



С.В. Бутаков, С.Е. Гурьянов

**МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП  
ВСЕРОССИЙСКОЙ  
ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ  
ПО АСТРОНОМИИ  
В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ  
2009–2013 ГОДЫ**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. В.П. Астафьева»

филиал федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. В.П. Астафьева» в г. Железногорске

Автономная некоммерческая организация  
«НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР «ПЕРСПЕКТИВА»»

С.В. Бутаков, С.Е. Гурьянов

**МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП  
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ  
ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ  
В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ  
2009–2013 ГОДЫ**

*Учебно-методическое пособие*

Красноярск 2014

УДК 373.5.016:52(571.51)  
ББК Ч426.55,6(2)-382.61я77-14  
Б 93

Печатается по решению редакционно-издательского совета Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева

**Рецензенты:**

*А.М. Баранов,*

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики

КГПУ им. В.П. Астафьева

*Н.В. Лалетин,*

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной математики и информатики НОУ ВПО СИБУП, член оргкомитета регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае

**Бутаков С.В., Гурьянов С.Е.**

Б 93 Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае. 2009–2013 годы: учебно-методическое пособие. Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева. – Красноярск, 2014. – 170 с.: 45 ил.; 6 табл.; 22 наимен. библ.

ISBN 978-5-85981-851-8

Содержатся комплекты заданий с решениями, предлагавшиеся на муниципальном этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае в период с 2009 по 2013 гг. и методические рекомендации по организации и проведению муниципального этапа олимпиады по этому предмету. Предназначено для учителей школ, готовящих школьников к участию в олимпиадах, организаторов олимпиад школьников – завучей школ, специалистов муниципальных органов управления образованием, занимающихся работой с одаренными учащимися, а также студентов педагогических специальностей вузов.

УДК 373.5.016:52(571.51)  
ББК Ч426.55,6(2)-382.61я77-14

© КГПУ им. В.П. Астафьева», 2014  
© Филиал КГПУ им. В.П. Астафьева  
в г. Железногорске, 2014  
© АНО НОЦ «Перспектива», 2014  
© Бутаков С.В., Гурьянов С.Е., 2014

ISBN 978-5-85981-851-8

## Содержание

Предисловие .....	6
Методические рекомендации по проведению муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии .....	10
Условия задач.....	23
2009–2010 учебный год .....	23
Задания для 9–11 классов .....	23
2010–2011 учебный год .....	24
Задания для 7–8 классов .....	24
Задания для 9 класса.....	25
Задания для 10 класса.....	26
Задания для 11 класса.....	27
2011–2012 учебный год .....	29
Задания для 7–8 классов .....	29
Задания для 9 класса.....	30
Задания для 10 класса.....	31
Задания для 11 класса.....	33
2012–2013 учебный год .....	35
Задания для 7–8 классов .....	35
Задания для 9 класса.....	37
Задания для 10 класса.....	38
Задания для 11 класса.....	40
2013–2014 учебный год .....	42
Задания для 7–8 классов .....	42
Задания для 9 класса.....	43
Задания для 10 класса.....	46
Задания для 11 класса.....	48

Решения задач .....	51
2009–2010 учебный год .....	51
Решения заданий для 9–11 классов.....	51
2010–2011 учебный год .....	53
Решения заданий для 7–8 классов.....	53
Решения заданий для 9 класса.....	58
Решения заданий для 10 класса.....	62
Решения заданий для 11 класса.....	68
2011–2012 учебный год .....	75
Решения заданий для 7–8 классов.....	75
Решения заданий для 9 класса.....	79
Решения заданий для 10 класса.....	84
Решения заданий для 11 класса.....	89
2012–2013 учебный год .....	94
Решения заданий для 7–8 классов.....	94
Решения заданий для 9 класса.....	101
Решения заданий для 10 класса.....	107
Решения заданий для 11 класса.....	114
2013–2014 учебный год .....	121
Решения заданий для 7–8 классов.....	121
Решения заданий для 9 класса.....	124
Решения заданий для 10 класса.....	129
Решения заданий для 11 класса.....	134
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	142
Приложение 1. Вопросы по астрономии, рекомендуемые Центральной предметно-методической комиссией всероссийской олимпиады школьников по астрономии для подготовки школьников к решению задач этапов олимпиады .....	142
Приложение 2. Памятка наблюдателя в аудитории.....	149

Приложение 3. Памятка участника олимпиады.....	151
Приложение 4. Справочные данные .....	153
Приложение 5. Карта звездного неба.....	159
Приложение 6. Некоторые основные формулы .....	160
Приложение 7. Список литературы, рекомендуемой при подготовке к олимпиаде по астрономии.....	166
Приложение 8. ПЕРЛовка (перлы из работ участников олимпиады)....	168

## Предисловие

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии входит в систему всероссийской олимпиады школьников и проводится ежегодно в соответствии с порядком, утвержденном Министерством образования и науки Российской Федерации [1]. Основными целями всероссийской олимпиады школьников являются выявление и развитие у обучающихся творческих способностей и интереса к научной (научно-исследовательской) деятельности, пропаганда научных знаний, отбор лиц, проявивших выдающиеся способности, в составы сборных команд Российской Федерации для участия в международных олимпиадах по общеобразовательным предметам.

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии проводится в четыре этапа, последовательно охватывая образовательное пространство Российской Федерации на разных уровнях: школьный, муниципальный, региональный, заключительный.

Первый этап – школьный и второй этап – муниципальный – проводятся органами местного самоуправления, осуществляющими управление в сфере образования в сентябре–декабре каждого учебного года. Третий этап – региональный – проводится в субъектах Российской Федерации органами государственной власти субъектов Российской Федерации, осуществляющими государственное управление в сфере образования в январе–феврале каждого учебного года.

Заключительный этап проводится Министерством образования и науки Российской Федерации в апреле каждого учебного года.

Первая всероссийская олимпиада школьников по астрономии состоялась в 1994 году. В Красноярском крае первые районная (муниципальный этап) и краевая (региональный этап) олимпиады по астрономии были про-

ведены в 1997–1998 учебном году в рамках всероссийской олимпиады школьников.

В последние годы значительно возросло количество муниципальных образований Красноярского края, в которых проводится муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии. Если в 2010 году по данным министерства образования и науки Красноярского края только 35% территорий края проводили муниципальный этап олимпиады по астрономии, то в 2013 году эта величина составила уже около 60%. Также возросло количество участников регионального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии и число муниципальных образований, которые они представляют. Так, например, в 2010 году в региональном этапе олимпиады по астрономии приняло участие всего 16 школьников из 4 муниципалитетов, а в 2013 году уже 34 участника из 16 городов и районов Красноярского края.

Однако результаты выполнения заданий как муниципального, так и регионального этапов олимпиады по астрономии остаются низкими. Ежегодно около двух третей участников набирают менее четверти баллов от максимально возможных. И лишь менее 10% участников успешно выполняют половину и более половины заданий.

Прежде всего это связано с тем, что на протяжении многих лет астрономия не входит в число обязательных школьных предметов и в большинстве общеобразовательных организаций не преподается. Поэтому основное место в системе подготовки учащихся к участию в олимпиаде по астрономии должны занимать дополнительное образование по астрономии и самообразование. Для успешного участия школьников в олимпиаде необходимы регулярные занятия не только теоретического характера, а, в первую очередь, практической направленности по решению олимпиадных задач.

Благодаря такому подходу к подготовке учащихся, школьники Красноярского края неоднократно становились призерами и победителями на заключительном этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии. Список учащихся Красноярского края – призеров и победителей заключительного этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии – за всю историю ее проведения приведен в таблице 1.

Таблица 1

Год	Участник	Класс	Населенный пункт	Образовательное учреждение	Результат
1998	Канищев К.А.	8	г. Железногорск	МОУ «СОШ № 178»	Призер
2002	Ибрагимов А.А.	9	г. Красноярск	МОУ «СОШ № 10»	Победитель
2002	Обушенко А.В.	10	г. Красноярск	МОУ «СОШ № 10»	Победитель
2002	Васильев Д.С.	11	г. Зеленогорск	МОУ «СОШ №161»	Призер
2002	Ушаков В.С.	11	г. Красноярск	МОУ «СОШ № 89»	Призер
2002	Карпов А.В.	11	г. Красноярск	МОУ «СОШ № 115»	Призер
2010	Пузырев А.А.	9	г. Красноярск	МБОУ «СОШ №7»	Призер
2010	Жук М.Ю.	9	г. Зеленогорск	МОУ «СОШ №161»	Призер
2010	Ефимов В.О.	11	г. Красноярск	МОУ «СОШ № 145»	Призер
2011	Жук М.Ю.	10	г. Зеленогорск	МОУ «СОШ №161»	Призер
2012	Жук М.Ю.	11	г. Зеленогорск	МБОУ «СОШ №161»	Призер
2014	Юшков Р.А.	10	г. Красноярск	МАОУ Лицей № 7	Призер

Для помощи учителям и учащимся в подготовке к участию в олимпиаде по астрономии предметно-методическая комиссия регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии в 2009 году выпустила первое учебно-методическое пособие «Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае. 1997–2008 годы» [12], содержащее комплекты заданий с решениями, предлагавшиеся на муниципальном этапе олимпиады в Красноярском крае в период с 1997 по 2008 гг., и методические рекомендации по организации и проведению муниципального этапа олимпиады по этому предмету.

Новое пособие содержит методические рекомендации по проведению муниципального этапа олимпиады по астрономии, разработанные предмет-

но-методической комиссией регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии в соответствии с новым порядком проведения всероссийской олимпиады школьников [1], и комплекты заданий с решениями, предлагавшиеся на втором (муниципальном) этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае в период с 2009–2010 и 2013–2014 учебные годы. Авторы комплектов заданий: доцент кафедры физики Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева, председатель предметно-методической комиссии регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии, кандидат технических наук, доцент Сергей Владимирович Бутаков и учитель физики и астрономии, методист Центра дополнительного образования детей «Перспектива» г. Зеленогорска, председатель жюри регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии, член Российской Ассоциации учителей астрономии, Почетный работник общего образования Российской Федерации, Заслуженный педагог Красноярского края Сергей Егорович Гурьянов. В сборник включены приложения, содержащие справочные материалы и вопросы по астрономии, рекомендуемые Центральной предметно-методической комиссией всероссийской олимпиады школьников по астрономии для подготовки учащихся к решению задач различных этапов олимпиады, памятки наблюдателю в аудитории и участнику олимпиады, некоторые основные астрономические формулы, а также список литературы, рекомендуемой при подготовке к олимпиаде по астрономии. В последнем приложении собраны забавные фразы и высказывания (перлы) из работ участников олимпиады по астрономии разных лет, которые помогут читателям немного отвлечься и отдохнуть от напряженной работы по подготовке к участию в олимпиаде.

## **Методические рекомендации по проведению муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии<sup>1</sup>**

Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии является важным звеном в подготовке учащихся к участию в олимпиадах более высокого уровня. Целью муниципального этапа олимпиады является популяризации астрономических знаний среди широкого круга учащихся, укрепление системы школьного астрономического образования и выделение талантливых ребят для участия в последующих этапах всероссийской олимпиады. Взимание платы за участие в муниципальном этапе олимпиаде не допускается.

Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников проводится органом местного самоуправления, осуществляющим управление в сфере образования (далее – организатор муниципального этапа олимпиады) с 16 ноября по 25 декабря каждого учебного года. Конкретные даты проведения этого этапа устанавливаются органом государственной власти субъекта Российской Федерации, осуществляющим государственное управление в сфере образования – министерством образования и науки Красноярского края.

Для проведения муниципального этапа организатором муниципального этапа олимпиады создаются оргкомитет и жюри муниципального этапа олимпиады. Численность жюри должна составлять не менее трех человек, включая председателя. В случае большего количественного состава жюри также назначается заместитель председателя жюри. Жюри олимпиа-

---

<sup>1</sup> Составлены на основе Порядка проведения всероссийской олимпиады школьников, утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 18 ноября 2013 г. № 1252 [1] с учетом методических рекомендаций Центральной предметно-методической комиссии по астрономии всероссийской олимпиады школьников [2].

ды рекомендуется формировать из членов предметно-методической комиссии регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии, преподавателей астрономии и студентов вузов, учителей астрономии.

Муниципальный этап олимпиады проводится для 7–11 классов. В нем могут принимать участие участники школьного этапа олимпиады текущего учебного года в параллелях 7–11 классов, набравшие необходимое для участия в муниципальном этапе олимпиады количество баллов, установленное организатором муниципального этапа олимпиады, а также победители и призёры муниципального этапа олимпиады предыдущего учебного года, продолжающие обучение в организациях, осуществляющих образовательную деятельность по образовательным программам основного общего и среднего общего образования. Рекомендуется проводить этот этап в четырех возрастных параллелях: 7–8, 9, 10 и 11 классы.

Победители и призёры муниципального этапа предыдущего года вправе выполнять олимпиадные задания, разработанные для более старших классов по отношению к тем, в которых они проходят обучение. В случае их прохождения на последующие этапы олимпиады, данные участники олимпиады выполняют олимпиадные задания, разработанные для класса, который они выбрали на муниципальном этапе олимпиады.

Сбор и хранение заявлений родителей (законных представителей) обучающихся, заявивших о своём участии в олимпиаде, об ознакомлении с Порядком проведения всероссийской олимпиады школьников и о согласии на сбор, хранение, использование, распространение (передачу) и публикацию персональных данных своих несовершеннолетних детей, а также их олимпиадных работ, в том числе в информационно-телекоммуникационной сети Интернет, организатор получает на школьном этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии.

Муниципальный этап олимпиады проводится в соответствии с требованиями к проведению данного этапа олимпиады и по олимпиадным заданиям, которые разрабатываются предметно-методической комиссией регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии, созданной министерством образования и науки Красноярского края, с учетом методических рекомендаций Центральной предметно-методической комиссии по астрономии всероссийской олимпиады школьников. Для каждой из возрастных параллелей должен быть предложен свой комплект заданий, при этом некоторые задания могут входить в комплекты по нескольким возрастным параллелям (как в идентичной, так и в отличающейся формулировке). Допускается использование идентичного комплекта заданий для параллелей 7–8-х и 9-х классов, при этом составление итоговой рейтинговой таблицы и подведение итогов в этих параллелях проводится отдельно.

Исходя из целей и задач муниципального этапа всероссийской олимпиады по астрономии, рекомендуется предлагать школьникам по 6 не связанных друг с другом заданий. Рекомендуется оценивать решение по 8-балльной системе (от 0 баллов за отсутствие решения до 8 баллов за полное верное решение).

Согласно концепции Центральной предметно-методической комиссии по астрономии всероссийской олимпиады школьников большинство олимпиадных задач должно быть ориентировано на уровень дополнительного образования по астрономии, выходящей за рамки программы средней школы, но не требующей знаний по физике или математике за пределами школьной программы. Задания муниципального этапа олимпиады обычно доступны для интересующегося астрономией школьника и содержат познавательные элементы, побуждающие участников по ее окончании к дополнительному изучению материала. Тематика заданий для 9, 10 и 11 классов выбирается исходя из списка вопросов, рекомендуемых Центральной

предметно-методической комиссией всероссийской олимпиады школьников по астрономии для подготовки школьников к решению задач этапов олимпиады, приведенных в Приложении 1. Так как муниципальный этап проводится в первой половине учебного года, задания ориентированы на программу предыдущих лет и первые пункты программы текущего года. При составлении заданий для 7–8 классов используется тематика первых пунктов списка вопросов вместе с основными начальными астрономическими понятиями и фактами, входящими в программу предмета «природоведение» и других естественнонаучных предметов. Каждое из заданий связано с разными вопросами из указанного списка. На этот же список вопросов следует ориентироваться при подготовке школьников к участию в различных этапах олимпиады по астрономии.

Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии проводится в один теоретический тур, проходящий в один день, и начинается, как правило, в 10:00. Участники олимпиады и сопровождающие их лица должны быть предупреждены о необходимости прибыть на место проведения муниципального этапа не менее чем за 20–30 минут до его начала. Перед началом тура проводится предварительное собрание в актовом зале или иной большой аудитории организации, в котором проводится олимпиада, где оглашаются правила ее проведения (продолжительность олимпиады, порядок подачи апелляций о несогласии с выставленными баллами, случаи удаления с олимпиады, а также о времени и месте ознакомления с результатами олимпиады), представляется состав оргкомитета и жюри. После этого участники олимпиады распределяются по аудиториям.

Для проведения муниципального этапа олимпиады организационный комитет предоставляет аудитории в количестве, определяемом числом участников олимпиады. Аудитории должны соответствовать всем техническим и санитарным требованиям, в них должны быть обеспечены условия для

нормальной работы участников олимпиады в течение всего мероприятия. В каждой аудитории должны находиться не более 15 участников, каждый из которых должен сидеть за отдельной партой. Рекомендуется участников олимпиады по каждой возрастной группе размещать в разных аудиториях. Для жюри на весь день проведения олимпиады оргкомитетом должно быть предоставлено отдельное помещение.

Каждому участнику олимпиады оргкомитет должен предоставить ручку, карандаш, линейку, резинку для стирания и пустую тетрадь со штампом организационного комитета. В каждой аудитории должны быть также запасные канцелярские принадлежности и калькулятор. Во время проведения тура в классах должны находиться наблюдатели, назначаемые организационным комитетом, которые не имеют права покидать аудиторию в течение всего тура. В обязанности наблюдателей входят наблюдение за порядком в аудитории и контроль за соблюдением школьниками правил работы во время тура. Наблюдатели заранее должны пройти инструктаж.

Перед началом работы каждому участнику олимпиады выдают тетрадь, на обложке которой участники должны указать свою фамилию, имя и отчество, номер класса и школы, населенный пункт. Участникам олимпиады запрещается писать свои личные данные на внутренних страницах тетради. Представитель организационного комитета осуществляет кодирование (обезличивание) олимпиадных работ участников, проставляя на обложку и первую страницу тетради каждого участника уникальный код.

По окончании организационной части участникам выдаются листы с заданиями. Тексты заданий должны быть заранее размножены так, чтобы каждый школьник имел отдельный листок с текстом заданий, напечатанный шрифтом, имеющим размер не менее 12 пт, позволяющий читать условия также школьникам с ослабленным зрением. Написание условий на доске в аудитории не допускается. Время решения комплекта заданий составляет 4 часа. Участники начинают выполнять задания со второй страни-

цы тетради, оставляя первую страницу чистой. По желанию участника он может использовать несколько последних страниц тетради под черновик, сделав на них соответствующую пометку. При нехватке места в тетради наблюдатель выдает участнику дополнительную тетрадь, проставляя на ее обложке тот же код, что был поставлен на первой тетради. По окончании работы вторая тетрадь вкладывается в первую.

Во время работы над заданиями участник олимпиады имеет право:

1. Пользоваться любыми своими канцелярскими принадлежностями наряду с выданными оргкомитетом.

2. Пользоваться собственным непрограммируемым калькулятором, а также просить наблюдателя временно предоставить ему калькулятор.

3. Обращаться с вопросами по поводу условий задач, приглашая к себе наблюдателя поднятием руки.

4. Принимать продукты питания.

5. Временно покидать аудиторию, оставляя у наблюдателя свою тетрадь.

Во время работы над заданиями участнику запрещается:

1. Пользоваться мобильным телефоном (в любой его функции).

2. Пользоваться программируемым калькулятором или переносным компьютером.

3. Пользоваться какими-либо источниками информации, за исключением листов со справочной информацией, раздаваемых оргкомитетом перед туром.

4. Обращаться с вопросами к кому-либо, кроме наблюдателей, членов оргкомитета и жюри.

5. Производить записи на собственной бумаге, не выданной оргкомитетом.

6. Запрещается одновременный выход из аудитории двух и более участников.

В случае нарушения участником олимпиады Порядка проведения всероссийской олимпиады школьников и (или) соответствующих требований представитель организатора олимпиады вправе удалить данного участника олимпиады из аудитории, составив акт о его удалении. Участники олимпиады, которые были удалены, лишаются права дальнейшего участия в олимпиаде по астрономии в текущем году.

В пункте проведения олимпиады вправе присутствовать представители организатора олимпиады, оргкомитета и жюри муниципального этапа олимпиады, должностные лица Минобрнауки России, а также граждане, аккредитованные в качестве общественных наблюдателей в порядке, утвержденном Минобрнауки России.

Председатель и члены жюри должны прибыть на место проведения олимпиады к началу этапа и периодически обходить аудитории, отвечая на вопросы участников по условию задач.

Лица, сопровождающие участников олимпиады, не имеют право подходить к аудиториям, где работают участники, до окончания этапа во всех аудиториях. Участники, досрочно сдавшие свои работы, могут пройти к сопровождающим, но не могут возвращаться к аудиториям. По окончании работы все участники покидают аудиторию, оставляя в ней тетради с решениями.

Перед началом проверки работ представители оргкомитета отделяют обложки от тетрадей с указанием персональных данных и уникальных кодов участников. Обезличенные работы передаются в комнату жюри.

Во время проведения тура, до начала проверки работ, проводится рабочее совещание жюри, на котором представитель оргкомитета рассказывает об основных правилах проведения олимпиады, правилах подхода жюри к оценке работ, системе оценок, отвечает на вопросы, а члены жюри знакомятся с условиями и правильными решениями задач. Рекомендуется членам жюри самостоятельно провести решения заданий. Далее жюри про-

водит заседание, на котором обсуждаются задачи, их авторские решения, системы оценивания каждой из задач и распределяется работа по проверке заданий. Решение каждой конкретной задачи должно быть проверено у всех участников возрастной категории одними и теми же членами жюри для обеспечения объективности результатов. В зависимости от численности жюри рекомендуется, чтобы решение каждой задачи независимо проверялось двумя членами жюри. При проверке работ жюри использует решения, рекомендации и критерии предметно-методической комиссии регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии. При этом члены жюри вправе вводить собственные критерии оценивания работ, не противоречащие общим рекомендациям по проверке.

Решение каждой задачи, выполненное участником олимпиады, оценивается по 8-балльной шкале. Жюри выставляет оценки на первой странице тетради участника.

Для удобства работы жюри можно использовать вкладыши проверки, предназначенные для того, чтобы не оставлять в тетради следов обсуждения членов жюри о выставленной оценке.

Основные правила проверки работ следующие:

1. Проверку решений рекомендуется производить карандашом. Это дает возможность впоследствии исправлять пометки проверяющего и избегать недоразумений.

2. В тетради следует делать пометки и пояснения: где учеником сделана ошибка, где содержатся разумные рассуждения и т.п. Однако не следует зачеркивать что-либо в решениях, писать такие комментарии к решению и замечания, которые оставляют неприятное впечатление у школьника во время просмотра им своей работы.

3. В случае отсутствия или неполноты решения в черновике следует просмотреть черновик. Решения и рассуждения, сделанные в черновике,

также оцениваются, если они не противоречат изложению в чистовике. Однако если в черновике и чистовике приведены взаимоисключающие решения, оценивать следует только «чистовое» решение.

4. После просмотра (предварительно, без выставления оценки) первых нескольких работ у проверяющего имеется возможность ознакомиться с тем, каким способом участники решают задачу, сопоставить эти решения с рекомендованными, более детально уточнить все особенности оценки задачи, скорректировать предварительную систему оценивания задачи.

5. После проверки решения и составления мнения о работе на вкладыше проверки выставляется предварительная оценка.

6. При оценивании решения необходимо уделять первостепенное внимание не соответствию правильному ответу, а ходу решения, степени понимания участником сути картины, описанной в условии задачи, правильности и обоснованности физических и логических рассуждений. За правильное понимание участником олимпиады сути предоставленного вопроса и выбор пути решения выставляется не менее 4–5 баллов. При отсутствии понимания ситуации и логической связанности решения оценка не может превышать 2–3 балла даже при формально правильном ответе. При этом члену жюри необходимо учитывать, что некоторые из задач имеют несколько верных способов решения, обоснованно приводящих к правильному ответу, и использование иного способа необходимо отличать от неверного решения. С другой стороны, арифметические ошибки, приводящие к неверному ответу, не должны быть основанием для снижения оценки более чем на 1–2 балла, если только ответ не получается заведомо неверный, абсурдный с точки зрения здравого смысла. В последнем случае оценка может быть существенно снижена в зависимости от абсурдности ответа, не замеченной участником олимпиады. Оценка не должна снижаться за плохой почерк, зачеркивания, грамматические ошибки и т.п.

Общая оценка участника получается путем суммирования оценок за решение всех заданий для возрастной параллели. Если решение задания независимо проверяется несколькими членами жюри, оценка получается усреднением оценок, выставленных членами жюри за это задание.

Максимальная оценка за весь этап составляет 48 баллов.

Окончательно оценки, согласованные всеми членами жюри, переносятся с вкладышей проверки на первые страницы тетрадей, а вкладыш удаляется.

По окончании работы жюри передает тетради в оргкомитет. Оргкомитет соединяет тетради с обложками на основе уникального кода и проводит усреднение и суммирование оценок участников по каждой из задач. После этого индивидуальные результаты участников каждой возрастной параллели заносятся оргкомитетом в рейтинговую таблицу результатов участников (рейтинг), представляющую собой ранжированный список участников, расположенных по мере убывания набранных ими суммарных оценок (баллов) с указанием персональных данных участников и их оценок за каждое из заданий. Участники с равным количеством баллов располагаются в алфавитном порядке.

Затем протоколы вывешиваются для ознакомления участников с предварительными результатами.

Одним из важных моментов проведения олимпиады является разбор задач и проведение апелляций о несогласии с выставленными баллами.

По окончании проверки членам жюри рекомендуется провести с участниками разбор задач, на котором производится краткий качественный анализ задач и их решений. Следует указать достоинства и недостатки задачи, приемлемость ее уровня для данной олимпиады, основные ошибки в решениях школьников, оригинальные подходы к решению, сообщить примерные критерии их оценок и раздать им листы с решениями.

После ознакомления с предварительными результатами и критериями оценок, участники, в случае несогласия с выставленными баллами, могут подать в письменной форме апелляцию о несогласии с выставленными баллами в жюри муниципального этапа олимпиады, указав номера апеллируемых заданий.

Рассмотрение апелляции проводится с участием самого участника олимпиады. Жюри рассматривает апелляции в процессе индивидуальной беседы членов жюри, проверявших ту или иную задачу с каждым из записавшихся на апелляцию участников с использованием аудио- и видеофиксации. Важно отметить, что предметом разговора могут быть только те мысли, которые нашли отражение в тетради. По результатам рассмотрения апелляции о несогласии с выставленными баллами жюри муниципального этапа олимпиады принимает решение об отклонении апелляции и сохранении выставленных баллов или об удовлетворении апелляции и корректировке баллов.

Правила проведения апелляций:

- во время показа работ и апелляций участникам запрещается вынимать пишущие предметы (ручки, карандаши и т.п.);

- предметом разговора на показе работ и при апелляции может служить только выяснение того, оценил ли (не оценил, правильно ли оценил) проверяющий ту или иную мысль, письменно изложенную в решении. Мысли, не нашедшие отражения в работе, не могут обсуждаться. Также не могут быть предметом обсуждения и критерии оценки задач.

Кроме того, жюри осуществляет очно показ выполненных участником олимпиадных заданий по его заявлению, поданному в оргкомитет до начала апелляций.

После проведения апелляций, на основании распределения участников по числу набранных итоговых суммарных баллов в каждой возрастной группе, жюри определяет победителей и призеров муниципального этапа

олимпиады. Для обеспечения максимальной объективности оргкомитету предлагается передавать в жюри рейтинг, не содержащий персональных данных, с указанием лишь суммарных оценок.

Количество победителей и призеров муниципального этапа олимпиады определяется, исходя из квоты победителей и призеров, установленной организатором муниципального этапа – органом местного самоуправления, осуществляющим управление в сфере образования.

Рекомендуется победителем муниципального этапа олимпиады в каждой из возрастных параллелей, в пределах установленной квоты, считать участника, набравшего наибольшее количество баллов при условии, что количество набранных им баллов превышает половину максимально возможных, то есть не менее 24 баллов.

Призерами муниципального этапа олимпиады, в пределах установленной квоты, становятся все участники, следующие в итоговом протоколе по возрастной группе за победителем. Минимальное количество необходимых для этого баллов может отличаться для разных возрастных параллелей.

В случае, когда у участника, определяемого в пределах установленной квоты в качестве призера, оказывается количество баллов такое же, как и у следующих в итоговом протоколе за ним, решение по данному участнику и всем участникам, имеющим с ним равное количество баллов, определяется жюри муниципального этапа олимпиады.

Протокол муниципального этапа, который составляется оргкомитетом отдельно для каждой возрастной параллели с указанием оценок всех участников по каждой из задач и суммы баллов, и список победителей и призеров подписываются председателем и членами жюри и передаются организатору муниципального этапа олимпиады, который утверждает результаты (рейтинг победителей и рейтинг призеров муниципального этапа олимпиады) и публикует их на своем официальном сайте в сети Интернет,

в том числе полные протоколы муниципального этапа олимпиады. Кроме того, полные протоколы муниципального этапа олимпиады с указанием оценок всех участников передаются в министерство образования и науки Красноярского края.

Победители и призеры муниципального этапа олимпиады награждаются соответствующими поощрительными грамотами. Организатором муниципального этапа могут учреждаться дополнительные специальные призы и грамоты для участников олимпиады.

Председатель жюри муниципального этапа по окончании олимпиады составляет и представляет организатору муниципального этапа олимпиады аналитический отчет о результатах выполнения олимпиадных заданий.

Участники муниципального этапа олимпиады текущего учебного года в параллелях 9–11 классов, набравшие необходимое для участия в региональном этапе олимпиады количество баллов, установленное организатором регионального этапа олимпиады – министерством образования и науки Красноярского края, приглашаются для участия в региональном этапе всероссийской олимпиады школьников, который проходит в январе–феврале текущего учебного года.

## Условия задач

2009–2010 учебный год

Задания для 9–11 классов

1. В какой день года проводились наблюдения, если полуденная высота Солнца в Красноярске ( $\varphi = 56^\circ$ ) оказалась равной  $10^\circ 34'$ ?

2. Согласно одной из легенд, в древних шумерских манускриптах предсказан конец света, который наступит в результате столкновения Земли с некой планетой Нибиру, якобы обращающейся вокруг Солнца с периодом 3600 земных лет. Вычислите среднее расстояние этой планеты от Солнца. Может ли такое космическое тело столкнуться с Землей, и если может, то при каких условиях?

3. В последние годы за пределами Солнечной системы у других звезд уже открыто около 400 планет – экзопланет. Недавно появились сообщения об открытии еще двух экзопланет, которые обращаются вокруг звезды HD 147018 в созвездии Южного треугольника (масса звезды составляет 0,927 массы Солнца). Период обращения одной экзопланеты составляет 44,24 суток, другой – 1008 суток, а большие полуоси их орбит равны 0,239 а.е. и 1,922 а.е., соответственно. Определите массу каждой из экзопланет, выраженную в массах Юпитера.

4. В вышедшем осенью на экраны кинотеатров фантастическом фильме «Пандорум» космический корабль направляется к пригодной для жизни планете, расположенной на расстоянии 500 миллионов миль от Земли. Внутри или вне Солнечной системы находилась эта планета?

*Указание:* 1 сухопутная миля равна 1 609,344 м.

5. Какова долгота Красноярска, если по местному среднему времени затмение Луны началось в  $05^{\text{ч}}03^{\text{м}}$ , тогда как по астрономическому календарю это затмение должно было состояться в  $22^{\text{ч}}51^{\text{м}}$  по всемирному времени?

6. В каком созвездии сегодня находится Солнце?

**2010–2011 учебный год**  
**Задания для 7–8 классов**

1. На рекламном плакате одной из сибирских телекоммуникационных компаний изображены планеты Солнечной системы (Рис. 1) и край диска Солнца (слева). Какие несоответствия строению Солнечной системы имеются на плакате?



Рис. 1

2. Выберите восемь из приведенных ниже названий, которые являются собственными именами звезд:

Сириус	Эридан	Орион	Вега
Капелла	Мицар	Денеб	Церера
Таласса	Ганимед	Бетельгейзе	Диона
Цефей	Алголь	Веста	Дубхе

3. Правильно ли изображен лунный серп на флаге Турции (Рис. 2) и почему?

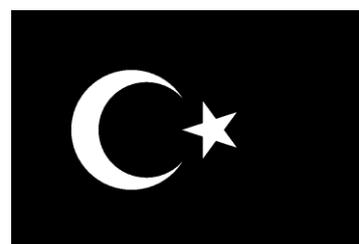


Рис. 2

4. В 2010 году противостояние Юпитера пришлось на 21 сентября. В каком созвездии был виден Юпитер?

5. Турист, путешествуя по тропической стране, вечером, после захода Солнца, сфотографировал Луну (Рис. 3). Молодой или старый месяц запечатлел путешественник?



Рис. 3

6. Звезда Глизе 581 (Gliese 581) из созвездия Весов находится на расстоянии 20,4 световых лет от нас. К сегодняшнему дню у этой звезды астрономам удалось открыть настоящую планетную систему из шести планет, одна из которых находится в «пригодной для земной жизни зоне». Сколько лет потребуется космическому кораблю, летящему со скоростью 30 км/с, чтобы достичь Глизе 581?

### Задания для 9 класса

1. На рекламном плакате одной из сибирских телекоммуникационных компаний изображены планеты Солнечной системы (Рис. 4) и край диска Солнца (слева). Какие несоответствия строению Солнечной системы имеются на плакате?



Рис. 4

2. Один путешественник утверждал, что в одном из путешествий видел Сириус в зените. Может ли такое быть на самом деле и где?

3. Правильно ли изображен лунный серп на флаге Турции (Рис. 5) и почему?



Рис. 5

4. В 2010 году противостояние Юпитера пришлось на 21 сентября. В каком созвездии был виден Юпитер?

5. Турист, путешествуя по тропической стране, вечером, после захода Солнца, сфотографировал Луну (Рис. 6). Молодой или старый месяц запечатлел путешественник?



Рис. 6

6. Звезда Глизе 581 (Gliese 581) из созвездия Весов находится на расстоянии 6,27 пк от нас. К сегодняшнему дню у этой звезды астрономам удалось открыть настоящую планетную систему из шести планет, одна из которых находится в «пригодной для земной жизни зоне». Сколько лет по нашему календарю (новый стиль) потребуется космическому кораблю, летящему со скоростью 30 км/с, чтобы достичь Глизе581?

### Задания для 10 класса

1. На рекламном плакате одной из сибирских телекоммуникационных компаний изображены планеты Солнечной системы (Рис. 7) и край диска Солнца (слева). Какие несоответствия строению Солнечной системы имеются на плакате?



Рис. 7

2. Один путешественник утверждал, что в одном из путешествий видел Сириус в зените. Может ли такое быть на самом деле и где?

3. На государственном флаге Турции присутствуют белый полумесяц и белая пятиконечная звезда (Рис. 8). Какие астрономические явления они могут обозначать?

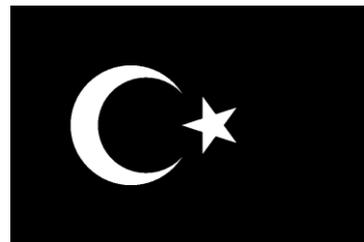


Рис. 8

4. В 2010 году противостояние Юпитера пришлось на 21 сентября. В каком созвездии был виден Юпитер? В какое время на часах и на какую максимальную высоту он поднимался над горизонтом для наблюдателя в г. Красноярске (географическая широта  $\varphi \approx 56^\circ$ )? Наклон орбиты Юпитера к плоскости эклиптики не учитывать.

5. Турист, путешествуя по тропической стране, вечером, после захода Солнца, сфотографировал Луну (Рис. 9). Молодой или старый месяц запечатлел путешественник?



Рис. 9

6. Звезда Глизе 581 (Gliese 581) из созвездия Весов имеет параллакс  $0,16''$ . К сегодняшнему дню у этой звезды астрономам удалось открыть настоящую планетную систему из шести планет, одна из которых находится в «пригодной для земной жизни зоне». Сколько лет по нашему календарю (новый стиль) потребуется космическому кораблю, летящему со скоростью  $30 \text{ км/с}$ , чтобы достичь Глизе 581?

### Задания для 11 класса

1. На рекламном плакате одной из сибирских телекоммуникационных компаний изображены планеты Солнечной системы (Рис. 10) и край диска Солнца (слева). Какие несоответствия строению Солнечной системы имеются на плакате?



Рис. 10

2. Протяженность Красноярска (географическая широта  $\varphi = 56,0^\circ$ ) с востока на запад составляет около 20 км. На сколько истинный полдень на его восточной окраине наступает раньше, чем на западной?

3. На государственном флаге Турции присутствуют белый полумесяц и белая пятиконечная звезда (Рис. 11). Какие астрономические явления они могут обозначать?

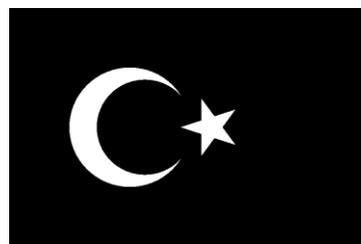


Рис. 11

4. Один из любителей астрономии утверждал, что видел Юпитер в  $1,6^\circ$  над эклиптической. Может ли такое быть на самом деле?

5. Планета Нептун была открыта 23 сентября 1846 года в созвездии Водолея (вблизи его современной границы с Козерогом). По утверждениям астрономов, совсем скоро, 12 июля 2011 года, Нептун завершит свой первый оборот по орбите с момента открытия! В какой точке небесной сферы, относительно ее местоположения в момент открытия, следует искать планету в эту «юбилейную» дату? В какое время суток и на какой высоте будет кульминировать Нептун в эту ночь в Красноярске (географическая широта  $\varphi \approx 56^\circ$ )?

6. В сентябре этого года было объявлено об открытии планеты за пределами Солнечной системы «потенциально пригодной для жизни». Планета получила обозначение Глизе 581 g (Gliese 581 g) по названию звезды в созвездии Весов Gliese 581 – красного карлика с массой 0,31 солнечной, вокруг

которой она обращается с периодом 36,6 земных суток. На каком среднем расстоянии от звезды обращается эта земноподобная планета?

**2011–2012 учебный год**

**Задания для 7–8 классов**

1. В какой стороне горизонта восходят светила на наших широтах?

2. Выберите восемь названий из приведенных ниже, которые являются собственными именами малых планет (астероидов):

Паллада	Деймос	Фортуна	Антарес
Веста	Апофис	Ирида	Титан
Ио	Оберон	Мира	Астрея
Тукан	Кассиопея	Юнона	Урания

3. Какие ошибки допущены на схеме (Рис. 12), которая иллюстрирует движение и фазы Луны?



Рис. 12



Рис. 13

4. На Рис. 13 приведен фрагмент «фотообоев» для рабочего стола компьютера, на котором изображены полная Луна и комета, просвечивающие сквозь ветви деревьев. Как вы считаете, это подлинная фотография или фотомонтаж и почему?

5. 19 марта 2011 года произошло так называемое «суперлуние» – явление «большой Луны», когда естественный спутник в момент полнолуния

располагался от Земли на наименьшем расстоянии. Некоторые журналисты связали это явление с разрушительным землетрясением и цунами, произошедшим в Японии 11 марта 2011 года. Как вы считаете, могло ли суперлунное вызвать это землетрясение? Свой ответ обоснуйте.

6. 6 июня следующего года произойдет весьма редкое астрономическое явление: видимое с Земли прохождение Венеры по диску Солнца. В каком направлении: слева – направо или справа – налево – будет перемещаться Венера по солнечному диску и почему? Для каких еще объектов солнечной системы мы можем наблюдать подобные явления?

### Задания для 9 класса

1. В каких точках горизонта восходит Солнце на наших широтах в течение года?

2. Выберите восемь названий из приведенных ниже, которые являются собственными именами малых планет (астероидов):

Паллада	Деймос	Фортуна	Антарес
Веста	Апофис	Ирида	Титан
Ио	Оберон	Мира	Астрея
Тукан	Кассиопея	Юнона	Урания

3. Какие ошибки допущены на схеме (Рис. 14), которая иллюстрирует движение и фазы Луны?



Рис. 14



Рис. 15

4. На Рис. 15 приведен фрагмент «фотообоев» для рабочего стола компьютера, на котором изображены полная Луна и комета, просвечивающие сквозь ветви деревьев. Как вы считаете, это подлинная фотография или фотомонтаж и почему?

5. 19 марта 2011 года произошло так называемое «суперлуние» – явление, когда полная Луна имела наибольший видимый угловой диаметр. Некоторые журналисты связали это явление с разрушительным землетрясением и цунами, произошедшим в Японии 11 марта 2011 года. Как вы считаете, могло ли суперлуние вызвать это землетрясение? Свой ответ обоснуйте. Объясните причину «большой Луны» – суперлуния.

6. 6 июня следующего года произойдет весьма редкое астрономическое явление: видимое с Земли прохождение Венеры по диску Солнца. В каком направлении: слева – направо или справа – налево – будет перемещаться Венера по солнечному диску и почему? Для каких еще объектов солнечной системы мы можем наблюдать подобные явления?

### **Задания для 10 класса**

1. В каких точках горизонта восходит полная Луна на наших широтах в течение года?

2. 20 мая 2012 года, примерно с 22 часов 10 минут и до 0 часов 32 минуты по всемирному времени, жители разных регионов северного полушария Земли смогут наблюдать кольцеобразное солнечное затмение. Смогут ли увидеть фазы этого затмения жители Москвы и Красноярска? Объясните почему.

3. Совсем скоро, 12 января 2012 года, астрономы ожидают первое, с момента открытия, возвращение к перигелию кометы Леви 2006 Т1 (заметьте, что неизвестная до этого комета стала восьмой по счету кометой, об-

наруженной визуально знаменитым американским наблюдателем Дэвидом Леви ранним утром 2 октября 1996 года, и 22-й кометой в его общем «послужном списке»!).

Как показали наблюдения 2006 года, комета движется по эллиптической орбите с коротким периодом  $T=5,28$  года и эксцентриситетом  $e = 0,668$ . Между орбитами каких планет Солнечной системы расположена орбита этой кометы? Может ли она сближаться с Землей? Если да, то до какого расстояния?

4. В начале февраля 2012 года знаменитый астероид №433 Эрос (первый астероид, на который в феврале 2001 г. была осуществлена посадка космического аппарата NEAR) в очередной раз сближится с Землей. Перед вами эфемерида (таблица положений на небе) астероида Эрос на декабрь текущего года с интервалом в 5 суток (Таблица 2). Определите угловое перемещение астероида по небу за этот месяц. На фоне каких созвездий он будет перемещаться? Определите, в какие даты декабря 2011 года астероид будет незаходящим за горизонт объектом для наблюдателей из Красноярска (географическая широта  $\varphi = +56^\circ$ )?

Таблица 2.  
Астероид (433) Eros

Дата	Прямое восхождение, $\alpha$	Склонение, $\delta$	Звездная величина, $m$
01 декабря 2011	09ч 18м 42,4с	+42° 24' 36"	10,6
06 декабря 2011	09ч 34м 10,7с	+40° 38' 30"	10,4
11 декабря 2011	09ч 48м 23,3с	+38° 33' 08"	10,2
16 декабря 2011	10ч 01м 09,7с	+36° 06' 31"	10,0
21 декабря 2011	10ч 12м 21,1с	+33° 17' 12"	9,9
26 декабря 2011	10ч 21м 48,8с	+30° 03' 29"	9,7
31 декабря 2011	10ч 29м 27,1с	+26° 23' 26"	9,5

5. Незадолго до проведения нашей олимпиады, в конце октября – начале ноября 2011 года, открылось очередное «окно» для полетов к Марсу

по гомановской траектории (полуэллипс, касающийся орбит планеты старта и планеты назначения). Американцы планируют запустить очередной марсоход-лабораторию, а Россия – космический аппарат «Фобос-Грунт», старт которого намечен на 4 ноября.

Изобразите на чертеже траекторию космического аппарата. Вычислите примерную длительность такого полета от Земли к Марсу (орбиты планет принять за окружности). Расстояние от Солнца до Марса – 1,52 а.е.

6. Начав наблюдать звездное небо, ученик поместил «самую яркую звезду северного небесного полушария», как указывается в кроссвордах – Вегу, точно в центр поля зрения своего телескопа. После чего запустил секундомер и обнаружил, что звезда исчезла из вида через 44 секунды. Определите величину поля зрения телескопа школьника. Склонение Веги  $\delta = +38^{\circ}47'$ .

### Задания для 11 класса

1. В последнее время в сети Интернет появилась информация о том, что красный сверхгигант Бетельгейзе – звезда  $\alpha$  Ориона, имеющая видимую звездную величину  $0,5^m$  и расположенная от нас на расстоянии около 430 световых лет, «совсем скоро» может взорваться как сверхновая. При этом ее яркость увеличится настолько, что она будет видна и днем и ночью. Оцените, во сколько раз действительно возрастет ее блеск после взрыва и с блеском каких небесных тел его можно сравнить: Солнцем, Луной, Венерой и т.п.

2. В 2012 году в день зимнего солнцестояния планета Уран окажется неподалеку от точки весеннего равноденствия. Определите, примерно в какое время и на какой высоте над горизонтом Уран будет находиться в верхней кульминации в Красноярске (географическая широта  $\varphi = +56^{\circ}$ )?

3. Совсем скоро, 12 января 2012 года, астрономы ожидают первое, с момента открытия, возвращение к перигелию кометы Леви 2006 T1 (заметим, что неизвестная до этого комета стала восьмой по счету кометой, обнаруженной визуально знаменитым американским наблюдателем Дэвидом Леви ранним утром 2 октября 1996 года, и 22-й кометой в его общем «послужном списке»!).

Как показали наблюдения 2006 года, комета движется по эллиптической орбите с коротким периодом  $T=5,28$  года и эксцентриситетом  $e = 0,668$ . Между орбитами каких планет Солнечной системы расположена орбита этой кометы? Может ли она сближаться с Землей? Если да, то до какого расстояния?

4. В начале февраля 2012 года знаменитый астероид №433 Эрос (первый астероид, на который в феврале 2001 г. была осуществлена посадка космического аппарата NEAR) в очередной раз сблизится с Землей. Перед вами эфемерида (таблица положений на небе) астероида Эрос на декабрь текущего года с интервалом в 5 суток (Таблица 3). Определите угловое перемещение астероида по небу за этот месяц. На фоне каких созвездий он будет перемещаться? Определите, в какие даты декабря 2011 года астероид будет незаходящим за горизонт объектом для наблюдателей из Красноярска (географическая широта  $\varphi = +56^\circ$ )?

Таблица 3.  
Астероид (433) Eros

Дата	Прямое восхождение, $\alpha$	Склонение, $\delta$	Звездная величина, $m$
01 декабря 2011	09ч 18м 42,4с	+42° 24' 36"	10,6
06 декабря 2011	09ч 34м 10,7с	+40° 38' 30"	10,4
11 декабря 2011	09ч 48м 23,3с	+38° 33' 08"	10,2
16 декабря 2011	10ч 01м 09,7с	+36° 06' 31"	10,0
21 декабря 2011	10ч 12м 21,1с	+33° 17' 12"	9,9
26 декабря 2011	10ч 21м 48,8с	+30° 03' 29"	9,7
31 декабря 2011	10ч 29м 27,1с	+26° 23' 26"	9,5

5. Незадолго до проведения нашей олимпиады, в конце октября – начале ноября 2011 года, открылось очередное «окно» для полетов к Марсу по гомановской траектории (полуэллипс, касающийся орбит планеты старта и планеты назначения). Американцы планируют запустить очередной марсоход-лабораторию, а Россия – космический аппарат «Фобос-Грунт», старт которого намечен на 4 ноября.

Изобразите на чертеже траекторию космического аппарата. Вычислите примерную длительность такого полета от Земли к Марсу (орбиты планет принять за окружности). Расстояние от Солнца до Марса – 1,52 а.е.

6. Начав наблюдать звездное небо, ученик поместил «самую яркую звезду северного небесного полушария», как указывается в кроссвордах – Вегу, точно в центр поля зрения своего телескопа. После чего запустил секундомер и обнаружил, что звезда исчезла из вида через 44 секунды. Определите величину поля зрения телескопа школьника. Склонение Веги  $\delta = +38^{\circ}47'$ .

## 2012–2013 учебный год

### Задания для 7–8 классов

#### 1. Изображение Луны

На Рис. 16 приведено изображение Луны. Где, когда и как можно наблюдать такую Луну с Земли? Перечислите, какие детали можно различить на диске Луны и как они называются.



Рис. 16

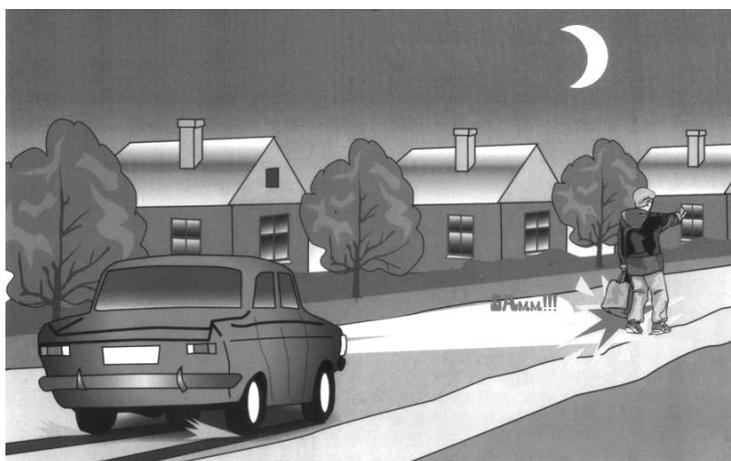


Рис. 17

## 2. Астрономия для ГИБДД

На одном из плакатов Управления ГИБДД по Красноярскому краю (обратите на них внимание в маршрутных автобусах) изображена такая ситуация (см. Рис. 17). Мы не спрашиваем, какое правило нарушил пешеход (по краю проезжей части он должен идти навстречу транспорту, и особенно – в тёмное время!). Нас больше интересует, какое время суток изображено на плакате? И всё ли на этом рисунке правильно с астрономической точки зрения? Ответ обосновать.

## 3. Белый карлик

Объем звезды «белого карлика» меньше объема Солнца в миллион раз, а массы этих звезд равны. Вычислите среднюю плотность белого карлика, если средняя плотность Солнца равна  $1,4 \text{ г/см}^3$ .

## 4. Времена года

На каких еще планетах Солнечной системы, кроме Земли, происходит смена времен года и почему?

## 5. Загадочное созвездие

Астроном зарисовал одно из созвездий и даже подписал его название и названия ярких звезд, но, к сожалению, на латинском языке (см. Рис. 18). Какое созвездие зарисовал астроном и как вы это определили?

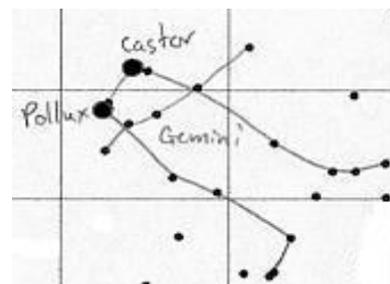


Рис. 18

## 6. Лунное затмение

28 ноября 2012 года произойдет лунное затмение. В каком созвездии при этом будет находиться Луна?

## Задания для 9 класса

### 1. Изображение Луны

На Рис. 19 приведено изображение Луны. Где, когда и как можно наблюдать такую Луну с Земли? Перечислите, какие детали можно различить на диске Луны и как они называются.



Рис. 19

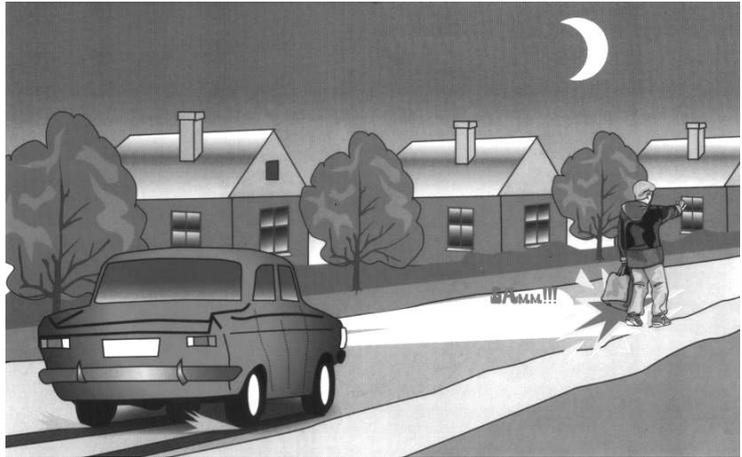


Рис. 20

### 2. Астрономия для ГИБДД

На одном из плакатов Управления ГИБДД по Красноярскому краю (обратите на них внимание в маршрутных автобусах) изображена такая ситуация (см. Рис. 20). Мы не спрашиваем, какое правило нарушил пешеход (по краю проезжей части он должен идти навстречу транспорту, и особенно – в тёмное время!). Нас больше интересует, какое время суток изображено на плакате? И всё ли на этом рисунке правильно с астрономической точки зрения? Ответ обосновать.

### 3. Противостояние Юпитера

В дни проведения олимпиады, 3 декабря 2012 года, Юпитер окажется в противостоянии с Солнцем. В каком созвездии будет виден Юпитер? В какое время и на какую максимальную высоту он будет подниматься над горизонтом Красноярска ( $\varphi = 56^\circ$ )? Какая из ярких звезд будет видна неподалеку от Юпитера? И где: к северу или к югу от планеты?

#### **4. Времена года**

На каких еще планетах Солнечной системы, кроме Земли, происходит смена времен года и почему?

#### **5. «Кьюриосити» на Марсе**

Шестого августа этого года на поверхности красной планеты начал работать марсоход третьего поколения «Кьюриосити» (Curiosity – англ. любопытство, любознательность) размерами 3,1 x 2,7 x 2,1 м и массой в 899 кг. А сколько он весит на Марсе?

#### **6. Солнечное затмение на Марсе**

Марсоход Кьюриосити (Curiosity) в сентябре 2012 запечатлел солнечное затмение, вызванное прохождением одного из двух спутников Марса – Фобоса – по диску Солнца. Под каким, в среднем, углом с поверхности планеты виден этот спутник? Сравните его угловой размер с видимым угловым диаметром полной Луны, наблюдаемой с Земли. Мог ли Фобос полностью закрыть диск Солнца? Большая полуось орбиты Фобоса составляет 9400 км. Его линейные размеры – 27x22x18 км, причем своей большой осью Фобос всегда направлен к центру планеты.

### **Задания для 10 класса**

#### **1. Солнце с Сатурна**

Принимая, что Сатурн обращается вокруг Солнца по круговой орбите с радиусом около 10 а.е., определить видимую звездную величину Солнца с одного из спутников Сатурна. Звездную величину Солнца при наблюдениях с Земли считать равной  $-26,7^m$ .

#### **2. Затмение после покрытия**

Вчера наблюдалось покрытие звезды Спика ( $\alpha$  Девы) Луной. Может ли сегодня произойти лунное затмение? А солнечное? Ответ обосновать.

### 3. Марс в квадратуре

На каком расстоянии от Земли находится Марс, наблюдаемый в квадратуре? Орбиты Земли и Марса считать круговыми. Решение поясните рисунком.

### 4. Мир. Ленин. СССР

Как раз вблизи даты проведения олимпиады мы можем отметить 50-летний юбилей первого межзвездного радиопослания: 19 и 24 ноября 1962 года из Центра дальней космической связи в Евпатории была проведена радиолокация планеты Ве-

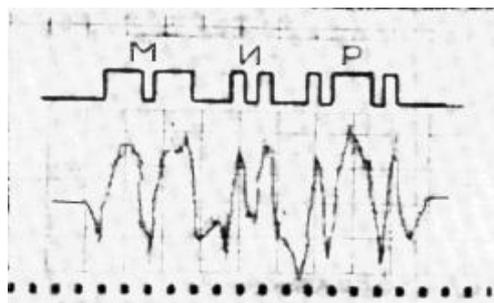


Рис. 21

нера, к которой были отправлены закодированные азбукой Морзе три слова (см. Рис. 21): **Мир** (19-го), **Ленин** и **СССР** (24-го). Отраженные от планеты сигналы были приняты в первую дату через 4 минуты 32,7 секунды, а во вторую – через 4 минуты 44,7 секунды.

Почему это радиопослание можно считать межзвездным? Сделайте схематический чертеж взаиморасположения Венеры и Земли на орбитах в указанные даты. Утром или вечером в то время Венера наблюдалась с Земли?

### 5. Солнце летом и зимой

В одном из населенных пунктов Красноярского края в местный полдень 21 июня Солнце поднялось на высоту  $50^\circ$  над горизонтом. На севере или на юге края находится этот пункт? На какую максимальную высоту там поднимется Солнце 21 декабря?

### 6. Календарь мая

Согласно хронологии мая, современная эпоха началась 12 августа 3114 года до новой эры по нашему летоисчислению. В календаре мая (так называемый Длинный Счет) минимальной единицей был кин, то есть день,

20 кин составляли 1 уинал – месяц, а 18 уинал давали 1 тун – год. Далее 20 тун составляли 1 катун, 20 катун – 1 бактун, 20 бактун – 1 пиктун – самую крупную единицу календаря. Счет начинался от 0. Календарная запись конкретной даты во времена расцвета цивилизации майя выглядела, например, так: 9 бактун 13 катун 19 тун 3 уинал 14 кин или 9.13.19.3.14. В 2012 году в день зимнего солнцестояния (21 декабря), эта эпоха, якобы, должна завершиться, то есть произойдет обнуление их календаря – 0.0.0.0.0. Произойдет ли на самом деле полное обнуление календаря майя в этот день и почему? Если нет, то определите (или предположите), как может выглядеть запись этой даты по календарю майя?

### **Задания для 11 класса**

#### **1. Покрытие Венеры Луной**

Под утро 14 августа 2012 года жители российских регионов к востоку от озера Байкал могли наблюдать редкое явление – покрытие Венеры Луной. Во сколько раз Луна была ярче Венеры, если их видимые звездные величины были  $-8^m$  и  $-4^m$ , соответственно?

#### **2. Затмение после покрытия**

Вчера наблюдалось покрытие звезды Спика ( $\alpha$  Девы) Луной. Может ли сегодня произойти лунное затмение? А солнечное? Ответ обосновать.

#### **3. Суперземля**

Оцените среднюю температуру на поверхности суперземли (планеты, масса которой превышает массу Земли, но значительно меньше массы газовых гигантов) Глизе 667C c (Gliese 667C c), обращающейся на среднем расстоянии 0,125 а.е. вокруг красного карлика Глизе 667C (Gliese 667C), имеющего светимость 0,0137 солнечной. Отражательную способность суперземли и Земли считать одинаковой, а среднюю температуру на поверх-

ности Земли равной  $16^{\circ}\text{C}$ . Охарактеризуйте температурные условия на планете.

#### 4. Мир. Ленин. СССР

Как раз вблизи даты проведения олимпиады мы можем отметить 50-летний юбилей первого межзвездного радиопослания: 19 и 24 ноября 1962 года из Центра дальней космической связи в Евпатории была проведена радиолокация планеты Ве-

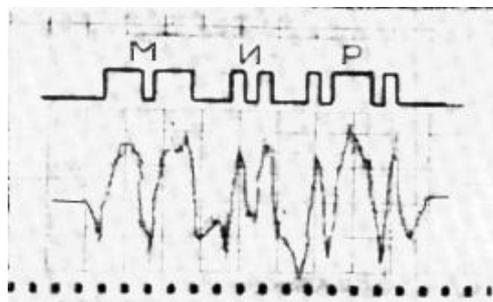


Рис. 22

нера, к которой были отправлены закодированные азбукой Морзе три слова (см. Рис. 22): **Мир** (19-го), **Ленин** и **СССР** (24-го). Отраженные от планеты сигналы были приняты в первую дату через 4 минуты 32,7 секунды, а во вторую – через 4 минуты 44,7 секунды.

Почему это радиопослание можно считать межзвездным? Сделайте схематический чертеж взаиморасположения Венеры и Земли на орбитах в указанные даты. Утром или вечером в то время Венера наблюдалась с Земли?

#### 5. Солнце в зените

Известно, что в нашей местности Солнце в зените никогда не наблюдается. Определите, где на Земле Солнце может наблюдаться точно в зените и когда это происходит.

#### 6. Календарь майя

Согласно хронологии майя, современная эпоха началась 12 августа 3114 года до новой эры по нашему летоисчислению. В календаре майя (так называемый Длинный Счет) минимальной единицей был кин, то есть день, 20 кин составляли 1 уинал – месяц, а 18 уинал давали 1 тун – год. Далее 20 тун составляли 1 катун, 20 катун – 1 бактун, 20 бактун – 1 пиктун – самую крупную единицу календаря. Счет начинался от 0. Календарная запись

конкретной даты во времена расцвета цивилизации майя выглядела, например, так: 9 бактун 13 катун 19 тун 3 уинал 14 кин или 9.13.19.3.14. В 2012 году в день зимнего солнцестояния (21 декабря), эта эпоха, якобы, должна завершиться, то есть произойдет обнуление их календаря – 0.0.0.0.0. Произойдет ли на самом деле полное обнуление календаря майя в этот день и почему? Если нет, то определите (или предположите), как может выглядеть запись этой даты по календарю майя?

**2013–2014 учебный год**  
**Задания для 7–8 классов**

**1. Два явления**

Какие астрономические явления иллюстрируют схемы, приведенные на рисунках Рис. 23 а и Рис. 23 б?

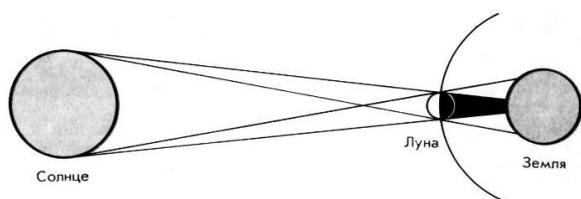


Рис. 23 а

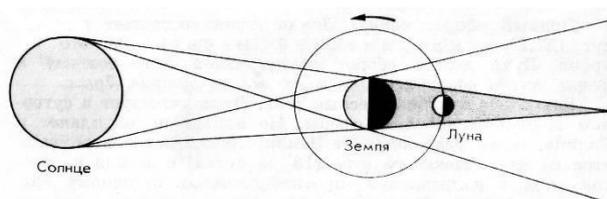


Рис. 23 б

**2. Солнце и Луна**

Что выше поднимается над горизонтом в Красноярске: Солнце или полная Луна? Когда это происходит и почему?

**3. Небесные тела**

Ганимед, Луна, Титан, Эрида, Ио, Тритон, Оберон, Харон. Что лишнее в этом списке? Свой ответ обоснуйте.

**4. Астрономические объекты**

Какие астрономические объекты изображены на рисунках Рис. 24?

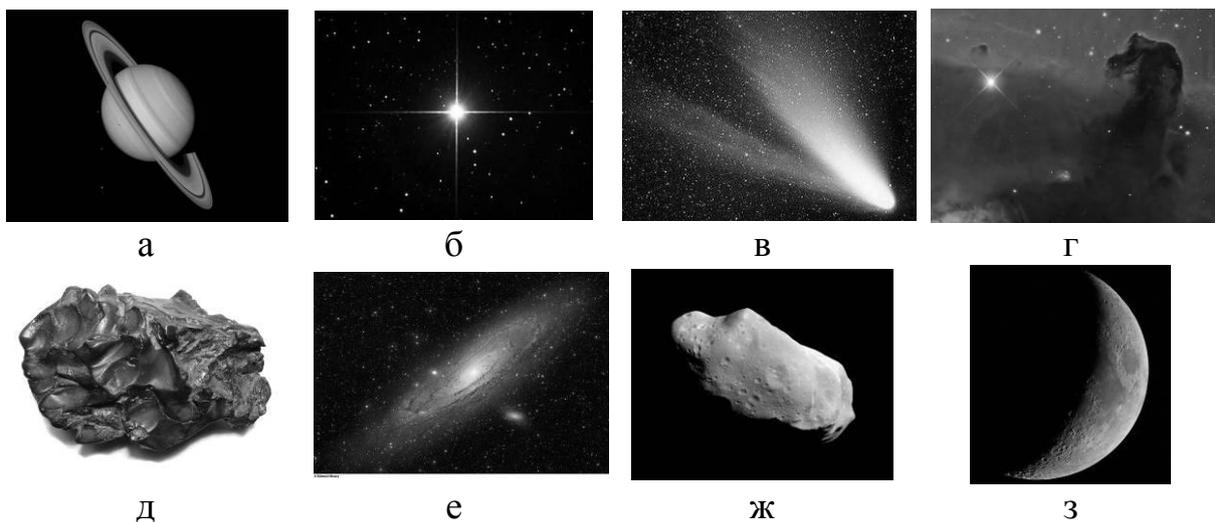


Рис. 24

### 5. Межзвездный путешественник

12 сентября 2013 года Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США сообщило, что американский космический аппарат «Вояджер-1», запущенный в 1977 году, вышел за пределы Солнечной системы в межзвездное пространство. На сегодняшний день этот аппарат является самым дальним от Земли объектом, созданным человеком, и находится он от нас на расстоянии 18,81 миллиардов километров. Сколько времени идет радиосигнал от «Вояджера-1» до центра управления, если известно, что радиоволны распространяются со скоростью света?

### 6. Созвездие

Какое созвездие изображено на рисунке

Рис. 25?

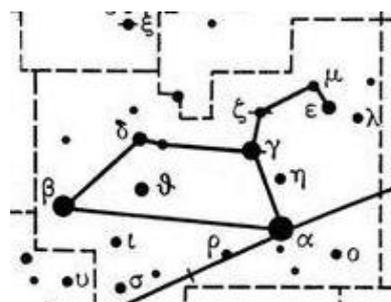


Рис. 25

### Задания для 9 класса

#### 1. Солнечные и лунные затмения

Почему при наблюдении с Земли солнечные затмения бывают кольцеобразными, полными и частными, а лунные затмения – только полными и частными?

## **2. Солнце и Луна**

Что выше поднимается над горизонтом в Красноярске: Солнце или полная Луна? Когда это происходит и почему?

## **3. Новая Дельфина**

14 августа 2013 года японский любитель астрономии Коичи Итагаки открыл вспышку Новой звезды в созвездии Дельфина. В момент открытия блеск Новой составлял 6,8 звездной величины, но уже через двое суток достиг 4,3<sup>m</sup>. Эта звезда стала самой яркой Новой на небе с 1999 года, когда в южном созвездии Парусов вспыхивала Новая, достигавшая блеска 2,6<sup>m</sup>.

Можно ли было увидеть Новую Дельфина-2013 невооруженным глазом в момент открытия? А в момент наибольшего блеска?

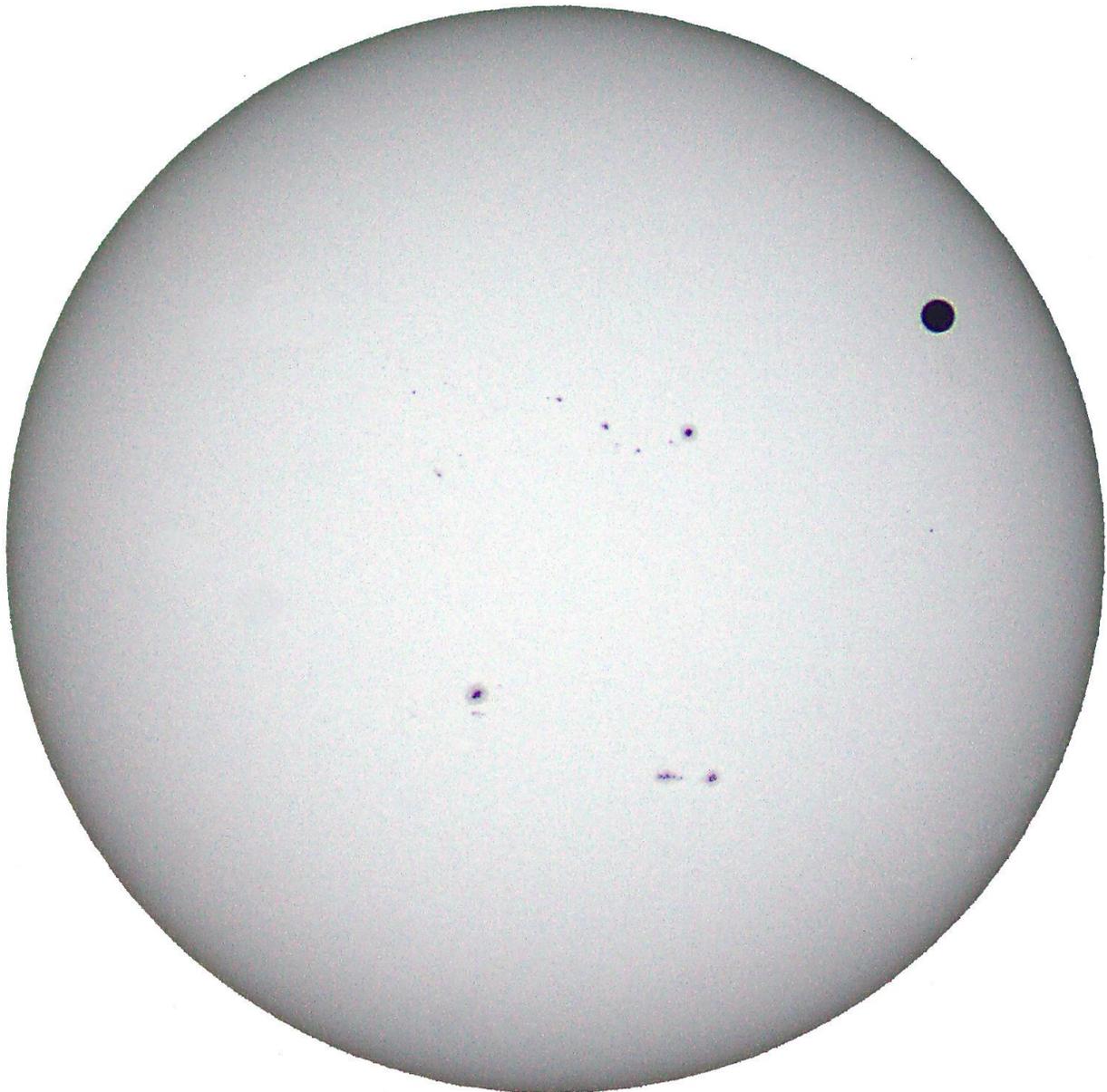
## **4. Комета Энке**

Примерно в дни проведения нашей олимпиады, 22 ноября 2013 года, в очередной раз пройдет перигелий самая короткопериодическая из известных комет – комета Энке (2P), которая то удаляется от Солнца на 4,09 а.е., то приближается к нему до 0,336 а.е.

С какими большими планетами солнечной системы теоретически могла бы столкнуться эта комета, если бы все планеты и комета Энке двигались в одной плоскости?

## **5. Венера на фоне Солнца**

На рисунке (см. Рис. 26) приведена фотография прохождения Венеры по солнечному диску 6 июня 2012 года, полученная одним из авторов заданий олимпиады. Зная, что диаметр Венеры составляет 12100 км, а ее расстояние от Земли в момент съемки было 0,289 астрономической единицы, определите диаметр Солнца в километрах. Поясните ход своего решения.



© С.Е. Гурьянов

Рис. 26. Фотография прохождения Венеры по диску Солнца  
6 июня 2012 года

#### **6. Смена времен года**

Общеизвестно, что причиной смены времен года на Земле в процессе ее движения вокруг Солнца является наклон оси вращения планеты к плоскости орбиты, а не изменение расстояния до Солнца. Справедливо ли такое утверждение для всех планет солнечной системы? Для решения задания воспользуйтесь справочными данными из таблиц Приложения 4.

## Задания для 10 класса

### 1. Луна в Гиадах

В 2014 году начнется очередная серия прохождений Луны по рассеянному звездному скоплению Гиады (заметная группа звезд 3–4 звездной величины чуть правее Альдебарана). 7 марта, примерно с 17 до 18 часов всемирного времени (UT), произойдет покрытие дельты Тельца – одной из самых ярких звезд в Гиадах. Попробуйте описать условия видимости этого явления в Красноярске. Какая примерно будет фаза Луны? За каким (темным или светлым) краем Луны исчезнет и потом снова появится звезда? В какой стороне горизонта можно будет наблюдать это покрытие?

### 2. MOM и MAVEN

Осенью этого года открывается очередное окно для полетов к Марсу по гомановской траектории (половина эллипса, касающийся орбит обеих планет). Ожидается, что 5 ноября к Красной планете отправится индийская автоматическая межпланетная станция MOM (Mars Orbiter Mission – Марсианская орбитальная экспедиция), а 18 ноября – американская MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile Evolution – Эволюция атмосферы и летучих веществ на Марсе). Оба аппарата станут искусственными спутниками Марса и будут изучать его атмосферу и поверхность с орбиты. Определите, когда примерно индийский и американский космические аппараты прибудут к Марсу?

### 3. Новая Дельфина

14 августа 2013 года японский любитель астрономии Коичи Итагаки открыл вспышку Новой звезды в созвездии Дельфина. В момент открытия блеск Новой составлял 6,8 звездной величины, но уже через двое суток достиг 4,3<sup>m</sup>. Эта звезда стала самой яркой Новой на небе с 1999 года, когда в южном созвездии Парусов вспыхивала Новая, достигавшая блеска 2,6<sup>m</sup>.

Можно ли было увидеть Новую Дельфина-2013 невооруженным глазом в момент открытия? А в момент наибольшего блеска? Во сколько раз увеличилась светимость звезды при вспышке, если на архивных фотографиях ее блеск составляет  $17,1^m$ ?

#### **4. Комета Энке**

Примерно в дни проведения нашей олимпиады, 22 ноября 2013 года, в очередной раз пройдет перигелий самая короткопериодическая из известных комет – комета Энке (2P), которая то удаляется от Солнца на 4,09 а.е., то приближается к нему до 0,336 а.е.

С какими главными планетами солнечной системы теоретически могла бы столкнуться эта комета, если бы ее орбита лежала в плоскости эклиптики? Определите период обращения кометы Энке вокруг Солнца.

#### **5. Венера на фоне Солнца**

На рисунке (см. Рис. 26) приведена фотография прохождения Венеры по солнечному диску 6 июня 2012 года, полученная одним из авторов заданий олимпиады. Зная, что диаметр Венеры составляет 12100 км, а ее расстояние от Земли в момент съемки было 0,289 астрономической единицы, определите диаметр Солнца в километрах. Поясните ход своего решения.

#### **6. Смена времен года**

Общеизвестно, что причиной смены времен года на Земле в процессе ее движения вокруг Солнца является наклон оси вращения планеты к плоскости орбиты, а не изменение расстояния до Солнца. Справедливо ли такое утверждение для всех планет солнечной системы? Оцените, насколько существенным может быть влияние на климат планеты изменение ее расстояния до Солнца в процессе орбитального движения. Для решения задания воспользуйтесь справочными данными из таблиц Приложения 4.

## Задания для 11 класса

### 1. Луна в Гиадах

В 2014 году начнется очередная серия прохождений Луны по рассеянному звездному скоплению Гиады (заметная группа звезд 3–4 звездной величины чуть правее Альдебарана). 7 марта, примерно с 17 до 18 часов всемирного времени (UT), произойдет покрытие дельты Тельца – одной из самых ярких звезд в Гиадах. Попробуйте описать условия видимости этого явления в Красноярске. Какая примерно будет фаза Луны? За каким (темным или светлым) краем Луны исчезнет и потом снова появится звезда? В какой стороне горизонта можно будет наблюдать это покрытие?

### 2. MOM и MAVEN

Осенью этого года открывается очередное окно для полетов к Марсу по гомановской траектории (половина эллипса, касающийся орбит обеих планет). Ожидается, что 5 ноября к Красной планете отправится индийская автоматическая межпланетная станция MOM (Mars Orbiter Mission – Марсианская орбитальная экспедиция), а 18 ноября – американская MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile Evolution – Эволюция атмосферы и летучих веществ на Марсе). Оба аппарата станут искусственными спутниками Марса и будут изучать его атмосферу и поверхность с орбиты. Определите, когда примерно индийский и американский космические аппараты прибудут к Марсу?

### 3. Марс с орбиты

Оба упомянутых в предыдущей задаче космических аппарата присоединятся к уже существующей флотилии аппаратов землян на орбите Марса, среди которых есть очень успешно работающий «Марсианский орбитальный разведчик» (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO), с 2006 года облетающий вокруг Марса по почти круговой околополярной (проходящей

над полюсами планеты) орбите с высотой  $\sim 300$  км над поверхностью Марса. Именно на его борту находится фотокамера высокого разрешения (HiRISE – High Resolution Imaging Science Experiment), снабженная телескопом-рефлектором диаметром 0,5 м, который является самым большим телескопом, использующимся в глубоком космосе на сегодняшний день.

В чем преимущества полярной орбиты? Определите период обращения MRO вокруг Марса. Какие наименьшие детали на поверхности Красной планеты могут быть сфотографированы с помощью HiRISE?

#### **4. Летняя сверхновая**

В июле этого года в известной спиральной галактике Мессье 74 (M74) в созвездии Рыб вспыхнула сверхновая звезда, достигшая в максимуме блеска  $+12^m$ . Оцените расстояние до галактики M74 в световых годах, приняв, что абсолютная звездная величина сверхновой в максимуме вспышки составляла  $-18^m$ .

#### **5. Венера на фоне Солнца**

На рисунке (см. Рис. 26) приведена фотография прохождения Венеры по солнечному диску 6 июня 2012 года, полученная одним из авторов заданий олимпиады. Зная, что диаметр Венеры составляет 12100 км, а ее расстояние от Земли в момент съемки было 0,289 астрономической единицы, определите диаметр Солнца в километрах. Поясните ход своего решения.

#### **6. Поллукс и Кастор**

Часто можно услышать расхожее мнение, что самая яркая звезда созвездия всегда обозначается греческой буквой альфа. И далее – по убыванию (бета, гамма, дельта и т.д.). Любители астрономии знают, что у этого правила есть множество исключений (только в 58 созвездиях из 88 самые яркие звезды называются альфа!). И одно из таких исключений – две главные звезды созвездия Близнецов:  $\alpha$  – Кастор ( $1,9^m$ ) и  $\beta$  – Поллукс ( $1,2^m$ ).

Кастор удален от нас на 52 световых года, а Поллукс – на 34. Определите, что ярче – Кастор при наблюдении из окрестностей Поллукса или Поллукс при наблюдениях из окрестностей Кастора?

## Решения задач

2009–2010 учебный год

### Решения заданий для 9–11 классов

1. Из выражения  $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ , связывающего высоту светила в верхней кульминации  $h$ , широту места наблюдения  $\varphi$  и склонение светила  $\delta$ , определим склонение Солнца в момент наблюдения:  $\delta = h + \varphi - 90^\circ = -23^\circ 26'$ . Такое склонение бывает у Солнца в день зимнего солнцестояния, т.е. 21–22 декабря.

#### *Критерии оценивания*

Применение выражения для высоты светила в верхней кульминации – 2 балла; правильное вычисление склонения Солнца – 2 балла; верный вывод о дне наблюдения – 4 балла.

2. Из третьего закона Кеплера:  $\left(\frac{T}{T_\oplus}\right)^2 = \left(\frac{a}{a_\oplus}\right)^3$ , где  $T$  и  $T_\oplus$  – сидерические периоды обращения планеты и Земли,  $a$  и  $a_\oplus$  – большие полуоси их орбиты, так как  $T_\oplus = 1$  год, а  $a_\oplus = 1$  а.е., найдем среднее расстояния планеты от Солнца:  $a = \sqrt[3]{T^2} \approx 235$  а.е. Планета может столкнуться с Землей, если она обращается вокруг Солнца по сильно вытянутой эллиптической орбите, пересекающей орбиту Земли.

#### *Критерии оценивания*

Применение третьего закона Кеплера – 2 балла; правильное вычисление большой полуоси орбиты планеты – 2 балла; определение условий столкновения – 4 балла.

3. Сравнив систему двух тел звезда–экзопланета, взаимно притягивающихся и обращающихся вокруг общего центра масс, с подобной системой двух тел Солнце–Юпитер, запишем третий обобщенный закон Кеплера

$$\frac{T_n^2(M_z + m_n)}{a_n^3} = \frac{T_{ю}^2(M_c + m_{ю})}{a_{ю}^3}, \text{ где } M_z - \text{масса звезды, } m_n - \text{масса одной из}$$

экзопланет,  $T_n$  и  $a_n$  – период обращения одной из экзопланет вокруг звезды и большая полуось ее орбиты,  $M_c$  – масса Солнца,  $m_{ю}$  – масса Юпитера,  $T_{ю}$  и  $a_{ю}$  – период обращения Юпитера вокруг Солнца и большая полуось его орбиты. Отсюда найдем массу экзопланеты:  $m_n = \frac{a_n^3 T_{ю}^2 (M_c + m_{ю})}{a_{ю}^3 T_n^2} - M_z$ .

Взяв необходимые данные из условия задачи, Таблицы 1 и Таблицы 2 Приложения 4, получим для первой экзопланеты:

$$m_{n1} = \frac{(0,239 \text{ a.e.})^3 (4332,71 \text{ сут})^2 (1047+1)m_{ю} - (0,927 \cdot 1047)m_{ю}}{(5,203 \text{ a.e.})^3 (44,24 \text{ сут})^2} \approx 3m_{ю},$$

для второй экзопланеты:

$$m_{n2} = \frac{(1,922 \text{ a.e.})^3 (4333 \text{ сут})^2 (1047+1)m_{ю} - (0,927 \cdot 1047)m_{ю}}{(5,203 \text{ a.e.})^3 (1008 \text{ сут})^2} \approx 5m_{ю}.$$

*Примечание:* для этих экзопланет в каталоге (URL: <http://exoplanet.eu/>) указаны массы равные  $2,12m_{ю}$  и  $6,56m_{ю}$ , соответственно.

#### *Критерии оценивания*

Применение третьего обобщенного закона Кеплера – 2 балла; его правильная запись (понимание, что в этом законе сравниваются любые две системы двух взаимно притягивающихся и обращающихся вокруг общего центра масс тел) и вывод выражения для определения массы – 4 балла; правильный и аккуратно выполненный расчет масс – 2 балла.

4. Планета расположена на расстоянии  $1609,344 \text{ м} \cdot 500\,000\,000 \text{ м} = 804\,672\,000 \text{ км}$ , что составляет  $804,672 \cdot 10^6 \text{ км} / 149,6 \cdot 10^6 \text{ км} \approx 5,4 \text{ а.е.}$ , т.е. где-то за орбитой Юпитера.

#### *Критерии оценивания*

Правильный расчет расстояния – 4 балла; вывод о месте расположения планеты – 4 балла.

5. Из формулы  $T_m = T_0 + \lambda$ , связывающей местное среднее время  $T_m$ , долготу пункта наблюдения  $\lambda$ , выраженную в часовой мере и всемирное время  $T_0$  в этот момент, найдем долготу места наблюдения:  $\lambda = T_m - T_0 = 6^h 12^m = 93^\circ$  восточной долготы.

*Примечание:* в задаче описан один из способов определения долготы места наблюдения, широко использовавшийся до изобретения радио и спутниковых навигационных систем.

#### *Критерии оценивания*

Использование формулы, связывающей местное среднее время, долготу пункта наблюдения и всемирное время – 4 балла; правильный расчет долготы – 2 балла; указание, что это долгота к востоку от Гринвича – 2 балла.

6. Положение Солнца среди звезд определим по карте звездного неба (Приложение 5). Сначала найдем дату по краю карты, например, 1 декабря, затем соединим ее с центром карты и на пересечении этого радиуса с эклиптической определим, в каком созвездии находится Солнце в день проведения олимпиады – это Змееносец.

#### *Критерии оценивания*

Ответ, что Солнце находится в зодиакальном созвездии Стрельца, считать неверным.

### **2010–2011 учебный год**

#### **Решения заданий для 7–8 классов**

1. Рекламный плакат с изображением края диска Солнца и планет (Рис. 1) напоминает схемы, на которых показываются сравнительные размеры планет и Солнца (Рис. 27).

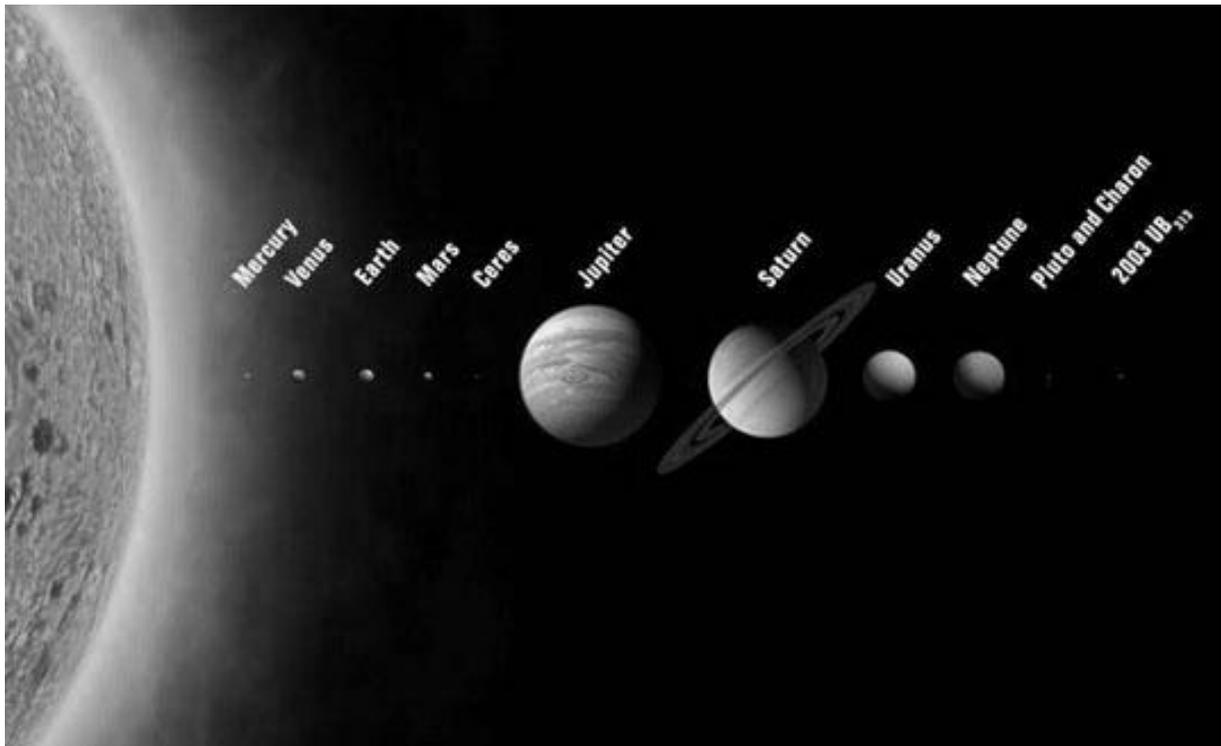


Рис. 27. Сравнительные размеры больших, карликовых планет и Солнца.

Сравнив рисунки Рис. 1 и Рис. 27, видно, что (участники олимпиады для этого могут воспользоваться Справочными данными, разрешенными к использованию участниками на муниципальном этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2010–2011 учебном году (Таблица 1 Приложения 4) и линейкой):

во-первых, на рекламном плакате не соответствуют соотношения относительных размеров

некоторых планет и Земли: Плутона, Нептуна, Сатурна и Юпитера. На Рис. 28 приведено схематическое изображение планет, представленных

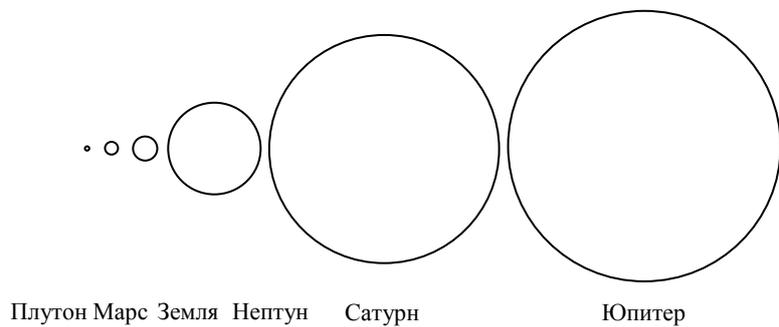


Рис. 28

на плакате, с соблюдением пропорций в их размерах;

во-вторых, последовательность планет на плакате в порядке их удаления от Солнца не соответствует их действительному расположению. Изображенные на плакате планеты в действительности располагаются таким образом: Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Нептун, Плутон;

в-третьих, на плакате пропущены некоторые большие планеты, такие как Меркурий, Венера, Уран.

#### *Критерии оценивания*

Указание на несоответствие относительных размеров планет – 2 балла.

Указание всех планет, изображенных с нарушением пропорций, – 4 балла.

Указание на неверную последовательность планет с их правильным расположением в порядке их удаления от Солнца – 1 балл.

Указание на пропущенные планеты с их наименованием – 1 балл.

2. Данное задание является испытанием тестового типа, и участникам олимпиады необходимо перечислить восемь собственных имен звезд, давать какие-либо пояснения не требуется.

Собственные имена звезд: Сириус ( $\alpha$  Большого Пса), Капелла ( $\alpha$  Возничего), Мицар ( $\zeta$  Большой Медведицы, двойная звезда в ручке «ковша»), Алголь ( $\beta$  Персея, затменно-переменная звезда), Денеб ( $\alpha$  Лебедя), Бетельгейзе ( $\alpha$  Ориона), Вега ( $\alpha$  Лиры), Дубхе ( $\alpha$  Большой Медведицы).

Остальные названия: Цефей, Эридан, Орион – созвездия; Церера, Веста – малые планеты; Таласа – спутник Нептуна; Ганимед – спутник Юпитера; Диона – спутник Сатурна.

#### *Критерии оценивания*

За каждое правильно указанное название звезды выставляется 1 балл. Итоговая оценка за выполнение задания получается суммированием баллов за правильные ответы и составляет от 0 до 8 баллов.

3. Лунный серп на Рис. 2 изображен неверно. На самом деле лунный серп представляет собой фигуру, образованную наружной дугой в форме полуокружности и внутренней дугой в форме полуэллипса, большая ось которого соединяет концы рогов серпа точно по диаметру лунного диска (Рис. 29). На Рис. 2 внутренняя дуга серпа – полуокружность, а концы рогов серпа удлинены за линию полярного диаметра диска.

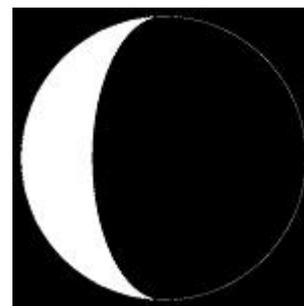


Рис. 29

*Критерии оценивания*

Указание на несоответствие формы внутренней дуги серпа – 4 балла.

Указание на несоответствие длины рогов серпа – 4 балла.

4. В противостоянии планета находится в точке небесной сферы, противоположной той, в которой в это время находится Солнце. Солнце 21 сентября находится вблизи точки осеннего равноденствия, которое наступает около 23 сентября. Поскольку противостояние Юпитера произошло почти в день осеннего равноденствия, то планета находилась вблизи точки весеннего равноденствия, т.е. в созвездии Рыб.

*Критерии оценивания*

Понимание положения планеты относительно Солнца в момент противостояния – 3 балла.

Понимание, что события происходят вблизи даты осеннего равноденствия – 3 балла.

Правильное определение точки положения Юпитера на небесной сфере в момент противостояния и правильное определение созвездия – 2 балла.

5. Существует известное мнемоническое правило, позволяющее определить фазы Луны: если лунный серп в небе похож на букву «С», то это – «Старый» месяц, а если же он повернут в обратную сторону, то, мысленно

приставив к нему палочку, можно получить букву «Р» – луна «Растущая» (молодой месяц). Однако это правило действует только в северном полушарии. В тропических странах, близ экватора, положение лунного серпа отличается от положения его в наших широтах, и указанное правило неприменимо. Там лунный серп сильно наклонен или даже лежит на боку, напоминая лодочку или арку. Происходит это потому, что в средних широтах суточные пути всех светил, в том числе Солнца и Луны, наклонны к горизонту, а на экваторе перпендикулярны к горизонту.

Чтобы ответить на вопрос задачи, нужно вспомнить, что, вследствие движения Луны вокруг Земли, молодой месяц виден вечером в западной части неба, находясь на небесной сфере позади Солнца по ходу ее суточного вращения, а старый – утром в восточной части неба, находясь впереди Солнца.

По условию задачи, фотография Луны получена вечером, после захода Солнца, значит, путешественник запечатлел молодой месяц.

#### *Критерии оценивания*

Понимание участником олимпиады различий в положении лунного серпа на разных широтах – 4 балла.

Правильное определение фазы Луны – 4 балла.

**6.** Световой год – это расстояние, которое свет, распространяясь со скоростью  $299\,792\text{ км/с} \approx 300\,000\text{ км/с}$ , проходит за один год, т.е. за  $(365,25\text{ сут.} \cdot 24\text{ ч.} \cdot 60\text{ мин.} \cdot 60\text{ сек.}) = 31\,557\,600\text{ секунд}$ . Это расстояние равно  $300\,000\text{ км/с} \cdot 31\,557\,600\text{ сек} \approx 9,46 \cdot 10^{12}\text{ км}$ . Таким образом, расстояние до звезды Gliese 581 составляет  $20,4\text{ св.г.} \cdot 9,46 \cdot 10^{12}\text{ км} = 1,93 \cdot 10^{14}\text{ км}$ . Определим, сколько времени потребуется современному космическому кораблю, летящему со скоростью  $30\text{ км/с}$ , чтобы достичь системы Gliese 581:  $1,93 \cdot 10^{14}\text{ км} / 30\text{ км/с} \approx 6,43 \cdot 10^{12}\text{ сек}$  или  $6,43 \cdot 10^{12}\text{ сек} / 31\,557\,600\text{ сек} \approx 200$  тысяч лет!

### *Критерии оценивания*

Понимание понятия «световой год» и правильное вычисление его значения в километрах или метрах – 4 балла.

Правильное определение расстояния до звезды Gliese 581 в километрах или метрах – 2 балла.

Правильное вычисление времени, выраженного в годах, которое необходимо для достижения системы Gliese 581 космическим кораблем, – 2 балла.

### **Решения заданий для 9 класса**

1. Рекламный плакат с изображением края диска Солнца и планет (Рис. 4) напоминает схемы, на которых показываются сравнительные размеры планет и Солнца (см. Рис. 27).

Сравнив рисунки Рис. 4 и Рис. 27, видно, что (участники олимпиады для этого могут воспользоваться Справочными данными, разрешенными к использованию участниками на муниципальном этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2010–2011 учебном году (Таблица 1 Приложения 4) и линейкой):

во-первых, на рекламном плакате не соответствуют соотношения относительных размеров некоторых планет и Земли: Плутона, Нептуна, Сатурна и Юпитера. На Рис. 28 приведено схематическое изображение планет, представленных на плакате, с соблюдением пропорций в их размерах;

во-вторых, последовательность планет на плакате в порядке их удаления от Солнца не соответствует их действительному расположению. Изображенные на плакате планеты в действительности располагаются таким образом: Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Нептун, Плутон;

в-третьих, на плакате пропущены некоторые большие планеты, такие как Меркурий, Венера, Уран.

### *Критерии оценивания*

Указание на несоответствие относительных размеров планет – 2 балла.

Указание всех планет, изображенных с нарушением пропорций, – 4 балла.

Указание на неверную последовательность планет с их правильным расположением в порядке их удаления от Солнца – 1 балл.

Указание на пропущенные планеты с их наименованием – 1 балл.

2. Через зенит, полюсы мира, точки юга и севера, надир проходит большой круг небесной сферы, называемый небесным меридианом. В зените, точке небесной сферы, имеющей максимальную высоту над горизонтом  $h=90^\circ$ , могут оказаться некоторые светила в момент прохождения ими небесного меридиана, т.е. в момент верхней кульминации. Так как кульминация Сириуса, по утверждению путешественника, происходила именно в зените, то можно применить любую из формул, связывающих высоту светила в верхней кульминации  $h$  с широтой места наблюдения  $\varphi$  и склонение светила  $\delta$ , например, формулу для светил, кульминирующих к югу от зенита:  $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ . По карте звездного неба можно определить склонение Сириуса ( $\alpha$  Большого Пса), которое равно  $\delta \approx -16^\circ$ . Теперь вычислим широту места наблюдения  $\varphi = 90^\circ - h + \delta = 90^\circ - 90^\circ - 16^\circ = -16^\circ$ . Широта места наблюдения  $\varphi$  для точек, лежащих в северном полушарии Земли, отсчитывается от экватора в пределах от 0 до  $+90^\circ$  и называется северной широтой, а для точек, лежащих в южном полушарии Земли – от 0 до  $-90^\circ$ , называется южной широтой. Таким образом, путешественник мог наблюдать Сириус в зените, находясь в южном полушарии Земли на широте  $16^\circ$  ю.ш.

### *Критерии оценивания*

Использование формулы для высоты светила в верхней кульминации с обоснованием ее применения – 3 балла.

Правильное определение склонения Сириуса – 2 балла.

Правильное вычисление широты и правильный вывод о местоположении путешественника – 3 балла.

3. Лунный серп на Рис. 5 изображен неверно. На самом деле лунный серп представляет собой фигуру, образованную наружной дугой в форме полуокружности и внутренней дугой в форме полуэллипса, большая ось которого соединяет концы рогов серпа точно по диаметру лунного диска (см. Рис. 29). На Рис. 5 внутренняя дуга серпа – полуокружность, а концы рогов серпа удлинены за линию полярного диаметра диска.

*Критерии оценивания*

Указание на несоответствие формы внутренней дуги серпа – 4 балла.

Указание на несоответствие длины рогов серпа – 4 балла.

4. В противостоянии планета находится в точке небесной сферы, противоположной той, в которой в это время находится Солнце. Солнце 21 сентября находится вблизи точки осеннего равноденствия, которое наступает около 23 сентября. Поскольку противостояние Юпитера произошло почти в день осеннего равноденствия, то планета находилась вблизи точки весеннего равноденствия, т.е. в созвездии Рыб.

*Критерии оценивания*

Понимание положения планеты относительно Солнца в момент противостояния – 3 балла.

Понимание, что события происходят вблизи даты осеннего равноденствия, – 3 балла.

Правильное определение точки положения Юпитера на небесной сфере в момент противостояния и правильное определение созвездия – 2 балла.

5. Существует известное мнемоническое правило, позволяющее определить фазы Луны: если лунный серп в небе похож на букву «С», то это –

«Старый» месяц, а если же он повернут в обратную сторону, то, мысленно приставив к нему палочку, можно получить букву «Р» – луна «Растущая» (молодой месяц). Однако это правило действует только в северном полушарии. В тропических странах, близ экватора, положение лунного серпа отличается от положения его в наших широтах, и указанное правило неприменимо. Там лунный серп сильно наклонен или даже лежит на боку, напоминая лодочку или арку. Происходит это потому, что в средних широтах суточные пути всех светил, в том числе Солнца и Луны, наклонны к горизонту, а на экваторе перпендикулярны к горизонту.

Чтобы ответить на вопрос задачи, нужно вспомнить, что, вследствие движения Луны вокруг Земли, молодой месяц виден вечером в западной части неба, находясь на небесной сфере позади Солнца по ходу ее суточного вращения, а старый – утром в восточной части неба, находясь впереди Солнца.

По условию задачи, фотография Луны получена вечером, после захода Солнца, значит, путешественник запечатлел молодой месяц.

#### *Критерии оценивания*

Понимание участником олимпиады различий в положении лунного серпа на разных широтах – 4 балла.

Правильное определение фазы Луны – 4 балла.

**6.** Парсек (сокращенно пк) – единица измерения расстояний в астрономии, равная 206 265 астрономическим единицам, или 3,26 св.л. Вычислим, сколько километров содержится в одном парсеке. Для этого количество световых лет в одном парсеке нужно перемножить на количество километров в одном световом годе (см. решение задания 6 в 7-8 классах) или количество астрономических единиц в одном парсеке перемножить на количество километров в одной астрономической единице. Воспользуемся вторым вариантом, зная (взяв из справочных данных, разрешенных к ис-

пользованию на олимпиаде), что  $1 \text{ а.е.} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ м}$ , тогда в одном парсеке содержится  $206\,265 \text{ а.е.} \cdot 1,496 \cdot 10^8 \text{ км} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км}$ . Таким образом, расстояние до звезды Gliese 581 составляет  $6,27 \text{ пк} \cdot 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км} = 1,93 \cdot 10^{14} \text{ км}$ . Определим, сколько времени потребуется современному космическому кораблю, летящему со скоростью  $30 \text{ км/с}$ , чтобы достичь системы Gliese 581:  $1,93 \cdot 10^{14} \text{ км} / 30 \text{ км/с} \approx 6,43 \cdot 10^{12} \text{ сек}$ . Так как год по григорианскому календарю (наш календарь или новый стиль) содержит  $365,2425 \text{ сут}$ , то в секундах он будет равен  $365,2425 \text{ сут} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 60 \text{ мин} \cdot 60 \text{ сек} = 31\,556\,952 \text{ секунд}$ . Определим, сколько лет будет лететь космический корабль землян до Gliese 581:  $6,43 \cdot 10^{12} \text{ сек} / 31\,556\,952 \text{ сек} \approx 200 \text{ тысяч лет!}$

### *Критерии оценивания*

Знание величины парсека в а.е. или св.г. и правильное вычисление его значения в километрах или метрах – 2 балла.

Правильное определение расстояния до звезды Gliese 581 в километрах или метрах – 2 балла.

Знание продолжительности года по григорианскому календарю – 2 балла.

Правильное вычисление времени, выраженного в годах, которое необходимо для достижения системы Gliese 581 космическим кораблем, – 2 балла.

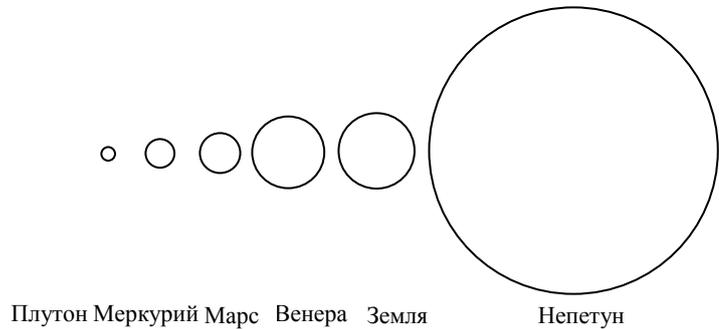
## **Решения заданий для 10 класса**

**1.** Рекламный плакат с изображением края диска Солнца и планет (Рис. 7) напоминает схемы, на которых показываются сравнительные размеры планет и Солнца (Рис. 27).

Сравнив рисунки Рис. 7 и Рис. 27, видно, что (участники олимпиады для этого могут воспользоваться Справочными данными, разрешенными к использованию участниками на муниципальном этапе всероссийской

олимпиады школьников по астрономии в 2010–2011 учебном году (Таблица 1 Приложения 4) и линейкой):

во-первых, на рекламном плакате не соответствуют соотношения относительных размеров некоторых планет и Земли: Венеры и Нептуна. На Рис. 30 приведено схематическое изображение планет, представленных на плакате, с соблюдением пропорций в их размерах;



во-вторых, последовательность планет на плакате в порядке их удаления от Солнца не соответствует их действительному расположению. Изображенные на плакате планеты в действительности располагаются таким образом: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Нептун, Плутон;

в-третьих, на плакате пропущены некоторые большие планеты, такие как Юпитер, Сатурн, Уран.

#### *Критерии оценивания*

Указание на несоответствие относительных размеров планет – 2 балла.

Указание всех планет, изображенных с нарушением пропорций, – 4 балла.

Указание на неверную последовательность планет с их правильным расположением в порядке их удаления от Солнца – 1 балл.

Указание на пропущенные планеты с их наименованием – 1 балл.

2. Через зенит, полюсы мира, точки юга и севера, надир проходит большой круг небесной сферы, называемый небесным меридианом. В зените, точке небесной сферы, имеющей максимальную высоту над горизонтом  $h=90^\circ$ , могут оказаться некоторые светила в момент прохождения ими не-

бесного меридиана, т.е. в момент верхней кульминации. Так как кульминация Сириуса, по утверждению путешественника, происходила именно в зените, то можно применить любую из формул, связывающих высоту светила в верхней кульминации  $h$  с широтой места наблюдения  $\varphi$  и склонение светила  $\delta$ , например, формулу для светил, кульминирующих к югу от зенита:  $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ . По карте звездного неба можно определить склонение Сириуса ( $\alpha$  Большого Пса), которое равно  $\delta \approx -16^\circ$ . Теперь вычислим широту места наблюдения  $\varphi = 90^\circ - h + \delta = 90^\circ - 90^\circ - 16^\circ = -16^\circ$ . Широта места наблюдения  $\varphi$  для точек, лежащих в северном полушарии Земли, отсчитывается от экватора в пределах от 0 до  $+90^\circ$  и называется северной широтой, а для точек, лежащих в южном полушарии Земли – от 0 до  $-90^\circ$ , называется южной широтой. Таким образом, путешественник мог наблюдать Сириус в зените, находясь в южном полушарии Земли на широте  $16^\circ$  ю.ш.

#### *Критерии оценивания*

Использование формулы для высоты светила в верхней кульминации с обоснованием ее применения – 3 балла.

Правильное определение склонения Сириуса – 2 балла.

Правильное вычисление широты и правильный вывод о местоположении путешественника – 3 балла.

**3.** На флаге Турции полумесяц представляет собой не фазу Луны (см. решение задания 3 в 7–9 классах), а затмение Луны каким-то объектом круглой формы. Это не может быть обычным лунным затмением, так как диаметр земной тени на расстоянии от Земли до Луны гораздо больше. Возможно, это затмение Луны астероидом сферической формы, что нехарактерно для астероидов, пролетающих между Землей и Луной.

Кроме того, на флаге изображена звезда рядом с полумесяцем, что напоминает соединения Луны с планетами или яркими звездами. Такой же вид может иметь планета или яркая звезда в момент начала покрытия ее

Луной или, наоборот, в момент появления ее из-за края лунного диска – от-крытия.

*Критерии оценивания*

Указание на затмение Луны небесным телом – 2 балла.

Указание на соединение с планетой или яркой звездой – 2 балла.

Указание на начало покрытия звезды или планеты Луной – 2 балла.

Указание на открытие звезды или планеты Луной – 2 балла.

4. В противостоянии планета находится в точке небесной сферы, противоположной той, в которой в это время находится Солнце. Солнце 21 сентября находится вблизи точки осеннего равноденствия, которое наступает около 23 сентября. Поскольку противостояние Юпитера произошло почти в день осеннего равноденствия, то планета находилась вблизи точки весеннего равноденствия, т.е. в созвездии Рыб.

Пренебрегая наклоном орбиты планеты к плоскости эклиптики ( $i = 1,3^\circ$ ), можно считать, что склонение Юпитера было близко к  $0^\circ$ . Поскольку в противостоянии планета находится в противоположной Солнцу точке эклиптики, то верхняя кульминация Юпитера в Красноярске происходила вблизи местной (истинной) полуночи, на высоте  $h = 90^\circ - \varphi + \delta = 90^\circ - 56^\circ + 0 = 34^\circ$ . А истинная полночь в этот день наступает около 2 часов ночи по часам наблюдателя (+1 час декретного и +1 час летнего времени).

*Критерии оценивания*

Понимание положения планеты относительно Солнца в момент противостояния – 1 балл.

Понимание, что события происходят вблизи даты осеннего равноденствия, – 1 балл.

Правильное определение точки положения Юпитера на небесной сфере в момент противостояния и правильное определение созвездия – 1 балл.

Правильное определение максимальной высоты Юпитера – 3 балла.

Правильное определение времени наступления истинной полночи – 2 балла.

5. Существует известное мнемоническое правило, позволяющее определить фазы Луны: если лунный серп в небе похож на букву «С», то это – «Старый» месяц, а если же он повернут в обратную сторону, то, мысленно приставив к нему палочку, можно получить букву «Р» – луна «Растущая» (молодой месяц). Однако это правило действует только в северном полушарии. В тропических странах, близ экватора, положение лунного серпа отличается от положения его в наших широтах и указанное правило не применимо. Там лунный серп сильно наклонен или даже лежит на боку, напоминая лодочку или арку. Происходит это потому, что в средних широтах суточные пути всех светил, в том числе Солнца и Луны, наклонны к горизонту, а на экваторе перпендикулярны к горизонту.

Чтобы ответить на вопрос задачи, нужно вспомнить, что, вследствие движения Луны вокруг Земли, молодой месяц виден вечером в западной части неба, находясь на небесной сфере позади Солнца по ходу ее суточного вращения, а старый – утром в восточной части неба, находясь впереди Солнца.

По условию задачи, фотография Луны получена вечером, после захода Солнца, значит, путешественник запечатлел молодой месяц.

#### *Критерии оценивания*

Понимание участником олимпиады различий в положении лунного серпа на разных широтах и причинах этого – 4 балла.

Правильное определение фазы Луны с обоснованием – 4 балла.

6. Параллакс связан с расстоянием, выраженным в парсеках, следующей формулой  $r = \frac{1}{\pi}$ . Таким образом, расстояние до звезды Gliese 581

составляет  $r = \frac{1}{0,16''} = 6,25$  пк. Парсек (сокращенно пк), единица измерения расстояний в астрономии, равная 206 265 астрономическим единицам или 3,26 св.л. Вычислим, сколько километров содержится в одном парсеке. Для этого количество световых лет в одном парсеке нужно перемножить на количество километров в одном световом годе (см. решение задания 6 в 7–8 классах) или количество астрономических единиц в одном парсеке перемножить на количество километров в одной астрономической единице. Воспользуемся вторым вариантом, зная (взяв из справочных данных, разрешенных к использованию на олимпиаде), что  $1 \text{ а.е.} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ м}$ , тогда в одном парсеке содержится  $206\,265 \text{ а.е.} \cdot 1,496 \cdot 10^8 \text{ км} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км}$ . Таким образом, расстояние до звезды Gliese 581 составляет  $6,25 \text{ пк} \cdot 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км} = 1,93 \cdot 10^{14} \text{ км}$ . Определим, сколько времени потребуется современному космическому кораблю, летящему со скоростью 30 км/с, чтобы достичь системы Gliese 581:  $1,93 \cdot 10^{14} \text{ км} / 30 \text{ км/с} \approx 6,43 \cdot 10^{12} \text{ сек}$ . Так как год по григорианскому календарю (наш календарь или новый стиль) содержит 365,2425 сут, то в секундах он будет равен  $365,2425 \text{ сут} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 60 \text{ мин} \cdot 60 \text{ сек} = 31\,556\,952 \text{ секунд}$ . Определим сколько лет будет лететь космический корабль землян до Gliese 581:  $6,43 \cdot 10^{12} \text{ сек} / 31\,556\,952 \text{ сек} \approx 200$  тысяч лет!

#### *Критерии оценивания*

Применение формулы, связывающей параллакс с расстоянием – 2 балла.

Правильное вычисление значения параллакса в километрах или метрах – 2 балла.

Правильное определение расстояния до звезды Gliese 581 в километрах или метрах – 1 балл.

Знание продолжительности года по григорианскому календарю – 2 балла.

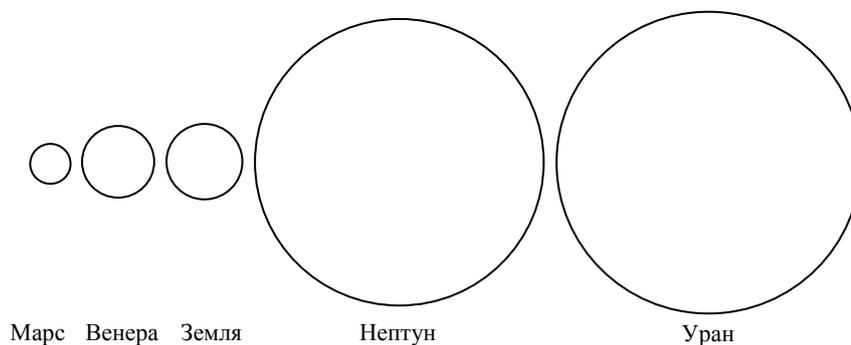
Правильное вычисление времени, выраженного в годах, которое необходимо для достижения системы Gliese 581 космическим кораблем, – 1 балл.

### Решения заданий для 11 класса

1. Рекламный плакат с изображением края диска Солнца и планет (Рис. 10) напоминает схемы, на которых показываються сравнительные размеры планет и Солнца (Рис. 27).

Сравнив рисунки Рис. 10 и Рис. 27, видно, что (участники олимпиады для этого могут воспользоваться Справочными данными, разрешенными к использованию участниками на муниципальном этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2010–2011 учебном году (Таблица 1 Приложения 4) и линейкой):

во-первых, на рекламном плакате не соответствуют соотношения относительных размеров некоторых планет и Земли: Венеры, Нептуна, Урана.



На Рис. 31 приведено схематическое изображение планет,

Рис. 31

представленных на плакате, с соблюдением пропорций в их размерах;

во-вторых, последовательность планет на плакате в порядке их удаления от Солнца не соответствует их действительному расположению. Изображенные на плакате планеты в действительности располагаются таким образом: Венера, Земля, Марс, Уран, Нептун;

в-третьих, на плакате пропущены некоторые большие планеты, такие как Меркурий, Юпитер, Сатурн.

### *Критерии оценивания*

Указание на несоответствие относительных размеров планет – 2 балла.

Указание всех планет, изображенных с нарушением пропорций, – 4 балла.

Указание на неверную последовательность планет с их правильным расположением в порядке их удаления от Солнца – 1 балл.

Указание на пропущенные планеты с их наименованием – 1 балл.

**2.** Вычислим длину окружности параллели на широте Красноярска, которая составляет  $2 \cdot \pi \cdot R \cdot \cos(\varphi)$ , где  $R$  – радиус Земли, равный 6378 км,  $\varphi$  – широта Красноярска.

Тогда разность долгот (длина дуги) на широте Красноярска:  
 $360^\circ \cdot 20 \text{ км} / (2 \cdot \pi \cdot 6378 \text{ км} \cdot \cos(56^\circ)) = 0^\circ,32 = 1 \text{ мин. } 17 \text{ сек.}$  – это и есть разница в моменте наступления истинного полудня.

### *Критерии оценивания*

Понимание участником, что разность долгот есть разность истинного солнечного времени, – 4 балла.

Учет длины окружности параллели с учетом широты места наблюдения – 4 балла.

**3.** На флаге Турции полумесяц представляет собой не фазу Луны (см. решение задания 3 в 7–9 классах), а затмение Луны каким-то объектом круглой формы. Это не может быть обычным лунным затмением, так как диаметр земной тени на расстоянии от Земли до Луны гораздо больше. Возможно, это затмение Луны астероидом сферической формы, что нехарактерно для астероидов, пролетающих между Землей и Луной.

Кроме того, на флаге изображена звезда рядом с полумесяцем, что напоминает соединения Луны с планетами или яркими звездами. Такой же вид может иметь планета или яркая звезда в момент начала покрытия ее

Луной или, наоборот, в момент появления ее из-за края лунного диска – от-крытия.

*Критерии оценивания*

Указание на затмение Луны небесным телом – 2 балла.

Указание на соединение с планетой или яркой звездой – 2 балла.

Указание на начало покрытия звезды или планеты Луной – 2 балла.

Указание на открытие звезды или планеты Луной – 2 балла.

4. Да, любитель астрономии был прав, несмотря на то, что наклон орбиты Юпитера к плоскости эклиптики составляет всего  $i = 1,3^\circ$  (дан в справочных данных, разрешенных к использованию на олимпиаде (Таблица 2 Приложения 4)). Все дело в том, что, наблюдая Юпитер вблизи его противостояния (и вблизи точки, находящейся посередине между восходящим и нисходящим узлами орбиты), мы находимся ближе к планете и видим ее уже под углом  $\varphi$  к плоскости эклиптики (Рис. 32).

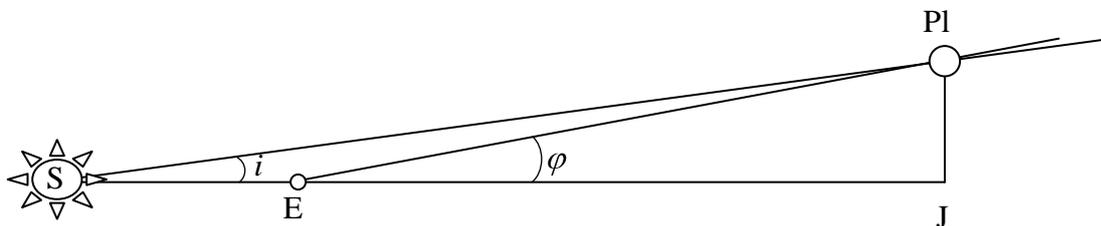


Рис. 32

Обозначение на рисунке Рис. 32: S – Солнце; E – Земля; SEJ – плоскость эклиптики; P1 – реальное положение планеты (в данном случае Юпитера).

Нетрудно видеть, что  $|JP1|/|SJ| = \text{tg } i$ , и  $|JP1|/|EJ| = \text{tg } \varphi$ , откуда

$\text{tg } \varphi = |SJ|/|EJ| \cdot \text{tg } i = (5,2 \text{ a.e.}/4,2 \text{ a.e.}) \cdot \text{tg } 1,3^\circ$ . Тогда  $\varphi \approx 1,6^\circ$ .

*Критерии оценивания*

Понимание участником различия между углом наклона орбиты планеты к плоскости эклиптики и углом наблюдения – 3 балла.

Правильное построение чертежа – 3 балла.

Правильное вычисление угла наблюдения – 2 балла.

5. Действительно, 12 июля 2011 года Нептун окажется в той же точке своей орбиты, где он был в момент открытия (но только относительно Солнца!), так как период его обращения вокруг Солнца составляет 164,79 года. Как нетрудно догадаться, условия его наблюдения с Земли будут немало другими.

С помощью карты звездного неба можно определить, что прямое восхождение планеты в момент открытия было около 22 ч, а склонение  $\sim -12^\circ$  (координаты эклиптики на границе созвездий Водолея и Козерога). Поскольку прямое восхождение Нептуна в течение нескольких месяцев изменяется незначительно, так как он из-за своей удаленности перемещается по небесной сфере достаточно медленно, то противостояние Нептуна в год открытия было вблизи 22 августа, когда прямое восхождение Солнца было равно 10 ч (т.е. разность между прямым восхождением планеты и Солнца должна составлять 12 ч – условие для противостояния).

Как видим, планета была открыта почти через месяц после противостояния, после чего Земля прошла по своей орбите (против часовой стрелки) за  $9 \text{ сут.} + 23 \text{ сут.} = 32 \text{ сут.}$  дугу в  $\alpha = 360^\circ / 365,25 \text{ сут.} \cdot 32 \text{ сут.} \approx 31,5^\circ$  (положение  $E_1$  на Рис. 33). В 2011 году противостояние Нептуна состоится также (и по той же причине) около 22 августа, а «юбилейная дата» отстоит от 22 августа на  $19 \text{ сут.} + 22 \text{ сут.} = 41 \text{ сут.}$ , или  $\beta = 360^\circ / 365,25 \text{ сут.} \cdot 41 \text{ сут.} \approx 40,4^\circ$  в другую сторону ( $E_2$ ). Всего же точки  $E_1$  и  $E_2$  разделяет дуга в 72 градуса.

Рассмотрим схематический рисунок Рис. 33, где  $E_1$  – Земля в 1846г.,  $E_2$  – в 2011г.,  $C$  – центр отрезка  $|E_1E_2|$ . Легко понять, что  $|E_1E_2| = 2|E_1C| = 2 \cdot \sin((\alpha + \beta) / 2) = 2 \cdot \sin(31^\circ, 5) = 1,04 \text{ а.е.} \approx 1 \text{ а.е.}$ !

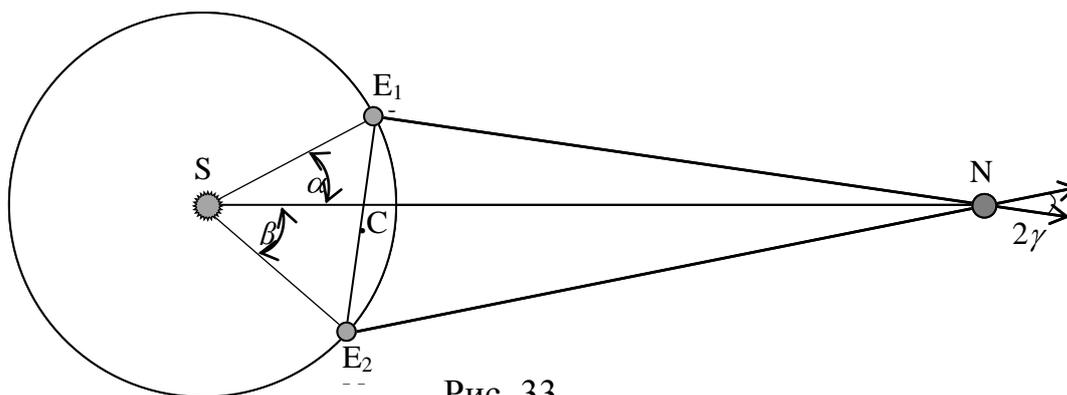


Рис. 33

Приняв в первом приближении расстояние до Нептуна  $|CN| \approx 29$  а.е. (30 а.е. от Солнца) и пренебрегая неперпендикулярностью  $|E_1C|$  и  $|CN|$ , получим  $\operatorname{tg} \gamma \sim 0,5 \text{ а.е.} / 29 \text{ а.е.}$  или  $\gamma \approx 0,99^\circ$  и полный угол параллактического смещения Нептуна  $2\gamma \approx 1,98^\circ$ . Другими словами, в «юбилейную ночь» 12 июля 2011 года Нептун будет виден примерно в  $2^\circ$  восточнее (левее вдоль эклиптики) того места, где он находился в момент открытия 23 сентября 1846 года (см. Рис. 34). Поскольку все основные параметры треугольников на рисунке нами уже определены, возможны и более точные геометрические вычисления. Но в любом случае результат будет близок к полученному, а погрешность приближенных вычислений не превышает размер поля зрения любительского телескопа ( $0,1-0,3^\circ$ ).

В момент противостояния (около 22 августа) Нептун будет кульминировать в местную (истинную) полночь, т.е. около 2 часов ночи по летнему времени (см. решение задания 4 в 10 классе). Вследствие того, что звездные сутки короче солнечных на 3 минуты 56 секунд или  $\sim 4$  минуты, каждое светило пересекает небесный меридиан каждый день примерно на 4 минуты раньше, чем накануне, если считать по обычному (солнечному) времени. Таким образом, в «юбилейную ночь» 12 июля за 41 день до противостояния кульминация Нептуна произойдет через  $4 \text{ мин.} \cdot 41 \text{ сут.} = 164$  минуты или  $164 \text{ мин.} / 60 \text{ мин.} \approx 2,7$  часа после местной (истинной) полуночи.

Поскольку Нептун 12 июля будет наблюдаться всего в  $2^\circ$  от того места, где он находился в момент открытия, то его склонение по-прежнему

можно считать примерно равным  $-12$  градусам, тогда его высота в кульминации для Красноярска составит примерно:

$h = 90^\circ - \varphi + \delta = 90^\circ - 56^\circ - 12^\circ = 22^\circ$  (в ответах участников допустимы отклонения  $\pm 1^\circ$ ).

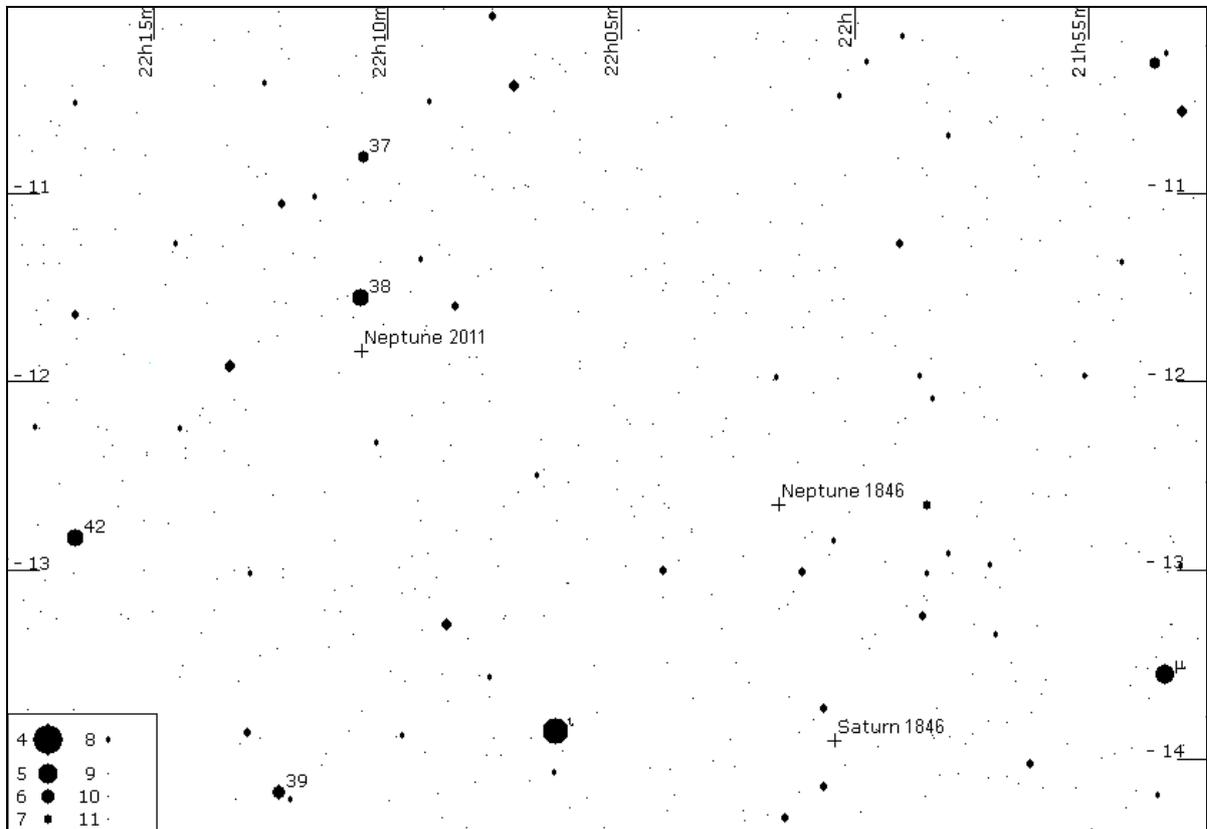


Рис. 34

*Примечание:* На Рис. 34 показаны действительные положения Нептуна на звездном небе в момент его открытия 23 сентября 1846 года и 12 июля 2011 года.

#### *Критерии оценивания*

Понимание участником различий в положениях Нептуна на небесной сфере в момент его открытия и 12 июля 2011 года и причин этого – 2 балла.

Построение чертежа и решение треугольников (получение ответа  $\sim 2^\circ$  восточнее от положения в момент открытия) – 4 балла.

Определение момента кульминации – 1 балл.

Определение высоты в момент кульминации – 1 балл.

6. Чтобы определить, на каком среднем расстоянии от звезды обращается земноподобная планета (большую полуось ее орбиты), сравним систему двух тел звезда–планета, взаимно притягивающихся и обращающихся вокруг общего центра масс, с подобной системой двух тел с известными физическими параметрами – Солнце и, например, Земля. Для этого запишем третий обобщенный закон Кеплера («обычный», третий эмпирический закон Кеплера применим только к двум телам, обращающимся вокруг общего центрального тела, например, две планеты Солнечной системы или два спутника планеты):  $\frac{T_n^2(M_z + m_n)}{a_n^3} = \frac{T_{\oplus}^2(M_c + m_{\oplus})}{a_{\oplus}^3}$ , где  $M_z$  – масса звезды,  $m_n$  – масса планеты,  $T_n$  и  $a_n$  – период обращения планет вокруг звезды и большая полуось ее орбиты,  $M_c$  – масса Солнца,  $m_{\oplus}$  – масса Земли,  $T_{\oplus}$  и  $a_{\oplus}$  – период обращения Земля вокруг Солнца и большая полуось ее орбиты. Учитывая, что массы звезд значительно больше массы планет  $M_z \gg m_n$  и  $M_c \gg m_{\oplus}$ , получим:

$$\frac{T_n^2 M_z}{a_n^3} = \frac{T_{\oplus}^2 M_c}{a_{\oplus}^3}, \text{ откуда}$$

$$a_n = a_{\oplus} \sqrt[3]{\frac{T_n^2 M_z}{T_{\oplus}^2 M_c}} = 1 \text{ а.е.} \sqrt[3]{\frac{(36,6 \text{ сут.})^2}{(365,25 \text{ сут.})^2} \cdot 0,31} = 0,146 \text{ а.е.}$$

Таким образом, земноподобная планета расположена на среднем расстоянии 0,146 а.е. от звезды, то есть в 2,5 раза ближе, чем Меркурий к Солнцу.

*Примечание:* Так как Gliese 581 является красным карликом, и ее светимость значительно меньше светимости Солнца, то обитаемая зона у звезды или Зона Златовласки – область в космосе, где условия благоприятствуют зарождению и развитию жизни аналогично условиям на Земле, зона простирается примерно от 0,1 до 0,3 а.е. Считается, что в Солнечной сис-

теме обитаемая зона находится на расстоянии от 0,95 до 1,37 а.е. от Солнца.

*Критерии оценивания*

Применение третьего обобщенного закона Кеплера – 4 балла.

Понимание, что массы планет значительно меньше масс звезд и пренебрежение ими – 2 балла.

Корректное применение параметров для Земли (или для другого тела с известными параметрами) и получение верного ответа – 2 балла.

**2011–2012 учебный год**

**Решения заданий для 7–8 классов**

**1.** В восточной стороне горизонта (в восточном секторе от точки севера до точки юга, в зависимости от склонения светила).

*Критерии оценивания*

Правильным ответом является ответ «в восточной». За него выставляется 6 баллов. Более точное указание сектора и зависимость точки восхода от склонения светила оценивается еще в 2 балла. Ответ «на востоке» является неверным, так как в точке востока восходят лишь светила, расположенные на небесном экваторе, и без указания на это такой ответ не засчитывается.

**2.** Данное задание является испытанием тестового типа, и участникам олимпиады необходимо перечислить восемь собственных имен малых планет (астероидов), давать какие-либо пояснения не требуется.

Собственные имена малых планет (астероидов): Паллада, Веста, Апофис, Фортуна, Ирида, Юнона, Астрея, Урания.

Остальные названия: Тукан, Кассиопея – созвездия; Мира (о Кита), Антарес ( $\alpha$  Скорпиона) – звезды; Деймос – спутник Марса; Ио – спутник Юпитера; Титан – спутник Сатурна; Оберон – спутник Урана.

### *Критерии оценивания*

За каждое правильно указанное название астероида выставляется 1 балл. Итоговая оценка за выполнение задания получается суммированием баллов за правильные ответы и составляет от 0 до 8 баллов.

**3.** Луна движется вокруг Земли в том же направлении, в котором движется большинство других тел Солнечной системы, то есть против часовой стрелки, если смотреть на ее орбиту со стороны северного полюса Земли. На схеме, опубликованной в одном из электронных учебников по астрономии (см. Рис. 12) и иллюстрирующей движение и фазы Луны, северный полюс находится вверху (на изображении Земли можно различить Азию и Австралию). Однако стрелками на рисунке показано направления обращения Луны вокруг Земли – по часовой стрелке, что не соответствует действительности. Из-за этого фазы I и III четверти указаны с ошибкой – перепутаны местами, причем, фаза «III четверть» в астрономии обычно называется последней четвертью. Кроме того, на подобных схемах вместо Солнца обычно изображают солнечный свет в виде лучей, так как расстояние до Солнца и его размеры несоизмеримо больше расстояний и размеров в системе Земля-Луна.

### *Критерии оценивания*

Указание на неверное направление обращения Луны вокруг Земли с пояснениями – 5 баллов.

Указание на несоответствие положения фаз Луны – 2 балла.

Указания на прочие несоответствия – 1 балл.

**4.** Хвосты комет практически всегда направлены в противоположную от Солнца сторону. Поэтому, чтобы хвост кометы был направлен так, как это изображено на рисунке (см. Рис. 13), Солнце должно находиться в направлении правого нижнего угла рисунка. Однако на рисунке изображена полная Луна, которая должна освещаться Солнцем, расположенным

перпендикулярно плоскости рисунка, то есть в совершенно другом направлении. Конечно, можно предположить, что мы видим просто проекцию направленного от Солнца хвоста кометы. В таком случае его размеры составляют немногим более 1 градуса (два видимых диаметра Луны). Такое теоретически возможно, но каждый, кто когда-либо наблюдал полную Луну, знает, что увидеть вблизи нее слабые звезды Млечного пути, а также кометный хвост попросту невозможно.

Таким образом, данный рисунок является фотомонтажом, а точнее – «компьютерной графикой».

#### *Критерии оценивания*

Знание направления хвостов комет относительно Солнца и противоречия в положении Солнца – 4 балла.

Правильный вывод о невозможности наблюдения слабых звезд и кометных хвостов вблизи полной Луны – 4 балла.

**5.** Землетрясение в Японии произошло 11 марта, т.е. более чем за неделю (точнее, за 8 дней) до суперлуния. Луна, обращаясь вокруг Земли, совершает полный оборот за 27,3 суток, а за неделю проходит примерно четверть пути по своей орбите. Таким образом, в момент землетрясения Луна находилась далеко от точки «суперлуния», то есть расстояние до нее в этот момент не было наименьшим, и вызвать землетрясение она, естественно, не могла. Более подробное решение приведено в ответе на задачу № 5 за 9 класс.

#### *Критерии оценивания*

Знание периода обращения Луны вокруг Земли (участнику достаточно знать, что он равен примерно одному месяцу) – 2 балла.

Понимание, что Луна в момент землетрясения находилась в совершенно другой точке своей орбиты – 4 балла.

Вывод о том, что Луна не могла вызвать землетрясение в Японии, – 2 балла.

6. Очевидно, что находиться между Землей и Солнцем (в том числе проходить по видимому диску Солнца) могут только внутренние планеты: Меркурий и Венера.

Известно, что чем ближе планета к Солнцу, тем скорость ее движения по орбите выше, и, поскольку все планеты обращаются вокруг Солнца в направлении против часовой стрелки (если смотреть со стороны северного полюса Земли), и Меркурий, и Венера при прохождении по диску Солнца для земного наблюдателя обгоняют Землю и перемещаются на фоне солнечного диска слева – направо (см. Рис. 35).



Рис. 35

Таким образом, Венера будет перемещаться на фоне солнечного диска слева – направо. Подобные явления могут наблюдаться у внутренних планет (Меркурий и Венера), а также у комет и астероидов, орбиты которых заходят внутрь орбиты Земли и искусственных спутников Земли. При этом Меркурий, Венера и абсолютное большинство астероидов будут перемещаться слева – направо. Кометы могут двигаться в любых направлениях. Искусственные спутники Земли будут двигаться с разными наклонами справа – налево (в направлении с запада на восток, как их обычно и запускают).

#### *Критерии оценивания*

Понимание, что скорость движения по орбите внутренних планет выше, чем скорость движения Земли, – 2 балла.

Понимание направления обращения планет – 2 балла.

Правильное определение направления перемещения Венеры по диску Солнца – 2 балла.

Указание Меркурия – 1 балл.

Указание астероидов и (или) комет – 1 балл.

### **Решения заданий для 9 класса**

**1.** Солнце восходит в восточной стороне горизонта в секторе от точки северо-востока до точки юго-востока. Это происходит из-за того, что в течение года меняется склонение Солнца по причине наклона эклиптики (видимого пути Солнца по небесной сфере за год) к небесному экватору под углом  $23,5^\circ$ . Зимой в день зимнего солнцестояния (около 22 декабря), когда склонение Солнца равно  $-23,5^\circ$ , Солнце восходит в точке, близкой к юго-востоку, летом в день летнего солнцестояния (около 22 июня), когда склонение Солнца равно  $23,5^\circ$ , Солнце восходит в точке, близкой к северо-востоку. Весной и осенью, вблизи дней весеннего и осеннего равноденствий (21 марта и 23 сентября), когда склонение Солнца равно  $0^\circ$ , Солнце восходит в точке востока.

#### *Критерии оценивания*

Правильное указание стороны горизонта – 2 балла.

Правильное указание сектора горизонта – 2 балла.

Правильное указание точек восхода в зависимости от времен года – 2 балла.

Указание причин изменения точек восхода в течение года (изменение склонения Солнца ввиду наклона эклиптики к небесному экватору) – 2 балла.

*Примечание:* Ответ, что Солнце восходит на востоке, без указания моментов, когда это происходит, является неверным.

2. Данное задание является испытанием тестового типа, и участникам олимпиады необходимо перечислить восемь собственных имен малых планет (астероидов), давать какие-либо пояснения не требуется.

Собственные имена малых планет (астероидов): Паллада, Веста, Апофис, Фортуна, Ирида, Юнона, Астрея, Урания.

Остальные названия: Тукан, Кассиопея – созвездия; Мира (о Кита), Антарес ( $\alpha$  Скорпиона) – звезды; Деймос – спутник Марса; Ио – спутник Юпитера; Титан – спутник Сатурна; Оберон – спутник Урана.

#### *Критерии оценивания*

За каждое правильно указанное название астероида выставляется 1 балл. Итоговая оценка за выполнение задания получается суммированием баллов за правильные ответы и составляет от 0 до 8 баллов.

3. Луна движется вокруг Земли в том же направлении, в котором движется большинство других тел Солнечной системы, то есть против часовой стрелки, если смотреть на ее орбиту со стороны северного полюса Земли. На схеме, опубликованной в одном из электронных учебников по астрономии (см. Рис. 14) и иллюстрирующей движение и фазы Луны, северный полюс находится вверху (на изображении Земли можно различить Азию и Австралию). Однако стрелками на рисунке показано направления обращения Луны вокруг Земли – по часовой стрелке, что не соответствует действительности. Из-за этого фазы I и III четверти указаны с ошибкой – перепутаны местами, причем, фаза «III четверть» в астрономии обычно называется последней четвертью. Кроме того, на подобных схемах вместо Солнца обычно изображают солнечный свет в виде лучей, так как расстояние до Солнца и его размеры несоизмеримо больше расстояний и размеров в системе Земля-Луна.

### *Критерии оценивания*

Указание на неверное направление обращения Луны вокруг Земли с пояснениями – 5 баллов.

Указание на несоответствие положения фаз Луны – 2 балла.

Указания на прочие несоответствия – 1 балл.

**4.** Хвосты комет практически всегда направлены в противоположную от Солнца сторону. Поэтому, чтобы хвост кометы был направлен так, как это изображено на рисунке (см. Рис. 15), Солнце должно находиться в направлении правого нижнего угла рисунка. Однако на рисунке изображена полная Луна, которая должна освещаться Солнцем, расположенным перпендикулярно плоскости рисунка, то есть в совершенно другом направлении. Конечно, можно предположить, что мы видим просто проекцию направленного от Солнца хвоста кометы. В таком случае его размеры составляют немногим более 1 градуса (два видимых диаметра Луны). Такое теоретически возможно, но каждый, кто когда-либо наблюдал полную Луну, знает, что увидеть вблизи нее слабые звезды Млечного пути, а также кометный хвост попросту невозможно.

Таким образом, данный рисунок является фотомонтажом, а точнее – «компьютерной графикой».

### *Критерии оценивания*

Знание направления хвостов комет относительно Солнца и противоречия в положении Солнца – 4 балла.

Правильный вывод о невозможности наблюдения слабых звезд и кометных хвостов вблизи полной Луны – 4 балла.

**5.** Явление «большой» Луны объясняется совпадением фазы полнолуния и момента прохождения Луны через точку перигея – ближайшей к Земле точки лунной эллиптической орбиты, при этом полная Луна на зем-

ном небе будет иметь наибольший угловой размер (около 33', при среднем – около 31').

Луна совершает полный оборот вокруг Земли за 27,3 суток, т.е. почти за месяц. Таким образом, каждый месяц Луна проходит точку перигея, т.е. бывает на наименьшем расстоянии от Земли, однако каждый раз при этом землетрясений не происходит. Землетрясение в Японии произошло 11 марта, т.е. больше чем за неделю (точнее, за 8 дней) до суперлуния. Таким образом, в момент землетрясения Луна находилась далеко от точки перигея, примерно на среднем расстоянии от Земли, и вызвать землетрясение она, естественно, не могла.

Кроме того, в момент землетрясения приливное воздействие Луны было минимальным, так как Луна находилась в фазе, близкой к первой четверти, когда наблюдается так называемый квадратурный прилив (см. Рис. 36). При квадратурном приливе в момент лунного прилива происходит солнечный отлив и воздействие Солнца вычитается из воздействия Луны – наблюдается наименьший прилив.

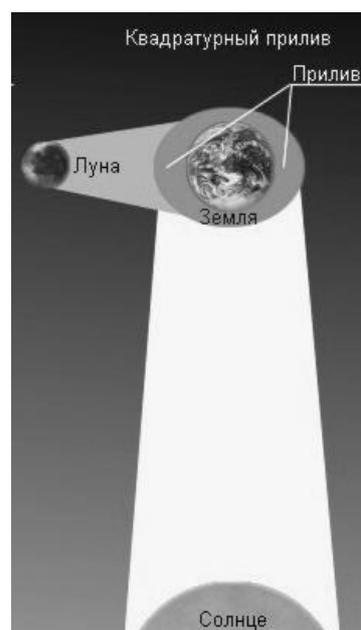


Рис. 36

#### *Критерии оценивания*

Правильное объяснение явления суперлуния – 2 балла.

Понимание, что Луна движется по эллиптической орбите и каждый месяц бывает на наименьшем расстоянии от Земли – 2 балла.

Понимание, что Луна в момент землетрясения находилась далеко от точки перигея и не могла вызвать землетрясение – 2 балла.

Использование в решении понятия приливов – 2 балла.

6. Очевидно, что находиться между Землей и Солнцем (в том числе проходить по видимому диску Солнца) могут только внутренние планеты: Меркурий и Венера.

Известно, что чем ближе планета к Солнцу, тем скорость ее движения по орбите выше, и, поскольку все планеты обращаются вокруг Солнца в направлении против часовой стрелки (при взгляде с северного полюса эклиптики), и Меркурий, и Венера при прохождении по диску Солнца для земного наблюдателя обгоняют Землю и перемещаются на фоне солнечного диска слева – направо (см. Рис. 35).

Таким образом, Венера будет перемещаться на фоне солнечного диска слева – направо. Подобные явления могут наблюдаться у внутренних планет (Меркурий и Венера), а также у комет и астероидов, орбиты которых заходят внутрь орбиты Земли и искусственных спутников Земли. При этом Меркурий, Венера и абсолютное большинство астероидов будут перемещаться слева – направо. Кометы могут двигаться в любых направлениях. Искусственные спутники Земли будут двигаться с разными наклонами справа – налево (в направлении с запада на восток, как их обычно и запускают).

#### *Критерии оценивания*

Понимание, что скорость движения по орбите внутренних планет выше, чем скорость движения Земли, – 2 балла.

Понимание направления обращения планет – 1 балл.

Правильное определение направления перемещения Венеры по диску Солнца – 1 балл.

Указание Меркурия – 1 балл.

Указание астероидов – 1 балл.

Указание комет – 1 балл.

Указание искусственных спутников Земли – 1 балл.

## Решения заданий для 10 класса

1. Полная Луна восходит в восточной стороне горизонта, примерно в секторе от точки северо-востока до точки юго-востока, в зависимости от времени года. Это происходит из-за того, что у Луны изменяется склонение. Луна перемещается по небесной сфере вдоль эклиптики, отклоняясь от нее на угол наклона лунной орбиты к эклиптике ( $\pm 5^{\circ}09'$ ). В свою очередь, эклиптика наклонена к небесному экватору под углом  $23^{\circ}27'$ . Полная Луна находится около точки эклиптики, противоположной положению Солнца. Поэтому зимой в день зимнего солнцестояния (около 22 декабря), когда склонение Солнца равно  $-23^{\circ}27'$ , склонение полной Луны составляет  $23^{\circ}27' \pm 5^{\circ}09'$ , и она будет восходить в точке, близкой к северо-востоку, летом в день летнего солнцестояния (около 22 июня), когда склонение Солнца равно  $23^{\circ}27'$ , склонение полной Луны составляет  $-23^{\circ}27' \pm 5^{\circ}09'$ , и она будет восходить в точке, близкой к юго-востоку. Весной в день весеннего равноденствия (около 21 марта) и осенью в день осеннего равноденствия (около 23 сентября), когда склонение Солнца равно  $0^{\circ}$ , склонение полной Луны составляет  $\pm 5^{\circ}09'$ , и она будет восходить в точке, близкой к востоку.

### *Критерии оценивания*

Правильное указание стороны горизонта – 1 балл.

Правильное указание сектора горизонта – 1 балл.

Понимание положения полной Луны на эклиптике относительно Солнца – 2 балла.

Учет наклона лунной орбиты к эклиптике – 2 балла.

Правильное указание точек восхода в зависимости от времен года и причин этого – 2 балла.

*Примечание:* Ответ, что полная Луна восходит на востоке, без указаний условий, при которых это происходит, является неверным.

2. Разница между всемирным временем (временем гринвичского меридиана) и местным поясным временем (точнее «зональным», так как 31

августа 2011 года подписано постановление правительства Российской Федерации, согласно которому на территории России устанавливается девять часовых зон, а переход на «зимнее» время отменяется) составляет для Москвы +4 часа, а для Красноярска +8 часов. Соответственно, затмение произойдет, когда в Москве будет уже 21 мая с 02 ч. 10 мин. до 04 ч. 30 мин., а в Красноярске – 21 мая с 06 ч. 10 мин. до 08 ч. 30 мин. Как можно догадаться, в Москве в это время Солнце еще не взойдет, а вот красноярцы смогут увидеть это затмение в утренние часы. Отметим, что основная полоса затмения пройдет южнее, поэтому мы сможем увидеть только частное затмение с максимальной фазой (долей закрытого Луной солнечного диска) 0,3.

Таким образом, жители Москвы не смогут увидеть это солнечное затмение, поскольку в Москве в это время будет ночь, а из Красноярска можно будет увидеть частные фазы затмения.

#### *Критерии оценивания*

Правильное определение времени начала и конца затмения по московскому времени и вывод о невозможности его наблюдения в Москве – 4 балла.

Правильное определение времени начала и конца затмения по красноярскому времени и вывод, что в Красноярске его можно будет наблюдать в утренние часы, – 4 балла.

**3.** Зная период обращения кометы, по третьему закону Кеплера можно определить величину большой полуоси ее орбиты:  
$$a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{5,28^2} \approx 3,03 \text{ а.е.}$$

Теперь определим ее перигелийное  $q$  и афелийное  $Q$  расстояния от Солнца из следующих соотношений:  $q = a \cdot (1 - e)$  и  $Q = a \cdot (1 + e)$ .

$$q = 3,03 \cdot (1 - 0,668) = 1,006 \text{ а.е.},$$

$$Q = 3,03 \cdot (1 + 0,668) = 5,05 \text{ а.е.}$$

Как видно, в перигелии комета 2006 Т1 может тесно приближаться к орбите Земли ( $a \approx 1$  а.е.), а в афелии – сближаться с орбитой Юпитера ( $a \approx 5,2$  а.е.). Таким образом, орбита кометы расположена между орбитами Земли и Юпитера.

Пренебрегая эксцентриситетом земной орбиты, получаем, что в перигелии комета Леви 2006 Т1 может теоретически сблизиться с Землей до расстояния в 0,006 а.е., или ~900 тыс. км. (на самом деле это расстояние может быть чуть больше, поскольку точка перигелия в общем случае не обязана находиться точно на эклиптике).

#### *Критерии оценивания*

Общее понимание задачи, применение закона Кеплера для вычисления значения большой полуоси – 3 балла.

Расчет перигелийного и афелийного расстояний и вывод о том, что орбита кометы находится между орбитами Земли и Юпитера, – 4 балла.

Определение расстояния возможного сближения – 1 балл.

4. Нанесем несколько точек положения астероида на карту звездного неба (дана в Приложении 5) и проведем через них линию движения Эроса по небу. Как видим, за месяц астероид пройдет по созвездиям Большой Медведицы, Рыси, Малого Льва и Льва. Вычислим угловую длину этого пути. В первом приближении можно аккуратно измерить расстояние от начальной до конечной точек линейкой и перевести полученное значение в градусы, воспользовавшись масштабной сеткой карты. Гораздо более точный результат (без использования формул сферической астрономии) можно получить с помощью вычислений. Разница в прямых восхождениях астероида ( $\Delta\alpha$ ) составляет  $10\text{ч } 29\text{м } 27,1\text{с} - 09\text{ч } 18\text{м } 42,4\text{с} = 01\text{ч } 10\text{м } 44,7\text{с}$ , и ее следует перевести в градусную меру ( $1\text{ч} = 15^\circ$ ;  $1\text{м} = 15'$  и  $1\text{с} = 15''$ ), что дает  $15^\circ + 150'/60 + 670,5''/3600$  или  $\approx 17^\circ,7$ . Разница в склонении ( $\Delta\delta$ ) вычисляется

напрямую:  $42^{\circ} 24' 36'' - 26^{\circ} 23' 26'' = 16^{\circ} 01' 10''$  или  $\approx 16^{\circ}$ . Общее перемещение астероида за месяц определим по теореме Пифагора:

$$\Delta L = \sqrt{\Delta\alpha^2 + \Delta\delta^2} \approx 23^{\circ},9.$$

Поскольку для географической широты  $56^{\circ}$  (Красноярск) не заходящими за горизонт объектами можно считать светила со склонением  $\delta$ , большим, чем  $90^{\circ} - 56^{\circ} = 34^{\circ}$ , то из эфемериды видно, что теоретически Эрос будет оставаться незаходящим объектом в Красноярске почти до 21 декабря (если проинтерполировать таблицу и провести более точные вычисления, то получится между 19 и 20 декабря).

#### *Критерии оценивания*

Правильное определение созвездий, на фоне которых астероид будет перемещаться в течение месяца, – 2 балла.

Правильное определение углового перемещения астероида по небу за месяц – 2 балла.

Использование более точного способа для вычисления углового перемещения астероида – 2 балла.

Правильное определение периода, в течение которого астероид будет незаходящим для наблюдателя из Красноярска (используя условие для незаходящих светил) – 2 балла.

**5.** Изобразив орбиты планет и траекторию полета (см. Рис. 37), можно увидеть, что величина большой оси полуэллипса равна сумме расстояний от Земли до Солнца и от Солнца до Марса:  $2 \cdot a = 1 + 1,52 = 2,52$  а.е., откуда большая полуось  $a = 2,52/2 = 1,26$  а.е. Согласно третьему закону Кеплера период обращения объекта по эллиптической орбите составляет  $T = \sqrt[3]{a^3} = \sqrt[3]{1,26^3} \approx 1,414$  года. Но нам достаточно «долететь только в один конец», т.е. взять половину от этого значения. Получаем  $T = 0,707$  года, примерно  $0,707 \times 365,25 \approx 258$  суток, или около  $258/30,5 = 8,5$  месяцев.

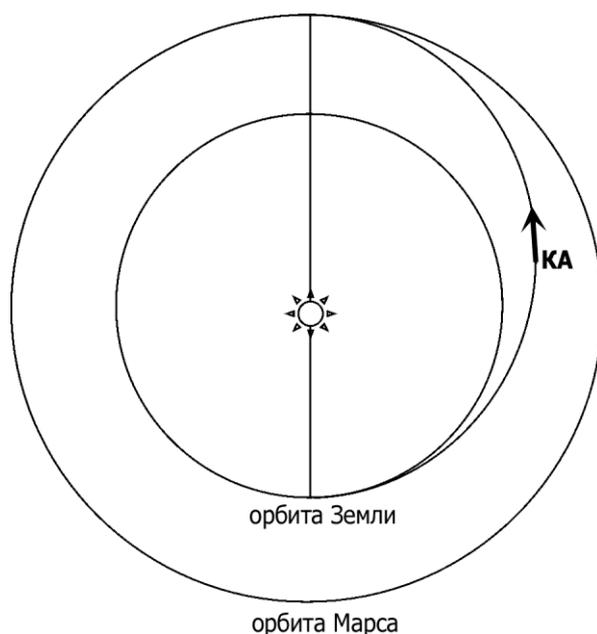


Рис. 37

*Критерии оценивания*

Правильное изображение гомановской траектории – 4 балла.

Правильное вычисление большой полуоси гомановской траектории – 2 балла.

Правильное вычисление длительности полета – 2 балла.

**6.** Полное время пересечения поля зрения телескопа звездой равно удвоенному времени, которое измерил школьник, и составляет 88 секунд. Если бы эта звезда находилась на небесном экваторе (там скорость движения звезд равна угловой скорости вращения Земли –  $15^\circ$  в 1 час;  $15'$  в 1 мин.;  $15''$  в 1 сек.), то поле зрения телескопа составило бы  $88\text{с} \times 15''/\text{с} = 1320''$  или  $22'$ . Но поскольку Вега удалена от небесного экватора к северу, ее суточное движение будет более медленным: за 1 секунду она сместится не на  $15''$ , а лишь на  $15'' \cdot \cos \delta$ , что дает  $11,693''/\text{с}$ . Итоговые вычисления дают:  $\Delta = 11,693''/\text{с} \cdot 88\text{с} \approx 1029'' \approx 17,15'$ .

Таким образом, поле зрения телескопа школьника составляет чуть более  $17'$  – это немногим более половины видимого диаметра лунного диска.

### *Критерии оценивания*

Правильное определение времени пересечения звездой поля зрения телескопа – 1 балл.

Определение величины поля зрения телескопа, зная угловую скорость вращения Земли, – 3 балла.

Правильное определение величины поля зрения телескопа с учетом положения Веги на небесной сфере относительно небесного экватора – 4 балла.

### **Решения заданий для 11 класса**

1. Сверхновыми называются звезды, внезапно увеличивающие свою светимость в десятки миллионов раз и в максимуме достигающие абсолютной звездной величины от  $-14$  до  $-21^m$ . Сверхновые звезды делятся на два типа. Сверхновые I типа, предшественниками которых являются белые карлики или массивные звезды в двойных системах, в среднем достигают абсолютной звездной величины  $-20^m$ . Сверхновые II типа имеют светимость в максимуме в среднем на  $2^m$  меньше, чем у I типа, т.е.  $-18^m$  и порождаются одиночными массивными звездами в конце их эволюции. Так как Бетельгейзе является одиночной звездой, находящейся в заключительной части своей спокойной термоядерной эволюции, о чем свидетельствует стадия красного сверхгиганта, то она может вспыхнуть как сверхновая звезда II типа и достигнуть в максимуме абсолютной звездной величины  $-18^m$ . Абсолютную звездную величину также можно вычислить как среднюю между возможными в диапазоне от  $-14^m$  до  $-21^m$ , т.е. равной  $-17,5^m \approx -18^m$ , что совпадает с предыдущей оценкой. Теперь из формулы, связывающей видимую  $m$ , абсолютную  $M$  звездные величины и расстояние до звезды  $R$ , выраженное в парсеках:  $M = m + 5 - 5 \lg R$ , выразим видимую звездную величину:  $m = M - 5 + 5 \lg R$ . Зная, что 1 парсек равен 3,26 свето-

вого года, вычислим расстояние до Бетельгейзе в парсеках:  $430 \text{ св.л.} / 3,26 \approx 132 \text{ пк}$ . Затем вычислим видимую звездную величину Бетельгейзе на Земле после вспышки:  $m_c = -18 - 5 + 5 \lg 132 = -12,4^m$ . Сравнивая с блеском других небесных тел: Солнцем ( $-26,8^m$ ), Луной ( $-12,7^m$ ), Венерой ( $-4,1^m$ ), видно, что сверхновая Бетельгейзе будет светить как полная Луна.

Определим, во сколько раз увеличится блеск Бетельгейзе после взрыва, зная видимую звездную величину Бетельгейзе  $m$  и видимую звездную

величину сверхновой  $m_c$ :  $\frac{I_c}{I} = 2,512^{(m-m_c)} = 2,512^{(0,5+12,4)} \approx 150\,000$  раз.

### *Критерии оценивания*

Верная оценка абсолютной звездной величины сверхновой звезды (в диапазоне от  $-14^m$  до  $-21^m$ ) – 2 балла.

Верная оценка абсолютной звездной величины сверхновой звезды, основанная на знании типов сверхновых звезд, – 1 балл.

Знание зависимости, связывающей видимую, абсолютную звездные величины и расстояние до звезды, правильное вычисление видимой звездной величины сверхновой звезды и соотнесение ее с видимой звездной величиной полной Луны – 3 балла.

Знание соотношения освещенностей двух светил от их видимых звездных величин (формула Погсона) и правильное вычисление, во сколько раз увеличится блеск Бетельгейзе после взрыва, – 2 балла.

2. Примем, что Уран в день зимнего солнцестояния будет находиться точно в точке весеннего равноденствия. Эта точка находится на небесном экваторе ( $\delta = 0^\circ$ ) и удалена от точки зимнего солнцестояния на  $90$  градусов ( $6$  часов) в направлении, противоположном суточному вращению небесной сферы. Поскольку верхняя кульминация Солнца происходит в местный полдень или в  $12$  часов по местному времени (эффекты уравнения времени не учитываем), Уран будет кульминировать спустя  $6$  часов, т.е. в

18 часов местного времени. С учетом порядка исчисления времени в России (31 августа 2011 года подписано постановление правительства Российской Федерации, согласно которому на территории России переход на «зимнее» время отменяется, т.е. теперь время в России в течение всего года смещено относительно поясного на 2 часа вперед), это будет около 20 часов по времени Красноярска (без учета разницы во времени между средним меридианом часового пояса Красноярска и Красноярском). А высота Урана в кульминации для жителей Красноярска составит  $h = 90^\circ - \varphi + \delta = 90^\circ - 56^\circ + 0^\circ = 34^\circ$ .

#### *Критерии оценивания*

Правильное определение момента кульминации Урана по местному времени (с указанием на это) – 2 балла.

Учет действия «летнего» времени – 2 балла.

Указание на сделанные допущения при расчете времени (уравнение времени, поясное время) или их учет – 2 балла.

Правильное определение высоты Урана в момент верхней кульминации – 2 балла.

3. Зная период обращения кометы, по третьему закону Кеплера можно определить величину большой полуоси ее орбиты:  
 $a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{5,28^2} \approx 3,03 \text{ а.е.}$

Теперь определим ее перигелийное  $q$  и афелийное  $Q$  расстояния от Солнца из следующих соотношений:  $q = a \cdot (1 - e)$  и  $Q = a \cdot (1 + e)$ .

$$q = 3,03 \cdot (1 - 0,668) = 1,006 \text{ а.е.},$$

$$Q = 3,03 \cdot (1 + 0,668) = 5,05 \text{ а.е.}$$

Как видно, в перигелии комета 2006 Т1 может тесно приближаться к орбите Земли ( $a \approx 1 \text{ а.е.}$ ), а в афелии – сближаться с орбитой Юпитера ( $a \approx$

5,2 а.е.). Таким образом, орбита кометы расположена между орбитами Земли и Юпитера.

Пренебрегая эксцентриситетом земной орбиты, получаем, что в перигелии комета Леви 2006 Т1 может теоретически сблизиться с Землей до расстояния в 0,006 а.е., или ~900 тыс. км. (на самом деле это расстояние может быть чуть больше, поскольку точка перигелия в общем случае не обязана находиться точно на эклиптике).

#### *Критерии оценивания*

Общее понимание задачи, применение закона Кеплера для вычисления значения большой полуоси – 3 балла.

Расчет перигелийного и афелийного расстояний и вывод о том, что орбита кометы находится между орбитами Земли и Юпитера, – 4 балла.

Определение расстояния возможного сближения – 1 балл.

4. Нанесем несколько точек положения астероида на карту звездного неба (дана в Приложении 5) и проведем через них линию движения Эроса по небу. Как видим, за месяц астероид пройдет по созвездиям Большой Медведицы, Рыси, Малого Льва и Льва. Вычислим угловую длину этого пути. В первом приближении можно аккуратно измерить расстояние от начальной до конечной точек линейкой и перевести полученное значение в градусы, воспользовавшись масштабной сеткой карты. Гораздо более точный результат (без использования формул сферической астрономии) можно получить с помощью вычислений. Разница в прямых восхождениях астероида ( $\Delta\alpha$ ) составляет 10ч 29м 27,1с–09ч 18м 42,4с = 01ч 10м 44,7с, и ее следует перевести в градусную меру (1ч = 15°; 1м = 15' и 1с = 15"), что дает  $15^\circ + 150'/60 + 670,5''/3600$  или  $\approx 17^\circ,7$ . Разница в склонении ( $\Delta\delta$ ) вычисляется напрямую:  $42^\circ 24' 36'' - 26^\circ 23' 26'' = 16^\circ 01' 10''$  или  $\approx 16^\circ$ . Общее перемещение астероида за месяц определим по теореме Пифагора:

$$\Delta L = \sqrt{\Delta\alpha^2 + \Delta\delta^2} \approx 23^\circ,9.$$

Поскольку для географической широты  $56^\circ$  (Красноярск) не заходящими за горизонт объектами можно считать светила со склонением  $\delta$ , большим чем,  $90^\circ - 56^\circ = 34^\circ$ , то из эфемериды видно, что теоретически Эрос будет оставаться незаходящим объектом в Красноярске почти до 21 декабря (если проинтерполировать таблицу и провести более точные вычисления, то получится между 19 и 20 декабря).

#### *Критерии оценивания*

Правильное определение созвездий, на фоне которых астероид будет перемещаться в течение месяца, – 2 балла.

Правильное определение углового перемещения астероида по небу за месяц – 2 балла.

Использование более точного способа для вычисления углового перемещения астероида – 2 балла.

Правильное определение периода, в течение которого астероид будет незаходящим для наблюдателя из Красноярска (используя условие для незаходящих светил) – 2 балла.

**5.** Изобразив орбиты планет и траекторию полета (см. Рис. 37), можно увидеть, что величина большой оси полуэллипса равна сумме расстояний от Земли до Солнца и от Солнца до Марса:  $2 \cdot a = 1 + 1,52 = 2,52$  а.е., откуда большая полуось  $a = 2,52/2 = 1,26$  а.е. Согласно третьему закону Кеплера период обращения объекта по эллиптической орбите составляет  $T = \sqrt[3]{a^3} = \sqrt[3]{1,26^3} \approx 1,414$  года. Но нам достаточно «долететь только в один конец», т.е. взять половину от этого значения. Получаем  $T = 0,707$  года, примерно  $0,707 \times 365,25 \approx 258$  суток, или около  $258/30,5 = 8,5$  месяцев.

#### *Критерии оценивания*

Правильное изображение гомановской траектории – 4 балла.

Правильное вычисление большой полуоси гомановской траектории – 2 балла.

Правильное вычисление длительности полета – 2 балла.

6. Полное время пересечения поля зрения телескопа звездой равно удвоенному времени, которое измерил школьник, и составляет 88 секунд. Если бы эта звезда находилась на небесном экваторе (там скорость движения звезд равна угловой скорости вращения Земли –  $15^\circ$  в 1 час;  $15'$  в 1 мин.;  $15''$  в 1 сек.), то поле зрения телескопа составило бы  $88\text{с} \times 15''/\text{с} = 1320''$  или  $22'$ . Но поскольку Вега удалена от небесного экватора к северу, ее суточное движение будет более медленным: за 1 секунду она сместится не на  $15''$ , а лишь на  $15'' \cdot \cos \delta$ , что дает  $11,693''/\text{с}$ . Итоговые вычисления дают:  $\Delta = 11,693''/\text{с} \cdot 88\text{с} \approx 1029'' \approx 17,15'$ .

Таким образом, поле зрения телескопа школьника составляет чуть более  $17'$  – это немногим более половины видимого диаметра лунного диска.

#### *Критерии оценивания*

Правильное определение времени пересечения звездой поля зрения телескопа – 1 балл.

Определение величины поля зрения телескопа, зная угловую скорость вращения Земли, – 3 балла.

Правильное определение величины поля зрения телескопа с учетом положения Веги на небесной сфере относительно небесного экватора – 4 балла.

### **2012–2013 учебный год**

#### **Решения заданий для 7–8 классов**

##### **1. Изображение Луны**

На Рис. 16 приведено перевернутое изображение полной Луны. Такую Луну можно наблюдать в Северном полушарии Земли в фазе полнолуния в обычный небольшой телескоп, который переворачивает изображения

(без диагонального зеркала/призмы или линзовой системы оборачивания изображения). Кроме того, такую полную Луну можно увидеть в Южном полушарии Земли невооруженным глазом или в бинокль (с прямым изображением), так как там Луна наблюдается «перевернутой». Основные детали, различимые на лунном диске Луны (см. Рис. 38): А – кратер Тихо, В – кратер

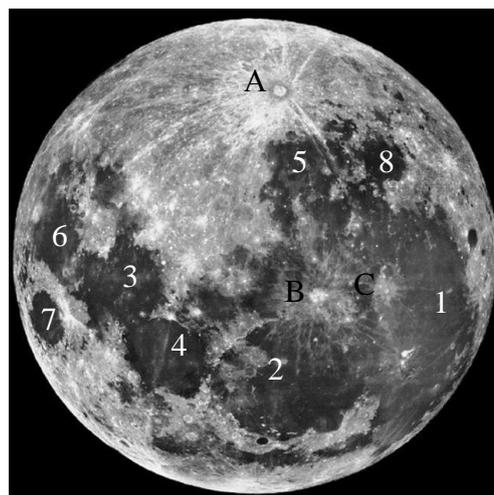


Рис. 38

Коперник, С – кратер Кеплер, 1 — Океан Бурь, 2 – Море Дождей, 3 – Море Спокойствия, 4 – Море Ясности, 5 – Море Облаков, 6 – Море Изобилия, 7 – Море Кризисов, 8 – Море Влажности.

#### *Критерии оценивания*

Указание на то, что изображение Луны перевернуто, – 1 балл.

Указание на полную фазу Луны – 1 балл.

Указание на то, что такой вид имеет Луна в Северном полушарии при наблюдении в телескоп, переворачивающий изображения, – 1 балл.

Указание на то, что такой вид имеет Луна в Южном полушарии при наблюдении невооруженным глазом или в бинокль (с прямым изображением) – 2 балла.

Указание наименования крупных и ярких кратеров (как минимум, одного, например, Тихо) – 1 балл.

Указание наименования лунных морей (не менее половины) – 2 балла (в случае указания на наличие лунных материков и морей без указания их конкретных названий – не более 1 балла).

## **2. Астрономия для ГИБДД**

На рисунке изображен молодой месяц, так как в Северном полушарии Земли действует правило – если лунный серп в небе похож на букву

«С», то это – «Старый» месяц, а если мысленно приставить к серпу палочку, и получится как бы буква «Р», то месяц «Растущий», в Южном полушарии – наоборот. Молодая (растущая) Луна на темном небе видна по вечерам, так что на рисунке показано вечернее время суток.

Однако художник допустил три типичные астрономические ошибки. Первая – концы серпа нарисованы неправильно. Луна имеет форму, близкую к шару, и у нее нет атмосферы, поэтому концы лунного серпа должны всегда начинаться и заканчиваться на линии, совпадающей с ее диаметром (представьте себе шар, освещаемый с разных углов). Как видно из увеличенного фрагмента рисунка (Рис. 39), на котором серп дорисован до полной окружности, концы серпа заходят далеко за линию лунного диаметра. Конечно, такое может быть при лунном затмении, но в этом случае тень от Земли должна иметь большие размеры.

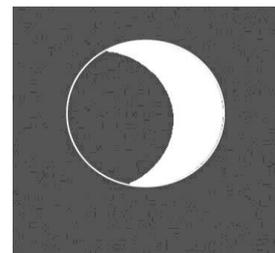


Рис. 39

Кроме того, лунный серп представляет собой фигуру, образованную наружной дугой в форме полуокружности и внутренней дугой в форме полуэллипса, большая ось которого соединяет концы рогов серпа точно по диаметру лунного диска (Рис. 40). На рисунке дорожной ситуации внутренняя дуга серпа тоже полуокружность – вторая ошибка.

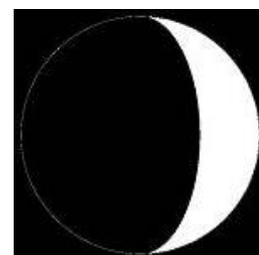


Рис. 40

Третья ошибка – серп Луны должен изображаться так, чтобы перпендикуляр к линии, соединяющей концы его «рогов», был направлен на Солнце (в проекции на небесную сферу – по дуге большого круга), так как освещение происходит от этого направления. На оригинальном рисунке расположение серпа изображено неверно, поскольку при таком положении Луны должен быть день (Солнце над горизонтом). «Правильная» Луна должна быть нарисована примерно так, как это показано на следующем рисунке (Рис. 41):



Рис. 41

### *Критерии оценивания*

Указание на растущую Луну – 1 балл.

Понимание, что такая Луна видна по вечерам, – 1 балл.

Вывод о том, что концы серпа нарисованы неправильно, – 2 балла.

Указание на несоответствие формы внутренней дуги серпа – 1 балл.

Утверждение о том, что линия, соединяющая концы «лунных рогов», перпендикулярна направлению на Солнце и правильный вывод о неверном наклоне серпа Луны на рисунке – 3 балла.

### **3. Белый карлик**

При равных массах отношение плотностей звезд ( $\rho = M/V$ ) обратно пропорционально отношению их объемов, т.е. плотность белого карлика в  $10^6$  раз больше плотности Солнца и составляет  $1400 \text{ кг/см}^3$ ! На нашей планете нет ничего, хотя бы отдаленно приближающегося к таким значениям!

### *Критерии оценивания*

Данная задача является «одноходовой», поэтому за правильное решение ставится 6 баллов. Еще два балла рекомендуется выставить при наличии пояснений решения и рассуждений о полученной плотности.

#### 4. Времена года

Смена времен года на планетах обусловлена, в основном, наклоном оси вращения планеты относительно орбитальной плоскости и годичным периодом обращения планеты вокруг Солнца.

Определить наклон оси вращения можно из графы Наклон экватора к плоскости орбиты Таблица 1 Приложения 4. Так как ось вращения перпендикулярна экватору, то ее наклон к плоскости орбиты определяется как  $90^\circ$  минус угол наклона экватора. Однако для решения задачи можно напрямую воспользоваться углом наклона экватора к плоскости орбиты, так как он соответствует углу отклонения оси от перпендикуляра к плоскости орбиты. Если величина этого угла значительна, то на планете будет происходить смена времен года. На Рис. 42 изображен наклон осей и направление вращения 9 планет (включая карликовую планету Плутон). Из рисунка видно, что смена времен года будет происходить на 5 планетах, кроме Земли: Марсе, Сатурне, Уране, Нептуне и Плуtone. У Меркурия и Юпитера ось почти перпендикулярна орбите, и смены времен года не происходит. У Венеры ось развернута почти на  $180^\circ$  (угол наклона более  $90^\circ$  означает обратное вращение планеты – по часовой стрелке, если смотреть с северного полюса эклиптики), но отклонение от вертикали составляет всего  $3^\circ$ , поэтому на ней смены времен года не будет. Аналогичная ситуация наблюдается у Плутона, однако у него ось отклонена от вертикали на  $180^\circ - 122,5^\circ = 57,5^\circ$ , поэтому на нем смена времен года происходит. Ситуация с Ураном несколько иная – при обратном вращении его ось практически лежит в плоскости орбиты, отклоняясь от нее всего на  $8^\circ$ . Это приводит к тому, что в моменты солнцестояния один из полюсов планеты оказывается направленным на Солнце, и на нем наступает «лето» одновременно с «полярным днем», на другом полюсе – «зима» и «полярная ночь». Через «полгода» (42 земных года) ситуация меняется на противоположную – «лето» и «полярный день» наступают в другом полушарии.

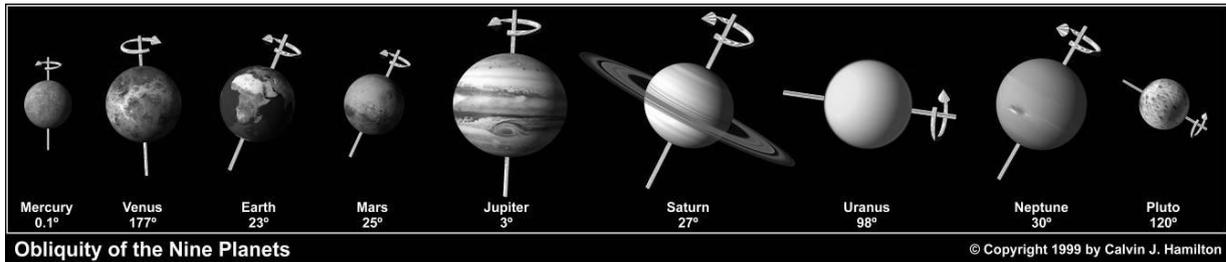


Рис. 42

*Примечания:* на смену времен года на планете может также влиять эллиптичность ее орбиты. Планеты с большим эксцентриситетом орбит испытывают существенное влияние этого фактора в процессе своего движения по орбите от перигелия к афелию, так как поток энергии от Солнца, падающий на планету, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния. Так, например, на Марсе, эксцентриситет орбиты которого равен 0,09, в северном полушарии лето долгое, но прохладное, а зима короткая и мягкая, тогда как в южном полушарии лето короткое, но теплое, а зима долгая и суровая. Однако в данной задаче знания этого факта от участников не требуется.

#### *Критерии оценивания*

Правильное объяснение причины смены времен года на планетах – 3 балла.

За каждую правильно указанную планету – по 1 баллу.

В случае, если участник не будет рассматривать Плутон, так как он с 2006 года не является большой планетой, с пояснением этого, то выставяется 1 балл.

#### **5. Загадочное созвездие**

На рисунке изображено созвездие Близнецов (латинское название – Gemini). Это можно определить по контуру созвездия или по названию ярких звезд, которые легко читаются и узнаваемы даже на латинском языке: Кастор –  $\alpha$  Близнецов и Поллукс –  $\beta$  Близнецов.

### *Критерии оценивания*

За правильный ответ с пояснением того, как участник определил созвездие, выставляется максимальный балл – 8 баллов.

За ответ без пояснения – не более 6 баллов.

## **6. Лунное затмение**

Во время лунного затмения Луна в фазе полнолуния оказывается с противоположной стороны от Солнца относительно Земли близко к узлу своей орбиты и погружается в земную тень (или полутень), значит, она будет находиться рядом с эклиптической в противоположной Солнцу точке небесной сферы.

Определим положение Солнца среди звезд, воспользовавшись картой звездного неба (Приложение 5). Сначала найдем дату 28 ноября по краю карты (между отметками 25 и 30), затем соединим ее с центром карты и на пересечении этого радиуса с эклиптической определим, в какой точке будет находиться Солнце – на границе созвездий Скорпиона и Змееносца. Луна будет находиться в диаметрально противоположной точке небесной сферы (у которой прямое восхождение отличается на 12 ч.) около эклиптики – это созвездие Тельца.

*Примечание:* 28 ноября 2012 года в 22ч. 30 мин. местного времени (середина затмения) произойдет полутеневое лунное затмение, когда Луна проходит сквозь земную полутень, при этом ее блеск ослабевает незначительно, и невооруженным глазом заметить это практически невозможно.

### *Критерии оценивания*

Понимание геометрии лунного затмения – 4 балла.

Определение положения Луны на небесной сфере относительно Солнца в момент затмения – 1 балл.

Правильное определение созвездия – 3 балла.

## Решения заданий для 9 класса

### 1. Изображение Луны

На Рис. 19 приведено перевернутое изображение полной Луны. Таковую Луну можно наблюдать в Северном полушарии Земли в фазе полнолуния в обычный небольшой телескоп, который переворачивает изображения (без диагонального зеркала/призмы или линзовой системы оборачивания изображения). Кроме того, такую полную Луну можно увидеть в Южном полушарии Земли невооруженным глазом или в бинокль (с прямым изображением), так как там Луна наблюдается «перевернутой». Основные детали, различимые на лунном диске Луны (см. Рис. 38): А – кратер Тихо, В – кратер Коперник, С – кратер Кеплер, 1 — Океан Бурь, 2 – Море дождей, 3 – Море Спокойствия, 4 – Море Ясности, 5 – Море Облаков, 6 – Море Изобилия, 7 – Море Кризисов, 8 – Море Влажности.

#### *Критерии оценивания*

Указание на то, что изображение Луны перевернуто, – 1 балл.

Указание на полную фазу Луны – 1 балл.

Указание на то, что такой вид имеет Луна в Северном полушарии при наблюдении в телескоп, переворачивающий изображения, – 1 балл.

Указание на то, что такой вид имеет Луна в Южном полушарии при наблюдении невооруженным глазом или в бинокль (с прямым изображением) – 2 балла.

Указание наименования крупных и ярких кратеров (как минимум, одного, например, Тихо) – 1 балл.

Указание наименования лунных морей (не менее половины) – 2 балла (в случае указания на наличие лунных материков и морей без указания их конкретных названий – не более 1 балла).

## 2. Астрономия для ГИБДД

На рисунке изображен молодой месяц, так как в Северном полушарии Земли действует правило – если лунный серп в небе похож на букву «С», то это – «Старый» месяц, а если мысленно приставить к серпу палочку, и получится как бы буква «Р», то месяц «Растущий», в Южном полушарии – наоборот. Молодая (растущая) Луна на темном небе видна по вечерам, так что на рисунке показано вечернее время суток.

Однако художник допустил три типичные астрономические ошибки. Первая – концы серпа нарисованы неправильно. Луна имеет форму, близкую к шару, и у нее нет атмосферы, поэтому концы лунного серпа должны всегда начинаться и заканчиваться на линии, совпадающей с ее диаметром (представьте себе шар, освещаемый с разных углов). Как видно из увеличенного фрагмента рисунка (см. Рис. 39), на котором серп дорисован до полной окружности, концы серпа заходят далеко за линию лунного диаметра. Конечно, такое может быть при лунном затмении, но в этом случае тень от Земли должна иметь большие размеры.

Кроме того, лунный серп представляет собой фигуру, образованную наружной дугой в форме полуокружности и внутренней дугой в форме полуэллипса, большая ось которого соединяет концы рогов серпа точно по диаметру лунного диска (см. Рис. 40). На рисунке дорожной ситуации внутренняя дуга серпа тоже полуокружность – вторая ошибка.

Третья ошибка – серп Луны должен изображаться так, чтобы перпендикуляр к линии, соединяющей концы его «рогов», был направлен на Солнце (в проекции на небесную сферу – по дуге большого круга), так как освещение происходит от этого направления. На оригинальном рисунке расположение серпа изображено неверно, поскольку при таком положении Луны должен быть день (Солнце над горизонтом).

«Правильная» Луна должна быть нарисована примерно так, как это показано на следующем рисунке (см. Рис. 41).

### *Критерии оценивания*

Указание на растущую Луну – 1 балл.

Понимание, что такая Луна видна по вечерам, – 1 балл.

Вывод о том, что концы серпа нарисованы неправильно, – 2 балла.

Указание на несоответствие формы внутренней дуги серпа – 1 балл.

Утверждение о том, что линия, соединяющая концы «лунных рогов», перпендикулярна направлению на Солнце и правильный вывод о неверном наклоне серпа Луны на рисунке – 3 балла.

### **3. Противостояние Юпитера**

Во время противостояния Юпитер должен быть виден в противоположной Солнцу части эклиптики и подниматься на максимальную высоту над горизонтом вблизи местной полуночи. По карте звездного неба (Приложение 5) определим, что в начале декабря Солнце находится на фоне созвездия Скорпиона, а противоположная область приходится на созвездие Тельца (см. решение задачи №6 параллели 7–8 классов), в котором и будет находиться Юпитер. Неподалеку от него будет виден Альдебаран ( $\alpha$  Тельца), который расположен заметно к югу от эклиптики, а значит – и к югу от Юпитера.

По карте можно определить, что склонение Юпитера  $\delta$  в это время будет около  $+20^\circ$ . Тогда его максимальная высота над нашим горизонтом составит:  $h = 90^\circ - 56^\circ + 20^\circ \approx 54^\circ$ .

### *Критерии оценивания*

Знание конфигурации планеты в противостоянии – 1 балл.

Знание условий наблюдения планет в противостоянии – 1 балл.

Правильное определение созвездия, в котором находится Юпитер, – 2 балла.

Определение яркой звезды поблизости от Юпитера – Альдебарана – и ее расположение относительно планеты – 2 балла.

Правильное определение высоты Юпитера в момент его верхней кульминации – 2 балла.

#### **4. Времена года**

Смена времен года на планетах обусловлена, в основном, наклоном оси вращения планеты относительно орбитальной плоскости и годичным периодом обращения планеты вокруг Солнца.

Определить наклон оси вращения можно из графы Наклон экватора к плоскости орбиты Таблица 1 Приложения 4. Так как ось вращения перпендикулярна экватору, то ее наклон к плоскости орбиты определяется как  $90^\circ$  минус угол наклона экватора. Однако для решения задачи можно напрямую воспользоваться углом наклона экватора к плоскости орбиты, так как он соответствует углу отклонения оси от перпендикуляра к плоскости орбиты. Если величина этого угла значительна, то на планете будет происходить смена времен года. На Рис. 42 изображен наклон осей и направление вращения 9 планет (включая карликовую планету Плутон). Из рисунка видно, что смена времен года будет происходить на 5 планетах, кроме Земли: Марсе, Сатурне, Уране, Нептуне и Плуtone. У Меркурия и Юпитера ось почти перпендикулярна орбите, и смены времен года не происходит. У Венеры ось развернута почти на  $180^\circ$  (угол наклона более  $90^\circ$  означает обратное вращение планеты – по часовой стрелке, если смотреть с северного полюса эклиптики), но отклонение от вертикали составляет всего  $3^\circ$ , поэтому на ней смены времен года не будет. Аналогичная ситуация наблюдается у Плутона, однако у него ось отклонена от вертикали на  $180^\circ - 122,5^\circ = 57,5^\circ$ , поэтому на нем смена времен года происходит. Ситуация с Ураном несколько иная – при обратном вращении его ось практически лежит в плоскости орбиты, отклоняясь от нее всего на  $8^\circ$ . Это приводит к тому, что в моменты солнцестояния один из полюсов планеты оказывается направленным на Солнце, и на нем наступает «лето» одновременно с «по-

лярным днем», на другом полюсе – «зима» и «полярная ночь». Через «полгода» (42 земных года) ситуация меняется на противоположную – «лето» и «полярный день» наступают в другом полушарии.

*Примечания:* на смену времен года на планете может также влиять эллиптичность ее орбиты. Планеты с большим эксцентриситетом орбит испытывают существенное влияние этого фактора в процессе своего движения по орбите от перигелия к афелию, так как поток энергии от Солнца, падающий на планету, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния. Так, например, на Марсе, эксцентриситет орбиты которого равен 0,09, в северном полушарии лето долгое, но прохладное, а зима короткая и мягкая, тогда как в южном полушарии лето короткое, но теплое, а зима долгая и суровая. Однако в данной задаче знания этого факта от участников не требуется.

#### *Критерии оценивания*

Правильное объяснение причины смены времен года на планетах – 3 балла.

За каждую правильно указанную планету – по 1 баллу.

В случае, если участник не будет рассматривать Плутон, так как он с 2006 года не является большой планетой, с пояснением этого, то выставляется 1 балл.

### **5. «Кьюриосити» на Марсе**

На тело на поверхности Земли действует сила тяжести

$F = m \cdot g = G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2}$ , откуда можно получить универсальную формулу для

вычисления ускорения свободного падения на любом космическом объекте

массой  $M$  и радиусом  $R$ :  $g = G \cdot \frac{M}{R^2}$ . В Таблице 1 Приложения 4 к заданиям

олимпиады приведены значения массы и размеров Марса в сравнении с Землей. Откуда сразу получаем:

$$g_M / g_3 = \frac{M_M}{M_3} \left( \frac{R_3}{R_M} \right)^2 = 0,10745 \cdot \left( \frac{1}{0,5326} \right)^2 \approx 0,379.$$

Тогда аппарат на Марсе будет «весить»  $0,379 \times 899 \approx 341$  кг.

### *Критерии оценивания*

Понимание ситуации и вывод/запись формулы для вычисления ускорения свободного падения – до 6 баллов.

Верное вычисление – 2 балла.

## **6. Солнечное затмение на Марсе**

Фобос имеет неправильную форму, причем, согласно условию задачи, его большая ось направлена к центру планеты, то есть он всегда обращен к Марсу одной стороной, имеющей размеры  $22 \times 18$  км. Приблизительно примем ее за диск диаметром  $d = 20$  км. Вычислим высоту орбиты Фобоса над поверхностью Марса, зная большую полуось орбиты спутника (средний радиус орбиты), и, взяв радиус планеты из Таблицы 1 Приложения 4, получим:  $h = 9400$  км. –  $3397$  км.  $\approx 6000$  км. Теперь определим угловой размер Фобоса:  $\rho = \frac{206265'' d}{h} \approx 688'' = 11,5'$  – вполне существенный угол,

легко различимый невооруженным глазом (разрешающая способность глаза  $1'-2'$ ). Сравнив его со средним угловым диаметром полной Луны, наблюдаемой с Земли ( $31'$ ), видим, что угловой размер Фобоса примерно в 2,7 раза меньше. Теперь определим, сможет ли он полностью закрыть Солнце, как это делает Луна во время полных солнечных затмений. Определим угловой размер диска Солнца, видимого с Марса. Так как Марс дальше Земли от Солнца в среднем в 1,5 раза (большая полуось его орбиты равна 1,52 а.е.), то и угловой размер Солнца будет в 1,5 раза меньше –  $32'/1,5 \approx 21'$ . Таким образом, Фобос полностью диск Солнца не закроет, а будет наблюдаться частное затмение или так называемый транзит – прохождение по диску Солнца.

### *Критерии оценивания*

Определение размеров стороны Фобоса, всегда обращенной к Марсу – 1 балл.

Вычисление высоты орбиты Фобоса над поверхностью Марса (понимание того, что большая полуось отсчитывается от центра планеты) – 2 балла.

Верное определение углового размера Фобоса – 2 балла.

Правильное определение соотношений угловых размеров Луны и Фобоса – 1 балл.

Определение углового размера Солнца, наблюдаемого с Марса, и вывод о том, что полного затмения произойти не может, – 2 балла.

## **Решения заданий для 10 класса**

### **1. Солнце с Сатурна**

По условию Сатурн в 10 раз дальше от Солнца, чем Земля. Значит, на единицу площади любого освещаемого объекта на таком расстоянии попадает в  $10^2 = 100$  раз меньше солнечной энергии (можно сказать, что Солнце оттуда видно в 100 раз более «слабым»). А по определению звездных величин, разнице в блеске в 100 раз соответствует разница в  $5^m$ . Таким образом, видимая звездная величина Солнца из окрестностей Сатурна равна примерно  $-26,7 + 5 = -21,7^m$ .

### *Критерии оценивания*

Вывод о 100-кратном ослаблении блеска – 3 балла.

Понимание, что различие в блеске в 100 раз соответствует разности в 5 звездных величин – 2 балла.

Правильный расчет (сложение, а не вычитание!) – 2 балла.

Пояснение хода решения – 1 балл.

*Примечание:* возможные рассуждения о том, что спутники обращаются вокруг планеты и бывают то ближе, то дальше от Солнца, могут быть учтены, но при разборе заданий нужно пояснить, что по сравнению с расстоянием от Солнца до Сатурна такие изменения незначительны.

## 2. Затмение после покрытия

По карте звездного неба (Приложение 5) определим, что Спика находится немного к югу (примерно в 2 градусах) от эклиптики. Угловой диаметр Луны составляет примерно  $0^{\circ},5$ . Чтобы покрытие состоялось, нужно, чтобы центр лунного диска находился от звезды на расстоянии не большем, чем угловой радиус Луны. Таким образом, центр лунного диска во время покрытия будет расположен на расстоянии не менее  $2^{\circ} - 0^{\circ},25 = 1^{\circ},75$  от эклиптики.

Поскольку угловой диаметр Солнца примерно равен угловому диаметру Луны и составляют примерно по 0,5 градуса, то для наступления солнечного затмения центр лунного диска должен находиться не более чем в 0,5 градусах от эклиптики ( $R_c + R_l = 0^{\circ},25 + 0^{\circ},25 = 0^{\circ},5$ ). Период обращения Луны составляет около месяца, а угол наклона лунной орбиты к плоскости эклиптики примерно равен  $5^{\circ}$ , так что всего за сутки ее удаление от эклиптики не может уменьшиться до  $0^{\circ},5$ . Отсюда следует, что солнечного затмения произойти не может.

При Лунном затмении наш естественный спутник попадает в тень от Земли, диаметр которой на расстоянии Луны превышает диаметр Луны более чем в 2,5 раза, а диаметр полутени еще примерно в 2 раза больше. Кроме того, можно вспомнить, что лунное затмение может длиться более 3,5 часов, а максимальная продолжительность полной фазы лунного затмения составляет 108 минут (1,8 часа). Тогда длительность прохождения центра лунного диска сквозь тень Земли составит  $(3,5 \text{ ч.} + 1,8 \text{ ч.}) / 2 = 2,65 \text{ ч.}$  Так как за 1 час Луна перемещается по небесной сфере на угол, равный  $13^{\circ}$  в

сут. / 24 ч.  $\approx 0^\circ,54$ , то угловой радиус тени Земли составляет примерно  $(2,65 \text{ ч.} * 0^\circ,54) / 2 \approx 0^\circ,7$ . Поэтому для наступления частного теневого лунного затмения центр лунного диска должен находиться не более чем в  $R_{\text{ТЗ}} + R_{\text{Л}} = 0^\circ,7 + 0^\circ,25 \approx 1^\circ$  от эклиптики. Для полутеневого затмения эта величина будет примерно в два раза больше  $\approx 2^\circ$ . Так что, по крайней мере, полутеневое затмение Луны произойти может.

### *Критерии оценивания*

Данная задача направлена на понимание ситуации и носит оценочный характер. По прилагаемой мелкомасштабной карте трудно определить точную величину отклонения Спика к югу от эклиптики, поэтому оценивается правильность рассуждений.

Знание угловых размеров Солнца и Луны – 1 балл.

Определение условия наступления солнечного затмения – 1 балл.

Вывод о невозможности солнечного затмения – 2 балла.

Оценка углового радиуса тени Земли на расстоянии Луны и определение условия наступления лунного затмения – 2 балла.

Вывод о возможности лунного затмения – 2 балла.

### **3. Марс в квадратуре**

Квадратурой называется такое положение верхней планеты относительно Земли, когда угол планета-Земля-Солнце равен  $90^\circ$ . На Рис. 43 показана эта конфигурация Марса с обозначением расстояний между Солнцем и планетами, взятых из Таблицы 2 Приложения 4. По теореме Пифагора найдем расстояние  $r$  между Землей и Марсом в этот момент:

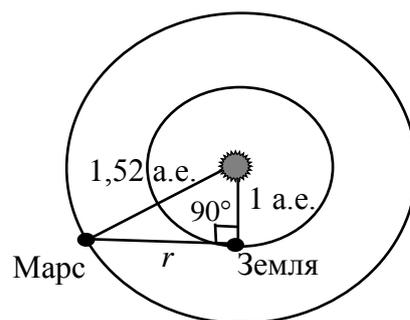


Рис. 43

$$r = \sqrt{1,52^2 - 1^2} = 1,14 \text{ a.u.}$$

### *Критерии оценивания*

Знание конфигурации – 2 балла.

Правильное изображение конфигурации – 4 балла.

Верное определение расстояния – 2 балла.

## **4. Мир. Ленин. СССР**

Подобно лучу от карманного фонарика (чем дальше освещаемое препятствие, тем больше световое пятно) «радиолучи» тоже испытывают рассеяние, так что от Венеры отразилась только часть радиопотока. А оставшая часть послания ушла мимо планеты и сейчас движется в межзвездном пространстве в сторону далеких звезд созвездия Весов, в котором в то время была видна Венера.

Несущий послание электромагнитный сигнал, движущийся со скоростью света  $c = 300000$  км/с, отразившись от Венеры, успел пройти путь туда и обратно. Следовательно, расстояние до планеты в первую дату было:

$$D_{19} = \frac{300000 \text{ км/с} \times 272,7 \text{ с}}{2} = 40,905 \text{ млн. км.}, \text{ а во вторую:}$$

$$D_{24} = \frac{300000 \text{ км/с} \times 284,7 \text{ с}}{2} = 42,705 \text{ млн. км.}$$

Из прилагаемых к олимпиаде таблиц (Таблица 2 Приложения 4) большая полуось орбиты Венеры (ее среднее расстояние от Солнца) равна 0,723 а.е., или 108,2 млн.км, в то время как для Земли это значение равно 1 а.е. (149,6 млн.км.). Отсюда можно получить, что в нижнем соединении (когда планета находится между Землей и Солнцем) Венеру отделяет от Земли около  $149,6 - 108,2 = 41,4$  млн.км, что очень близко к полученным выше значениям. То, что в первую дату расстояние оказалось чуть меньше «теоретически минимального», лишний раз свидетельствует о том, что в реальности планеты обращаются не по окружностям, а по эллипсам. Как видим, первая дата близка к соединению, а в пять последующих дней планета удалялась от Земли. При взгляде на солнечную систему «сверху» (с

северного полюса эклиптики) орбитальное движение планет происходит против часовой стрелки. Принимая во внимание, что Венера движется по орбите быстрее Земли, чертеж должен выглядеть примерно так, как показано на Рис. 44.

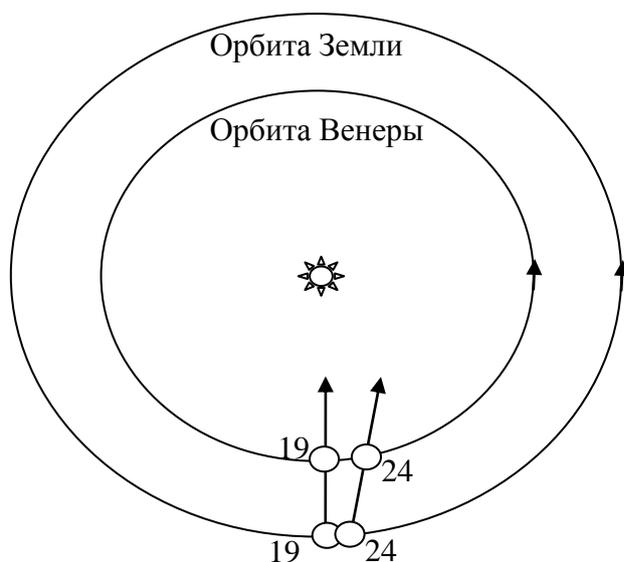


Рис. 44

В первую дату Венера была близка к нижнему соединению, и увидеть ее с Земли было сложно,

так как она находилась рядом с Солнцем, а спустя 5 дней, во вторую дату Венера с Земли наблюдалась правее Солнца. А это значит, что в суточном движении неба с востока до запада (слева–направо) она заходила раньше Солнца и, соответственно, также раньше Солнца появлялась над горизонтом утром. Так что Венера во вторую дату могла наблюдаться утром.

#### *Критерии оценивания*

Понимание, что от Венеры отразилась только часть радиоволн, а остальные ушли в далекий космос, – 1 балл.

Правильные расчеты расстояний от Земли до Венеры – по 1 баллу за каждую дату (2 балла).

Вывод о том, что в первую дату Венера была вблизи нижнего соединения, – 1 балл.

Правильный чертеж – 2 балла.

Вывод об утренней видимости планеты во вторую дату – 1 балл.

Наличие пояснений к вычислениям – 1 балл.

### **5. Солнце летом и зимой**

Склонение Солнца в день летнего солнцестояния (21 июня)  $\delta = +23,5^\circ$ . Высота светил в верхней кульминации определяется по формуле:

$h = 90^\circ - \varphi + \delta$ . Откуда, зная высоту Солнца в местный полдень (т.е. в момент его верхней кульминации), можно определить широту населенного пункта  $\varphi = 90^\circ - h + \delta = 90^\circ - 50^\circ + 23,5^\circ = 63,5^\circ$ . Это близко к северному полярному кругу, так что населенный пункт находится значительно севернее Красноярска ( $\varphi = 56^\circ$ ). В день зимнего солнцестояния (21 декабря) склонение Солнца  $\delta = -23,5^\circ$ , а его полуденная высота над горизонтом нашего пункта составит всего лишь:  $h = 90^\circ - 63,5^\circ - 23,5^\circ = 3^\circ$ !

#### *Критерии оценивания*

Знание склонения Солнца в дни солнцестояний: 1+1=2 балла.

Запись формулы для определения высоты светил в кульминации – 2 балла.

Вычисление географической широты пункта и вывод о том, что он находится на севере края: 1+1=2 балла.

Правильное вычисление зимней высоты Солнца – 1 балл.

Наличие пояснений к вычислениям – 1 балл.

#### **6. Календарь майя**

Календарный год по календарю майя (тун) длился 20 кин \* 18 уинал = 360 дней (кин), т.е. был короче «нашего» на 5 (6 – в високосный год) дней. Исходя из условия задачи, эпоха по календарю майя (1 пиктун) длится 20 тун \* 20 катун \* 20 бактун = 8000 тун, или 8000 \* 360 = 2 880 000 суток.

С начала января 3114 года до н.э., в котором началась эпоха по календарю майя, до конца декабря 2012 года пройдет 3114+2012=5126 лет по нашему летоисчислению (нулевого года в григорианском календаре не было). Так как в принятом на сегодняшний день григорианском календаре год содержит 365,2425 суток, а интервал времени достаточно длительный, то он соответствует 5126 лет \* 365,2425  $\approx$  1 872 233 суткам. Количество суток, прошедших за 5126 лет, можно посчитать и другим способом. В григориан-

ском календаре в 400 годах содержится 97 високосных лет (год является високосным, если он кратен 4, однако в григорианском календаре из этого правила есть исключения – годы столетий, оканчивающиеся на два нуля, хотя и кратны 4, но не являются високосными, если они не делятся на 400 без остатка). Таким образом, с начала эпохи майя было  $5126 \cdot 97 / 400 \approx 1243$  високосных лет, длительность которых на 1 сутки больше обычного года. Поэтому за этот период прошло  $5126 \text{ л.} \cdot 365 \text{ д.} = 1870990 \text{ д.} + 1243 \text{ д.} = 1\,872\,233$  дней.

С 1 января до 12 августа 3114 года до н.э. прошло 223 дня (3114 год до н.э. не был високосным), а с 21 декабря по 31 декабря 2012 года – 10 дней, поэтому с 12 августа 3114 года до н.э. до 21 декабря 2012 года пройдет  $1\,872\,233 \text{ д.} - 223 \text{ д.} - 10 \text{ д.} = 1\,872\,000$  дней. В летоисчислении майя это составит  $1872000 / 360 = 5200$  тун, или  $5200 / 20 = 260$  катун, или  $260 / 20 = 13$  бактун ровно. Таким образом, запись даты 21 декабря 2012 года по календарю майя будет выглядеть следующим образом: 13.0.0.0.0, а до конца эпохи по календарю майя останется еще  $2\,880\,000 \text{ д.} - 1\,872\,000 \text{ д.} = 1\,008\,000$  дней, или  $1\,008\,000 \text{ дней} / 360 \text{ кин} = 2800$  тун! То есть 21 декабря 2012 года просто начнется новый, 13-й бактун по календарю майя.

#### *Критерии оценивания*

Вычисление длительности года по календарю мая (понимание того, что их календарный год был короче нашего) – 1 балл.

Вычисление длительности 1 пиктуна в годах (тунах) и (или) сутках – 1 балл.

Знание длительности года в григорианском календаре и (или) порядок счета високосных лет в григорианском календаре – 2 балла.

Вычисление количества прошедших бактун и верная запись даты по календарю майя – 2 балла.

Вывод о том, что полный цикл календаря майя еще не завершился, – 2 балла.

*Примечание:* возможно оценочное, примерное решение этой задачи, и в случае, если участник правильно запишет дату и сделает правильные выводы при логически обоснованном ходе решения, то также допускается выставление максимального балла.

## Решения заданий для 11 класса

### 1. Покрытие Венеры Луной

Разница в 4 звездных величины соответствует физической разнице в блеске как  $2,512^4 = 2,512 \times 2,512 \times 2,512 \times 2,512 \approx$  в 40 раз.

*Примечание:* Луна во время покрытия Венеры была в фазе последней четверти ( $\Phi=0,15$ ), поэтому ее блеск ( $-8^m$ ) был значительно меньше, чем общеизвестное значение ее звездной величины в полнолуние ( $-12,7^m$ ).

#### *Критерии оценивания*

Знание соотношения, связывающего блеск светил с их звездными величинами (формула Погсона), – 6 баллов.

Правильное вычисление различия в блеске – 2 балла.

### 2. Затмение после покрытия

По карте звездного неба (Приложение 5) определим, что Спика находится немного к югу (примерно в 2 градусах) от эклиптики. Угловой диаметр Луны составляет примерно  $0^\circ,5$ . Чтобы покрытие состоялось, нужно, чтобы центр лунного диска находился от звезды на расстоянии не большем, чем угловой радиус Луны. Таким образом, центр лунного диска во время покрытия будет расположен на расстоянии не менее  $2^\circ - 0^\circ,25 = 1^\circ,75$  от эклиптики.

Поскольку угловой диаметр Солнца примерно равен угловому диаметру Луны и составляет примерно по  $0,5$  градуса, то для наступления солнечного затмения центр лунного диска должен находиться не более чем в  $0,5$  градусах от эклиптики ( $R_c + R_d = 0^\circ,25 + 0^\circ,25 = 0^\circ,5$ ). Период обращения

Луны составляет около месяца, а угол наклона лунной орбиты к плоскости эклиптики примерно равен  $5^\circ$ , так что всего за сутки ее удаление от эклиптики не может уменьшиться до  $0^\circ,5$ . Отсюда следует, что солнечного затмения произойти не может.

При Лунном затмении наш естественный спутник попадает в тень от Земли, диаметр которой на расстоянии Луны превышает диаметр Луны более чем в 2,5 раза, а диаметр полутени еще примерно в 2 раза больше. Кроме того, можно вспомнить, что лунное затмение может длиться более 3,5 часов, а максимальная продолжительность полной фазы лунного затмения составляет 108 минут (1,8 часа). Тогда длительность прохождения центра лунного диска сквозь тень Земли составит  $(3,5 \text{ ч.} + 1,8 \text{ ч.}) / 2 = 2,65 \text{ ч.}$  Так как за 1 час Луна перемещается по небесной сфере на угол, равный  $13^\circ$  в сут. / 24 ч.  $\approx 0^\circ,54$ , то угловой радиус тени Земли составляет примерно  $(2,65 \text{ ч.} * 0^\circ,54) / 2 \approx 0^\circ,7$ . Поэтому для наступления частного теневого лунного затмения центр лунного диска должен находиться не более чем в  $R_{\text{ТЗ}} + R_{\text{Л}} = 0^\circ,7 + 0^\circ,25 \approx 1^\circ$  от эклиптики. Для полутеневого затмения эта величина будет примерно в два раза больше  $\approx 2^\circ$ . Так что, по крайней мере, полутеневое затмение Луны произойти может.

#### *Критерии оценивания*

Данная задача направлена на понимание ситуации и носит оценочный характер. По прилагаемой мелкомасштабной карте трудно определить точную величину отклонения Спики к югу от эклиптики, поэтому оценивается правильность рассуждений.

Знание угловых размеров Солнца и Луны – 1 балл.

Определение условия наступления солнечного затмения – 1 балл.

Вывод о невозможности солнечного затмения – 2 балла.

Оценка углового радиуса тени Земли на расстоянии Луны и определение условия наступления лунного затмения – 2 балла.

Вывод о возможности лунного затмения – 2 балла.

### 3. Суперземля

Энергии, получаемые суперземлей и Землей, прямо пропорциональны светимости их центральных звезд и обратно пропорциональны квадратам расстояний от них. Примем за  $L_C$  – светимость Солнца,  $L_G$  – светимость Глизе 667С,  $R_3$  – среднее расстояние от Солнца до Земли,  $R_G$  – среднее расстояние от Глизе 667С до суперземли. Часть энергии отражается, часть поглощается и идет на нагрев поверхности планет. Если отражательная способность этих небесных тел одинакова, то процент энергии, идущей на нагрев этих тел, будет одинаков.

Оценим среднюю температуру поверхности суперземли в приближении абсолютно черного тела, т.е. когда количество поглощаемой энергии равно количеству излучаемой энергии нагретым телом. Согласно закону Стефана-Больцмана энергия, излучаемая единицей поверхности в единицу времени, пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры тела. Таким образом, для энергии, поглощаемой Землей, можем записать

$E_3 \sim \frac{L_C}{R_3^2} \sim T_3^4$ , а суперземлей –  $E_G \sim \frac{L_G}{R_G^2} \sim T_G^4$ . Взяв отношение, получим:

$$\frac{E_G}{E_3} = \frac{L_G}{R_G^2} / \frac{L_C}{R_3^2} = \frac{T_G^4}{T_3^4}, \text{ отсюда:}$$

$$\begin{aligned} T_G &= T_3 \cdot \sqrt[4]{\frac{L_G}{L_C} \cdot \frac{R_3^2}{R_G^2}} = (273^\circ K + 16^\circ C) \cdot \sqrt[4]{0,0137 \cdot \frac{1^2 \text{ a.e.}}{0,125^2 \text{ a.e.}}} \approx 280^\circ = \\ &= (280^\circ K - 273^\circ K) = 7^\circ C \end{aligned}$$

Таким образом, несмотря на то что суперземля Глизе 667С находится близко к центральной звезде, температурные условия на планете сравнимы с земными благодаря низкой светимости звезды. Можно отметить, что средняя температура на поверхности суперземли выше  $0^\circ\text{C}$ , и вода на ней может находиться в жидком состоянии, а значит на ней возможна жизнь!

*Примечание:* вероятнее всего, суперземля всегда обращена к своей звезде одной стороной из-за приливных воздействий, вызванных малым расстоянием. Поэтому на одной стороне всегда будет ночь и температура значительно ниже средней, на другой стороне – день и температура существенно выше средней. Оптимальные условия будут на границе полушарий – там, где «утро» или «вечер».

#### *Критерии оценивания*

Понимание, что энергии, получаемые планетами, прямо пропорциональны светимости их центральных звезд и обратно пропорциональны квадратам расстояний от них – 2 балла.

Вывод об одинаковой доли энергии, идущей на нагрев планет, – 1 балл.

Применение закона Стефана-Больцмана – 3 балла.

Верные расчеты средней температуры на поверхности суперземли – 1 балл.

Выводы об условиях на планете – 1 балл.

#### **4. Мир. Ленин. СССР**

Подобно лучу от карманного фонарика (чем дальше освещаемое препятствие, тем больше световое пятно) «радиолучи» тоже испытывают рассеяние, так что от Венеры отразилась только часть радиопотока. А оставшаяся часть послания ушла мимо планеты и сейчас движется в межзвездном пространстве в сторону далеких звезд созвездия Весов, в котором в то время была видна Венера.

Несущий послание электромагнитный сигнал, движущийся со скоростью света  $c = 300000$  км/с, отразившись от Венеры, успел пройти путь туда и обратно. Следовательно, расстояние до планеты в первую дату было:

$$D_{19} = \frac{300000 \text{ км/с} \times 272,7 \text{ с}}{2} = 40,905 \text{ млн. км.}, \text{ а во вторую:}$$

$$D_{24} = \frac{300000 \text{ км/с} \times 284,7 \text{ с}}{2} = 42,705 \text{ млн. км.}$$

Из прилагаемых к олимпиаде таблиц (Таблица 2 Приложения 4) большая полуось орбиты Венеры (ее среднее расстояние от Солнца) равна 0,723 а.е., или 108,2 млн.км, в то время как для Земли это значение равно 1 а.е. (149,6 млн.км.). Отсюда можно получить, что в нижнем соединении (когда планета находится между Землей и Солнцем) Венеру отделяет от Земли около  $149,6 - 108,2 = 41,4$  млн.км, что очень близко к полученным выше значениям. То, что в первую дату расстояние оказалось чуть меньше «теоретически минимального», лишний раз свидетельствует о том, что в реальности планеты обращаются не по окружностям, а по эллипсам. Как видим, первая дата близка к соединению, а в пять последующих дней планета удалялась от Земли. При взгляде на солнечную систему «сверху» (с северного полюса эклиптики) орбитальное движение планет происходит против часовой стрелки. Принимая во внимание, что Венера движется по орбите быстрее Земли, чертеж должен выглядеть примерно так, как показано на Рис. 44.

В первую дату Венера была близка к нижнему соединению, и увидеть ее с Земли было сложно, так как она находилась рядом с Солнцем, а спустя 5 дней, во вторую дату Венера с Земли наблюдалась правее Солнца. А это значит, что в суточном движении неба с востока до запада (слева–направо) она заходила раньше Солнца и, соответственно, также раньше Солнца появлялась над горизонтом утром. Так что Венера во вторую дату могла наблюдаться утром.

#### *Критерии оценивания*

Понимание, что от Венеры отразилась только часть радиоволн, а остальные ушли в далекий космос, – 1 балл.

Правильные расчеты расстояний от Земли до Венеры – по 1 баллу за каждую дату (2 балла).

Вывод о том, что в первую дату Венера была вблизи нижнего соединения, – 1 балл.

Правильный чертеж – 2 балла.

Вывод об утренней видимости планеты во вторую дату – 1 балл.

Наличие пояснений к вычислениям – 1 балл.

## 5. Солнце в зените

Для решения задачи воспользуемся формулой для определения высоты светил в верхней кульминации:  $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ . Откуда получим формулу для широты, на которой Солнце кульминирует в зените ( $h = 90^\circ$ ):  $\varphi = 90^\circ - h + \delta = 90^\circ - 90^\circ + \delta = \delta$ . Так как склонение Солнца в течение года изменяется от  $+23,5^\circ$  до  $-23,5^\circ$ , то зона на Земле, где Солнце можно увидеть в зените, простирается от  $23,5^\circ$  северной широты (Северный тропик) до  $23,5^\circ$  южной широты (Южный тропик). На каждой из указанных широт Солнце в местный полдень кульминирует точно в зените в день, когда его склонение равно широте места наблюдения, в другие дни – либо к югу от зенита, либо – к северу. Например, 21 июня в день летнего солнцестояния, когда склонение Солнца равно  $+23,5^\circ$ , оно находится в зените над Северным тропиком, т.е. на широте  $23,5^\circ$  с.ш., а 21 декабря в день зимнего солнцестояния, когда склонение Солнца равно  $-23,5^\circ$  – над Южным тропиком ( $\varphi = 23,5^\circ$  ю.ш.). В дни равноденствий ( $\delta = 0$ ) – над экватором.

### *Критерии оценивания*

Запись формулы для определения высоты светил в кульминации – 2 балла.

Вывод формулы для широты места наблюдения, на которой Солнце кульминирует в зените, – 2 балла.

Указание диапазона широт, на которых Солнце может наблюдаться в зените (в северном полушарии и в южном) – 2 балла (по 1 баллу за правильное указание широт в каждом полушарии).

Вывод о моментах нахождения Солнца в зените для каждой широты определенного диапазона – 1 балл.

Знание склонения Солнца в дни солнцестояний и равноденствий – 1 балл.

## **6. Календарь майя**

Календарный год по календарю майя (тун) длился  $20 \text{ кин} * 18 \text{ уинал} = 360$  дней (кин), т.е. был короче «нашего» на 5 (6 – в високосный год) дней. Исходя из условия задачи, эпоха по календарю майя (1 пиктун) длится  $20 \text{ тун} * 20 \text{ катун} * 20 \text{ бактун} = 8000$  тун, или  $8000 * 360 = 2\,880\,000$  суток.

С начала января 3114 года до н.э., в котором началась эпоха по календарю майя, до конца декабря 2012 года пройдет  $3114+2012=5126$  лет по нашему летоисчислению (нулевого года в григорианском календаре не было). Так как в принятом на сегодняшний день григорианском календаре год содержит 365,2425 суток, а интервал времени достаточно длительный, то он соответствует  $5126 \text{ лет} * 365,2425 \approx 1\,872\,233$  суткам. Количество суток, прошедших за 5126 лет, можно посчитать и другим способом. В григорианском календаре в 400 годах содержится 97 високосных лет (год является високосным, если он кратен 4, однако в григорианском календаре из этого правила есть исключения – годы столетий, оканчивающиеся на два нуля, хотя и кратны 4, но не являются високосными, если они не делятся на 400 без остатка). Таким образом, с начала эпохи майя было  $5126 * 97 / 400 \approx 1243$  високосных лет, длительность которых на 1 сутки больше обычного года. Поэтому за этот период прошло  $5126 \text{ л.} * 365 \text{ д.} = 1\,870\,990 \text{ д.} + 1243 \text{ д.} = 1\,872\,233$  дней.

С 1 января до 12 августа 3114 года до н.э. прошло 223 дня (3114 год до н.э. не был високосным), а с 21 декабря по 31 декабря 2012 года – 10 дней, поэтому с 12 августа 3114 года до н.э. до 21 декабря 2012 года прой-

дет  $1\,872\,233 \text{ д.} - 223 \text{ д.} - 10 \text{ д.} = 1\,872\,000$  дней. В летоисчислении майя это составит  $1872000/360 = 5200$  тун, или  $5200/20 = 260$  катун, или  $260/20 = 13$  бактун ровно. Таким образом, запись даты 21 декабря 2012 года по календарю майя будет выглядеть следующим образом: 13.0.0.0.0, а до конца эпохи по календарю майя останется еще  $2\,880\,000 \text{ д.} - 1\,872\,000 \text{ д.} = 1\,008\,000$  дней, или  $1\,008\,000 \text{ дней} / 360 \text{ кин} = 2800$  тун! То есть 21 декабря 2012 года просто начнется новый, 13-й бактун по календарю майя.

#### *Критерии оценивания*

Вычисление длительности года по календарю мая (понимание того, что их календарный год был короче нашего) – 1 балл.

Вычисление длительности 1 пиктуна в годах (тунах) и (или) сутках – 1 балл.

Знание длительности года в григорианском календаре и (или) порядок счета високосных лет в григорианском календаре – 2 балла;

Вычисление количества прошедших бактун и верная запись даты по календарю майя – 2 балла.

Вывод о том, что полный цикл календаря майя еще не завершился, – 2 балла.

*Примечание:* возможно оценочное, примерное решение этой задачи, и в случае, если участник правильно запишет дату и сделает правильные выводы при логически обоснованном ходе решения, то также допускается выставление максимального балла.

### **2013–2014 учебный год**

#### **Решения заданий для 7–8 классов**

##### **1. Два явления**

На Рис. 23 а изображена схема солнечного затмения, а на Рис. 23 б – схема лунного затмения.

### *Критерии оценивания*

Правильное определение схемы, иллюстрирующей солнечное затмение, – 4 балла.

Правильное определение схемы, иллюстрирующей лунное затмение, – 4 балла.

## **2. Солнце и Луна**

На максимальную высоту над горизонтом Солнце в Красноярске (широта  $\varphi = 56^\circ$ ) поднимается в местный полдень летом в день летнего солнцестояния (около 22 июня), когда склонение Солнца равно  $\delta = 23,5^\circ$ . При этом высота Солнца равна  $h = \delta + (90^\circ - \varphi) = 23,5^\circ + (90^\circ - 56^\circ) = 57,5^\circ$ . Полная Луна, которая находится вблизи точки небесной сферы, противоположной Солнцу, выше всего поднимается в местную полночь зимой (около 22 декабря – дня зимнего солнцестояния, когда склонение Солнца  $\delta = -23,5^\circ$ ). Из Приложения 4 можно определить, что наклон плоскости орбиты Луны к плоскости эклиптики составляет  $i \approx 5^\circ$ . Поэтому, если в день зимнего солнцестояния будет полнолуние и при этом Луна будет находиться севернее эклиптики на этот угол, то ее высота над горизонтом в Красноярске составит  $h = 23,5^\circ + 5^\circ + (90^\circ - 56^\circ) = 62,5^\circ$ . Таким образом, выше всего над горизонтом в Красноярске может подниматься Луна зимой.

*Примечание:* для данной возрастной параллели, участникам достаточно качественно пояснить свой ответ.

### *Критерии оценивания*

Указание, что выше всего над горизонтом может подниматься полная Луна – 2 балла.

Верно указанное время, когда это происходит, – 2 балла.

Правильное объяснение своего ответа – 4 балла.

### 3. Небесные тела

Лишнее небесное тело в этом списке – это Эрида, которая является карликовой планетой. Все остальные – спутники планет: Ганимед – спутник Юпитера, Луна – спутник Земли, Титан – спутник Сатурна, Ио – спутник Юпитера, Тритон – спутник Нептуна, Оберон – спутник Урана, Харон – спутник Плутона.

#### *Критерии оценивания*

Данная задача является «одноходовой», поэтому за правильное решение ставится 6 баллов. Еще 2 балла рекомендуется выставить при наличии пояснений.

### 4. Астрономические объекты

На Рис. 24 изображены: а – планета (Сатурн); б – звезда; в – комета; г – туманность («Конская голова»); д – метеорит; е – галактика («Туманность Андромеды»); ж – астероид или малая планета (Ида); з – спутник планеты (Луна).

*Примечание:* участники могут указать как тип объекта, так и его название.

#### *Критерии оценивания*

За каждый правильно указанный объект – по 1 баллу.

### 5. Межзвездный путешественник

Из Приложения 4 можно узнать, что скорость света составляет  $c = 2,998 \cdot 10^8$  м/с, или 299800 км/с. С этой же скоростью распространяются и радиоволны. Разделив расстояние до «Вояджера-1», равное 18,81 млрд км, на скорость распространения радиоволн, получим время, за которое радиосигнал доходит от аппарата до центра управления в секундах:  $18810000000 \text{ км} / 299800 \text{ км/с} = 62742 \text{ с}$ . Если разделить это на 60 с. – количество секунд в минуте, то получим время в минутах, равное 1045,7 минут. Еще разделив количество минут в часе (60 мин.), получим время в часах, равное 17,428

часов. Умножив дробную часть от этого числа на 60 мин., получим количество минут, равное 25,7 мин. Таким образом, окончательным ответом будет, что радиосигнал от «Вояджера-1» до центра управления идет примерно 17 часов 26 минут.

#### *Критерии оценивания*

Знание значения скорости света или ее определение из приложения – 2 балла.

Правильный расчет времени распространения радиосигнала в секундах – 3 балла.

Перевод времени в секундах в более удобную форму (часы и минуты) – 3 балла.

### **6. Созвездие**

На Рис. 25 изображено созвездие Льва.

#### *Критерии оценивания*

За правильный ответ выставляется 8 баллов.

## **Решения заданий для 9 класса**

### **1. Солнечные и лунные затмения**

Так уж случилось, что в настоящее время средние видимые с Земли угловые размеры Солнца и Луны примерно одинаковы. Солнечное затмение – астрономическое явление, которое происходит, когда Луна частично или полностью закрывает (затмевает) Солнце для наблюдателя на Земле. В случае, когда диск Луны полностью закрывает диск Солнца, происходит так называемое полное солнечное затмение. При частном затмении диск Луны проходит не точно через центр Солнца, закрывая только его часть. Поскольку Луна обращается вокруг Земли по эллиптической орбите, расстояние между Землей и Луной может быть различным. Если в момент затмения Луна окажется вблизи дальней точки своей орбиты, то её видимый

угловой размер будет меньше видимого углового размера Солнца. Тогда даже при прохождении центра лунного диска через центр солнечного диска полного затмения не произойдет – в момент максимальной фазы края Солнца останутся незакрытыми и будут образовывать вокруг темного диска Луны тонкое светящееся кольцо. Такое явление называется кольцеобразным солнечным затмением.

Лунные затмения наступают, когда Луна входит в тень, отбрасываемую Землей в сторону, противоположную Солнцу. Так как диаметр пятна земной тени всегда превышает диаметр Луны (примерно в 2,5 раза), то кольцеобразных затмений просто не может быть – только полные или частные. Когда Луна во время затмения полностью входит в тень Земли, говорят о полном лунном затмении, когда частично – о частном затмении.

Заметим, что существует еще один вид лунных затмений – полутеневые. Дело в том, что вокруг конуса земной тени имеется полутень – часть пространства, в которой Земля заслоняет Солнце лишь частично. И если Луна проходит сквозь эту область, то происходит полутеневое затмение. При этом яркость Луны уменьшается, но незначительно: такое уменьшение практически незаметно невооружённым глазом и фиксируется только приборами. Можно отметить, что среди полутеневых затмений тоже бывают полные и частные.

#### *Критерии оценивания*

Понимание механизма солнечных затмений – 2 балла.

Понимание механизма лунных затмений – 2 балла.

Указание на причины возникновения кольцеобразных солнечных затмений и отсутствия подобных явлений при лунных затмениях – 3 балла.

Упоминание о полутеневых лунных затмениях – 1 балл.

## 2. Солнце и Луна

На максимальную высоту над горизонтом Солнце в Красноярске (широта  $\varphi = 56^\circ$ ) поднимается в местный полдень летом в день летнего солнцестояния (около 22 июня), когда склонение Солнца равно  $\delta = 23,5^\circ$ . При этом высота Солнца равна  $h = \delta + (90^\circ - \varphi) = 23,5^\circ + (90^\circ - 56^\circ) = 57,5^\circ$ . Полная Луна, которая находится вблизи точки небесной сферы, противоположной Солнцу, выше всего поднимается в местную полночь зимой (около 22 декабря – дня зимнего солнцестояния, когда склонение Солнца  $\delta = -23,5^\circ$ ). Из Приложения 4 можно определить, что наклон плоскости орбиты Луны к плоскости эклиптики составляет  $i \approx 5^\circ$ . Поэтому, если в день зимнего солнцестояния будет полнолуние и при этом Луна будет находиться севернее эклиптики на этот угол, то ее высота над горизонтом в Красноярске составит  $h = 23,5^\circ + 5^\circ + (90^\circ - 56^\circ) = 62,5^\circ$ . Таким образом, выше всего над горизонтом в Красноярске может подниматься Луна зимой.

### *Критерии оценивания*

Указание, что выше всего над горизонтом может подниматься полная Луна – 2 балла.

Верно указанное время, когда это происходит, – 2 балла.

Правильное объяснение своего ответа – 4 балла.

## 3. Новая Дельфина

Пределом видимости для невооруженного глаза считается 6–6,5-звездная величина. Поэтому в момент открытия звезда была недоступна для наблюдений без оптических приборов, в то время как вблизи максимума блеска ее можно было наблюдать и невооруженным глазом (такие наблюдения зафиксированы с 15 по 25 августа).

### *Критерии оценивания*

Знание предельной звездной величины, видимой невооруженным глазом, – 4 балла.

Вывод о невозможности наблюдений Новой звезды в момент ее открытия – 2 балла.

Вывод о доступности визуальных наблюдений звезды вблизи максимума блеска – 2 балла.

#### **4. Комета Энке**

Заглянув в таблицу характеристик орбит планет (Приложение 4), увидим, что орбита кометы в самой дальней точке не достигает орбиты Юпитера, а в самой ближней – немного заходит вглубь орбиты Меркурия. Если бы все планеты и комета двигались в одной плоскости, то комета теоретически могла бы столкнуться с Меркурием, Венерой, Землей и Марсом.

##### *Критерии оценивания*

Каждая правильно указанная планета, с которой могла бы столкнуться комета, – 2 балла.

#### **5. Венера на фоне Солнца**

На фотографии прохождения Венеры планета видна в виде темного диска в правой верхней части солнечного диска. Солнце удалено от Земли на 1 а.е., что в  $1 / 0,289 \approx 3,46$  раза дальше, чем Венера в момент наблюдения. Вычислим линейный размер участка солнечной поверхности, закрываемый диском планеты. Из подобия треугольников размер закрываемого участка будет в 3,46 раза больше линейного диаметра Венеры, или  $D = 12100 \text{ км} * 3,46 = 41,9$  тысяч км.

Измерим видимые диаметры Солнца и Венеры на фотоснимке:  $d_c = 167$  мм,  $d_b = 5$  мм (если изображение напечатано на листе формата А4) и найдем их отношение, которое равно 33,4 раза. Тогда диаметр Солнца должен быть равен примерно  $41,9 * 10^3 \text{ км} * 33,4 = 1399 * 10^3 \text{ км} \approx 1,4$  миллиона километров.

### *Критерии оценивания*

Понимание взаимного расположения Солнца, Венеры и Земли в момент съемки – 2 балла.

Верное определение линейного размера участка солнечной поверхности, закрываемого темным диском Венеры, – 2 балла.

Правильные измерения видимых диаметров Солнца и Венеры на фотоснимке и определение их отношения – 2 балла.

Правильное определение линейного диаметра Солнца – 2 балла.

### **6. Смена времен года**

Основной причиной смены времен года на планете может быть и изменение ее расстояния до Солнца в процессе движения по эллиптической орбите (перигелий – лето, афелий – зима). Особенно этот фактор существен в том случае, если ось вращения планеты расположена почти перпендикулярно к ее орбите (экватор лежит в плоскости орбиты). Внимательно изучив Таблицы 1 и 2 Приложения 4 к олимпиаде, можно сделать вывод, что именно такая ситуация наблюдается на Меркурии. Наклон экватора к плоскости орбиты для этой планеты составляет 0,00 градуса и никак не может влиять на смену времен года, а эксцентриситет орбиты Меркурия достаточно велик:  $e \approx 0,21$ .

### *Критерии оценивания*

Понимание, что элементом орбиты, характеризующим степень отклонения эллиптической орбиты от круговой, а вместе с этим и разницу в расстояниях от различных точек орбиты до фокуса, является эксцентриситет – 4 балла.

Указание, что Меркурий – единственная планета Солнечной системы, где смена времен года связана только с изменением его расстояния от Солнца в процессе орбитального движения, – 4 балла.

## Решения заданий для 10 класса

### 1. Луна в Гиадах

При своем движении вокруг Земли Луна может пройти перед более далеким светилом и своим диском заслонить его. Это астрономическое явление называется покрытием светила Луной.

При помощи карты звездного неба (Приложение 5) найдем, что 7 марта прямое восхождение Солнца составляет  $\sim 23^{\text{ч}}$ , и оно находится в созвездии Водолея (положение Солнца определяется как точка на эклиптической, находящаяся на ее пересечении с линией, соединяющей указанную дату и центр карты). Прямое восхождение дельты Тельца (Гиады) примерно  $4^{\text{ч}} 20^{\text{м}}$ . В первом приближении разница составляет около 5,3 часа, или  $5,3^{\text{ч}} \cdot 15^{\circ} \approx 80$  градусов в сторону прямого движения по эклиптике. Другими словами, Гиады заходят, как минимум, через 5,3 часа (без учета широты наблюдателя и склонений наблюдаемых объектов) после Солнца и видны вечером. Здесь же находится и Луна. Можно понять, что будучи удаленной от Солнца на 80 градусов, Луна приближается к фазе первой четверти. Так как Луна перемещается по небесной сфере с запада на восток, то звезда скроется за темным, а появится из-за светлого края лунного диска (серпа).

Указанное время явления для Красноярска – вблизи местной полуночи (долгота Красноярска примерно  $90^{\circ}$ , что соответствует местному времени  $UT+6$  часов). Поэтому в местную полночь Солнце будет в нижней кульминации, а Луна и Гиады будут видны вблизи северо-западной части горизонта (примерно в  $18$  градусах севернее точки запада – склонение Гиад). Именно благодаря своему северному склонению, в наших северных широтах продолжительность видимости Гиад над горизонтом превышает 12 часов.

### *Критерии оценивания*

Общее понимание механизма явления, называемого покрытием светила Луной, – 2 балла.

Верное определение фазы Луны – 2 балла.

Правильное определение сторон лунного серпа, за которыми скроется и появится звезда, – 2 балла.

Правильное определение стороны горизонта, где можно будет наблюдать покрытие, – 2 балла.

## **2. MOM и MAVEN**

При полете по гомановской траектории от Земли до Марса в его среднем удалении от Солнца большая полуось орбиты космического аппарата будет равна  $(1,0000 + 1,5237) / 2 = 1,26185$  а.е. По III-му закону Кеплера период полного обращения тела, движущегося по такой орбите, должен составлять  $T = \sqrt{a^3} = 1,41746$  года. Или, умножив это число на величину продолжительности тропического года в сутках, взятую из Приложения 4, получим  $1,41746 \text{ г.} * 365,24 \text{ сут.} \approx 518 \text{ сут.}$  Полет до Марса займет только половину от этого значения, т.е. около 259 суток. Таким образом, отсчитав 259 суток от дат стартов космических аппаратов (5 ноября и 18 ноября 2013 г.), получим расчетное время прибытия на марсианскую орбиту индийского аппарата – конец июля 2014 г., а почти через две недели американского – в начале августа 2014 года.

*Примечание:* в действительности, прибытие обоих космических аппаратов на марсианскую орбиту ожидается во второй половине сентября 2014 года. Отличие указанного времени прибытия от рассчитанного нами более чем на месяц можно объяснить более сложной траекторией полета аппаратов, чем идеальная гомановская, что связано с выполнением различных маневров как на орбите Земли, так и при сближении с Марсом. Кроме

того, орбита Марса имеет существенный эксцентриситет, а в расчете мы принимали ее за круговую.

#### *Критерии оценивания*

Понимание геометрии гомановской траектории и верное определение ее большой полуоси – 2 балла.

Правильное определение периода обращения тела по гомановской орбите (для определения периода участники могут использовать формулу

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{GM}} \cdot a^{3/2}, \text{ где } M - \text{масса Солнца}) - 2 \text{ балла.}$$

Понимание, что время полета составит половину периода обращения тела по гомановской орбите, – 1 балл.

Верное определение времени полета до Марса в сутках (в случае расчета периода из III-го закона Кеплера обязательно использование продолжительности тропического года или продолжительности года в григорианском календаре) – 2 балла.

Окончательное определение времени прибытия космических аппаратов на марсианскую орбиту – 1 балл.

### **3. Новая Дельфина**

Пределом видимости для невооруженного глаза считается 6–6,5-звездная величина. Поэтому в момент открытия звезда была недоступна для наблюдений без оптических приборов, в то время как вблизи максимума блеска ее можно было наблюдать и невооруженным глазом (такие наблюдения зафиксированы с 15 по 25 августа).

Отношение блеска в максимуме к довыспышечному состоянию составляет  $17,1 - 4,3 = 12,8$  звездных величин, что составляет примерно  $2,512^{12,8} = 132$  тысячи раз.

#### *Критерии оценивания*

Знание предельной звездной величины, видимой невооруженным глазом, – 2 балла.

Вывод о невозможности наблюдений Новой звезды в момент ее открытия – 1 балл.

Вывод о доступности визуальных наблюдений звезды вблизи максимума блеска – 1 балл.

Знание формулы Погсона и правильное определение отношения блеска – 4 балла.

#### **4. Комета Энке**

Заглянув в таблицу характеристик орбит планет (Приложение 4), увидим, что орбита кометы в самой дальней точке не достигает орбиты Юпитера, а в самой ближней – немного заходит вглубь орбиты Меркурия. Если бы комета двигалась в плоскости эклиптики, то теоретически она могла бы столкнуться с Меркурием, Венерой, Землей и Марсом (вблизи линии узлов, вне зависимости от наклона их орбит к плоскости эклиптики).

Из данных задачи следует, что большая ось орбиты кометы составляет  $4,09 + 0,336 = 4,426$  а.е. Тогда большая полуось будет равна:  $a = 2,213$  а.е., а период обращения можно найти из III-го закона Кеплера:  $T = \sqrt{a^3} \approx 3,3$  года.

#### *Критерии оценивания*

Каждая правильно указанная планета, с которой могла бы столкнуться комета, – 1 балл.

Знание III-го закона Кеплера и правильное определение периода обращения кометы вокруг Солнца – 4 балла.

#### **5. Венера на фоне Солнца**

На фотографии прохождения Венеры планета видна в виде темного диска в правой верхней части солнечного диска. Солнце удалено от Земли на 1 а.е., что в  $1 / 0,289 \approx 3,46$  раза дальше, чем Венера в момент наблюдения. Вычислим линейный размер участка солнечной поверхности, закры-

ваемый диском планеты. Из подобия треугольников размер закрываемого участка будет в 3,46 раза больше линейного диаметра Венеры, или  $D = 12100 \text{ км} * 3,46 = 41,9$  тысяч км.

Измерим видимые диаметры Солнца и Венеры на фотоснимке:  $d_c = 167 \text{ мм}$ ,  $d_v = 5 \text{ мм}$  (если изображение напечатано на листе формата А4) и найдем их отношение, которое равно 33,4 раза. Тогда диаметр Солнца должен быть равен примерно  $41,9 * 10^3 \text{ км} * 33,4 = 1399 * 10^3 \text{ км} \approx 1,4$  миллиона километров.

#### *Критерии оценивания*

Понимание взаимного расположения Солнца, Венеры и Земли в момент съемки – 2 балла.

Верное определение линейного размера участка солнечной поверхности, закрываемого темным диском Венеры, – 2 балла.

Правильные измерения видимых диаметров Солнца и Венеры на фотоснимке и определение их отношения – 2 балла.

Правильное определение линейного диаметра Солнца – 2 балла.

### **6. Смена времен года**

Основной причиной смены времен года на планете может быть и изменение ее расстояния до Солнца в процессе движения по эллиптической орбите (перигелий – лето, афелий – зима). Особенно этот фактор существен в том случае, если ось вращения планеты расположена почти перпендикулярно к ее орбите (экватор лежит в плоскости орбиты). Внимательно изучив Таблицы 1 и 2 Приложения 4 к олимпиаде, можно сделать вывод, что именно такая ситуация наблюдается на Меркурии. Наклон экватора к плоскости орбиты для этой планеты составляет 0,00 градуса и никак не может влиять на смену времен года, а эксцентриситет орбиты Меркурия достаточно велик:  $e \approx 0,21$ .

Можно посчитать, что отношение наибольшего расстояния Меркурия от Солнца  $Q = a(1 + e)$  к наименьшему –  $q = a(1 - e)$ , где  $a$  – большая полуось орбиты, составляет  $Q / q = 0,47 \text{ а.е.} / 0,31 \text{ а.е.} \approx 1,5$  раза. Так как энергия, получаемая планетой от Солнца, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния, то различие в тепловом режиме Меркурия «зимой» и «летом» составляет  $1,5^2 = 2,25$  раза – заметная разница для вполне ощутимой смены времен года.

### *Критерии оценивания*

Понимание, что элементом орбиты, характеризующим степень отклонения эллиптической орбиты от круговой, а вместе с этим и разницу в расстояниях от различных точек орбиты до фокуса, является эксцентриситет – 2 балла.

Указание, что Меркурий – единственная планета Солнечной системы, где смена времен года связана только с изменением его расстояния от Солнца в процессе орбитального движения, – 2 балла.

Знание формул, связывающих эксцентриситет орбиты с перицентрическим и апоцентрическим расстояниями, и верное определение отношения наибольшего расстояния Меркурия от Солнца к наименьшему – 2 балла.

Знание характера зависимости потока солнечной энергии, поступающей на планету, от расстояния до Солнца и правильное определение отношений энергий, которые получает Меркурий от Солнца в ближней и дальней точках своей орбиты, – 2 балла.

## **Решения заданий для 11 класса**

### **1. Луна в Гидах**

При своем движении вокруг Земли Луна может пройти перед более далеким светилом и своим диском заслонить его. Это астрономическое явление называется покрытием светила Луной.

При помощи карты звездного неба (Приложение 5) найдем, что 7 марта прямое восхождение Солнца составляет ~23ч, и оно находится в созвездии Водолея (положение Солнца определяется как точка на эклиптической, находящаяся на ее пересечении с линией, соединяющей указанную дату и центр карты). Прямое восхождение дельты Тельца (Гиады) примерно 4 ч 20 м. В первом приближении разница составляет около 5,3 часа, или  $5,3 \text{ ч} \cdot 15^\circ \approx 80$  градусов в сторону прямого движения по эклиптической. Другими словами, Гиады заходят, как минимум, через 5,3 часа (без учета широты наблюдателя и склонений наблюдаемых объектов) после Солнца и видны вечером. Здесь же находится и Луна. Можно понять, что будучи удаленной от Солнца на 80 градусов, Луна приближается к фазе первой четверти. Так как Луна перемещается по небесной сфере с запада на восток, то звезда скроется за темным, а появится из-за светлого края лунного диска (серпа).

Указанное время явления для Красноярска – вблизи местной полуночи (долгота Красноярска примерно  $90^\circ$ , что соответствует местному времени UT+6 часов). Поэтому в местную полночь Солнце будет в нижней кульминации, а Луна и Гиады будут видны вблизи северо-западной части горизонта (примерно в 18 градусах севернее точки запада – склонение Гиад). Именно благодаря своему северному склонению, в наших северных широтах продолжительность видимости Гиад над горизонтом превышает 12 часов.

#### *Критерии оценивания*

Общее понимание механизма явления, называемого покрытием светила Луной, – 2 балла.

Верное определение фазы Луны – 2 балла.

Правильное определение сторон лунного серпа, за которыми скроется и появится звезда, – 2 балла.

Правильное определение стороны горизонта, где можно будет наблюдать покрытие, – 2 балла.

## 2. MOM и MAVEN

При полете по гомановской траектории от Земли до Марса в его среднем удалении от Солнца большая полуось орбиты космического аппарата будет равна  $(1,0000 + 1,5237) / 2 = 1,26185$  а.е. По III-му закону Кеплера период полного обращения тела, движущегося по такой орбите, должен составлять  $T = \sqrt{a^3} = 1,41746$  года. Или, умножив это число на величину продолжительности тропического года в сутках, взятую из Приложения 4, получим  $1,41746 \text{ г.} \cdot 365,24 \text{ сут.} \approx 518 \text{ сут.}$  Полет до Марса займет только половину от этого значения, т.е. около 259 суток. Таким образом, отсчитав 259 суток от дат стартов космических аппаратов (5 ноября и 18 ноября 2013 г.), получим расчетное время прибытия на марсианскую орбиту индийского аппарата – конец июля 2014 г., а почти через две недели американского – в начале августа 2014 года.

*Примечание:* в действительности, прибытие обоих космических аппаратов на марсианскую орбиту ожидается во второй половине сентября 2014 года. Отличие указанного времени прибытия от рассчитанного нами более чем на месяц можно объяснить более сложной траекторией полета аппаратов, чем идеальная гомановская, что связано с выполнением различных маневров как на орбите Земли, так и при сближении с Марсом. Кроме того, орбита Марса имеет существенный эксцентриситет, а в расчете мы принимали ее за круговую.

### *Критерии оценивания*

Понимание геометрии гомановской траектории и верное определение ее большой полуоси – 2 балла.

Правильное определение периода обращения тела по гомановской орбите (для определения периода участники могут использовать формулу

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{GM}} \cdot a^{3/2}, \text{ где } M \text{ – масса Солнца) – 2 балла.}$$

Понимание, что время полета составит половину периода обращения тела по гомановской орбите, – 1 балл.

Верное определение времени полета до Марса в сутках (в случае расчета периода из III-го закона Кеплера обязательно использование продолжительности тропического года или продолжительности года в григорианском календаре) – 2 балла.

Окончательное определение времени прибытия космических аппаратов на марсианскую орбиту – 1 балл.

### 3. Марс с орбиты

Преимущества полярной орбиты очевидны – при последовательных оборотах космического аппарата он может наблюдать все новые и новые участки марсианской поверхности, так как Марс все время вращается вокруг своей оси, подставляя MRO новые зоны для съемки. Легко посчитать, что если бы спутник двигался над экватором планеты, то с высоты 300 км он мог бы наблюдать только близэкваториальную полосу на поверхности Марса.

Скорость движения космического аппарата по круговой орбите равна:

$$v_k = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}.$$

Из условий задачи получаем (массу и радиус Марса возьмем из Таблицы 1 Приложения 4):  $v_k = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 6,4 \cdot 10^{23}}{3,4 \cdot 10^6 + 0,3 \cdot 10^6}} = 3,4 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 3,4 \text{ км/с}.$

Длина окружности такого радиуса составляет  $L = 2\pi R = 6,28 \cdot 3,7 \cdot 10^6 \text{ м} = 23,24 \cdot 10^6 \text{ м}$ , откуда легко найти период обращения MRO:  $T = L/V = 23,24 \cdot 10^6 \text{ м} / 3,4 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 6835 \text{ секунд}$ , или 1,9 часа (возможно использование III закона Кеплера, сравнивая движение Луны вокруг Земли и MRO вокруг Марса).

Предельная разрешающая способность зеркала орбитального телескопа может быть найдена как:  $\alpha''_{\text{пред}} \approx 140''/D_{\text{мм}} = 140/500 \approx 0,28''$ . После этого найдем размеры наименьших деталей поверхности, которые могут быть видны с высоты  $h = 300$  км под таким углом:  $l = h \cdot \text{tg} \alpha$ . Учитывая, что для малых углов  $\text{tg} \alpha \approx \alpha$  радиан, то  $l = 300 \cdot 10^3 \text{ м} \cdot 0,28'' / 206265'' \approx 0,4$  метра.

#### *Критерии оценивания*

Описание преимущества полярной орбиты – 2 балла.

Нахождение периода обращения космического аппарата – 4 балла.

Определение размера наименьших деталей на поверхности – 2 балла.

#### **4. Летняя сверхновая**

Абсолютная звездная величина – это видимая величина объекта на стандартном расстоянии в 10 парсек. Обратим внимание на то, что разница в блеске составляет ровно  $30^m$ . Из определения звездных величин известно, что разница в  $5^m$  соответствует разнице в блеске в 100 раз. Учитывая, что блеск изменяется пропорционально  $1/R^2$ , получаем, что если мы поместим звезду на расстояние в 10 раз дальше стандартного, ее видимый блеск упадет в  $10^2 = 100$  раз или изменится на  $5^m$ . Продолжив такую цепочку удалений, получим:  $10 \text{ пк} = -18^m$ ,  $100 \text{ пк} = -13^m$ ,  $10^3 \text{ пк} = -8^m$ ,  $10^4 \text{ пк} = -3^m$ ,  $10^5 \text{ пк} = +2^m$ ,  $10^6 \text{ пк} = +7^m$ ,  $10^7 \text{ пк} = +12^m$ .

Другими словами, чтобы объект с абсолютной величиной  $-18^m$  был виден как  $+12^m$ , он должен находиться на расстоянии  $R = 10^7$  парсек. Вспомнив, что  $1 \text{ пк} = 3,26$  световых года, найдем расстояние до галактики: 32,6 миллиона световых лет.

Возможно и прямое решение. Воспользуемся формулой, определяющей абсолютную звездную величину:  $M = m + 5 - 5 \cdot \lg R$  (где  $R$  – расстояние до звезды в парсеках). Выражая отсюда  $R$ , получим:  $\lg^* R = (m + 5 - M) / 5 = (12 + 5 + 18) / 5 = 7$ , откуда  $R = 10^7$  парсек.

Реальное расстояние должно быть **не больше** полученного нами значения. Все дело в межзвездном поглощении света, особенно сильном в плоскостях галактических дисков. Другими словами, галактика может находиться ближе, но за счет поглощения света (внутри М74, на пути к нам и внутри нашей Галактики) видимый блеск сверхновой не превысил  $12^m$ . Можно добавить, что поскольку созвездие Рыб находится в стороне от Млечного Пути – диска Галактики, в котором, в основном, сосредоточены газопылевые облака, то, по крайней мере, одним таким поглощением можно пренебречь.

#### *Критерии оценивания*

Понимание участником, что абсолютная звездная величина – это видимая величина на стандартном расстоянии в 10 парсек, – 1 балл.

Правильное вычисление расстояния до сверхновой звезды в парсеках – 4 балла.

Знание значения 1 парсека в световых годах и верное вычисление расстояния до сверхновой звезды в световых годах – 1 балл.

Понимание того, что на точность определения расстояния влияет поглощение света межзвездной средой, – 2 балла.

### **5. Венера на фоне Солнца**

На фотографии прохождения Венеры планета видна в виде темного диска в правой верхней части солнечного диска. Солнце удалено от Земли на 1 а.е., что в  $1 / 0,289 \approx 3,46$  раза дальше, чем Венера в момент наблюдения. Вычислим линейный размер участка солнечной поверхности, закрываемый диском планеты. Из подобия треугольников размер закрываемого участка будет в 3,46 раза больше линейного диаметра Венеры, или  $D = 12100 \text{ км} * 3,46 = 41,9$  тысяч км.

Измерим видимые диаметры Солнца и Венеры на фотоснимке:  $d_c = 167 \text{ мм}$ ,  $d_v = 5 \text{ мм}$  (если изображение напечатано на листе формата А4) и

найдем их отношение, которое равно 33,4 раза. Тогда диаметр Солнца должен быть равен примерно  $41,9 \cdot 10^3 \text{ км} \cdot 33,4 = 1399 \cdot 10^3 \text{ км} \approx 1,4$  миллиона километров.

#### *Критерии оценивания*

Понимание взаимного расположения Солнца, Венеры и Земли в момент съемки – 2 балла.

Верное определение линейного размера участка солнечной поверхности, закрываемого темным диском Венеры, – 2 балла.

Правильные измерения видимых диаметров Солнца и Венеры на фотоснимке и определение их отношения – 2 балла.

Правильное определение линейного диаметра Солнца – 2 балла.

### **6. Поллукс и Кастор**

Неважно, с какой звезды на какую смотреть – ведь расстояние между ними одно и то же! А ярче будет та, у которой меньше абсолютная звездная величина. Переведем световые годы в парсеки ( $1 \text{ пк} = 3,26 \text{ св. года}$ ), получим, что расстояние до Кастора составляет  $52 / 3,26 = 15,95 \text{ пк}$ , а до Поллукса –  $34 / 3,26 = 10,43 \text{ пк}$ .

По формуле, определяющей абсолютную звездную величину:

$$M = m + 5 - 5 \cdot \lg R \text{ (где } R \text{ – расстояние до звезды в парсеках).}$$

Получим для Кастора  $M_K = 1,9 + 5 - 5 \cdot \lg 15,95 = 0,89^m$ , а для Поллукса  $M = 1,2 + 5 - 5 \cdot \lg 10,43 = 1,1^m$ . Таким образом, Кастор в действительности ярче Поллукса!

#### *Критерии оценивания*

Знание значения 1 парсека в световых годах и верное вычисление расстояний до звезд в парсеках – 1 балл.

Знание или вывод формулы, связывающий абсолютную звездную величину с видимой и расстоянием до звезды, – 4 балла.

Правильное вычисление абсолютных звездных величин звезд и вывод о том, какая из звезд ярче, – 3 балла.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

### Вопросы по астрономии, рекомендуемые Центральной предметно-методической комиссией всероссийской олимпиады школьников по астрономии для подготовки школьников к решению задач этапов олимпиады

#### 1. 9 класс и младше

##### 1.1. Звездное небо.

Созвездия и ярчайшие звезды неба: названия, условия видимости в различные сезоны года.

##### 1.2. Небесная сфера.

Суточное движение небесных светил на различных широтах. Восход, заход, кульминация. Горизонтальная и экваториальная системы координат, основные круги и линии на небесной сфере. Высота над горизонтом небесных светил в кульминации. Высота полюса Мира. Изменение вида звездного неба в течение суток. Подвижная карта звездного неба. Рефракция (качественно). Сумерки: гражданские, навигационные, астрономические. Понятия углового расстояния на небесной сфере и угловых размеров объектов.

##### 1.3. Движение Земли по орбите.

Видимый путь Солнца по небесной сфере. Изменение вида звездного неба в течение года. Эклиптика, понятие полюса эклиптики и эклиптической системы координат. Зодиакальные созвездия. Прецессия, изменение экваториальных координат светил из-за прецессии.

##### 1.4. Измерение времени.

Тропический год. Солнечные и звездные сутки, связь между ними. Солнечные часы. Местное, поясное время. Истинное и среднее солнечное время, уравнение времени. Звездное время. Часовые пояса и исчисление

времени в нашей стране; декретное время, летнее время. Летоисчисление. Календарь, солнечная и лунная система календаря. Новый и старый стили.

1.5. Движение небесных тел под действием силы всемирного тяготения.

Форма орбит: эллипс, парабола, гипербола. Эллипс, его основные точки, большая и малая полуоси, эксцентриситет. Закон всемирного тяготения. Законы Кеплера (включая обобщенный третий закон Кеплера). Первая и вторая космические скорости. Круговая скорость, скорость движения в точках перигея и афогия. Определение масс небесных тел на основе закона всемирного тяготения. Расчеты времени межпланетных перелетов по касательной траектории.

1.6. Солнечная система.

Строение, состав, общие характеристики. Размеры, форма, масса тел Солнечной системы, плотность их вещества. Отражающая способность (альбедо). Определение расстояний до тел Солнечной системы (методы радиолокации и суточного параллакса). Астрономическая единица. Угловые размеры планет. Сидерический, синодический периоды планет, связь между ними. Видимые движения и конфигурации планет. Наклонение орбиты, линия узлов. Прохождения планет по диску Солнца, условия наступления. Малые тела Солнечной системы. Метеороиды, метеоры и метеорные потоки. Метеориты. Орбиты планет, астероидов, комет и метеороидов. Возмущения в движении планет. Третья космическая скорость для Земли и других тел Солнечной системы.

1.7. Система Солнце–Земля–Луна.

Движение Луны вокруг Земли, фазы Луны. Либрации Луны. Движение узлов орбиты Луны, периоды «низкой» и «высокой» Луны. Синодический, сидерический, аномалистический и драконический месяцы. Солнечные и лунные затмения, их типы, условия наступления. Сарос. Покрытия звезд и планет Луной, условия их наступления. Понятие о приливах.

## 1.8. Оптические приборы.

Глаз как оптический прибор. Устройство простейших оптических приборов для астрономических наблюдений (бинокль, фотоаппарат, линзовые, зеркальные и зеркально-линзовые телескопы). Построение изображений протяженных объектов в фокальной плоскости. Угловое увеличение, масштаб изображения. Крупнейшие телескопы нашей страны и мира.

## 1.9. Шкала звездных величин.

Представление о видимых звездных величинах различных астрономических объектов. Решение задач на звездные величины в целых числах. Зависимость яркости от расстояния до объекта.

## 1.10. Электромагнитные волны.

Скорость света. Различные диапазоны электромагнитных волн. Видимый свет, длины волн и частоты видимого света. Радиоволны.

## 1.11. Общие представления о структуре Вселенной.

Пространственно-временные масштабы Вселенной. Наша Галактика и другие галактики, общее представление о размерах, составе и строении.

## 1.12. Измерения расстояний в астрономии.

Внесистемные единицы в астрономии (астрономическая единица, световой год, парсек, килопарсек, мегапарсек). Методы радиолокации, суточного и годичного параллакса. Аберрация света.

## 1.13. Дополнительные вопросы.

*Дополнительные вопросы по математике:* Запись больших чисел, математические операции со степенями. Приближенные вычисления. Число значащих цифр. Пользование инженерным калькулятором. Единицы измерения углов: градус и его части, радиан, часовая мера. Понятие сферы, большие и малые круги. Формулы для синуса и тангенса малого угла. Решение треугольников, теоремы синусов и косинусов. Элементарные формулы тригонометрии.

*Дополнительные вопросы по физике:* законы сохранения механической энергии, импульса и момента импульса. Понятие об инерциальных и неинерциальных системах отсчета. Потенциальная энергия взаимодействия точечных масс. Геометрическая оптика, ход лучей через линзу.

## **2. 10 класс.**

### 2.1. Шкала звездных величин.

Звездная величина, ее связь с освещенностью. Формула Погсона. Связь видимого блеска с расстоянием. Абсолютная звездная величина. Изменение видимой яркости планет и комет при их движении по орбите.

### 2.2. Звезды, общие понятия.

Основные характеристики звезд: температура, радиус, масса и светимость. Законы излучения абсолютно черного тела: закон Стефана-Больцмана, закон смещения Вина. Понятие эффективной температуры.

### 2.3. Классификация звезд.

Представление о фотометрической системе UBVR, показатели цвета. Диаграмма «цвет-светимость» (Герцшпрунга-Рассела). Звезды главной последовательности, гиганты, сверхгиганты. Соотношение «масса-светимость» для звезд главной последовательности.

### 2.4. Движение звезд в пространстве.

Эффект Доплера. Лучевая скорость звезд и принципы ее измерения. Тангенциальная скорость и собственное движение звезд. Апекс.

### 2.5. Двойные и переменные звезды.

Затменные переменные звезды. Спектрально-двойные звезды. Определение масс и размеров звезд в двойных системах. Внесолнечные планеты. Пульсирующие переменные звезды, их типы, кривые блеска. Зависимость «период-светимость» для цефеид. Долгопериодические переменные звезды. Новые звезды.

### 2.6. Рассеянные и шаровые звездные скопления.

Возраст, физические свойства скоплений и особенности входящих в них звезд. Основные различия между рассеянными и шаровыми скоплениями. Диаграммы «цвет-светимость» для звезд скоплений. Движения звезд, входящих в скопление. Метод «группового параллакса» определения расстояния до скопления.

#### 2.7. Солнце.

Основные характеристики, общее представление о внутреннем строении и строении атмосферы. Характеристики Солнца как звезды, солнечная постоянная. Солнечная активность, циклы солнечной активности. Магнитные поля на Солнце. Солнечно-земные связи.

#### 2.8. Ионизованное состояние вещества.

Понятие об ионизованном газе. Процессы ионизации и рекомбинации. Общие представления об ионах в атмосфере Земли и межпланетной среде. Магнитное поле Земли. Полярные сияния.

#### 2.9. Межзвездная среда.

Представление о распределении газа и пыли в пространстве. Плотность, температура и химический состав межзвездной среды. Межзвездное поглощение света, его зависимость от длины волны и влияние на звездные величины и цвет звезд. Газовые и диффузные туманности. Звездообразование. Межзвездное магнитное поле.

#### 2.10. Телескопы, разрешающая и проникающая способности.

Предельное угловое разрешение и проникающая способность. Размеры дифракционного изображения, ограничения со стороны земной атмосферы на разрешающую способность. Аберрации оптики. Оптические схемы современных телескопов.

#### 2.11. Дополнительные вопросы.

*Дополнительные вопросы по математике:* площадь поверхности и сферы, объем шара.

*Дополнительные вопросы по физике:* газовые законы. Понятие температуры, тепловой энергии газа, концентрации частиц и давления. Основы понятия спектра, дифракции света.

### **3. 11 класс.**

#### 3.1. Основы теории приливов.

Приливное воздействие. Понятие о радиусе сферы Хилла, полости Роша. Точки либрации.

#### 3.2. Оптические свойства атмосфер планет и межзвездной среды.

Рассеяние и поглощение света в атмосфере Земли, в межпланетной и межзвездной среде, зависимость поглощения от длины волны. Атмосферная рефракция, зависимость от высоты объекта, длины волны света.

#### 3.3. Законы излучения.

Интенсивность излучения. Понятие спектра. Излучение абсолютно черного тела. Формула Планка. Приближения Релея-Джинса и Вина, области их применения. Распределение энергии в спектрах различных астрономических объектов.

#### 3.4. Спектры звезд.

Основы спектрального анализа. Линии поглощения в спектрах звезд, спектральная классификация. Атмосферы Солнца и звезд. Фотосфера и хромосфера Солнца.

#### 3.5. Спектры излучения разреженного газа.

Представление о спектрах солнечной короны, планетарных и диффузных туманностей, полярных сияний.

3.6. Представление о внутреннем строении и источниках энергии Солнца и звезд.

Ядерные источники энергии звезд, запасы ядерной энергии. Выделение энергии при термоядерных реакциях. Образование химических элементов в недрах звезд различных типов, в сверхновых звездах (качественно).

### 3.7. Эволюция Солнца и звезд.

Стадия гравитационного сжатия при образовании звезды. Время жизни звезд различной массы. Сверхновые звезды. Поздние стадии эволюции звезд: белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры. Гравитационный радиус. Пульсары.

### 3.8. Строение и типы галактик.

Наша Галактика. Ближайшие галактики. Расстояние до ближайших галактик. Наблюдательные особенности галактик. Состав галактик и их физические характеристики. Вращение галактических дисков. Морфологические типы галактик. Активные ядра галактик, радиогалактики, квазары.

### 3.9. Основы космологии.

Определение расстояний до галактик. Сверхновые I типа. Красное смещение в спектрах галактик. Закон Хаббла. Скопления галактик. Представление о гравитационных линзах (качественно). Крупномасштабная структура Вселенной. Реликтовое излучение и его спектр.

### 3.10. Приемники излучения и методы наблюдений.

Элементарные сведения о современных методах фотометрии и спектроскопии. Фотоумножители, ПЗС-матрицы. Использование светофильтров. Прием радиоволн. Угловое разрешение радиотелескопов и радиоинтерферометров.

### 3.11. Дополнительные вопросы.

*Дополнительные вопросы по математике:* основы метода приближенных вычислений и разложений в ряд. Приближенные формулы для  $\cos x$ ,  $(1+x)^n$ ,  $\ln(1+x)$ ,  $e^x$  в случае малых  $x$ .

*Дополнительные вопросы по физике:* элементы специальной теории относительности. Релятивистская формула для эффекта Доплера. Гравитационное красное смещение. Связь массы и энергии. Основные свойства элементарных частиц (электрон, протон, нейтрон, фотон). Квантовые и волновые свойства света. Энергия квантов, связь с частотой и длиной волны. Давление света. Спектр атома водорода. Космические лучи. Понятие об интерференции и дифракции.

## Приложение 2

### Памятка наблюдателя в аудитории

Кабинеты для проведения олимпиады должны быть открыты за 20–30 минут до начала олимпиады. В каждом кабинете должен находиться наблюдатель.

За каждым предметом закреплено не менее двух представителей оргкомитета и жюри, которые за 10–15 минут до начала олимпиады передают наблюдателям задания олимпиады в соответствии с количеством посадочных мест в кабинете.

Участник может взять с собой в аудиторию ручку, очки, шоколад, воду. Вещи участников, при их наличии, располагают в специально отведенном месте в кабинете. Учащимся не разрешается брать бумагу, справочные материалы (словари, справочники, учебники и т.д.), пейджеры и мобильные телефоны, диктофоны, плееры и любые другие технические средства.

Участники должны сидеть в аудитории на таком расстоянии друг от друга, чтобы не видеть работу соседа. Рассадку участников в аудитории контролируют наблюдатели.

Перед началом работы участники Олимпиады пишут на шифровке свою фамилию, имя и отчество, номер класса и школы, район и населенный пункт. Участникам Олимпиады запрещается писать свои личные данные на внутренние страницы тетради (матрицы ответов).

Шифры на шифровках проставляются представителем оргкомитета. Каждый участник проставляет на обложку и первую страницу тетради (матрицы ответов) свой шифр (в случае его отсутствия).

Участникам необходимо объявить о необходимости запоминания своего шифра

Наблюдатель собирает шифровки участников и передает их представителю оргкомитета (как правило, после 15–20 минут после начала олимпиады).

Наблюдатели, находящиеся в аудитории, должны зафиксировать время начала и окончания выполнения задания на доске (например, 10:10 - 11:55). За 15 и за 5 минут до окончания выполнения заданий наблюдатель должен напомнить об оставшемся времени и предупредить о необходимости тщательной проверки работы.

Для ведения черновиков учащиеся получают чистые листы (по мере необходимости). Черновики жюри не проверяются, и их содержание не может быть использовано для аргументов сторон во время возможной апелляции.

После наступления времени окончания выполнения заданий, наблюдатель собирает работы учащихся и предоставляет работы в оргкомитет олимпиады (необходимо проверять наличие шифра на каждой работе).

Во время письменного конкурса участник может выходить из аудитории только в сопровождении дежурного, при этом его работа остается в аудитории. На ее обложке делается пометка о времени ухода и прихода учащегося. Время, потраченное на выход, не компенсируется.

### Приложение 3

#### Памятка участника олимпиады<sup>2</sup>

Прежде чем начать решать задания Регионального этапа Всероссийской олимпиады по астрономии, ознакомьтесь с правилами его проведения.

Вам будет вручен листок с условиями заданий олимпиады. Убедитесь, что это будут задания для того класса, в котором вы учитесь. Количество заданий – 6, на их решение вам будет отведено 4 часа. Время отсчитывается от момента выдачи листка с заданиями.

Кроме этого, вам должны выдать листы со справочной информацией, разрешенной к использованию на олимпиаде. Помните, что это – единственный источник, которым вы можете пользоваться в течение прохождения олимпиады, использование любых других источников – нарушение правил олимпиады, за которое вы можете быть исключены из состава ее участников. Вы также не можете пользоваться переносными компьютерами, программируемыми калькуляторами и мобильными телефонами (в любых функциях) во время олимпиады. Настоятельно рекомендуем вам отключить их до окончания олимпиады.

При этом вы имеете право пользоваться непрограммируемым калькулятором, любыми канцелярскими принадлежностями (как своими, так и выданными оргкомитетом олимпиады). Вы можете в любое время принимать продукты питания, но при этом старайтесь не отвлекать, не мешать и уважать труд ваших друзей, находящихся рядом.

Если у вас возник вопрос по условиям заданий или правилам проведения олимпиады, не задавайте его вслух, а просто поднимите руку. К вам подойдет сотрудник оргкомитета, а при необходимости он пригласит члена жюри, который ответит на ваш вопрос.

---

<sup>2</sup> Памятка может быть выдана участникам олимпиады по астрономии вместе с условиями задач.

Вы можете временно покинуть аудиторию, при этом вы должны отдать свою рабочую тетрадь сотруднику оргкомитета, находящемуся в аудитории. Он вернет ее вам, когда вы вернетесь в аудиторию и продолжите работу. Одновременный выход из аудитории двух или более участников олимпиады не допускается.

Во время олимпиады все записи (в том числе черновые) вы можете делать только в тетрадь, выданную вам оргкомитетом. Делать записи на какую-либо другую бумагу запрещается. На обложке тетради напишите свою фамилию, имя и отчество, класс и номер школы, район, город или иной населенный пункт, где находится ваша школа. Эта информация должна быть только на обложке, писать ее внутри тетради не разрешается.

Первую страницу тетради оставьте чистой – она понадобится для работы жюри. Начинайте работу со второй страницы тетради. Оставьте несколько последних страниц тетради для черновых записей, подписав их словом «Черновик». Помните, что жюри при работе просматривает черновики и может засчитать решение задачи, выполненное в черновике.

Если выданной вам тетради недостаточно для записей, поднимите руку. Вам выдадут еще одну тетрадь.

При решении задач помните, что жюри смотрит, прежде всего, не на ответ, а на структуру решения, обоснованность и связанность законов и фактов, которые вы используете. Старайтесь писать полные и подробные решения, но не добавляйте в них лишнюю информацию, не относящуюся к теме задания. Записи и рисунки делайте аккуратно, чтобы ваш ход мысли был легко понят. Получив ответ, постарайтесь проверить его известными вам способами, чтобы исключить возможность случайных ошибок.

Если вы закончили решения раньше срока, не спешите покидать аудиторию. Используйте оставшееся время, чтобы еще раз просмотреть и проверить все ваши решения. Наверняка в них будет то, что можно улучшить, идеальных работ на олимпиаде практически не бывает.

От всей души желаем вам успеха на олимпиаде!

## Приложение 4

### Справочные данные<sup>3</sup>

#### Основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная  $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$

Скорость света в вакууме  $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$

Постоянная Стефана-Больцмана  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$

Масса протона  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Масса электрона  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

Астрономическая единица  $1 \text{ а.е.} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ м}$

Парсек  $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

Постоянная Хаббла  $H = 72 \text{ (км/с)/Мпк}$

#### Данные о Солнце

Радиус  $695\,000 \text{ км}$

Масса  $1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$

Светимость  $3,88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$

Спектральный класс G2

Видимая звездная величина  $-26,78^{\text{m}}$

Абсолютная болометрическая звездная величина  $+4,72^{\text{m}}$

Показатель цвета (B–V)  $+0,67^{\text{m}}$

Эффективная температура  $5800 \text{ К}$

Средний горизонтальный параллакс  $8,794''$

Интегральный поток энергии на расстоянии Земли  $1360 \text{ Вт/м}^2$

Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли  $600 \text{ Вт/м}^2$

---

<sup>3</sup> Приведенные справочные данные разрешены Центральной предметно-методической комиссией к использованию участниками на всех этапах всероссийской олимпиады школьников по астрономии и подлежат к выдаче вместе с условиями задач.

### **Данные о Земле**

Эксцентриситет орбиты 0,017

Тропический год 365,24219 суток

Средняя орбитальная скорость 29,8 км/с

Период вращения 23 часа 56 минут 04 секунды

Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000 года: 23° 26' 21,45"

Экваториальный радиус 6378,14 км

Полярный радиус 6356,77 км

Масса  $5,974 \cdot 10^{24}$  кг

Средняя плотность  $5,52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$

Объемный состав атмосферы: N<sub>2</sub> (78%), O<sub>2</sub> (21%), Ar (~1%).

### **Данные о Луне**

Среднее расстояние от Земли 384400 км

Минимальное расстояние от Земли 356410 км

Максимальное расстояние от Земли 406700 км

Эксцентриситет орбиты 0,055

Наклон плоскости орбиты к эклиптике 5°09'

Сидерический (звездный) период обращения 27,321662 суток

Синодический период обращения 29,530589 суток

Радиус 1738 км

Масса  $7,348 \cdot 10^{22}$  кг или 1/81,3 массы Земли

Средняя плотность  $3,34 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$

Визуальное геометрическое альбедо 0,12

Видимая звездная величина в полнолуние  $-12,7^m$

### Физические характеристики Солнца и планет

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Географическая широта	Видимая звездная величина**
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1,989 \cdot 10^{30}$	332946	695000	108,97	1,41	25,380 сут	7,25	–	–26,8
Меркурий	$3,302 \cdot 10^{23}$	0,05271	2439,7	0,3825	5,42	58,646 сут	0,00	0,10	–0,1
Венера	$4,869 \cdot 10^{24}$	0,81476	6051,8	0,9488	5,20	243,019 сут*	177,36	0,65	–4,4
Земля	$5,974 \cdot 10^{24}$	1,00000	6378,1	1,0000	5,52	23,934 час	23,45	0,37	–
Марс	$6,419 \cdot 10^{23}$	0,10745	3397,2	0,5326	3,93	24,623 час	25,19	0,15	–2,0
Юпитер	$1,899 \cdot 10^{27}$	317,94	71492	11,209	1,33	9,924 час	3,13	0,52	–2,7
Сатурн	$5,685 \cdot 10^{26}$	95,181	60268	9,4494	0,69	10,656 час	25,33	0,47	0,4
Уран	$8,683 \cdot 10^{25}$	14,535	25559	4,0073	1,32	17,24 час*	97,86	0,51	5,7
Нептун	$1,024 \cdot 10^{26}$	17,135	24746	3,8799	1,64	16,11 час	28,31	0,41	7,8

\* – обратное вращение;

\*\* – для наибольшей элонгации внутренних планет и среднего противостояния внешних планет.

## Характеристики орбит планет

Планета	Большая полуось		Эксцентриситет	Наклон к плоскости эклиптики	Период обращения	Синодический период
	млн.км	а.е.				
Меркурий	57,9	0,3871	0,2056	7,004	87,97 сут	115,9
Венера	108,2	0,7233	0,0068	3,394	224,70 сут	583,9
Земля	149,6	1,0000	0,0167	0,000	365,26 сут	—
Марс	227,9	1,5237	0,0934	1,850	686,98 сут	780,0
Юпитер	778,3	5,2028	0,0483	1,308	11,862 лет	398,9
Сатурн	1429,4	9,5388	0,0560	2,488	29,458 лет	378,1
Уран	2871,0	19,1914	0,0461	0,774	84,01 лет	369,7
Нептун	4504,3	30,0611	0,0097	1,774	164,79 лет	367,5

## Характеристики некоторых спутников планет

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрич. альbedo	Видимая звездная величина*
	кг	км	г/см <sup>3</sup>	км	сут		m
<b>Земля</b>							
Луна	$7,348 \cdot 10^{22}$	1738	3,34	384400	27,32166	0,12	-12,7
<b>Марс</b>							
Фобос	$1,08 \cdot 10^{16}$	~10	2,0	9380	0,31910	0,06	11,3
Деймос	$1,8 \cdot 10^{15}$	~6	1,7	23460	1,26244	0,07	12,4
<b>Юпитер</b>							
Ио	$8,94 \cdot 10^{22}$	1815	3,55	421800	1,769138	0,61	5,0
Европа	$4,8 \cdot 10^{22}$	1569	3,01	671100	3,551181	0,64	5,3
Ганимед	$1,48 \cdot 10^{23}$	2631	1,94	1070400	7,154553	0,42	4,6
Каллисто	$1,08 \cdot 10^{23}$	2400	1,86	1882800	16,68902	0,20	5,7
<b>Сатурн</b>							
Тефия	$7,55 \cdot 10^{20}$	530	1,21	294660	1,887802	0,9	10,2
Диона	$1,05 \cdot 10^{21}$	560	1,43	377400	2,736915	0,7	10,4
Рея	$2,49 \cdot 10^{21}$	765	1,33	527040	4,517500	0,7	9,7
Титан	$1,35 \cdot 10^{23}$	2575	1,88	1221850	15,94542	0,21	8,2
Япет	$1,88 \cdot 10^{21}$	730	1,21	3560800	79,33018	0,2	~11,0
<b>Уран</b>							
Миранда	$6,33 \cdot 10^{19}$	235,8	1,15	129900	1,413479	0,27	16,3
Ариэль	$1,7 \cdot 10^{21}$	578,9	1,56	190900	2,520379	0,34	14,2
Умбриэль	$1,27 \cdot 10^{21}$	584,7	1,52	266000	4,144177	0,18	14,8
Титания	$3,49 \cdot 10^{21}$	788,9	1,70	436300	8,705872	0,27	13,7
Оберон	$3,03 \cdot 10^{21}$	761,4	1,64	583500	13,46324	0,24	13,9
<b>Нептун</b>							
Тритон	$2,14 \cdot 10^{22}$	1350	2,07	354800	5,87685**	0,7	13,5

\* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет;

\*\* – обратное направление вращения.

## Формулы приближенного вычисления

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x;$$

$$\sin(\alpha + x) \approx \sin \alpha + x \cos \alpha;$$

$$\cos(\alpha + x) \approx \cos \alpha - x \sin \alpha;$$

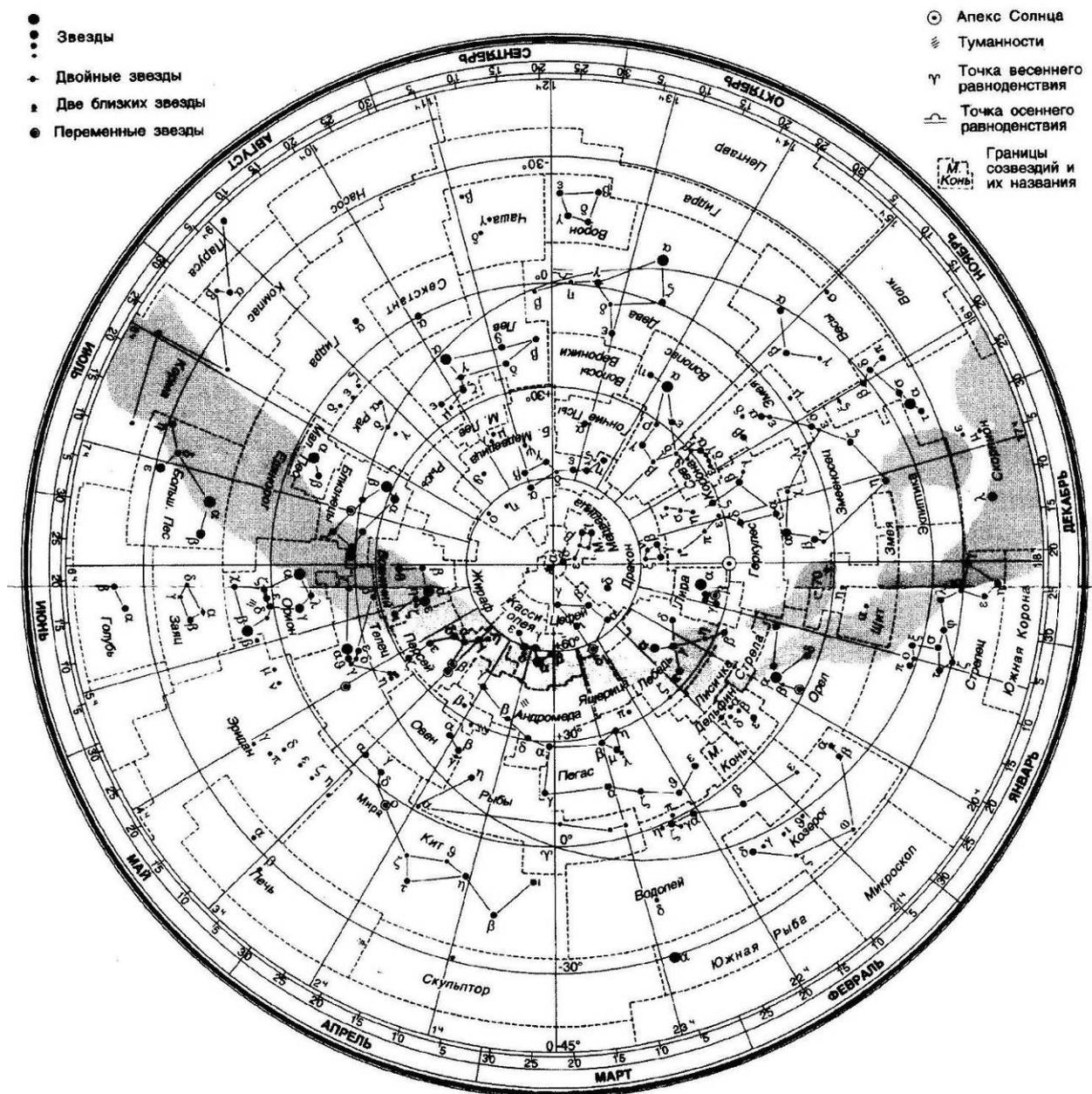
$$\operatorname{tg}(\alpha + x) \approx \operatorname{tg} \alpha + \frac{x}{\cos^2 \alpha};$$

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx;$$

( $x \ll 1$ , углы выражаются в радианах).

## Приложение 5

### Карта звездного неба<sup>4</sup>



<sup>4</sup> Приведенная карта звездного неба разрешена предметно-методической комиссией регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии к использованию участниками на школьном и муниципальном этапах всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае и подлежит к выдаче вместе с условиями задач.

## Приложение 6

### Некоторые основные формулы<sup>5</sup>

1. Теоретическая разрешающая способность телескопа:

$$\alpha = \frac{206265'' \cdot \lambda}{D}, \text{ где } \lambda - \text{средняя длина световой волны } (5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}), D -$$

диаметр объектива телескопа, или  $\alpha = \frac{140''}{D}$ , где  $D$  – диаметр объектива телескопа в миллиметрах.

2. Высота светил в кульминации:

высота светил в верхней кульминации, кульминирующих к югу от зенита ( $\delta < \varphi$ ):

$h_{\max} = 90^\circ - \varphi + \delta$ , где  $\varphi$  – широта места наблюдения,  $\delta$  – склонение светила;

высота светил в верхней кульминации, кульминирующих к северу от зенита ( $\delta > \varphi$ ):

$h_{\max} = 90^\circ + \varphi - \delta$ , где  $\varphi$  – широта места наблюдения,  $\delta$  – склонение светила;

высота светил в нижней кульминации:

$h_{\min} = \varphi + \delta - 90^\circ$ , где  $\varphi$  – широта места наблюдения,  $\delta$  – склонение светила.

3. Астрономическая рефракция:

приближенная формула для вычисления угла рефракции, выраженного в секундах дуги (при температуре  $+10^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении 760 мм. рт. ст.):

$$\rho = 58'',2 \cdot \text{tg}(z), \text{ где } z - \text{зенитное расстояние светила (для } z < 70^\circ).$$

---

<sup>5</sup> Основные формулы участники олимпиады по астрономии должны помнить или уметь вывести, пользоваться списком формул во время проведения тура запрещается.

4. Время:

звездное время:

$s = t + \alpha$ , где  $\alpha$  – прямое восхождение какого-либо светила,  $t$  – его часовой угол;

среднее солнечное время (местное среднее время):

$T_m = T_{\odot} + \eta$ , где  $T_{\odot}$  – истинное солнечное время,  $\eta$  – уравнение времени;

всемирное время:

$T_m = T_0 + \lambda$ , где  $\lambda$  – долгота пункта с местным средним временем  $T_m$ , выраженная в часовой мере,  $T_0$  – всемирное время в этот момент;

поясное время:

$T_n = T_0 + n$ , где  $T_0$  – всемирное время;  $n$  – номер часового пояса (для Гринвича  $n=0$ , для Москвы  $n=2$ , для Красноярска  $n=6$ );

зимнее время:

$$T_z = T_0 + n + 1\text{ч. или } T_z = T_m - \lambda + n + 1\text{ч.};$$

летнее время:

$$T_l = T_0 + n + 2\text{ч. или } T_l = T_m - \lambda + n + 2\text{ч.}$$

5. Формулы, связывающие сидерический (звездный) период обращения планеты  $T$  с синодическим периодом ее обращения  $S$ :

для верхних планет:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T};$$

для нижних планет:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}}, \text{ где } T_{\oplus} - \text{звездный период обращения Земли вокруг}$$

Солнца.

6. Третий закон Кеплера:

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3, \text{ где } T_1 \text{ и } T_2 - \text{ периоды обращения планет, } a_1 \text{ и } a_2 -$$

большие полуоси их орбиты.

7. Закон всемирного тяготения:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}, \text{ где } m_1 \text{ и } m_2 - \text{ массы притягивающихся материальных то-}$$

чек,  $r$  – расстояние между ними,  $G$  – гравитационная постоянная.

8. Третий обобщенный закон Кеплера:

$$\frac{T^2(m_1 + m_2)}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G}, \text{ где } m_1 \text{ и } m_2 - \text{ массы двух взаимно притягиваю-}$$

щихся тел,  $r$  – расстояние между их центрами,  $T$  – период обращения этих тел вокруг общего центра масс,  $G$  – гравитационная постоянная;

для системы Солнце и две планеты:

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 \left(\frac{M + m_1}{M + m_2}\right) = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3, \text{ где } T_1 \text{ и } T_2 - \text{ сидерические (звездные) перио-}$$

ды обращения планет,  $M$  – масса Солнца,  $m_1$  и  $m_2$  – массы планет,  $a_1$  и  $a_2$  – большие полуоси орбит планет;

для систем Солнце и планета, планета и спутник:

$$\frac{T_1^2(M + m_1)}{a_1^3} = \frac{T_2^2(m_1 + m_2)}{a_2^3}, \text{ где } M - \text{ масса Солнца; } m_1 - \text{ масса плане-}$$

ты;  $m_2$  – масса спутника планеты;  $T_1$  и  $a_1$  – период обращения планеты вокруг Солнца и большая полуось ее орбиты;  $T_2$  и  $a_2$  – период обращения спутника вокруг планеты и большая полуось его орбиты;

при  $M \gg m_1$ , а  $m_1 \gg m_2$ ,

$$\frac{M}{m_1} = \frac{a_1^3 \cdot T_2^2}{a_2^3 \cdot T_1^2}.$$

9. Линейная скорость движения тела по параболической орбите (параболическая скорость):

$$v_p = \sqrt{\frac{2GM}{r}}, \text{ где } G \text{ – гравитационная постоянная, } M \text{ – масса центрального тела, } r \text{ – радиус-вектор избранной точки параболической орбиты.}$$

10. Линейная скорость движения тела по эллиптической орбите в избранной точке:

$$v = \sqrt{GM \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}, \text{ где } G \text{ – гравитационная постоянная, } M \text{ – масса центрального тела, } r \text{ – радиус-вектор избранной точки эллиптической орбиты, } a \text{ – большая полуось эллиптической орбиты.}$$

11. Линейная скорость движения тела по круговой орбите (круговая скорость):

$$v_c = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \frac{v_p}{\sqrt{2}}, \text{ где } G \text{ – гравитационная постоянная, } M \text{ – масса центрального тела, } R \text{ – радиус орбиты, } v_p \text{ – параболическая скорость.}$$

12. Эксцентриситет эллиптической орбиты, характеризующий степень отклонение эллипса от окружности:

$$e = \frac{c}{a} = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}, \text{ где } c \text{ – расстояние от фокуса до центра орбиты, } a \text{ – большая полуось орбиты, } b \text{ – малая полуось орбиты.}$$

13. Связь расстояний перицентра и апоцентра с большой полуосью и эксцентриситетом эллиптической орбиты:

$$r_{\Pi} = a(1 - e), \quad r_A = a(1 + e), \quad a = \frac{r_{\Pi} + r_A}{2}, \text{ где } r_{\Pi} \text{ – расстояния от фокуса, в котором находится центральное небесное тело, до перицентра, } r_A \text{ – расстояния от фокуса, в котором находится центральное небесное тело, до апоцентра, } a \text{ – большая полуось орбиты, } e \text{ – эксцентриситет орбиты.}$$

14. Расстояние до светила (в пределах Солнечной системы):

$$D = \frac{206265'' R_{\oplus}}{\rho_0}, \text{ где } R_{\oplus} - \text{экваториальный радиус Земли, } \rho_0 - \text{горизон-}$$

тальный параллакс светила, выраженный в секундах дуги,

$$\text{или } \frac{D_1}{D_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}, \text{ где } D_1 \text{ и } D_2 - \text{расстояния до светил, } \rho_1 \text{ и } \rho_2 - \text{их горизон-}$$

тальные параллаксы.

15. Радиус светила:

$$R = \frac{\rho R_{\oplus}}{\rho_0}, \text{ где } \rho - \text{угол, под которым с Земли виден радиус диска све-}$$

тила (угловой радиус),  $R_{\oplus}$  – экваториальный радиус Земли,  $\rho_0$  – горизон-  
тальный параллакс светила.

16. Расстояние до звезд:

в парсеках:  $r = \frac{1}{\pi}$ , где  $\pi$  – годичный параллакс звезды, выраженный в  
радианах;

в астрономических единицах:  $r = \frac{206265''}{\pi}$ , где  $\pi$  – годичный парал-  
лакс звезды, выраженный в секундах дуги;

в километрах:  $r = \frac{206265'' a}{\pi}$ , где  $\pi$  – годичный параллакс звезды, вы-  
раженный в секундах дуги,  $a$  – средний радиус (большая полуось) земной  
орбиты.

17. Связь блеска звезды и ее звездной величины (формула Погсона):

$$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}, \text{ где } I_1 - \text{освещенность, создаваемая звездой, звездная}$$

величина которой равна  $m_1$ , и  $I_2$  – освещенность, создаваемая другой звез-  
дой, звездная величина которой равна  $m_2$ .

18. Абсолютная звездная величина:

$M = m + 5 - 5 \lg R$ , где  $m$  – видимая звездная величина,  $R$  – расстояние до звезды в парсеках.

19. Закон Стефана–Больцмана:

$\varepsilon = \sigma T^4$ , где  $\varepsilon$  – энергия, излучаемая в единицу времени с единицы поверхности,  $T$  – температура (в кельвинах), а  $\sigma$  – постоянная Стефана–Больцмана.

20. Закон Вина:

$\lambda_{\max} = \frac{0,29}{T}$ , где  $\lambda_{\max}$  – длина волны, на которую приходится максимум излучения абсолютно черного тела (в сантиметрах),  $T$  – абсолютная температура в кельвинах.

21. Закон Хаббла:

$v = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = c \cdot z = H \cdot r$ , где  $v$  – лучевая скорость удаления галактики,  $c$  – скорость света,  $\Delta\lambda$  – доплеровское смещение линий в спектре,  $\lambda$  – длина волны источника излучения,  $z$  – красное смещение,  $r$  – расстояние до галактики в мегапарсеках,  $H$  – постоянная Хаббла, равная 75 км / (с·Мпк).

## Приложение 7

### Список литературы, рекомендуемой при подготовке к олимпиаде по астрономии

1. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 18 ноября 2013 г. № 1252 «Об утверждении Порядка проведения всероссийской олимпиады школьников».
2. Методические рекомендации по проведению школьного и муниципального этапов всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2014/2015 учебном году. М.: Центральная предметно-методическая комиссия всероссийской олимпиады школьников по астрономии, 2014.
3. Информационный портал Всероссийской олимпиады школьников. URL: <http://www.rosolymp.ru/>
4. Всероссийская олимпиада по астрономии: официальный сайт URL: <http://www.astroolymp.ru/>
5. Всероссийская олимпиада школьников: сайт министерства образования и науки Красноярского края. URL: [http://krao.ru/rb-topic\\_t\\_386.htm](http://krao.ru/rb-topic_t_386.htm)
6. Портал школьных олимпиад Красноярского края. URL: <http://olymp.fkgpu.ru/>
7. Сайт Санкт-Петербургской астрономической олимпиады «Школьная астрономия Петербурга». URL: <http://school.astro.spbu.ru/>
8. Всероссийская олимпиада школьников по астрономии. Авт-сост. А.В. Засов, А.С. Расторгуев, М.Г. Гаврилов, В.Г. Сурдин, О.С. Угольников, Б.Б. Эскин. М.: АПК и ППРО, 2005.
9. Сурдин В.Г. Астрономические олимпиады. Задачи с решениями. М.: МГУ, 1995.
10. Сурдин В.Г. Астрономические задачи с решениями: учебное пособие. М.: Едиториал УРСС, 2002.

11. Всероссийская олимпиада школьников по астрономии в 2006 году. Авт.-сост. О.С. Угольников. М.: АПК и ППРО, 2006.
12. Бутаков С.В. Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае. 1997–2008 годы: учебно-методическое пособие / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева. – Красноярск, 2009.
13. Воронцов-Вельяминов Б.А. Астрономия. 11 кл.: учеб. для общеобразоват. учеб. заведений. – 2-е изд., стереотип. М.: Дрофа, 2001.
14. Левитан Е.П. Астрономия: учеб. для 11 кл. общеобразоват. учреждений. М.: Просвещение, 1994.
15. Малахова Г.И., Страут Е.К. Дидактический материал по астрономии: пособие для учителя. 3-е изд., перераб. М.: Просвещение, 1989.
16. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: учебное пособие для вузов. 4-е изд. М.: ЛИБРОКОМ, 2011.
17. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии / Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 6-е, испр. и доп. М.: Книжный дом «ЛИБРИКОМ», 2009.
18. Иванов В.В., Кривов А.В., Денисенков П.А.. Парадоксальная Вселенная. 175 задач по астрономии. СПб.: СПбГУ, 1997.
19. Гаврилов М.Г. Звездный мир. Сборник задач по астрономии и космической физике. Черноголовка–Москва, 1998.
20. Московские астрономические олимпиады. 1997–2002. / под ред. О.С. Угольникова и В.В. Чичмаря. М.: МИОО, 2002.
21. Московские астрономические олимпиады. 2003–2005. / под ред. О.С. Угольникова и В.В. Чичмаря. М.: МИОО, 2005.
22. Задания олимпиад школьников Московской области по астрономии. М., 2006.

## Приложение 8

### ПЕРЛовка

(перлы из работ участников олимпиады<sup>6</sup>)

- ✓ На луне присутствует 2 космические скорости.
- ✓ Восход Солнца на Земле начинается с Запада на Восток. Лишь только Уран встает на востоке и садится на западе.
- ✓ Земля заполнена  $H_2O$  на 71%.
- ✓ Угловой диаметр Луны при наблюдении с Земли у горизонта  $75^\circ$ .
- ✓ Если же пренебречь размерами солнца, и сделать его материальной точкой, то такое невозможно, т.к. материальная точка всегда будет заходить за горизонт, если высота данной точки будет изменяться.
- ✓ Потому, что самая большая звезда в солнечной системе – это солнце.
- ✓ Нужно помнить, что главная ось одна, а побочных осей много.
- ✓ ... в зеркале изображение переворачивается, но Солнце оно относительно одинаково со всех сторон, поэтому не важно.
- ✓ Больше я ничего не знаю :( Грустно. Вот так.
- ✓ Так как звезды без имен, то значит они поменьше и соответственно поближе, а также более тусклые зеленые с красной и еще какие-то. А другая голубая и еще какая-то.
- ✓ Из постоянной угловой скорости делаем вывод, что туманность расширяется с непостоянной линейной скоростью.
- ✓ ...известно, что в созвездии  $\alpha$  и  $\beta$  Большой Медведицы присутствует звезда под названием Северная звезда. Нам известно, что Северная звезда лежит на оси Земли в северном полушарии.

---

<sup>6</sup> Сохранены авторская орфография, стилистика и пунктуация.

✓ Так как это вычислительная задача, то ее нужно решать с помощью вычислений.

✓ Земля постоянно движется вокруг своей оси, т.е. меняет свое положение относительно неба.

✓ Перигей – самая удаленная точка от солнца по орбите Луны.

✓ Тогда  $10^{-5}$  парсек – расстояние которое пролетит за 1 световой год.

✓ ... угол, под которым лучи солнца падают на наблюдателя.

✓ Так как длина тени равна длине человека...

✓ Фобос будет наоборот, начинать стареть с правой стороны, а расти – с левой.

✓ Он имеет белый блеск...

✓ Человек стоит прямо (перпендикулярно плоскости)...

✓ С Венеры наблюдать соседние планеты проблематично, т.к. на планете облачно.

✓ Если этот объект изменял в течении короткого промежутка времени (1 час достаточно короткий промежуток времени)...

✓ Дальнейшие планеты нет особого смысла рассматривать, т.к. несмотря на их внушительные размеры, расстояние между ними тоже большие, так что ничего совсем хорошего не увидим.

✓ В своей жизни наблюдать затмение Солнца Луной мне довелось только один раз, что печально, но постараюсь хорошо описать свои мысли...

✓ Для примера я предпочитаю рисовать себе зарисовку, возможно, она мне где-нибудь здесь поможет, если задание понято было правильно.

✓ Мы знаем, что Солнце обычно восходит на востоке, а заходит на западе. Еще мы знаем, что плоскость эклиптики наклонена к плоскости орбиты Земли на  $23,5^\circ$ . Тогда нужно искать место, где эти две штуки компенсируются.

✓ Как-то так все выходит, если я не путаю ничего.

✓ Уверенность моя в правильности логических рассуждений не является полной, и я считаю необходимым дополнить этот ответ вариантом таким...

✓ В любом случае ... вырабатывается такая вот закономерность.

✓ Радиус земной орбиты (а.е.)  $\approx 150$  млн. км. Это вполне хороший размер для объекта неизвестного. Поэтому я, недолго думая на всякий случай напишу, что ...

✓ Если корабль поплывет со скоростью 100000 км\ч расстояние 1 км...

✓ При солнечном затмении мы видим тень отбрасываемую от Луны лучами Солнца.

✓ ... точка севера в полярных широтах находится над головой или около того.

✓ Звезды с видимым диаметром меньше 5". Я не знаю таких звезд!

✓ Размером пульсар примерно с город... Ну и ладно.

✓ Если солнце находится на горизонте, то соответственно идет либо восход, либо закат.

*Учебное издание*

Сергей Владимирович Бутаков

Сергей Егорович Гурьянов

МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ  
ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ.

2009–2013 годы

Учебно-методическое пособие

Корректор Н.А. Агафонова

Компьютерная верстка А.А. Трофимович

660049, г. Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89.

Редакционно-издательский отдел КГПУ им. В.П. Астафьева,

тел. (391) 217-17-52

Подписано в печать 17.12.14. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Усл. печ. л. 10,6. Тираж 50 экз.

Отпечатано в типографии «ЛИТЕРА-принт»,

т. 295-03-40



Ursa Major

Lynx

Leo Minor

Castor

Pollux

Gemini

Leo

Regulus

Cancer

Virgo

Canis Minor  
Procyon

Betelgeuse

Hydra

Monoceros

Crater

Hydra

Sirius

Canis Major

Antlia

Puppis

Vela

Canis

Canis