

2014: Олимпиада на Новгородской земле

О.С. УГОЛЬНИКОВ,
кандидат физико-математических наук
Институт космических исследований РАН,
заместитель председателя Центральной предметно-методической комиссии по астрономии Всероссийской олимпиады школьников

Минуло 20 лет с того момента, как в Ярославле состоялась первая Всероссийская олимпиада по астро-

номии. Эстафету через два десятилетия принял другой древний русский город – Великий Новгород, в кото-

ром 7–12 апреля 2014 г. прошел заключительный этап Всероссийской олимпиады по астрономии.

Первое проведение Олимпиады в новом для нее городе часто связано с неожиданными ситуациями и проблемами. Но, как стало понятно уже с первых минут пребывания в Новгороде, текущей Олимпиады это правило не коснется. Олимпиада 2014 г. стала одной из лучших по уровню организации. Ответственная и профессиональная работа коллектива, возглавляемого директором Новгородского института открытого образования Е.Е. Смирновой, сделала Олимпиаду не только главным астрономическим форумом для школьников, но и прекрасным культурным мероприятием, на кото-

ром участники могли отдохнуть, общаться друг с другом и наслаждаться красотами весенней новгородской земли.

Параллельно с организационной подготовкой Олимпиады шла разработка заданий, которые предстояло решать участникам. Эту функцию исполняет Центральная предметно-методическая комиссия. Работа началась еще осенью 2013 г., разработано более 200 заданий-кандидатов и подробные решения для публикации и видеопрезентации для разбора после туров. Для каждой из трех возрастных параллелей (9, 10 и 11 классы) было отобрано по 6 задач теоретиче-

ского тура и по 3 задачи практического тура.

7 апреля 2014 г. прошла церемония открытия XXI Олимпиады в актовом зале Новгородского университета им. Ярослава Мудрого. Многие участники встретились со старыми друзьями из всех уголков России, но были и те, кто приехал на Олимпиаду впервые. Отметим, что новгородская олимпиада собрала рекордное число участников – 167, и это было не единственное абсолютное достижение 2014 г. Теоретический тур Олимпиады состоялся 8 апреля, практический тур – 10 апреля, они продолжались по 5 ч. Чтобы избежать рисков,



связанных с непредсказуемой погодой, практический тур проводился в аудиториях. На нем участники анализировали фотографии, графики и наблюдательные данные. После обеда в дни туров участникам Олимпиады предлагалась культурно-экскурсионная программа, а после ужина члены жюри разбирали задания прошедшего тура. Кроме решений заданий участникам разъяснялась система оценки каждого из них, а также основные ошибки, допущенные участниками. Это было возможно, так как к моменту разбора жюри успевало проверить большинство работ.

В третий и пятый день Олимпиады оглашались личные оценки за решения задач прошедшего тура и участники получали возможность для

апелляции, если, по их мнению, оценка не соответствовала объявленным критериям. Отметим, что апелляция по результатам второго тура проводилась на текущей Олимпиаде впервые. Жюри и Оргкомитет при этом считали важным держать общую таблицу в тайне до закрытия Олимпиады, сохранив ее интригу.

В случае ясной погоды по вечерам участники Олимпиады проводили астрономические наблюдения с помощью биноклей и телескопов, которые привезли с собой в Новгород. Это не входило в соревновательную часть Олимпиады, зато стало ее неотъемлемым культурным событием, в котором участие принимали и члены Оргкомитета и жюри. Олимпиада совпала по времени с противостоянием Мар-

Участники Олимпиады за решением задач. Фото автора.

са, на небе были хорошо видны Юпитер и многие другие объекты.

Торжественное закрытие Олимпиады состоялось 12 апреля, в День космонавтики, в зале областной филармонии, расположенной в сердце города – Новгородском кремле. Результаты, показанные участниками, были под стать духу праздника: превзойдены все предыдущие показатели. Впервые за 21 год жюри выставило абсолютную оценку – 96 баллов из 96 возможных в теоретическом туре. Такой результат показал Алексей Шепелев, ученик 9 класса из г. Жуковского Московской области. Абсолютный уровень

в практическом туре (60 баллов из 60 возможных) достигнут Иваном Утешевым, участником из Саранска (Республика Мордовия). Он также стал обладателем нового рекорда общего результата на Олимпиаде – 155 баллов из 156 возможных. Что самое удивительное – Иван учится в 9 классе, а такие результаты показал, выступая в параллели 10 класса! Осенью 2014 г. Иван Утешев выступал на Международной олимпиаде по астрономии в старшей возрастной группе и также установил рекорд по количеству набранных баллов.

Награждение победителей XXI Олимпиады. Фото Е.Н. Фадеева.

Столь высокие результаты, показанные самыми молодыми участниками (и не только обладателями рекордов), настраивают организаторов Олимпиады и жюри на оптимистический лад. Значит, у астрономического движения в России хорошее будущее, а уже через несколько лет нам стоит ожидать пополнения рядов ученых-астрономов талантливыми молодыми исследователями Вселенной.

Победители XXI Всероссийской олимпиады по астрономии (обладатели золотых медалей):

Шепелев Алексей Сергеевич, 9 класс, МОУ лицей № 14 городского округа Жуковский, Московская область;

Ткачёв Максим Сергеевич, 9 класс, МБОУ лицей № 9 г. Белгоро-

да, Белгородская область;

Утешев Иван Александрович, 9 класс (выступал за 10 класс), ГБОУ “Республиканский лицей для одаренных детей” г. Саранска, Республика Мордовия;

Федотова Алёна Дмитриевна, 10 класс, СОШ № 179 Московского института открытого образования, Москва;

Гришин Кирилл Алексеевич, 10 класс, МБОУ лицей № 57 городского округа Тольятти, Самарская область;

Желтоухов Сергей Геннадьевич, 10 класс, МОУ “Лицей” г. Дедовска, Истринский муниципальный район, Московская область;

Батраков Александр Алексеевич, 10 класс, МБОУ “Кингисеппская средняя общеобразо-





Диск Земли над поверхностью Луны. К задаче “Земля в небе Луны”.

вательная школа № 1”, Ленинградская область;

Иванов Дмитрий Максимович, 10 класс, МОУ “Лицей № 1” г. Подольска, Московская область;

Вахлов Даниил Григорьевич, 11 класс, ГБОУ “Университетская Ломоносовская гимназия”, Архангельская область;

Сушко Вадим Александрович, 11 класс, МОУ гимназия № 1 городского округа Жуковский, Московская область;

Агапов Семён Петрович, 11 класс, МОУ СОШ № 1 с углубленным изучением отдельных предметов городского округа Фрязино, Московская область;

Васильев Константин Игоревич, 11 класс, ГБОУ г. Москвы СОШ № 444 с углубленным изучением математики, информатики и физики, Москва;

Андреев Арсений Алексеевич, 11 класс, ГБОУ Московская гимназия на Юго-Западе № 1543, Москва.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ
ОЛИМПИАДЫ С РЕШЕНИЯМИ

9–10 классы, практический тур

1. Земля в небе Луны.

Перед Вами фотография Земли над лунным горизонтом, полученная космическим аппаратом. Определите Всемирное время, в которое она получена, и фазу Луны, видимую в этот момент на Земле. На прилагаемой

карте видимого полушария Луны отметьте точку поверхности Луны, над которой сделана фотография. Считать высоту космического аппарата над Луной малой, либрациями Луны пренебречь.

Решение. По фотографии мы можем определить фазу Земли – около 0,8, а также угол γ , определяющий положение оси терминатора по отношению к лунному горизонту, он равен 13° .

К Луне повернуты дневное и вечернее полушария Земли. По снимку мы можем приблизительно определить точку на Земле, в которой Солнце расположено в зените. Очевидно, в ней в этот момент полдень. На фотографии видны материки на Земле, указанная точка попадает на западное экваториальное побережье Африки. Ее географическая долгота около 0° (точнее, 10° в.д.). Поэтому можно сделать вывод, что фотография сделана около 12 ч по Всемирному времени (точнее, 11 ч 20 мин). Для того чтобы ответить на другие вопросы, изобразим картину в той же проекции, но мысленно переместимся назад от плоскости рисунка, удалившись от Земли. Так как Солнце находится от точки наблюдения намного дальше и Земли, и Луны, фазы обо-

их тел будут одинаковы (0,8). На рисунок попадает все обратное полушарие Луны, Земля находится позади нее. Фаза Луны при наблюдении с Земли составит 0,2. Это растущая Луна, так как она видна с вечернего полушария Земли. Фото сделано над освещенной поверхностью Луны, где Солнце располагается над горизонтом.

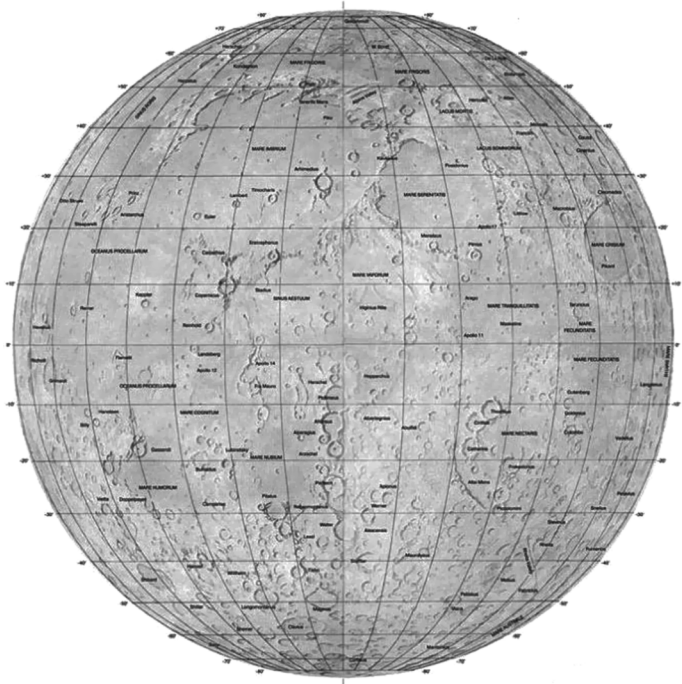
Лунный экватор практически не наклонен к плоскости орбиты Луны, точки пересечения лимба и терминатора – это полюса Луны. Полюс слева – южный, так как с этой же стороны у Земли видно Южное полушарие. Точка съемки также показана на снимке, она располагается в 13° южнее экватора. Долгота ее близка к $+90^\circ$ (так как лунными либрациями мы пренебрегаем). С Земли эта точка будет видна на правом краю растущего серпа Луны.

10 класс, теоретический тур

2. Распад звездного скопления.

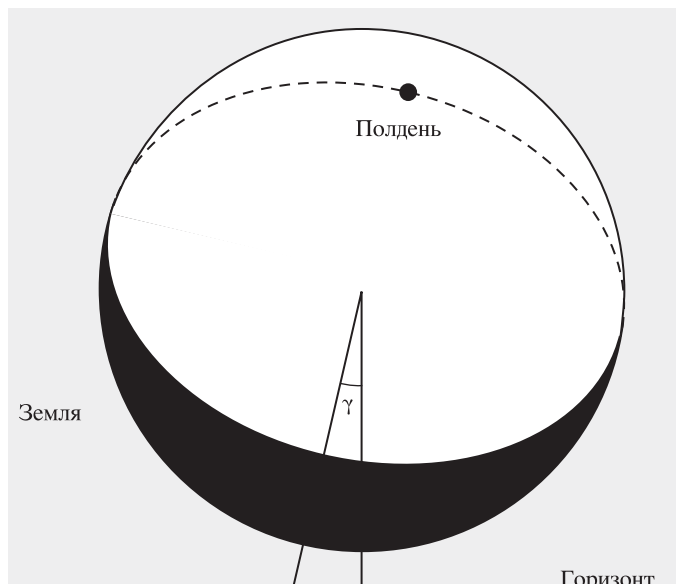
Фазы Земли и угол γ – положение оси терминатора по отношению к лунному горизонту. К задаче "Земля в небе Луны".

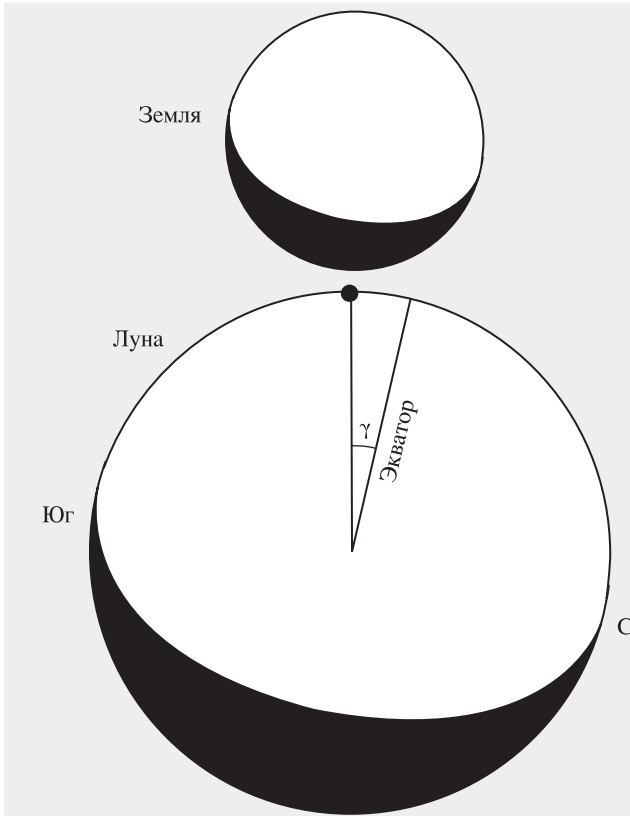
4. Земля и Вселенная, № 3



Небольшое рассеянное звездное скопление радиусом 1 пк состоит из не группирующихся в пары 100 одинаковых звезд. Через какое-то время скопление распа-

дается, две его звезды образуют двойную систему, а остальные по отдельности покидают область скопления. Оцените расстояние между звездами в двойной си-





Расположение Земли и Луны. К задаче "Земля в небе Луны".

стеме. Начальные скорости звезд и их скорости после вылета из скопления считать малыми.

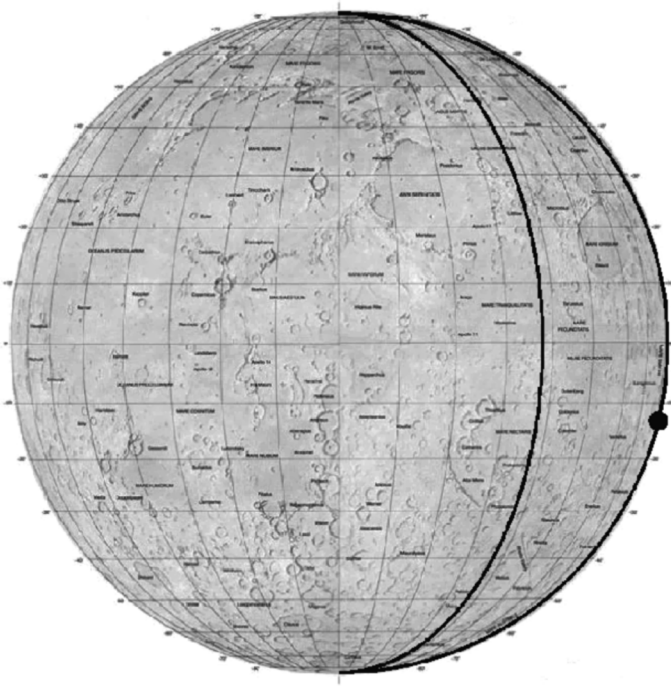
Решение. Мы пренебрегаем начальными скоростями звезд скопления, поэтому можно сразу сказать, что оно гравитационно связано, его полная энергия отрицательна. В некоторый момент времени его покидает одна из звезд. Для этого ей необходимо выйти из "потенциальной ямы" с энергией

$$E_1 = -\frac{G(N-1)M^2}{R}, \text{ здесь}$$

N – число звезд в скоплении, M – масса одной звезды, R – характерное расстояние между звездами, которое можно считать равным радиусу скопления, G – гравитационная постоянная. Данная энергия есть потенциальная энергия взаимодействия покидающей скопление звезды $N-1$ с другими звездами. Следующей звездой будет немного проще покинуть скопление, для этого потребуется энергия

$$E_2 = -\frac{G(N-2)M^2}{R}.$$

Здесь мы не учитываем возможное умень-



Карта Луны с указанием точки съемки Земли. К задаче "Земля в небе Луны".

шение размеров скопления после вылета звезд, так как оно будет энергетически компенсировано появлением у оставшихся звезд кинетической энергии. В итоге, чтобы скопление покинули все звезды, кроме двух, нужна энергия

$$E = \sum_{i=1}^{N-2} E_i = -\frac{GM^2}{R} \sum_{i=1}^{N-2} (N-i).$$

Указанная сумма – это арифметическая прогрессия, первый член которой равен $N-1$, последний – 2, число членов прогрессии равно $N-2$. Воспользовавшись формулой для суммы прогрессии, получаем:

$$E = -\frac{GM^2}{R} \frac{(N+1)(N-2)}{2} \approx -\frac{GM^2 N^2}{2R}.$$

Здесь мы учли, что число N достаточно велико. То же выражение можно получить, просуммировав величины потенциальной энергии попарного взаимодействия звезд, считая расстояния между ними равными R . Дополнительной кинетической энергией, уносимой вылетающими звездами, мы по условию задачи пренебрегаем. Следовательно, именно такая отрицательная энергия E должна характеризовать единственную двойную систему, оставшуюся на месте скопления. Мы вновь пренебрегли начальными потенциальными энергиями двух звезд как много меньшими по модулю, чем энергия E .

Предположим, что орбиты звезд в двойной системе круговые. Тогда полная энергия есть половина потенциальной энергии системы. Отсюда получаем выражение для потенциальной энергии:

$$E_p = -\frac{GM^2}{r} = 2E = -\frac{GM^2 N^2}{R}.$$

Расстояние между звездами составит:

$$r = \frac{R}{N^2} = 20 \text{ a.e.}$$

11 класс, теоретический тур

3. Два затмения подряд.

На какое минимальное расстояние по по-

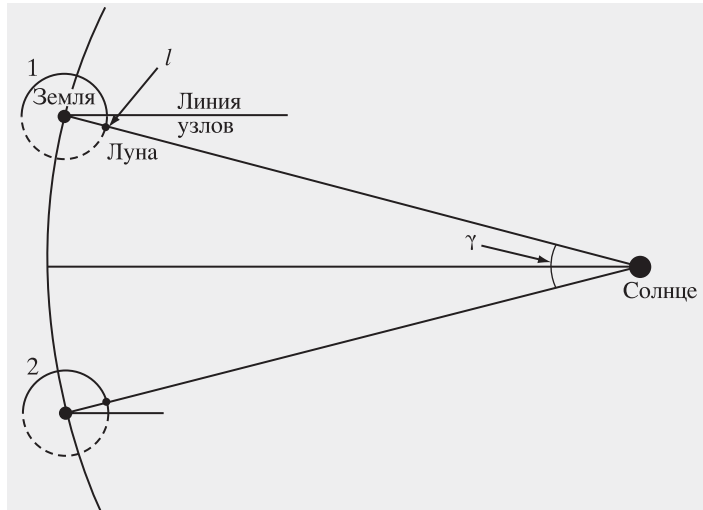
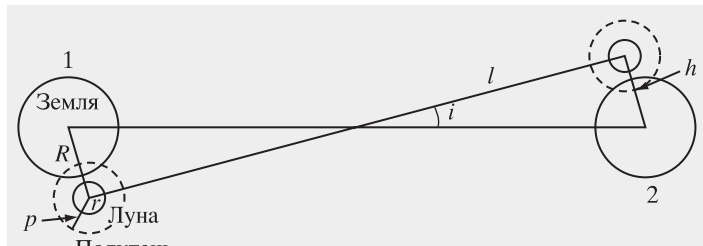
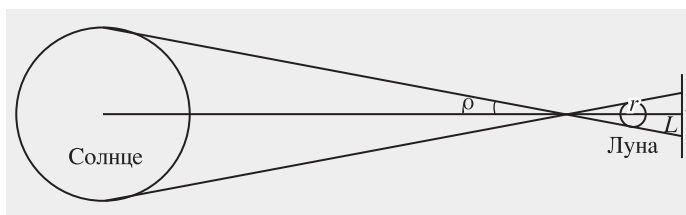


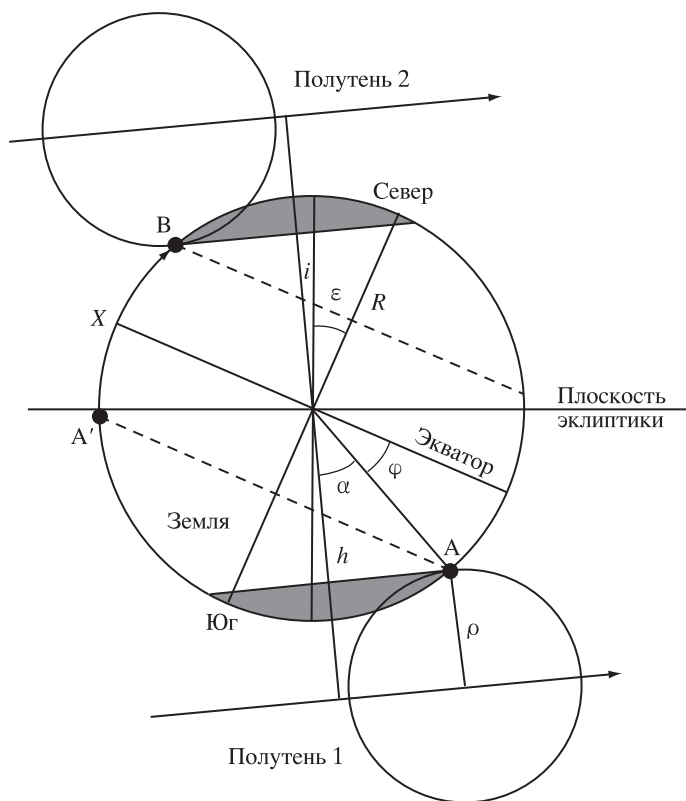
Схема перемещения Луны по отношению к Солнцу. 1 – расстояние в космическом пространстве от линии узлов, γ – дуга, которую проходит Земля по гелиоцентрической орбите. К задаче “Два затмения подряд”.



Взаимное расположение Земли, Луны и ее полутени во время двух последовательных затмений (1 и 2) со стороны Солнца. 1 – расстояние в космическом пространстве от линии узлов, h – минимальное расстояние между проекциями центров Земли и Луны, R – радиус Земли, r – радиус Луны, p – радиус лунной полутени, i – наклон орбиты Луны к плоскости эклиптики. К задаче “Два затмения подряд”.



Вычисление радиуса лунной полутени. L – радиус орбиты Луны, ρ – угловой радиус Солнца, ρ – радиус лунной полутени, g – радиус Луны. К задаче “Два затмения подряд”.

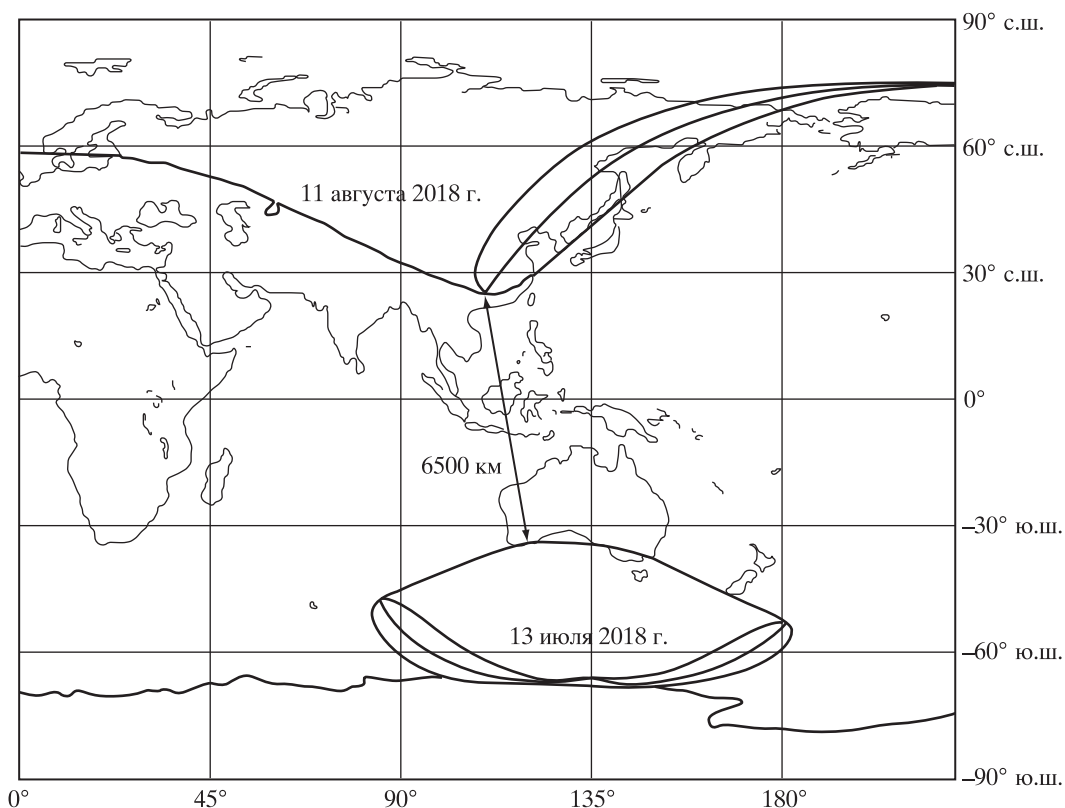


Положение лунной полутени на Земле во время двух последовательных солнечных затмений. α – угол с вершиной в проекции тени Земли, образованный перпендикуляром к траектории центра тени и направлением на точку с минимальным модулем широты в области видимости затмения; ε – угол наклона экватора к эклиптике; φ – широта точки наблюдения затмений; h – минимальное расстояние между проекциями центров Земли и Луны; i – наклон лунной орбиты к плоскости эклиптики; ρ – радиус лунной полутени; R – радиус Земли. К задаче “Два затмения подряд”.

верхности Земли должен переместиться наблюдатель, чтобы иметь возможность увидеть два частных солнечных затмения, разделенных интервалом в один лунный месяц? Орбиты Земли и Луны считать круговыми.

Решение. Как известно, два солнечных затмения могут происходить с интервалом в один лунный месяц, если линия узлов орбиты Луны совпадет с линией Земля – Солнце посередине между этими новолуниями. В подавляющем большинстве случаев (при круговых орбитах Земли и Луны – всегда) затмения будут частными. Во время одного новолуния Луна будет располагаться севернее плоскости эклиптики, во время другого – южнее, поэтому затмения будут наблюдаться в разных полушариях Земли. Необходимо найти минимально возможное расстояние между областями видимости этих явлений.

Синодический период Луны (S) составляет 29,53 сут. За это время Земля проходит в своем орбитальном движении дугу $\gamma = 29,1^\circ$. Пусть положения Луны в оба новолуния симметричны относительно линии узлов, во время новолуний Луна отстояла от линии узлов на угол $\gamma/2$. Это соответствует расстоянию в пространстве $l = L \times \gamma/2 = 97,6$ тыс. км. Здесь мы учли, что угол $\gamma/2$ невелик, L – радиус орбиты Луны.



Карта Земли с указанием мест, откуда будут наблюдаться затмения 13 июля и 11 августа 2018 г. К задаче “Два затмения подряд”.

Рассмотрим картину со стороны Солнца и учтем, что оно значительно дальше от Земли, нежели Луна. Минимальное расстояние между проекциями центров Земли и Луны составит $h = l \times i = L \times i \times \gamma/2 = 8760$ км, где i – наклон лунной орбиты к плоскости эклиптики. Полученное расстояние больше радиуса Земли, поэтому центральные солнечные затмения в такой конфигурации не наблюдаются. Но частные происходят, в чем можно убедиться, рассчитав

радиус лунной полутени $p = r + L \times \rho = 3500$ км $\sim 2r$, где r – радиус Луны, ρ – угловой радиус Солнца. Мы вновь учли, что расстояние до Солнца велико. Угловые радиусы Солнца и Луны в небе Земли можно считать одинаковыми, и $L \times \rho \approx r$.

Изобразим Землю и две проекции полутени в более крупном масштабе. Обратим внимание, что области видимости обоих затмений (выделены серым цветом) могут смещаться ближе к экватору за счет наклона са-

мого экватора и лунной орбиты к плоскости эклиптики. Эффект будет максимальным, если оба фактора сложатся друг с другом, тогда затмение произойдет вблизи весеннего равноденствия у восходящего узла орбиты Луны или вблизи осеннего равноденствия у нисходящего узла орбиты Луны. Найдем минимальную (по модулю) широту точки наблюдения затмений:

$$\varphi = 90^\circ - \beta - \varepsilon - i = 90^\circ - \arccos \frac{R}{r} - \varepsilon - i = 27,1^\circ.$$

По прошествии лунного месяца точка наблюдения первого затмения А может оказаться на другой стороне терминатора Земли за счет ее вращения; вспомним, что синодический период Луны близок к по-

луцелому числу суток. Наблюдателю достаточно будет преодолеть путь Х вдоль меридиана из точки А' в точку В. Это соответствует дуге 2φ , длина пути составит 6 тыс. км.

Ситуация, близкая к описанной в этой задаче, случится 13 июля и 11 августа 2018 г. Области видимости частных солнечных затмений будут разделены расстоянием около 6500 км.

Информация

Испытание новой российской ракеты-носителя

23 декабря 2014 г. состоялся первый запуск ракеты-носителя тяжелого класса “Ангара-А5” стартовой массой 768 т с космодрома Плесецк (см. стр. 1 обложки). Через 12 мин после старта орбитальный блок (разгонный блок “Бриз-М” и макет) отделился от третьей ступени. “Бриз-М” выполнил несколько коррекций орбиты и вывел габаритно-массовый макет массой 2,04 т на геостационарную орбиту высотой 35,8 тыс. км. У России появилась современная и экологически чистая ракета нового поколения.

“Ангара-А5” создавалась почти 20 лет в Государственном космическом научно-производственном центре им. М.В. Хруничева. Главная причина задержки летных испытаний состоит в том, что на создание “Ангары” выделялось меньше 4% запланированных средств. Полноценное финансирование началось



Ракета-носитель тяжелого класса “Ангара-А5” в монтажно-испытательном корпусе космодрома Плесецк. Декабрь 2014 г. Фото ГКНПЦ им. М.В. Хруничева.

только в 2006 г. Отодвинул сроки старта и кризис 2008 г. К 2010 г. ракета уже была готова к испытаниям, но запускать ее было неоткуда. Строительство стартового комплекса в Плесецке на космодроме “Северный” в 2009–2010 гг. остановилось и возобновилось лишь в 2012 г. Универсальный стартовый комплекс состоит из гигантского пускового устройства (масса – 1185 т), кабель-заправочной башни (1700 т), стенда для сборки головной части (более 40 т), транспортно-установочно-

го агрегата для РН легкого и тяжелого класса (197 т и 400 т соответственно), циклопического бетонного газоотводного канала, 211 сооружений со сложнейшим оборудованием, которые соединены подземными коридорами длиной 5 км и инженерными коммуникациями длиной 22 км. С комплекса “Северный” можно запускать все версии новой ракеты. В 2014 г. успешно испытали сразу два варианта – легкую “Ангару-1.2” и тяжелую “Ангару-А5”.

Ракеты-носители серии “Ангара” собираются по модульному принципу, который считается самым перспективным. Первая ступень состоит из одинаковых элементов – универсального ракетного модуля (УРМ-1) длиной 25 м, диаметром 2,9 м и массой 133 т, оснащенного кислородно-керосиновым двигателем РД-191. Вторая ступень – УРМ-2 массой 36 т с двигателем РД-0124. “Ангара-1.2” стартовой массой 171 т сможет выводить на околоземную орбиту 3,8 т груза. Напомним, что 9 июня 2014 г. из Плесецка стартовала легкая “Ангара-1.2”, содержащая УРМ-1 и УРМ-2 (Земля и Вселенная, 2014, № 6, с. 106–107). Три УРМ-1 формируют “Ангара-А3” среднего класса (стартовая масса – 481 т, грузоподъемность – 14,6 т), пять УРМ-1 – тяжелую “Ангара-А5” (773 т; 24,5 т), семь УРМ-1 – сверхтяжелую “Ангара-А7” (1133 т; 35 т). Семейство РН “Ангара” заменяет все используемые в настоящее время российские космические носители.

Прототип первой ступени “Ангары” (УРМ-1) проходил летные испытания в 2009 г., 2010 г. и 2013 г. в составе ракеты-носителя KSLV-1 (Южная Корея). В качестве верхних ступеней на “Ангаре-1.2” может использоваться разгонный блок “Бриз-КМ”, который прошел летные испытания в составе российской конверсионной ракеты “Рокот”, а на “Ангаре-А5” исполь-



“Ангара-А5” на стартовом комплексе незадолго до запуска. Космодром Плесецк, 23 декабря 2014 г. Фото ГКНПЦ им. М.В. Хруничева.

зуются разгонные блоки “Бриз-М” и КВТК.

Предстоит сделать еще 10 пусков, прежде чем эту ракету примут в эксплуатацию в 2020 г. Серийное производство ракет-носителей “Ангара” развернется на заводе ПО “Полюс” в Омске, входящем в структуру Объединенной ракетно-космической корпорации. В 2018 г. РН “Ангара”

начнет стартовать с нового российского космодрома Восточный. После окончания испытаний, с 2021 г., “Ангара-А5” планируется использовать для запусков пилотируемой транспортной системы к МКС.

*Пресс-релизы Роскосмоса и
ГКНПЦ им. М.В. Хруничева,
23 декабря 2014 г.*