли стали появляться прогнозы о том, когда именно ожидать это событие. Для того, чтобы спутник начал падение в атмосферу, он должен достичь некоторой критической высоты $h_{кр}$, где, как отмечалось выше, плотность атмосферы увеличивается настолько, что спутник не может завершить очередной виток. При этом период его обращения достигает некоторой максимальной критической величины $T_{кр}$. Эти параметры зависят от т.н. баллистического параметра спутника $\gamma = C_d \cdot \langle S \rangle / 2m$ [13], где m — это масса спутника, $\langle S \rangle$ — средняя площадь его поперечного сечения, перпендикулярного вектору скорости, а C_d — коэффициент аэродинамического торможения, который для условий торможения спутника в

Таблица 1.

атмосфере можно принять равным 2,2 [16].

Среднюю площадь поперечного сечения спутника можно рассчитать по формуле:

$$\langle S \rangle = L \cdot D \cdot (0,818 + 0,25 \cdot D/L) \quad (1)$$

где L — длина корпуса спутника, D — диаметр.

Почему приходится использовать именно среднюю площадь? Дело в том, что из-за торможения спутника в атмосфере, любая неоднородность корпуса может создавать некомпенсированный момент сил, вызывающее поворот ИСЗ вокруг своей оси — почти всегда спутники на орбите постепенного падения начинают вращаться. Из-за вращения площадь поперечного сечения, перпендикулярная воздушному потоку, постоянно меняется, что приводит, в конечном итоге, к постоянному изменению силы сопротивления — как у паруса лодки при разных углах к направлению ветра. На рис. 10 показана раскадровка видеороли-

ка со спутником «UARS», снятый Тьерри Лерголем (Thierry Legault) за 9 дней до падения спутника [17]. На сайте [17] также можно посмотреть весь видеоролик.

Как видно из видео, «UARS» вращался с периодом порядка 20–25 с. Теперь попробуем оценить критическую высоту $h_{кр}$ и критической период обращения «UARS» вокруг Земли $T_{кр}$. Для «UARS» средняя площадь поперечного сечения из (1) получается равной $45,6\text{ м}^2$, масса 5668 кг , тогда баллистический параметр спутника равен:

$$\begin{aligned} \gamma &= C_d \cdot \langle S \rangle / 2m = \\ &= 2,2 \cdot 45,6\text{ м}^2 / (2 \cdot 5668\text{ кг}) = \\ &= 0,00885 \approx 0,01 \end{aligned}$$

На рис. 11 показаны графики зависимости $h_{кр}$ и $T_{кр}$ от γ . При $\gamma = 0,01$ $h_{кр} \approx 145\text{ км}$, а $T_{кр} \approx 87,35$ минут. В действительности эти значения получились близкими к реальным — по последним орбитальным элементам за два часа до падения, опубликованным на ресурсе www.space-track.org, средняя высота «UARS» составляла $139,4\text{ км}$, а период обращения равнялся $87,27$ минутам.

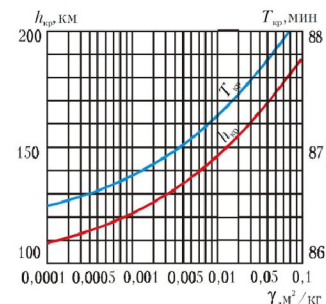


Рис. 11. Графики зависимости $h_{кр}$ и $T_{кр}$ от баллистического параметра спутника γ [13].

Что может влиять на скорость торможения, помимо упомянутого выше вращения спутника вокруг своей оси? Прежде всего, время суток на поверхности Земли, над которой в данный момент пролетает спутник. УФ-излучение Солнца вызывает разогревание верхней атмосферы, благодаря чему на дневной стороне Земли она как бы «распухает» и приподымается, а на ночной, где нет воздействия УФ-излучения, наоборот опускается. Спутник, летя на одной и

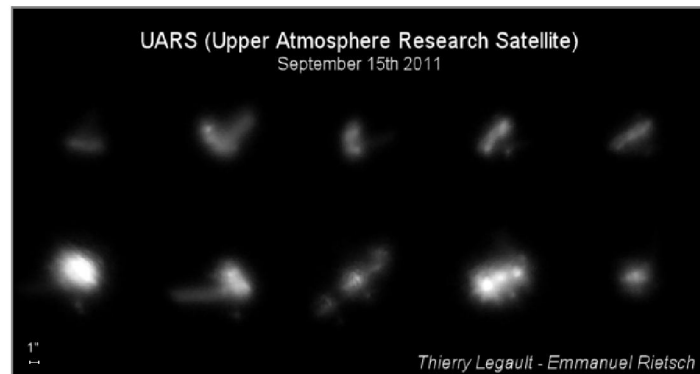


Рис. 10. Вращение спутника «UARS» за 9 дней до падения [17].

той же высоте h над дневной и ночной сторонами Земли, будет больше тормозится над дневной, т.к. плотность атмосферы выше (для высот 150–300 км суточные колебания плотности могут составлять 5%–30% [18]). Уже из этого можем понять, что значения критических параметров из *рис. 11* нуждаются в уточнении. Еще одним важным фактором, влияющим на скорость торможения, является солнечная активность – при активизации 11-летнего цикла солнечной активности, особенно при вспышках, сопровождающихся повышенными потоками УФ- и рентгеновского излучения, атмосфера Земли может «распухать» на высотах 150–300 км, увеличивая плотность в несколько раз. Чтобы учесть изменение плотности верхней атмосферы от текущей активности Солнца измеряют интенсивность радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см (около 2800 МГц), которое связано с УФ-активностью Солнца [16]. Этот параметр – индекс $F10.7$ – учитывают при расчетах. На *рис. 12* показан график изменения индекса $F10.7$ в последние 50 дней существования «UARS» по данным ИЗМИРАН [19].

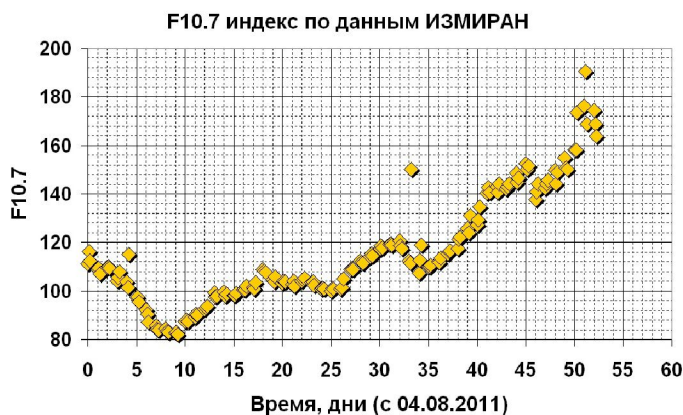


Рис. 12. График изменения индекса $F10.7$ с 4 августа по 24 сентября 2011 г. [19].

Как видно, активность Солнца постепенно увеличивалась, что несколько затрудняло «долгосрочный» прогноз даты падения «UARS». В *таблице 2* ниже указаны прогнозируемые даты схода

«Вхождение ИСЗ в атмосферу Земли» [21] сайта sat.belastro.net.

Как видно из таблицы, еще за 13 дней до падения SatEvo указывала на реальную дату падения «UARS».

На *рис. 13* показана хронология изменения предсказываемой даты падения

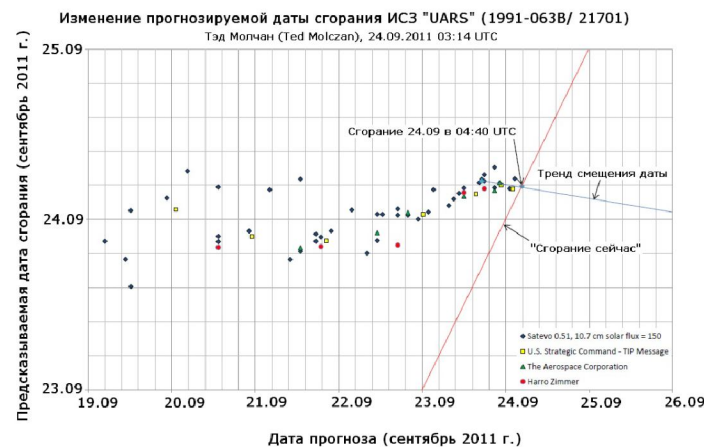


Рис. 13. Изменение прогнозируемой даты сгорания «UARS» от различных источников [22].

«UARS», составленная канадским наблюдателем спутников Тэдом Молчаном (Ted Molczan) на основе своих собственных расчетов, а также данных сто-

той.

Уже на этапе формирования молекулярно-кинетической теории газов в конце XIX в. ученые понимали, что плотность, как и давление, атмосферы не сохраняется постоянной с высотой, а постепенно падает. В этом на практике

убедились альпинисты, которым стоило немалых трудов сварить что-либо в воде высоко в горах, где температура кипения воды снижалась до 75°C. Тогда же было теоретически установлено, что плотность атмосферы падает экспоненциально, т.е. по закону [16]:

$$\rho(h) = \rho_0 \cdot e^{-h/H} \quad (2)$$

где $\rho(h)$ – плотность атмосферы на высоте h над уровнем моря, ρ_0 – плотность атмосферы на уровне моря (1,29 кг/м³), H – т.н. шкала высот, имеющая размерность высоты. Если бы атмосфера Земли имела бы на всем протяжении одинаковую температуру, т.е. была бы изотермичной, то шкала высот H была бы постоянной и равнялась бы 6,5 км. Явный смысл шкалы высот прямо виден из (2) – это высота, на которой плотность атмосферы падает в $e \approx 2,72...$ раза. Но температура атмосферы с высотой не постоянна – в тропосфере, самой нижней части атмосферы Земли, она падает приблизительно на 5°C на каждый километр (в средних широтах), а с высот 15 км и до 20 км остается постоянной, выше вновь повышаясь. Вообще, распределение температуры атмосферы с высотой было измерено для высот более 30 км только после использования метеорологических и геофизических ракет.

Из-за неизотермичности земной атмосферы шкала высот H не константа, а функция высоты и температуры. Это сильно усложняет расчет плотности атмосферы на больших высотах.

А теперь давайте попробуем оценить «время жизни» спутника «UARS». Продолжительность жизни τ спутника на орбите в первом приближении определяется выражением [16]:

$$\tau = \frac{e \cdot T}{\left(\frac{dT}{dt}\right)} \cdot \eta(e) \quad (3)$$

где T – период обращения спутника по орбите, e – эксцентриситет орбиты, dT/dt – темп уменьшения периода обращения спутника (см. *рис. 4*), $\eta(e)$ – некоторая функция, зависящая от эксцентриситета орбиты спутника. Т.к. вид функции $\eta(e)$ в явном виде нам неизвестен, то можно воспользоваться графиками на *рис. 14*, на которых по оси абсцисс отложен эксцентриситет e , а по оси ординат

$$\left(\frac{dT}{dt}\right) \cdot T$$

произведение $\left(\frac{dT}{dt}\right) \cdot T$. Вид кривых зависит от того, каково отношение шкалы высот H к большой полуоси орбиты a .

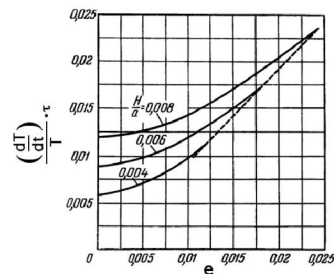


Рис. 14. Графики для оценки времени жизни спутника на орбите с эксцентриситетом e , большой полуосью a и периодом обращения T , уменьшающийся за каждый момент времени dt свой период обращения на dT [16].

Для «UARS» значение dT/dt для выбранной даты мы возьмем из *рис. 4*, период обращения T для той же даты возьмем из *рис. 3*, значение эксцентриситета e – из *рис. 9*, величину большой полуоси a – из *рис. 7* как полусумму перигея и апогея, т.е. $a = 6378 + (q + Q)/2$. Остается определиться со шкалой высоты H . Выше было отмечено, что H – не константа, а плавно изменяется с высотой и зависит от плотности и температуры атмосферы. В этом нам поможет *рис. 15*, на котором показаны графики изменения шкалы высоты H с высотой для разных значений индекса $F10.7$. В 1958 г. был максимум солнечной активности, а в 1962 г. солнечная активность была низка. Текущий 2011 г. является средним по активности (см. *рис. 12*). Будем брать величины для 8 сентября 2011 г. Тогда получаем следующие значения:

- Эксцентриситет $e = 0,003$.
- Большая полуось $a = 6378 + (244,8 + 288,5)/2 = 6644,7$ км.
- Период обращения $T = 89,84$ минуты.

«UARS» с орбиты, рассчитанные в разные даты, по данным ресурса www.space-track.org в сравнении с расчетами автора, полученными с использованием программы SatEvo Алана Пикапа (Alan Pickup) [20]. Описание работы с программой можно прочитать в пункте

был упасть. Оценить «время жизни» спутника можно и без привлечения компьютерных программ – давайте попробуем это сделать. Для начала нам понадобится разобраться в том, по какому закону изменяется плотность атмосферы с высо-

- Уменьшение темпа периода обращения $dT/dt = 0,0349$ минуты/сутки.
- Шкала высот $H \approx 40$ км для средней высоты «UARS» над поверхностью Земли 270 км и значения F10.7-индекса около 120–140. Отношение $H/a = 40/6644,7 = 0,006$.

В итоге из рис. 14 получаем, что

$$\left(\frac{dT}{dt}\right) \cdot \tau \approx 0,009. \text{ Отсюда}$$

да $\tau = 0,009/(0,0349/89,84) = 23,2$ дня с 09 сентября 2011 г. Получается, что дата падения «UARS» по нашей грубой оценке – 2 октября 2011 г. Из таблицы 2 мы видим, что сходная оценка даты получалась с использованием программы SatEvo в конце августа. Что ж, не так уж и плохо – учитывая значительную неопределенность в значении шкалы высот H ...

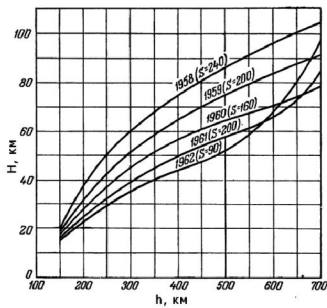


Рис. 15. Кривые изменения шкалы высот H с высотой h над поверхностью Земли. Цифры возле кривых – годы измерений, цифры в скобках – величина F10.7-индекса (здесь этот индекс обозначен S) [16].

А теперь зададимся вопросом – а можно ли только на основе имеющейся у нас информации об эволюции орбиты определить значение шкалы высот H более точно? Оказывается можно!

Согласно теории темп уменьшения периода обращения dT/dt спутника на почти круговой орбите определяется выражением [16]:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\rho \cdot m}{3\pi \cdot a \cdot \langle S \rangle \cdot C_d \cdot \kappa(i)} \quad (4)$$

где ρ – плотность атмосферы на высоте полета спутника, m – масса спутника, a – большая полуось орбиты спутника, $\langle S \rangle$ – средняя площадь поперечного сечения спутника, перпендикулярная вектору скорости, C_d – коэффициент аэродинамического торможения спутника, $\kappa(i)$ – некоторая функция, учитывающая влияние вращения атмосферы Земли относительно орбиты спутника, i – наклонение орбиты спутника. Вид функции $\kappa(i)$ показан на рис. 14 [16]. Из графика видно, что при наклонении орбиты «UARS» $i \approx 57^\circ$ коэффициент $\kappa \approx 0,94$.

Подставим в (4) выражение (2) для плотности атмосферы и учтем, что вместо высоты h нужно использовать «сред-

нюю» высоту «UARS» над поверхностью Земли, которая равна $\langle h \rangle = (q + Q)/2$. Тогда получим:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{m \cdot \rho_0 \cdot e^{-\frac{\langle h \rangle}{H}}}{3\pi \cdot a \cdot \langle S \rangle \cdot C_d \cdot \kappa(i)} \quad (5)$$

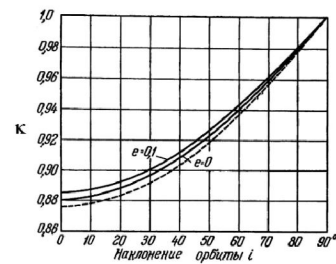


Рис. 16. Функция $\kappa(i)$, учитывающая влияние вращения атмосферы Земли относительно орбиты спутника [16].

Выразим из (5) экспоненту:

$$e^{-\frac{\langle h \rangle}{H}} = \frac{3\pi \cdot a \cdot \langle S \rangle \cdot C_d \cdot \left(\frac{dT}{dt}\right) \cdot \kappa(i)}{m \cdot \rho_0} \quad (6)$$

Прологарифмируем левую и правую части (6) натуральным логарифмом, внеся знак минус под логарифм (при этом, как следует из свойства логарифмов, числитель и знаменатель под логарифмом поменяются местами):

$$\frac{\langle h \rangle}{H} = \ln \left[\frac{m \cdot \rho_0}{3\pi \cdot a \cdot \langle S \rangle \cdot C_d \cdot \left(\frac{dT}{dt}\right) \cdot \kappa(i)} \right] \quad (7)$$

Из (7) окончательно получаем:

$$H = \frac{\langle h \rangle}{\ln \left[\frac{m \cdot \rho_0}{3\pi \cdot a \cdot \langle S \rangle \cdot C_d \cdot \left(\frac{dT}{dt}\right) \cdot \kappa(i)} \right]} \quad (8)$$

Выражение (8) выглядит громоздким, но расчеты делать проще, если использовать электронные таблицы – типа Microsoft Excel или OpenOffice Calc. В частности, для спутника «UARS» на 9 сентября 2011 г. получаем:

$$H = \frac{266700[\text{м}]}{\ln \left[\frac{5668[\text{кг}] \cdot 1,29[\text{кг}/\text{м}^3]}{3\pi \cdot 6644700[\text{м}] \cdot 45,6[\text{м}^2] \cdot 2,2 \cdot 2,42324 \cdot 10^{-2}[\text{сутки}/\text{сутки}] \cdot 0,94} \right]} = 25,14[\text{км}]$$

Подобные расчеты можно сделать для нескольких значений средней высоты «UARS» – получим набор точек, изображенных на рис. 17. Если мы теперь повторим процедуру оценки времени жизни τ для «UARS» на орбите, используя полученное нами значение шкалы высоты $H = 25,14$ км, то получим, что $\tau = 16$ дней с 9 сентября 2011 г., т.е. «UARS» должен упасть 25 сентября по нашим расчетам – это значение гораздо ближе к истинному (24 сентября), чем по графикам на рис. 15.

Что бы еще интересного получить?.. А попробуем определить плотность атмосферы на разных высотах –

Изменение шкалы высот H по данным торможения UARS

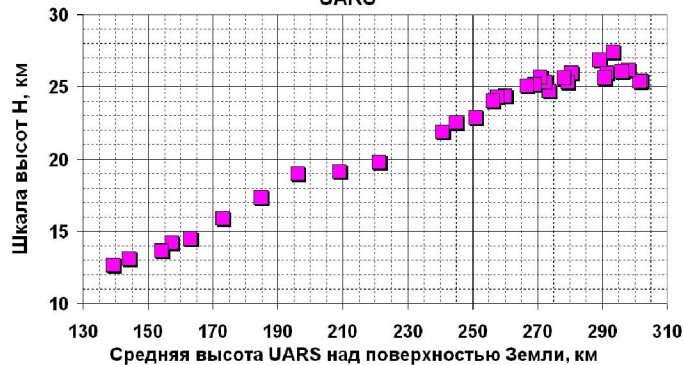


Рис. 17. Изменение шкалы высот H от средней высоты $\langle h \rangle$ спутника «UARS» над поверхностью Земли.

хоть «UARS» давно не функционирует, но он нам поможет это сделать. Снова посмотрим на выражение (2) для изменения плотности атмосферы с высотой – что нам в этом выражении неизвестно? После того, как мы нашли шкалу высот по (8) нам в (2) известно абсолютно все! Средняя высота $\langle h \rangle$, шкала высот H и плотность на уровне моря $\rho_0 = 1,29$ кг/м³ – все знаем. Тогда, используя (2), рассчитываем значение плотности для нескольких значений высот $\langle h \rangle$. Получаем график, изображенный на рис. 18. Для сравнения на графике показаны кривые изменения плотности атмосферы ночью при разных значениях индекса F10.7 по данным ГОСТ Р 25645.166-2004 [23]. В целом полученные нами оценки сравнимы с ГОСТ при F10.7 = 75–100, однако из рис. 12 видно, что среднее значение индекса F10.7 за последние 50 дней жизни спутника имело значение около 140. Некоторое расхождение обусловлено тем, что наши оценки соответствуют «средней» атмосфере, а ГОСТ – ночной, в то время как днем плотность на тех же высотах больше. Кроме того, есть некоторая неопределенность в значении средней площади сечения «UARS» – $\langle S \rangle$, т.к. он имеет форму не простого параллелепипеда, да и панель солнечных батарей тот еще парус... Тем не менее,

ные значения более чем соответствуют действительности.

Первые измерения плотности атмосферы Земли на больших высотах были проведены в 1957 г. с использованием данных по торможению первого искусственного спутника Земли «Спутник-1». В этом году мы отмечаем 50 лет космонавтики, и получилось символично, что через 54 года мы снова можем повторить эти измерения – и для этого вовсе не надо быть академиком, а просто иметь доступ к Интернету и немного почитать специальную литературу.

«Летучий голландец»

В день падения «UARS», 24 сентября 2011 г., координаты места падения точно не были известны. NASA выпустило еще одну брошюру, в которой отображается финальный трек с указанием вероятного места падения (см. рис. 19). Ожидалось, что спутник упадет в Тихом океане, возле побережья Америки. Рано утром 24 сентября появилась информация, что сгорающие обломки спутника видели в Канаде в городе Оютокс, однако позже появилась информация, что это, скорее всего, был болид. Интернет заполнили видеоролики со сгорающими спутниками, однако на деле это оказывались ранее произошедшие падения орбитальной станции «Мир», ИСЗ «АТВ» и т.д. Анализ

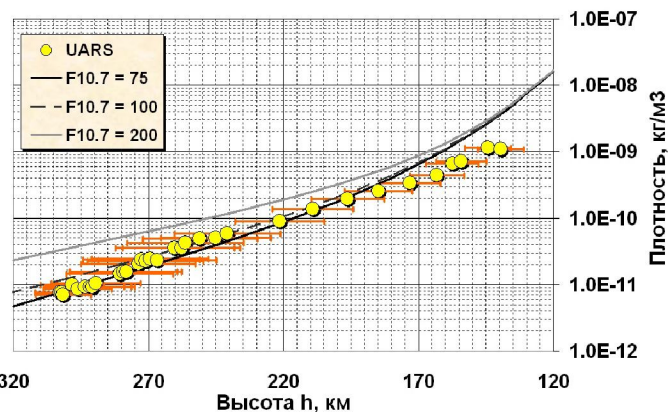


Рис. 18. Рассчитанные значения плотности атмосферы на разных высотах в сравнении со значениями ГОСТ Р 25645.166-2004 для ночной атмосферы.

данных по падению занимает время, и отсутствие информации породило кучу слухов – вот уже якобы обломки «UARS» упали в Буэнос-Айресе, разрушили квартал, погиб один человек и ранения получили 8 – на деле это оказался взрыв газового баллона.

Новая цель

Не успели еще вода сомкнуться над уходящими на дно океана осколками «UARS», а на подходе новая «сенса-

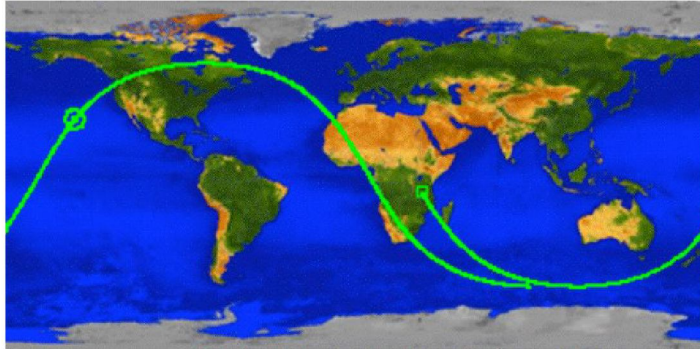


Рис. 19. Предполагаемое место падения обломков «UARS» по данным NASA [24].

Только 26 сентября www.space-track.org опубликовало обновление информации о месте падения, а 27 сентября – уточнение. На момент написания статьи эти последние данные являются самыми точными: «UARS» упал восточнее Австралии, в Тихом океане, в $04^{\circ}00' \pm 1$ минута по Всемирному времени, створом над островами Самоа, Тонга и Ниуэ. На рис. 20 показано место падения – $14,1^{\circ}$ ю.ш. и $170,2^{\circ}$ з.д. Падение было вечером для данной местности, солнце было над горизонтом, так что увидеть сгорающие обломки никто не мог.

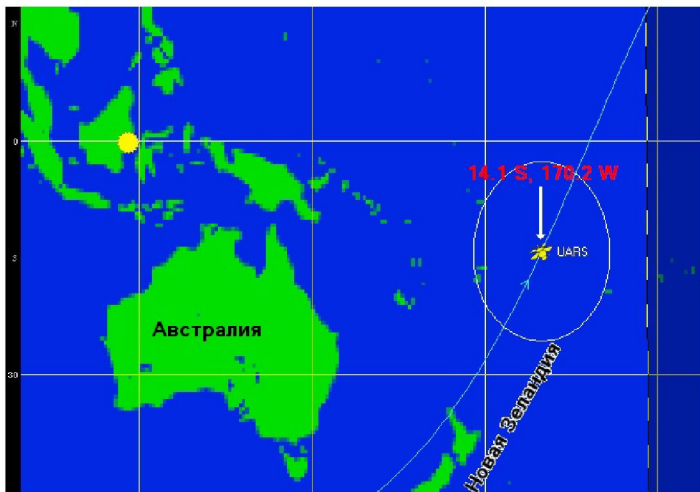


Рис. 20. Место падения «UARS».

ция», да еще какая – в октябре ожидается падение знаменитой орбитальной рентгеновской обсерватории «ROSAT» (см. рис. 21).

Спутник «ROSAT» был запущен 1 июня 1990 г. и проработал до 12 февраля 1999 г. Являясь совместным проектом Германии, США и Великобритании, спутник несет на своем борту рентгеновский телескоп апертурой 84 см и фокусным расстоянием 240 см [25]. Обсерватория имела уникальное на свое время пространственное разрешение в мягком рентгене (менее 5"), спутник составил рентгеновскую карту всего неба

и исследовал точечные рентгеновские источники.

Общие характеристики спутника:

- Масса $m = 2421,1$ кг [25].
- Размеры: $4,8 \times 4,4 \times 6,8$ м [26].
- Эффективная площадь поперечного сечения: $6,8 \text{ м}^2$ [26].

Орбита спутника на 24 сентября 2011 г.:

- Перигей и апогей: 269×276 км.
- Период обращения: $T = 90,08$ мин.
- Наклонение орбиты: $i = 52,96^{\circ}$.



Рис. 21. Внешний вид обсерватории «ROSAT» [25].

По данным ресурса www.space-track.org падение «ROSAT» ожидается 11 октября 2011 г. Согласно результатам расчета автора дата падения смещена на конец октября – ожидается, что спутник упадет 29 октября 2011 г. Что ж, ждем новой охоты за осколками спутника. И, увы, новой волны «апокалиптических предсказаний» СМИ... Впрочем, излишнее внимание прессы к спутникам имеет и положительную сторону – часть увлекшихся этой проблемой людей могут со временем более углубленно начать изучать космонавтику, наблюдать спутники и т.д.

В заключение статьи автор хотел бы поблагодарить своих коллег по любительскому наблюдению спутников с российского интернет-форума www.astronomy.ru/forum за интересные факты, которые были использованы при

написании статьи.

Виталий Мечинский,

куратор секции «Космонавтика» астрономического клуба «Аш-Нью» Минского планетария, Беларусь.

Использованные источники:

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Upper_Atmosphere_Research_Satellite
2. <http://www.utro.ru/articles/2011/09/23/1000216.shtml>
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Radioisotope_thermoelectric_generator
4. http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/publications/index.shtml?zhelez_17.html
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Salyut_7
6. http://www.nasa.gov/pdf/585584main_UARS_Stat us.pdf
7. <http://www.ria.ru/science/20110923/442353894.html>
8. Д. Кинг-Хили, «Искусственные спутники и научные исследования», М., 1963 г.
9. <http://uars.gsfc.nasa.gov>
10. <http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-15009337>
11. <http://www.heavensat.ru>
12. <http://www.sat.belastro.net/glava3/glava3.php>
13. А. Митрофанов, «Аэродинамический парадокс спутника», «Квант», №3 1998 г.
14. <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/>
15. «Наука и жизнь», 1981 г., №10, с. 112–113.
16. Д. Кинг-Хили, «Теория орбит искусственных спутников в атмосфере», М., 1966 г.
17. http://legault.perso.sfr.fr/uars_110915_youtube.html
18. М. В. Кельдыш, М. Я. Маров, «Космические исследования», М., 1981 г.
19. ftp://ftp.geolab.nrcan.gc.ca/data/solar_flux/daily_flux_values/fluxtable.txt
20. <http://www.wingar.demon.co.uk/satevo/>
21. <http://www.sat.belastro.net/glava5/glava5.1.p1.b.php#p16>
22. <http://www.satobs.org/scesat/Sep-2011/0288.html>
23. <http://www.gosthelp.ru/gost/gost5827.html>
24. http://www.nasa.gov/pdf/591662main_UARS%20Map.pdf
25. <http://ru.wikipedia.org/wiki/ROSAT>
26. <http://www.primnet.com/~mmccants/tes/mcnames.zip>

Исследования Солнечной системы

Dawn

Американский аппарат "Dawn" ("Рассвет") продолжает свое межпланетное путешествие и уже находится рядом со своей первой целью - астероидом Веста. Ионные двигатели аппарата продолжают свою работу в течение всего полета, позволяя ему постепенно достигнуть орбиты Весты.

Теперь эти два полноценных представителя пояса астероидов, один совер-

шенно новый и один очень древний, вращаются вокруг Солнца, сближаясь друг с другом. Веста следует по своему постоянному пути, совершая его снова и снова, как и другие тела в Солнечной системе. "Dawn" же проделал дорогу по спирали, удаляясь от Солнца "верхом" на своих голубовато-зеленых ионных струях. За два с половиной года работы двигателей аппарату удалось приобрести

скорость чуть больше 6,5 км/с. 16 июля 2011 года гравитационное поле Весты захватило корабль, который перешел со спирального пути вокруг светила на спиральную орбиту вокруг астероида, и, в конце концов, достиг исследовательской орбиты в августе этого же года. По некоторым причинам точная дата начала интенсивных исследований пока не оговаривается.

Дело в том, что масса Весты известна ученым по измерениям возмущений орбит некоторых соседних тел в поясе астероидов и даже орбиты Марса. Но этот метод дает лишь приблизительное значение. Таким образом, пока точная масса не известна, могут проявиться некоторые несоответствия в точном времени гравитационного захвата аппарата этим колоссальным астероидом. Как

уже известно из опыта других миссий, выход корабля на орбиту не является таким уж напряженным или стрессовым событием, которое ложится на плечи двигателей. Они у "Dawn" будут включены так же, как в остальные 70% всего времени, проведенного в космосе. А момент выхода на орбиту будет похож на обычный полетный день, который будет будоражить лишь сознание любителей, ожидающих его в течение многих лет. А в это время аппарат просто будет продолжать двигаться по аккуратной кривой, достигая назначенной орбиты.

Выходит, что точный путь "Dawn" зависит от конкретной массы Весты, поэтому навигаторы будут продолжать определять профиль полета, постоянно делая замеры силы воздействия, которые будут испытывать аппарат. В результате точная дата выхода на орбиту не будет известна, пока масса астероида не будет вычислена более аккуратно. Кроме этого, наибольшая и наименьшая высота орбиты, которая была представлена в первоначальном плане миссии, также может претерпеть небольшие корректировки.

Есть и другая причина, по которой точная дата выхода на орбиту не может быть оглашена четко. Ионные двигатели позволяют сделать любую миссию более гибкой, по сравнению с ракетными. В пример можно привести изначальный план старта "Dawn". Он планировался на июнь 2007 года. Но из-за того, что к старту велась подготовка другой миссии, которая не опиралась на ионные двигатели, запуск был перенесен на сентябрь того же года. Само окно для такого уникального изучения двух крупнейших астероидов открывалось с 2005 года по конец 2007 года. И его величина также стала таким большим из-за использования ионных двигателей. К слову, стандартные межпланетные миссии имеют окна запуска в несколько недель.

В любом случае операторы, используя гибкость такого полета, могут менять ключевые даты, основываясь на деталях прогресса включения двигателей, либо других тонкостях полета. Такой выбор может привести к тому, что аппарат сможет проработать около Весты больше запланированного времени.

Навигаторы выведут аппарат на исследовательскую орбиту, опираясь на некоторые геометрические характеристики, такие как высота над поверхностью и угол наклона орбиты по отношению к Солнцу. Они не будут выбирать четкую точку входа на орбиту во время своих вычислений, наоборот, их вычисления определяют эту точку. В итоге все эти тонкости могут слегка сдвинуть место входа. Начало фазы вычислений рассчитывается, исходя из момента выхода на правильную орбиту и после момента пролета над северным полюсом Весты в направлении дневной её стороны. Один оборот вокруг Весты займет у корабля примерно три дня, и

степень свободы, данная математике, рассчитывающей траекторию и место входа на орбиту, может сдвинуть временные рамки начала научной фазы.

Представьте, что Веста находится в середине настенных часов, а их рамка - это исследовательская орбита. "Dawn" двигался по спирали, но в итоге достиг этой орбиты и продолжает двигаться по ней в направлении движения часовых стрелок. Солнце находится в направлении на три часа, тогда начало исследовательской фазы должно начаться где-то в положении аппарата на 12 часах. Таким образом, если аппарат выйдет на эту орбиту на 11 часах, то наблюдения начнутся практически сразу. Но если аппарат выйдет на эту орбиту на 1 часу, то придется ждать до 12, чтобы начать исследования. Выходит, что пока не будет известно, в каком месте "Dawn" выйдет на научную орбиту, невозможно точно сказать, когда он войдет в активную фазу.

Основываясь на траектории сближения, научная фаза вступит в силу примерно с 8 по 11 августа. Четко время будет известно где-то в июле. Последовательность команд аппарата при нахождении у Весты уже спроектирована, поэтому их будет легко подогнать по времени, как только станет известен этот самый момент.

Для того чтобы позволить аппарату достичь своей орбиты, контроллеры миссии раз в неделю с 3 мая этого года посылают команды по наблюдению за Вестой. Как видно, на сей день эти снимки позволяют навигаторам точнее корректировать траекторию полета. Но нужно сказать, что в данный момент снимки не просто направляют корабль в нужное место, а еще и позволяют взглянуть на некоторые детали второй по величине протопланеты между орбитами Марса и Юпитера.

"Dawn" проделал путь в 2.7 млрд. км после того, как покинул Землю. И сегодня корабль находится в нескольких десятках тысяч километров от своей первой цели, что сравнимо с расстоянием от Земли до Луны. Но "Dawn" все еще продолжает двигаться по орбите вокруг Солнца, поэтому ему придется пролететь еще 88 млн. км перед тем, как он подлетит к Весте и будет захвачен её гравитацией через полтора месяца.

Орбита аппарата в настоящий момент приближена к орбите Весты. И в настоящий момент они сближаются друг к другу со скоростью 240 м/с, что не быстрее скорости авиалайнера. Это сравнение кажется нетипичным для межпланетных путешествий, но тут не стоит забывать о том, что оба этих объекта движутся вокруг Солнца со скоростью около 21 км/с.

Аппарат сейчас находится примерно в 246 млн. км от Земли и радиосигналу придется совершить 28-минутное путешествие, чтобы связать его с земной командой.

Ближкий взгляд на Весту

16 июля 2011 года примерно в 9:00 по московскому времени межпланетная станция "Dawn" вышла на орбиту вокруг Весты - второго по размеру тела пояса астероидов. С этого момента исследователи имеют возможность всмотреться в детали поверхности с очень высоким разрешением.

На первой же недели в публикацию поступили первые снимки 530-километрового астероида. Они были получены 17 и 18 июля с расстояния примерно 15 000 и 10 000 км соответственно. И на них нашему взору предстала ухабистая неровная поверхность, испещренная кратерами.

Еще начиная с 9 июля в фокус камер аппарата попал огромный каменный выступ у южного полюса Весты. Но только на новых изображениях мы увидели четкие очертания огромного кратера, окружающего эту гору и крутые обрывы рядом.

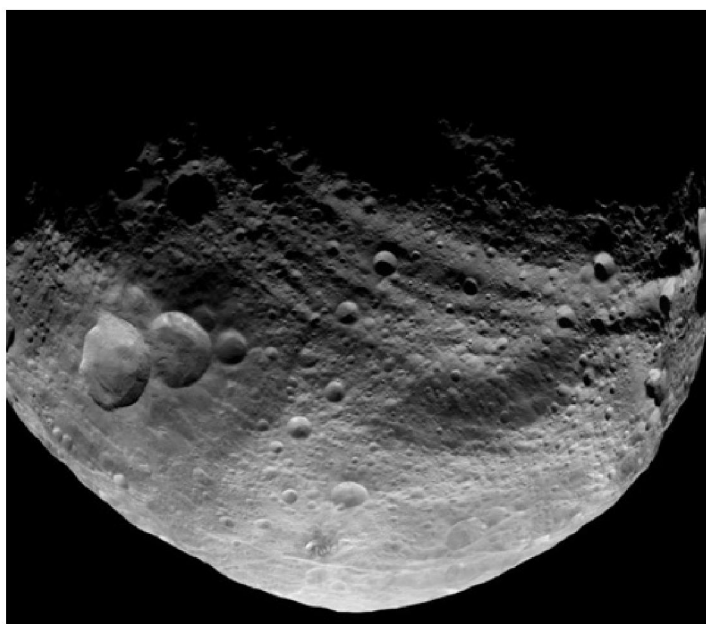
Ученые пока не могут четко ответить на вопрос о происхождении этого образования. Планетолог Джим Белл (Jim Bell) из Государственного Университета Аризоны предпочитает пока относиться строго описательно к

неизвестным объектам. Его собственное описание звучит примерно следующим образом: "Достаточно круглый куполообразный холм, находящийся в центре большой круглой, похожей на кратер, депрессии".

Сразу же после выхода на орбиту команда инженеров стала использовать первые снимки в качестве ориентиров для коррекции орбиты аппарата, а также для калибровки аппаратуры, которая должна начать собирать данные о Весте.

Ученые будут постоянно публиковать все полученные данные и изображения, таким образом, позволив энтузиастам идти "нога в ногу" с миссией.

Михаил Митрошкин



23 июля зонд сделал новый снимок Весты с дистанции всего 5200 км. Обращают на себя внимание большие борозды и гребни, протянувшиеся на значительное расстояние (фото NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA).

«Астрономическая газета»
№18 (36), 6 октября 2011 г.

Редакторы: А. Новичонок, А. Смирнов
Обозреватели: П. Жаворонков, М. Митрошкин, С. Шмальц
Верстка и дизайн: А. Смирнов, С. Шмальц
Корректоры: О. Злобин, С. Шмальц

Вебсайт газеты: <http://www.waytostars.ru/index.php/gazeta>
Астрономический вебсайт «Северное сияние»: <http://www.severastro.narod.ru>
Для связи с нами: agaz@list.ru