

**С.В. Бутаков, С.Е. Гурьянов**

**ЗАДАНИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПА  
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ  
ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ  
В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ  
2014-2018 ГОДЫ**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. В.П. Астафьева»

Предметно-методическая комиссия регионального этапа всероссийской  
олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии

С.В. Бутаков, С.Е. Гурьянов

**ЗАДАНИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПА  
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ  
ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ  
В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ  
2014–2018 ГОДЫ**

*Учебное пособие*

Красноярск 2019

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, профессор кафедры физики и методики обучения физике КГПУ им. В.П. Астафьева

*Н.В. Лалетин,*

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

**Бутаков С.В., Гурьянов С.Е.**

Б 93 Задания муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае. 2014–2018 годы: учебное пособие. Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева. – Красноярск, 2019. – 191 с.: 21 ил.; 7 табл.; 27 наимен. библ.

ISBN 978-5-00102-322-7

Содержатся комплекты заданий с решениями, предлагавшиеся на муниципальном этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае в период с 2014 по 2018 гг., требования и методические рекомендации по организации и проведению муниципального этапа олимпиады по этому предмету. Предназначено для педагогов, осуществляющих подготовку учащихся к участию в предметных олимпиадах, организаторов олимпиад школьников – завучей школ, специалистов муниципальных органов, осуществляющих управление в сфере образования, а также студентов педагогических вузов.

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

© Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева», 2019

ISBN 978-5-00102-322-7

© Бутаков С.В., Гурьянов С.Е., 2019

## Содержание

Предисловие .....	6
Требования к организации и проведению муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае .....	13
Методические рекомендации по проведению муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии .....	20
УСЛОВИЯ ЗАДАЧ .....	34
2014–2015 учебный год .....	34
Задания для 7–8 классов .....	34
Задания для 9 класса.....	35
Задания для 10 класса.....	37
Задания для 11 класса.....	39
2015–2016 учебный год .....	41
Задания для 7–8 классов .....	41
Задания для 9 класса.....	42
Задания для 10 класса.....	43
Задания для 11 класса.....	45
2016–2017 учебный год .....	47
Задания для 7–8 классов .....	47
Задания для 9 класса.....	49
Задания для 10 класса.....	50
Задания для 11 класса.....	51
2017–2018 учебный год .....	53
Задания для 7 класса.....	53
Задания для 8 класса.....	54
Задания для 9 класса.....	55

Задания для 10 класса.....	56
Задания для 11 класса.....	58
2018–2019 учебный год .....	59
Задания для 7 класса.....	59
Задания для 8 класса.....	60
Задания для 9 класса.....	61
Задания для 10 класса.....	63
Задания для 11 класса.....	64
<b>РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ.....</b>	<b>66</b>
2014–2015 учебный год .....	66
Решения заданий для 7–8 классов.....	66
Решения заданий для 9 класса.....	69
Решения заданий для 10 класса.....	75
Решения заданий для 11 класса.....	78
2015–2016 учебный год .....	83
Решения заданий для 7–8 классов.....	83
Решения заданий для 9 класса.....	88
Решения заданий для 10 класса.....	91
Решения заданий для 11 класса.....	96
2016–2017 учебный год .....	100
Решения заданий для 7–8 классов.....	100
Решения заданий для 9 класса.....	103
Решения заданий для 10 класса.....	106
Решения заданий для 11 класса.....	109
2017–2018 учебный год .....	113
Решения заданий для 7 класса.....	113
Решения заданий для 8 класса.....	117
Решения заданий для 9 класса.....	118
Решения заданий для 10 класса.....	124

Решения заданий для 11 класса.....	130
2018–2019 учебный год .....	135
Решения заданий для 7 класса.....	135
Решения заданий для 8 класса.....	137
Решения заданий для 9 класса.....	140
Решения заданий для 10 класса.....	146
Решения заданий для 11 класса.....	152
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	158
Приложение 1. Справочная информация.....	158
Приложение 2. Карта звездного неба.....	163
Приложение 3. Методическая программа всероссийской олимпиады школьников по астрономии .....	164
Приложение 4. Памятка наблюдателя в аудитории .....	176
Приложение 5. Памятка участника олимпиады.....	178
Приложение 6. Некоторые основные формулы .....	180
Приложение 7. Список литературы, рекомендуемой при подготовке к олимпиаде по астрономии .....	186
Приложение 8. ПЕРЛовка (перлы из работ участников олимпиады).....	189

## Предисловие

Всероссийская олимпиада школьников проводится в целях выявления и развития у обучающихся творческих способностей и интереса к научной (научно-исследовательской) деятельности, пропаганды научных знаний, отбора лиц, проявивших выдающиеся способности, в составы сборных команд Российской Федерации для участия в международных олимпиадах по общеобразовательным предметам [1]. Олимпиада проводится в четыре этапа: школьный, муниципальный, региональный и заключительный.

В соответствии с порядком проведения всероссийской олимпиады школьников, утвержденным Министерством образования и науки Российской Федерации [1] (далее по тексту – Порядок), организатор регионального этапа олимпиады формирует региональные предметно-методические комиссии по общеобразовательным предметам, по которым проводится олимпиада, и утверждает их составы.

В обязанности региональных предметно-методических комиссий олимпиады, согласно Порядку [1], входят:

- разработка требований к организации и проведению муниципального этапа олимпиады с учетом методических рекомендаций, подготовленных центральными предметно-методическими комиссиями олимпиады;

- разработка олимпиадных заданий для муниципального этапа олимпиады на основе содержания образовательных программ основного общего и среднего общего образования углубленного уровня и соответствующей направленности (профиля) с учетом методических рекомендаций, подготовленных центральными предметно-методическими комиссиями олимпиады, и формирование из них комплектов заданий для 7–11 классов;

- обеспечение хранения олимпиадных заданий по общеобразовательному предмету для муниципального этапа олимпиады до их направления организатору муниципального этапа олимпиады и их конфиденциальности.

Предметно-методическая комиссия регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии (далее по тексту – региональная ПМК по астрономии) была создана организатором регионального этапа олимпиады в Красноярском крае – министерством образования Красноярского края в 2009 году. И уже на протяжении десяти лет региональная ПМК по астрономии ведет деятельность, направленную на развитие олимпиадного движения школьников по астрономии в Красноярском крае.

Помимо разработки требований к организации и комплектов заданий муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии, региональная ПМК по астрономии осуществляет подготовку учащихся к участию в различных этапах всероссийской олимпиады школьников по астрономии, в том числе по приглашению образовательных организаций. В частности, комиссией проводятся ежегодные учебно-тренировочные сборы для кандидатов в команду Красноярского края на заключительный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии, а также индивидуальные консультации учащихся, в том числе в дистанционной форме.

Региональная ПМК по астрономии ежегодно, начиная с 2010 года, организует и проводит уникальное краткосрочное образовательное мероприятие – Красноярскую астрономическую школу на базе спортивно-оздоровительного лагеря Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева в п. Куртак Новоселовского района Красноярского края при участии Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева. В Астрошколе принимают участие победители и призеры различных этапов всероссийской олимпиады школьников по астрономии. Главной целью школы является усиление практической подготовки учащихся (включая астрономиче-

ские наблюдения) к участию во всероссийской олимпиаде школьников по астрономии. Педагогический состав школы состоит из ведущих ученых-астрономов России и Сибирского Федерального округа, преподавателей астрономии вузов г. Красноярска, учителей астрономии. Следует отметить, что в работе школы ежегодно участвуют как педагоги вузов, так и учителя общеобразовательных школ и будущие учителя – студенты педагогических направлений вузов.

Для помощи педагогам и учащимся в подготовке к участию в олимпиаде по астрономии региональная ПМК по астрономии регулярно издает учебно-методические пособия, включающие методические рекомендации по проведению муниципального этапа олимпиады по астрономии и комплекты заданий с решениями, предлагавшиеся на муниципальном этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае в предыдущие периоды [13; 14].

В 2017 году совместно с Красноярским краевым институтом повышения квалификации и профессиональной переподготовки работников образования членами комиссии разработаны курсы повышения квалификации для учителей, целью которых является формирование у педагогов установки, готовности и необходимых квалификационных характеристик для целевого и адресного сопровождения школьников в процессе подготовки и участия в олимпиадных состязаниях по астрономии, обеспечивающих высокие достижения в данных состязаниях и широкий спектр личностных образовательных результатов.

Кроме того, региональная ПМК по астрономии на протяжении многих лет организует проведение регионального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии на базе КГПУ им. В.П. Астафьева, а также периодически разрабатывает комплекты заданий для школьного эта-

па всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярске, Зеленогорске, Железногорске и занимается научной деятельностью [12].

В 2018–2019 учебном году, при активном участии региональной ПМК по астрономии, город Красноярск вошел в список основных мест проведения очных туров, включая заключительный этап, Санкт-Петербургской астрономической олимпиады [9] – олимпиады I уровня по астрономии и физике из перечня олимпиад школьников Минобрнауки России [2]. Победители и призеры такой олимпиады могут быть зачислены в ведущие вузы страны на профильные направления без вступительных испытаний после подтверждения своего уровня подготовки на школьном ЕГЭ, набрав не менее 75 баллов по профильному предмету. В феврале–марте 2019 года в Красноярском государственном педагогическом университете им. В.П. Астафьева впервые состоялся заключительный этап этой олимпиады для школьников Красноярского края и соседних регионов. В этом учебном году в Санкт-Петербургской астрономической олимпиаде приняли участие 25 учащихся 6–11 классов общеобразовательных организаций Красноярска, Зеленогорска, Железногорска и Бородино, трое из них стали призерами (см. Таблицу 1). Всего же в олимпиаде участвовали более 700 человек, как из России, так и из зарубежных стран.

Таким образом, региональная ПМК по астрономии с момента ее основания является постоянно действующим органом, выполняющим большую работу по подготовке участников олимпиады по астрономии и их педагогов.

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 – победителей и призеров заключительного этапа всероссийской олимпиады школьников (ВсОШ) по

астрономии за весь период ее проведения, а также Санкт-Петербургской астрономической олимпиады – приведен в таблице ниже [7; 9].

Таблица 1

Год	Участник	Класс	Населенный пункт	Образовательная организация	Результат
1998	Канищев К.А.	8	г. Железногорск	МОУ «СОШ № 178»	Призер ВсОШ
2002	Ибрагимов А.А.	9	г. Красноярск	МОУ «СОШ № 10»	<b>Победитель</b> ВсОШ
2002	Обушенко А.В.	10	г. Красноярск	МОУ «СОШ № 10»	<b>Победитель</b> ВсОШ
2002	Васильев Д.С.	11	г. Зеленогорск	МОУ «СОШ № 161»	Призер ВсОШ
2002	Ушаков В.С.	11	г. Красноярск	МОУ «СОШ № 89»	Призер ВсОШ
2002	Карпов А.В.	11	г. Красноярск	МОУ «СОШ № 115»	Призер ВсОШ
2010	Пузырев А.А.	9	г. Красноярск	МБОУ «СОШ № 7»	Призер ВсОШ
2010	Жук М.Ю.	9	г. Зеленогорск	МОУ «СОШ № 161»	Призер ВсОШ
2010	Ефимов В.О.	11	г. Красноярск	МОУ «СОШ № 145»	Призер ВсОШ
2011	Жук М.Ю.	10	г. Зеленогорск	МОУ «СОШ № 161»	Призер ВсОШ
2012	Жук М.Ю.	11	г. Зеленогорск	МБОУ «СОШ № 161»	Призер ВсОШ
2014	Юшков Р.А.	10	г. Красноярск	МАОУ «Лицей № 7»	Призер ВсОШ
2015	Юшков Р.А.	11	г. Красноярск	МАОУ «Лицей № 7»	Призер ВсОШ
2015	Юшков Р.А.	11	г. Красноярск	МАОУ «Лицей № 7»	<i>Призер С-Пб астрономической олимпиады</i>
2016	Мельников А.Р.	9	г. Красноярск	МАОУ «Лицей № 7»	Призер ВсОШ
2017	Чернацкий Е.Г.	9	г. Зеленогорск	МБОУ «Лицей № 174»	<b>Победитель</b> ВсОШ
2017	Мельников А.Р.	10	г. Красноярск	МАОУ «Лицей № 7»	Призер ВсОШ
2018	Альбрант М.А.	11	г. Красноярск	МБОУ «СШ № 42»	<i>Призер С-Пб астрономической олимпиады</i>
2019	Чернацкий Е.Г.	9	г. Зеленогорск	МБОУ «Лицей № 174»	Призер ВсОШ

2019	Александров Л.В.	6	г. Красноярск	МАОУ «Лицей № 7»	<i>Призер С-Пб астрономической олимпиады</i>
2019	Синицына В.В.	8	г. Красноярск	МАОУ «Лицей № 7»	<i>Призер С-Пб астрономической олимпиады</i>
2019	Гибадуллин В.О.	11	г. Железногорск	КГАОУ «Школа космонавтики»	<i>Призер С-Пб астрономической олимпиады</i>

Данная книга содержит требования к организации и проведению муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае и методические рекомендации по его проведению, разработанные предметно-методической комиссией регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии в соответствии с Порядком проведения всероссийской олимпиады школьников [1] и с учетом новых методических рекомендаций, подготовленных центральной предметно-методической комиссией всероссийской олимпиады школьников по астрономии [4]. Основной частью пособия являются комплекты заданий с решениями, предлагавшиеся на муниципальном этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае в период с 2014–2015 по 2018–2019 учебные годы.

Авторами-составителями комплектов заданий являются: доцент кафедры физики и методики обучения физике 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 методист Центра образования «Перспектива» города Зеленогорска, член Российской Ассоциации учителей астрономии, председатель жюри регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астроно-

мии, Почетный работник общего образования Российской Федерации, Заслуженный педагог Красноярского края Сергей Егорович Гурьянов. В разработке заданий 2015–2016 учебного года принимал участие инженер обсерватории Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева Евгений Геннадьевич Лапухин.

В сборник также включены приложения, содержащие новую методическую программу всероссийской олимпиады школьников по астрономии, разработанную в 2017 году центральной предметно-методической комиссией всероссийской олимпиады школьников по астрономии [3], справочную информацию, разрешенную к использованию на различных этапах олимпиады по астрономии [4; 5], памятки наблюдателю в аудитории и участнику олимпиады, некоторые основные астрономические формулы, а также список литературы, рекомендуемой для подготовки учащихся к участию в олимпиаде по астрономии. В последнем приложении содержатся забавные фразы и высказывания («перлы») из работ участников олимпиады по астрономии, собранные авторами за период с 2014 по 2018 годы, которые помогут читателям немного отвлечься и отдохнуть от напряженной работы по подготовке к участию в олимпиаде.

**Требования к организации и проведению муниципального этапа  
всероссийской олимпиады школьников по астрономии  
в Красноярском крае<sup>1</sup>**

**1. Принципы составления олимпиадных заданий и формирования  
комплектов олимпиадных заданий**

Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии проводится в один аудиторный (теоретический) тур, проходящий в один день в пяти возрастных параллелях: 7, 8, 9, 10 и 11 классы. Комплект заданий в параллелях 7 и 8 классов содержит 4 задания, а в параллелях 9–11 классов – 6 заданий. Решение каждого задания оценивается по 8-балльной шкале. Максимальная оценка за весь этап составляет 32 балла (7 и 8 классы) и 48 баллов (9–11 классы). Продолжительность выполнения заданий тура составляет 2 астрономических часа (120 минут) для участников из 7–8 классов и 3 астрономических часа (180 минут) – для участников из 9–11 классов.

Муниципальный этап олимпиады проводится по олимпиадным заданиям, которые разрабатываются предметно-методической комиссией регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии, созданной министерством образования Красноярского края, с учетом методических рекомендаций Центральной предметно-

---

<sup>1</sup> Разработаны предметно-методической комиссией регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии в соответствии с Порядком проведения всероссийской олимпиады школьников, утвержденным приказом Минобрнауки РФ от 18.11.2013 № 1252 [1] и с учетом методических рекомендаций по проведению школьного и муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2018/2019 учебном году, разработанных Центральной предметно-методической комиссией по астрономии всероссийской олимпиады школьников [4].

методической комиссии по астрономии всероссийской олимпиады школьников. Для каждой из возрастных параллелей предлагается свой комплект заданий, при этом некоторые задания могут входить в комплекты по нескольким возрастным параллелям. Тематика заданий муниципального этапа олимпиады выбирается исходя из методической программы всероссийской олимпиады школьников по астрономии, разработанной Центральной предметно-методической комиссией [3] и размещенной на официальном сайте всероссийской олимпиады по астрономии [7]. Задания в каждой параллели ориентированы на программу предыдущих лет и программу текущего учебного года. Задания в каждом комплекте не связаны друг с другом. Каждое из заданий может сочетать несколько тем из указанной программы.

## **2. Материально-техническое обеспечение для выполнения олимпиадных заданий**

Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии не предусматривает постановку каких-либо практических (в том числе внеурочных, выполняемых вне школы или в темное время суток) задач по астрономии, и их проведение не требует специфического оборудования (телескопов и других астрономических приборов). Этот этап олимпиады по астрономии проводится в аудиторном формате, и материальные требования для проведения олимпиады не выходят за рамки организации стандартного аудиторного режима.

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 15–20 участников, каждый

из которых должен сидеть за отдельной партой. Рекомендуется участников олимпиады по каждой возрастной группе размещать в разных аудиториях.

Каждому участнику олимпиады оргкомитет должен предоставить пустую тетрадь со штампом организационного комитета (при необходимости участнику может быть выдана дополнительная тетрадь). В каждой аудитории должны быть также запасные канцелярские принадлежности, включая линейки, и инженерный (научный) калькулятор. Во время работы над решениями участнику могут быть предоставлены продукты питания (сок, печенье, шоколад и т.п.) или участник может принимать продукты, принесенные с собой.

Перед началом тура участникам выдаются листы с заданиями, содержащие листы со справочной информацией, разрешенной к использованию на олимпиаде (Приложения 1, 2). Тексты заданий должны быть заранее размножены так, чтобы каждый школьник имел отдельный лист с текстом заданий. Допускается черно-белая печать и тиражирование листов с заданиями. Написание условий на доске в аудитории не допускается. По окончании тура листы с заданиями и приложения участники могут взять с собой.

После окончания тура и разбора задач рекомендуется раздать участникам или их педагогам листы с решениями.

Для жюри на весь день проведения олимпиады оргкомитетом должно быть предоставлено отдельное помещение.

### **3. Перечень справочных материалов, средств связи и электронно-вычислительной техники, разрешенных к использованию во время проведения олимпиады**

Учебное оборудование, разрешенное к использованию участниками во время проведения олимпиады: инженерный (научный) калькулятор, канцелярские принадлежности (ручка, карандаш, линейка, резинка для сти-

рания и т.п.), справочные данные, разрешенные к использованию участниками на муниципальном этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии (Приложение 1), карта звездного неба (Приложение 2).

Во время работы над заданиями участнику запрещается пользоваться мобильным телефоном, смартфоном, планшетом (в любой их функции), программируемым калькулятором или переносным компьютером. Также запрещается пользоваться какими-либо источниками информации, за исключением листов со справочной информацией, раздаваемых оргкомитетом перед туром.

#### **4. Критерии и методики оценивания олимпиадных 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. Рекомендуется членам жюри перед проверкой работ участников самостоятельно решить задания.

Решение каждой задачи, выполненное участником олимпиады, оценивается по 8-балльной шкале (от 0 баллов за отсутствие решения до 8 баллов за полное решение). Максимальная оценка за весь этап в возрастных параллелях 7 и 8 классов составляет 32 балла, в параллелях 9–11 классов – 48 баллов. Жюри выставляет оценки на первой странице тетради участника.

Ниже представлена общая схема оценивания решений:

0 баллов – решение отсутствует или абсолютно некорректно;

1 балл – правильно угаданный бинарный ответ (да/нет) без обоснования;

1–2 балл – сделана попытка решения, не давшая результата;

2–3 балла – правильно угадан сложный ответ, но его обоснование отсутствует или ошибочно;

4–6 баллов – частично решенная задача;

6–7 баллов – полностью решенная задача с более или менее значительными недочетами;

8 баллов – полностью решенная задача.

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.

### *Подведение итогов олимпиады*

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. Организатором может быть установлена любая квота победителей и призеров, вплоть до 100 % от всех участников, если все участники этапа достаточно успешно справились с заданиями. В пределах установленной квоты на основе протоколов муниципального этапа жюри присуждает дипломы победителей и призеров данного этапа в каждой возрастной параллели. Минимальное число набранных баллов, необходимое для присуждения дипломов, может отличаться для разных возрастных параллелей. При определении этого числа жюри должно принимать во внимание особенности распределения участников по на-

бранным баллам. В каждой возрастной параллели может быть несколько победителей и призеров. Не рекомендуется присуждать разный статус (победитель/призер или призер/участник) участникам одной возрастной параллели с незначительной разницей в баллах. Категорически запрещается присуждать разный статус участникам одной возрастной параллели с одинаковым числом набранных баллов.

После подведения итогов информация о результатах тура доводится до сведения участников.

## **5. Процедура регистрации участников олимпиады**

Процедура регистрации участников олимпиады определяется организатором муниципального этапа олимпиады – органом местного самоуправления, осуществляющим управление в сфере образования.

## **6. Показ олимпиадных работ, рассмотрение апелляций участников олимпиады**

Жюри совместно с оргкомитетом олимпиады осуществляет показ работ и рассматривает апелляции участников.

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, проверивших ту или иную задачу, с каждым из записавшихся на апелляцию участников с использованием аудио- и видеофиксации. По результатам рассмотрения апелляции о несогласии с выставленными баллами жюри муниципального этапа олимпиады принимает ре-

шение 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 апелляции может служить только выяснение того, оценил ли (не оценил, правильно ли оценил) проверяющий ту или иную мысль, письменную 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.

## **Методические рекомендации по проведению муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии<sup>2</sup>**

### **Рекомендации для организаторов по подготовке и проведению олимпиады**

Целью муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии является выявление одаренных учащихся, способных решать задачи повышенной сложности по данному предмету. Взимание платы за участие в муниципальном этапе олимпиады не допускается.

Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников проводится органом местного самоуправления, осуществляющим управление в сфере образования (далее – организатор муниципального этапа олимпиады) в ноябре – декабре, но не позднее 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 Красноярского края.

Для проведения муниципального этапа организатором муниципального этапа олимпиады создаются и утверждаются составы оргкомитета и жюри муниципального этапа олимпиады. Численность жюри должна быть не менее трех человек, включая председателя. В случае большего количе-

---

<sup>2</sup> Составлены предметно-методической комиссией регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии на основе требований к организации и проведению муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае с учетом методических рекомендаций по проведению школьного и муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2018/2019 учебном году, разработанных Центральной предметно-методической комиссией по астрономии всероссийской олимпиады школьников [4].

ственного состава жюри может назначаться заместитель председателя жюри. Жюри олимпиады рекомендуется формировать из членов предметно-методической комиссии регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии, преподавателей астрономии и студентов вузов, учителей астрономии. Состав жюри должен меняться не менее чем на пятую часть от общего числа членов не реже одного раза в пять лет.

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

Организатор муниципального этапа олимпиады на основе протоколов школьного этапа по всем образовательным учреждениям устанавливает проходной балл – минимальную оценку на школьном этапе, необходимую для участия в муниципальном этапе. Данный проходной балл устанавливается отдельно в возрастных параллелях 7, 8, 9, 10 и 11 классов и может быть разным для этих параллелей. На основе этих баллов, а также списков победителей и призеров муниципального этапа всероссийской олимпиады по астрономии предыдущего учебного года формируется список участников муниципального этапа всероссийской олимпиады по астрономии текущего учебного года.

Участники вправе выполнять олимпиадные задания, разработанные для более старших классов по отношению к тем, в которых они проходят

обучение, если они выполняли задания школьного этапа за этот же класс. Победители и призеры муниципального этапа предыдущего года также вправе выполнять олимпиадные задания, разработанные для более старших классов по отношению к тем, в которых они проходят обучение. В случае прохождения таких участников на последующие этапы олимпиады, они должны будут выполнять олимпиадные задания в той же старшей параллели.

Сбор и хранение заявлений родителей (законных представителей) обучающихся, заявивших о своем 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 производит 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 Красноярского края, с учетом методических рекомендаций Центральной предметно-методической комиссии по астрономии всероссийской олимпиады школьников. Для каждой из возрастных параллелей предлагается свой комплект заданий, при этом некоторые задания могут входить в комплекты по нескольким возрастным параллелям (как в идентичной, так и в отличающейся формулировке).

Исходя из целей и задач муниципального этапа всероссийской олимпиады по астрономии, школьникам предлагается по 4 задания (в параллелях 7 и 8 классов) или по 6 заданий (в параллелях 9–11 классов). Со-

гласно концепции Центральной предметно-методической комиссии по астрономии всероссийской олимпиады школьников большинство олимпиадных задач 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 муниципального этапа олимпиады выбирается исходя из методической программы всероссийской олимпиады школьников по астрономии, разработанной Центральной предметно-методической комиссией [3] (Приложение 3) и размещенной на официальном сайте всероссийской олимпиады по астрономии [7]. Задания в каждой параллели ориентированы на программу предыдущих лет и программу текущего учебного года. Задания в каждом комплекте не связаны друг с другом. Каждое из заданий может сочетать несколько тем из указанной программы. Эту же методическую программу следует использовать 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. Участники олимпиады и сопровождающие их лица должны быть предупреждены о необходимости прибыть на место проведения муниципального этапа не менее чем за 15 минут до его начала. Перед началом тура проводится предварительное собрание в актовом зале или иной большой аудитории организации, в которой проводится олимпиада, где оглашаются правила ее проведения (продолжительность олимпиады, порядок подачи апелляций о несогласии с выставленными баллами, причины удаления с олимпиады, время и место ознакомления с результатами олимпиады), представляет-

ся 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 15–20 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 пустую тетрадь со штампом организационного комитета. В каждой аудитории должны быть также запасные канцелярские принадлежности и инженерный (научный) калькулятор. Во время работы над решениями участнику могут быть предоставлены продукты питания (сок, печенье, шоколад и т.п.) или участник может принимать продукты, принесенные с собой. 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 соблюдения школьниками правил работы во время тура. Наблюдатели заранее должны пройти инструктаж. Памятка наблюдателя в аудитории приведена в Приложении 4.

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 кодирова-

ние (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 2 астрономических часа (120 минут) для участников из 7–8 классов и 3 астрономических часа (180 минут) для участников из 9–11 классов. Участники начинают выполнять задания со второй страницы 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 первую тетрадь. По окончании работы вторая тетрадь вкладывается в первую.

Во время работы над заданиями участник олимпиады имеет право:

1. Пользоваться справочными данными, разрешенными к использованию участниками на муниципальном этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии и выдаваемыми оргкомитетом перед туром вместе с заданиями;

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

3. Пользоваться собственным инженерным (научным) калькулятором, а также просить наблюдателя временно предоставить ему калькулятор.

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

5. Принимать продукты питания.

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

Во время работы над заданиями участнику запрещается:

1. Пользоваться мобильным телефоном, смартфоном, планшетом (в любой их 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.

Памятка участника олимпиады приведена в Приложении 5.

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 об удалении участника олимпиады. 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 права 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 в аудитории. 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.

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 рейтинговые таблицы результатов вывешиваются (публикуются) 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 заданий.

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 видеозаписи. 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.

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. Организатором может быть установлена любая квота победителей и призеров, вплоть до 100 % от всех участников, если все участники этапа достаточно успешно справились с заданиями. В пределах установленной квоты на основе протоколов муниципального этапа жюри присуждает дипломы победителей и призеров данного этапа в каждой возрастной параллели. Минимальное число набранных баллов, необходимое для присуждения дипломов, может отличаться для разных возрастных параллелей. При определении этого числа жюри должно принимать во внимание особенности распределения участников по набранным баллам. В каждой возрастной параллели может быть несколько победителей и призеров. Не рекомендуется присуждать разный статус (победитель/призер или призер/участник) участникам одной возрастной параллели с незначительной разницей в баллах. Категорически запрещается присуждать разный статус участникам одной возрастной параллели с одинаковым числом набранных баллов.

Протокол муниципального этапа, который составляется оргкомитетом отдельно для каждой возрастной параллели с указанием оценок всех участников по каждой из задач и суммы баллов, 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 то-

го, полные протоколы муниципального этапа олимпиады с указанием оценок всех участников передаются в министерство образования Красноярского края.

Победители и призеры муниципального этапа олимпиады награждаются соответствующими дипломами. Организатором муниципального этапа могут учреждаться дополнительные специальные призы и поощрительные 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 Красноярского края, приглашаются для участия в региональном этапе всероссийской олимпиады школьников, который проходит в январе–феврале текущего учебного года.

### **Общие рекомендации для жюри по проверке заданий**

Рекомендуется членам жюри самостоятельно провести решения заданий. После этого жюри проводит 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 (одними и теми же) членами жюри. В этом случае итоговая оценка получается усреднением двух независимых оценок, итоговая оценка должна быть округлена. Выставление дробной оценки за задание в

итоговый протокол не допускается. Если оценки двух членов жюри существенно различаются, то проводятся обсуждения, и, при необходимости, оценка корректируется. 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 (от 0 баллов за отсутствие решения до 8 баллов за полное решение). Альтернативные способы решения задачи, не учтенные составителями задач, при условии их правильности и корректности также оцениваются в полной мере. Жюри выставляет оценки на первой странице тетради участника.

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 чистовике следует посмотреть 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.

Ниже представлена общая схема оценивания решений:

0 баллов – решение отсутствует или абсолютно некорректно;

1 балл – правильно угаданный бинарный ответ (да/нет) без обоснования;

1–2 балл – сделана попытка решения, не давшая результата;

2–3 балла – правильно угадан сложный ответ, но его обоснование отсутствует или ошибочно;

4–6 баллов – частично решенная задача;

6–7 баллов – полностью решенная задача с более или менее значительными недочетами;

8 баллов – полностью решенная задача.

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 в возрастных параллелях 7 и 8 классов составляет 32 балла, в параллелях 9–11 классов – 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.

## УСЛОВИЯ ЗАДАЧ

2014–2015 учебный год

Задания для 7–8 классов

### 1. Комета вблизи Марса

Как оказалось, одна из открытых в 2013 году комет (комета C/2013 A1) 19 октября 2014 года пройдет на расстоянии около 140 тысяч километров от Марса. Для изучения этой кометы ученые планируют использовать в том числе и фотокамеру высокого разрешения HiRISE, установленную на борту «Марсианского орбитального разведчика» – автоматической межпланетной станции Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), которая с 2006 года находится на орбите Марса. На фотографиях поверхности Марса, полученных этой камерой с высоты 300 км, различимы детали размером около 40 см. Какого наименьшего размера детали в голове кометы C/2013 A1 можно сфотографировать этой камерой? Можно ли будет на этих фотографиях рассмотреть ядро кометы и детали рельефа его поверхности?

### 2. Лунное затмение

В какой фазе была Луна в момент полного лунного затмения 8 октября 2014 года?

### 3. Южные небеса

Представьте, что вы оказались в средних широтах южного полушария Земли. Как изменится вид небесной сферы, звездного неба, светил и их суточное и годичное движение по сравнению с нашими широтами? Перечислите как можно больше отличий.

#### 4. Солнце и братец Месяц

Часто на иллюстрациях к сказкам Солнце и Луну (месяц) изображают, как показано на Рис. 1. Могут ли они на самом деле так взаимно располагаться на небе? Свой ответ поясните.

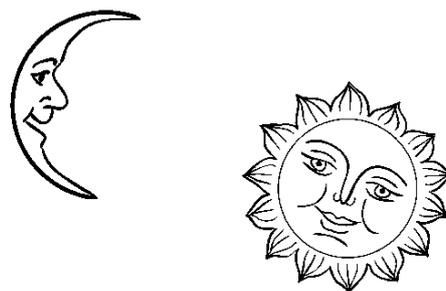


Рис. 1

#### 5. Космический взрыв

Несколько лет назад, 5 февраля 2009 года, известный любитель астрономии Уильям Лиллер из Чили открыл вспышку Новой звезды в Большом Магеллановом Облаке, карликовой галактике – спутнике Млечного Пути, удаленной от нас на расстояние 160 тысяч световых лет. Когда на самом деле взорвалась эта звезда?

#### 6. Созвездия осеннего неба

Какие из перечисленных ниже созвездий можно увидеть на небе в окрестностях Красноярска осенними вечерами, когда стемнеет?

Андромеда, Водолей, Возничий, Ворон, Гидра, Дева, Дельфин, Лев, Овен, Пегас, Рак, Рыбы, Секстант, Центавр, Цефей, Чаша.

### Задания для 9 класса

#### 1. Комета вблизи Марса

Как оказалось, одна из открытых в 2013 году комет (комета C/2013 A1) 19 октября 2014 года пройдет на расстоянии около 0,00094 астрономических единиц от Марса. Для изучения этой кометы ученые планируют использовать в том числе и фотокамеру высокого разрешения HiRISE, установленную на борту «Марсианского орбитального разведчика» – автоматической межпланетной станции Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), которая с 2006 года находится на орбите Марса. На фотографиях

поверхности Марса, полученных этой камерой с высоты 300 км, различимы детали размером около 40 см. Какого наименьшего размера детали в голове кометы C/2013 A1 можно сфотографировать этой камерой? Можно ли будет на этих фотографиях рассмотреть ядро кометы и детали рельефа его поверхности?

## **2. Лунное и солнечное затмения**

8 октября 2014 года около полудня по всемирному времени произошло полное лунное затмение. Когда на Земле может произойти ближайшее солнечное затмение?

## **3. Южные небеса**

Представьте, что вы оказались в средних широтах южного полушария Земли. Как изменится вид небесной сферы, звездного неба, светил и их суточное и годичное движение по сравнению с нашими широтами? Перечислите как можно больше отличий.

## **4. Ошибки корреспондента**

Перед вами – начало заметки, опубликованной в одной из газет летом 2014 года:

«В ночь на 10 августа жители Земли смогут наблюдать суперлуние. Ряд астрономов полагает, что особенно хорошо явление будет видно в Сибири. В эти дни орбиты Земли и Луны начинают свое сближение. Обычное расстояние от Луны до Земли составляет 384 467 километров. Однако в предстоящую ночь оно сократится аж до 356 100 километров (на 14 процентов), при этом яркость спутника Земли увеличится на 30 процентов»...

Найдите ошибки и неточности в этом тексте. «Суперлунием» называют полнолуние вблизи перигея. 10 августа 2014 года Луна прошла точку перигея в 21 ч 44 мин, а полнолуние наступило в 22 ч 10 мин по московскому времени.

## **5. Марс или Меркурий?**

Отпущенный воображаемым космонавтом камень массой 1 кг свободно падает на поверхность планеты с высоты 1 метр. На какой из планет: Марсе или Меркурии – время падения камня будет больше?

## **6. Созвездия осеннего неба**

Какие из перечисленных ниже созвездий можно увидеть на небе в окрестностях Красноярска осенними вечерами, когда стемнеет?

Андромеда, Водолей, Возничий, Ворон, Гидра, Дева, Дельфин, Лев, Овен, Пегас, Рак, Рыбы, Секстант, Центавр, Цефей, Чаша.

## **Задания для 10 класса**

### **1. Комета вблизи Марса**

Как оказалось, одна из открытых в 2013 году комет (комета C/2013 A1) 19 октября 2014 года пройдет на расстоянии около 0,00094 астрономических единиц от Марса. Для изучения этой кометы ученые планируют использовать, в том числе, и фотокамеру высокого разрешения HiRISE, установленную на борту «Марсианского орбитального разведчика» – автоматической межпланетной станции Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), которая с 2006 года находится на орбите Марса. Эта фотокамера может зафиксировать отдельно две точки, видимые под углом 0,28". Какого наименьшего размера детали в голове кометы C/2013 A1 можно сфотографировать этой камерой? Можно ли будет на этих фотографиях рассмотреть ядро кометы и детали рельефа его поверхности? Будет ли выше качество изображений кометы, если использовать для ее наблюдений космический телескоп имени Хаббла, разрешающая способность которого составляет около 0,1"?

## **2. Возвращение кометы**

Определите, когда комета C/2013 A1, упомянутая в предыдущей задаче, снова вернется к Солнцу, если ее перигелийное расстояние составляет 1,4 а.е., а эксцентриситет орбиты равен 1,0.

## **3. Южные небеса**

Представьте, что вы оказались в средних широтах южного полушария Земли. Как изменится вид небесной сферы, звездного неба, светил и их суточное и годичное движение по сравнению с нашими широтами? Перечислите как можно больше отличий.

## **4. Гринвич или Париж?**

Строительство главных обсерваторий в разных странах в свое время послужило началом отсчета географических долгот именно от них. Так, русские считали долготы от Пулково (пригород Санкт-Петербурга), французы от Парижа, англичане и американцы от Гринвича (предместье Лондона), немцы от Берлина и т.д. Это представляло большие практические неудобства, поэтому 130 лет назад в 1884 году на Международном конгрессе в Вашингтоне было принято единое решение – отсчитывать долготы от Гринвичского меридиана.

С этим решением не согласились французы, которые приняли Гринвичский меридиан вместо Парижского только в 1911 году. Но и после этого официальное время по Гринвичу у них долго называлось «Среднее парижское время минус 9 минут и 21 секунду».

Определите долготу Парижской обсерватории в градусной мере.

## **5. Отодвигаем Марс**

Во сколько раз дальше от Солнца должен был бы находиться Марс, чтобы его противостояния наблюдались ровно каждые 2 года?

## **6. Созвездия осеннего неба**

Какие из перечисленных ниже созвездий можно увидеть на небе в окрестностях Красноярска осенними вечерами, когда стемнеет?

Андромеда, Водолей, Возничий, Ворон, Гидра, Дева, Дельфин, Лев, Овен, Пегас, Рак, Рыбы, Секстант, Центавр, Цефей, Чаша.

### **Задания для 11 класса**

#### **1. Комета вблизи Марса**

Как оказалось, одна из открытых в 2013 году комет (комета C/2013 A1) 19 октября 2014 года пройдет на расстоянии около 0,00094 астрономических единиц от Марса. Для изучения этой кометы ученые планируют использовать в том числе и фотокамеру высокого разрешения HiRISE, установленную на борту «Марсианского орбитального разведчика» – автоматической межпланетной станции Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), которая с 2006 года находится на орбите Марса. Эта фотокамера имеет объектив диаметром 50 см. Какого наименьшего размера детали в голове кометы C/2013 A1 можно сфотографировать этой камерой? Можно ли будет на этих фотографиях рассмотреть ядро кометы и детали рельефа его поверхности? Будет ли выше качество изображений кометы, если использовать для ее наблюдений космический телескоп имени Хаббла с диаметром зеркала 2,4 м?

#### **2. Комета Барнарда-Боттини**

В конце августа 2014 года вдали от Земли прошла точку перигелия комета C206P/ Barnard-Boattini. Эта комета необычна тем, что была открыта Эдвардом Барнардом еще 13 октября 1892 года и считается первой в истории кометой, открытой фотографическим путем. Однако после этого комета была утеряна более чем на 100 лет и случайно переоткрыта только 7 октября 2008 года Андреа Боттини из обсерватории Маунт Леммон. При-

чем период ее обращения вокруг Солнца оказался равным всего 5,83 года! Определите, насколько эта комета может приближаться к Земле и удаляться от Солнца (наклоном орбиты пренебречь), если эксцентриситет ее орбиты  $e = 0,6464$ ? Сколько ее возвращений к перигелию было пропущено? Как вы думаете, почему это произошло?

### **3. Южные небеса**

Представьте, что вы оказались в средних широтах южного полушария Земли. Как изменится вид небесной сферы, звездного неба, светил и их суточное и годичное движение по сравнению с нашими широтами? Перечислите как можно больше отличий.

### **4. Солнце в Кызыле**

Считая, что город Кызыл находится точно к югу от города Красноярска и расстояние между этими городами составляет по прямой 480 км, определите, на какую максимальную высоту над горизонтом поднимается Солнце в Кызыле. Широта Красноярска  $\varphi = 56,0^\circ$  с.ш.

### **5. Космический взрыв**

Пять лет назад, 5 февраля 2009 года, известный любитель астрономии Уильям Лиллер из Чили открыл вспышку Новой звезды 10,5 звездной величины в Большом Магеллановом Облаке (БМО), карликовой галактике – спутнике Млечного Пути. Считая, что Новая была открыта в максимуме блеска, определите расстояние до БМО. Когда на самом деле взорвалась эта звезда? Принять, что абсолютная звездная величина Новой достигала  $-8,0^m$ .

### **6. Созвездия осеннего неба**

Какие из перечисленных ниже созвездий можно увидеть на небе в окрестностях Красноярска осенними вечерами, когда стемнеет?

Андромеда, Водолей, Возничий, Ворон, Гидра, Дева, Дельфин, Лев, Овен, Пегас, Рак, Рыбы, Секстант, Центавр, Цефей, Чаша.

**2015–2016 учебный год**  
**Задания для 7–8 классов**

**1. Прохождения с Цереры**

1 января 2016 года будет отмечаться 215-летний юбилей с момента открытия самого большого объекта из главного пояса астероидов – карликовой планеты Цереры. Прохождения каких планет солнечной системы по диску Солнца могут наблюдаться с Цереры?



Рис. 2

**2. Три полумесяца**

Как вы считаете, спутники какой планеты изображены на рисунке (Рис. 2)? Свой ответ обоснуйте.

**3. Суперлуние после солнечного затмения**

20 марта 2015 года в Красноярске наблюдалось солнечное затмение. В этот день в теленовостях сообщили следующее: «Сегодня еще одно астрономическое событие, но уже ночью смогут наблюдать красноярцы – суперлуние. Спутник будет на максимально близком расстоянии от Земли и покажется на 14 % больше и 30 % ярче, чем обычно». Действительно ли в эту ночь, при условии хорошей погоды, можно было увидеть Луну такой, как сообщалось в новостях? Свой ответ обоснуйте.

**4. «Новые горизонты»**

Во второй половине дня 4 июля 2015 года, за 10 дней до минимального сближения с Плутоном, находясь на расстоянии около 32 а.е. от Земли, космический аппарат (КА) «Новые Горизонты» вдруг перестал отправлять данные в Центр управления полетом (ЦУП). Поднялась небольшая паника, но ученые заявили, что сделают все возможное для скорейшего восстановления

связи и сохранения работоспособности космического аппарата, который почти 10 лет летел к самому далекому из крупных тел Солнечной системы. И действительно, спустя 1 час 21 минуту связь с аппаратом была восстановлена. Как вы думаете, благодаря чему: 1 – вмешательству каких-то потусторонних сил; 2 – прекращению временного затенения солнечных батарей КА; 3 – усилиям специалистов ЦУП; 4 – предусмотрительности конструкторов КА, заранее запрограммировавших действия КА в такой ситуации? Рассмотрите все предложенные варианты и поясните свой ответ.

### **5. Самолетом на Плутон**

Сколько времени длился бы полет на Плутон, если бы он выполнялся со скоростью реактивного пассажирского самолета – 900 км/ч по прямой линии? Считать, что Плутон находится на расстоянии 32 а.е. от Земли.

### **6. Старинный рисунок**

На старинном рисунке (Рис. 3) изображено Солнце в окружении шести комет. Могли ли астрономы в прошлом наблюдать эти кометы так, как показано на рисунке? Рассмотрите каждую комету и поясните свой ответ.



Рис. 3

## **Задания для 9 класса**

### **1. Прохождения с Цереры**

1 января 2016 года будет отмечаться 215-летний юбилей с момента открытия самого большого объекта из главного пояса астероидов – карликовой планеты Цереры. Прохождения каких планет солнечной системы по диску Солнца могут наблюдаться с Цереры?

## **2. Три полумесяца**

Как вы считаете, спутники какой планеты изображены на рисунке (см. Рис. 2)? Свой ответ обоснуйте.

## **3. Июньской ночью**

В самую короткую июньскую ночь любитель астрономии увидел в полночь восходящую Луну. В какой точке горизонта и в какой фазе находится Луна? Наклоном орбиты Луны к плоскости эклиптики пренебречь.

## **4. Архимед в Сиракузах**

Существует легенда, что во время осады римлянами города Сиракузы великий Архимед «с помощью зажигательных зеркал направил солнечный огонь на вражеский флот и обратил его в пепел». Где и насколько выше поднимается Солнце над горизонтом в день летнего солнцестояния: в Сиракузах (географическая широта  $+37^\circ$ ) или на экваторе Земли? Наклон земного экватора к эклиптике принять равным  $23,5^\circ$ .

## **5. Покрытие во время затмения**

Год назад, 8 октября 2014 года, с Земли можно было наблюдать покрытие Урана Луной во время лунного затмения. Для каких еще планет солнечной системы могут произойти такие явления, а для каких нет и почему? Вблизи какой конфигурации находился Уран?

## **6. Размер кометы**

Горизонтальный параллакс кометы  $15''$ , а видимый диаметр ее газовой головы (комы) составляет  $3,0'$ . Оцените размеры головы кометы в километрах.

### **Задания для 10 класса**

#### **1. С Марса или с Юпитера?**

С какой планеты: Марса или Юпитера – можно было бы чаще (и во сколько раз) наблюдать прохождение Земли по диску Солнца в предположе-

нии, что все планеты движутся в одной плоскости? Периоды обращения Марса и Юпитера вокруг Солнца принять за 687 сут и 11,86 лет, соответственно.

## 2. 110 лет Джерарду Койперу

7 декабря этого года исполнится 110 лет со дня рождения известного астронома Джерарда Койпера. Возможно, вы уже слышали о так называемом «поясе Койпера», число известных объектов в котором уже превысило тысячу (и есть оценки, что еще более 70 тысяч объектов с диаметром более 100 км пока не обнаружены)! Попробуйте оценить ширину пояса Койпера, если абсолютное большинство его объектов имеют периоды обращения вокруг Солнца от 165 до 400 лет.

## 3. Июньской ночью

В самую короткую июньскую ночь любитель астрономии увидел в полночь восходящую Луну. В какой точке горизонта и в какой фазе находится Луна? Наклоном орбиты Луны к плоскости эклиптики пренебречь.

## 4. Наблюдения Весты

Веста – крупнейший по массе астероид главного пояса астероидов – был открыт немецким астрономом Генрихом Вильгельмом Ольберсом 29 марта 1807 года. Осенью этого года в сети Интернет появились сообщения, что жители России 24 сентября смогут увидеть Весту невооруженным глазом. Используя эфемериду (таблицу небесных координат) Весты (Таблица 2), определите, в каком созвездии следовало искать астероид? Видна ли была Веста в этот день в наших широтах (при условии хорошей погоды), и, если видна, то когда лучше всего ее можно было наблюдать? Можно ли было в действительности увидеть ее невооруженным глазом?

Таблица 2

Дата	Экв. координаты		Расстояние от Солнца $r$	Расстояние от Земли $\Delta$	Звезд. величина $m$	Фаза Луны
	$\alpha$	$\delta$				
11.09.2015	0h55m13,15s	-6,65288°	2,401 а.е.	1,450 а.е.	6,4	6 %

Дата	Экв. координаты		Расстояние от Солнца $r$	Расстояние от Земли $\Delta$	Звезд. величина $m$	Фаза Луны
	$\alpha$	$\delta$				
17.09.2015	0h50m40,40s	-7,38871°	2,407 а.е.	1,434 а.е.	6,3	10 %
23.09.2015	0h45m32,59s	-8,10143°	2,413 а.е.	1,427 а.е.	6,3	64 %
29.09.2015	0h40m03,87s	-8,75828°	2,418 а.е.	1,429 а.е.	6,2	99 %

## 5. Гравитационный маневр

Отправленный к Плутону 19 января 2006 года космический аппарат (КА) «Новые Горизонты» достиг своей цели 14 июля 2015 года, пролетев на расстоянии около 12,5 тысяч километров от поверхности карликовой планеты. Чтобы сократить время полета, ученые в очередной раз использовали гравитационный маневр в поле тяготения Юпитера. Во сколько раз удалось сократить время полета КА к Плутону по сравнению с классической гомановской траекторией (полуэллипс, касающийся орбит планет старта и назначения)? Большую полуось орбиты Плутона принять равной 40 а.е.

## 6. Противостояние астероида

Горизонтальный параллакс астероида в противостоянии составил 16". Определите период обращения этой малой планеты вокруг Солнца в предположении, что ее орбита круговая. Горизонтальный параллакс Солнца принять равным 8,8".

## Задания для 11 класса

### 1. Переменная звезда

При наблюдении пульсирующей переменной звезды были зафиксированы следующие моменты максимумов:

$$JD1 = 2456571,5;$$

$$JD2 = 2456597,1;$$

$$JD3 = 2456604,78.$$

Найдите период изменения блеска переменной звезды.

*Примечание:* JD – юлианская дата – непрерывный порядковый счет суток, прошедших начиная с полудня 1 января 4713 до н.э. С тех пор по настоящее время прошло около 2,5 миллионов дней. Для точного обозначения времени применяют дробную часть. Юлианскую дату применяют для определения промежутка времени между двумя датами.

## **2. 110 лет Джерарду Койперу**

7 декабря этого года исполнится 110 лет со дня рождения известного астронома Джерарда Койпера. Возможно, вы уже слышали о так называемом «поясе Койпера», число известных объектов в котором уже превысило тысячу (и есть оценки, что еще более 70 тысяч объектов с диаметром более 100 км пока не обнаружены)! Попробуйте оценить ширину пояса Койпера, если абсолютное большинство его объектов имеют периоды обращения вокруг Солнца от 165 до 400 лет.

## **3. Арес и АнтиАрес**

Вечером 24 августа следующего года Марс сблизится на небе с Антаресом (звезда  $\alpha$  Скорпиона: прямое восхождение  $\alpha = 16$  ч 29 мин 24 с, склонение  $\delta = -26^\circ 25' 55''$ ). В этот вечер Марс пересечет небесный меридиан на 1 мин 05 с позже Антареса, а его зенитное расстояние будет на  $1^\circ 46' 05''$  меньше, чем у Антареса в его верхней кульминации. Найдите экваториальные координаты Марса в момент сближения. Каково будет угловое расстояние между Марсом и Антаресом в этот момент?

## **4. Вверх и в сторону**

Любитель астрономии, наблюдая за восходом звезды, отметил, что спустя некоторое время ее вертикальное перемещение по небу оказалось вдвое меньше горизонтального. Определите максимальную и минимальную полуденные высоты Солнца для данного пункта наблюдения. Когда высота Солнца там будет максимальна?

## 5. Гравитационный маневр

Отправленный к Плутону 19 января 2006 года космический аппарат (КА) «Новые Горизонты» достиг своей цели 14 июля 2015 года, пролетев на расстоянии около 12,5 тысяч километров от поверхности карликовой планеты. Чтобы сократить время полета, ученые в очередной раз использовали гравитационный маневр в поле тяготения Юпитера. Во сколько раз удалось сократить время полета КА к Плутону по сравнению с классической гомановской траекторией (полуэллипс, касающийся орбит планет старта и назначения)? Большую полуось орбиты Плутона принять равной 40 а.е.

## 6. Что ближе?

Годичный параллакс звезды  $\alpha$  Дельфина равен  $0,0136''$ , а  $\beta$  Дельфина –  $0,0335''$ . Какая из этих звезд к нам ближе и во сколько раз? Найдите расстояние от Земли до любой из этих звезд в световых годах.

**2016–2017 учебный год**

**Задания для 7–8 классов**

### 1. Астрологические знаки

На Рис. 4 изображены очертания некоторых созвездий и соответствующие им астрологические знаки и названия. Напишите русские названия этих созвездий.

### 2. Понедельник – день «тяжелый»

Может ли в феврале быть пять одинаковых дней недели, например, понедельников? Свой ответ поясните.

### 3. Столкновение галактик

Наш «звездный остров» Галактика Млечный Путь и соседняя галактика Туман-



Рис. 4

ность Андромеды, находящаяся от нас на расстоянии 2,5 миллиона световых лет (что составляет, примерно 24 000 000 000 000 000 км), приближаются друг к другу со скоростью около 140 км/с. Оцените, через сколько лет наша Галактика столкнется с соседней?

#### 4. Фантастика и реальность

В таблице 3 приведены названия реально существующих и вымышленных космических тел. Выпишите названия только тех тел, которые существуют на самом деле, и поясните, чем каждое из них является.

Таблица 3

Нибиру	Ариэль	Полифем	Набу	Пандора
Арктур	Церера	Криптон	Нептун	Татуин

#### 5. Землянин, Марсианин и Меркурианец

На Земле за 1 год принимается один оборот Земли по орбите вокруг Солнца (период обращения Земли вокруг Солнца). Давайте пофантазируем и представим, что на остальных планетах года исчисляются по подобному правилу: 1 год – это один период обращения этой планеты вокруг Солнца. Теперь представим, что двое ваших друзей-одногодок отправились на другие планеты – один на Марс, а второй на Меркурий (мы знаем, что это пока невозможно, но представьте). Ровно через 5 земных лет вы встретились. Сколько лет будет каждому из вас, если в момент разлуки всем было ровно по 10 лет, а сразу после отправки на разные планеты возраст каждого исчислялся согласно летоисчислению планеты, на которой он в дальнейшем находился.

#### 6. Затмение с Луны

Какое явление увидит наблюдатель на Луне в момент, когда на Земле происходит лунное затмение? Свой ответ поясните и проиллюстрируйте рисунком.

## Задания для 9 класса

### 1. Астрологические знаки

На Рис. 4 изображены очертания некоторых созвездий и соответствующие им астрологические знаки и названия. Напишите русские названия этих созвездий.

### 2. Понедельник – день «тяжелый»

Может ли в феврале быть пять одинаковых дней недели, например, понедельников? Свой ответ поясните.

### 3. Столкновение галактик

Наш «звездный остров» Галактика Млечный Путь и соседняя галактика Туманность Андромеды, находящаяся от нас на расстоянии 2,5 миллиона световых лет, приближаются друг к другу со скоростью около 140 км/с. Оцените, через сколько лет наша Галактика столкнется с соседней?

### 4. Фомальгаут

До какой северной широты можно увидеть звезду Фомальгаут (самая яркая звезда (альфа) созвездия Южной Рыбы)? Видна ли она из Красноярска ( $\varphi = +56,0^\circ$ )? Если нет, то почему? Если да, то на какой высоте над горизонтом? Экваториальные координаты Фомальгаута:  $\alpha = 22$  ч 57 мин;  $\delta = -29^\circ 37'$ .

### 5. Зодиакальный свет

Зодиакальный свет – слабое свечение ночного неба, простирающееся в направлении от Солнца вдоль эклиптики, которое создается находящейся в межпланетном пространстве пылью. Как вы считаете, в какое время года лучше всего наблюдать это явление на наших широтах и почему?

## 6. Лунное затмение

Случилось так, что все три лунных затмения 2016 года были лишь полутеневыми. В очередной раз увидеть земную тень на лунной поверхности земляне смогут лишь в ночь с 7 на 8 августа 2017 года. Но и это затмение не будет полным. Луна пройдет сквозь северную часть земной тени (максимальная фаза затмения (0,25) наступит 7 августа, около 18 ч 20 мин по всемирному времени). Можно ли будет наблюдать это явление природы из Красноярска (при условии ясной погоды)?

### Задания для 10 класса

#### 1. Астрологические знаки

На Рис. 5 изображены очертания некоторых созвездий и соответствующие им астрологические знаки и названия. Напишите русские названия этих созвездий.

#### 2. Понедельник – день «тяжелый»

В феврале 2016 года было пять понедельников! Попробуйте объяснить почему? Когда такое может произойти в следующий раз?

#### 3. Два спутника

Вокруг Земли по круговым орбитам одинакового радиуса движутся два искусственных спутника. Масса одного спутника составляет 1 т, а другого 10 т. Скорость какого спутника будет больше и почему?



Рис. 5

#### **4. Наклон эклиптики в Красноярске**

В каких пределах может изменяться угол наклона эклиптики к западному горизонту для наблюдателя в Красноярске ( $\varphi = +56,0^\circ$ )? Какие созвездия в эти моменты находятся на западе?

#### **5. Вега и Альтаир**

Откуда Альтаир выглядит ярче: из окрестностей Веги или с Земли? Во сколько раз? Расстояние от Земли до Веги равно 25,3 световых года, до Альтаира – 16,8 световых лет. На нашем небе Вегу и Альтаир разделяет угол примерно в 2050 угловых минут. К каким созвездиям принадлежат эти звезды?

#### **6. Альфа Геркулеса**

Главная звезда созвездия Геркулеса (альфа – собственное имя Рас Альгети) является двойной звездой, состоящей из компонентов 3 и 5 звездной величины, разделенных видимым промежутком в 4,7 угловой секунды. Телескоп с каким диаметром объектива следует взять, чтобы попытаться увидеть обе эти звезды? Какое следует применить увеличение, если принять ночную разрешающую способность глаза за 3 угловых минуты?

### **Задания для 11 класса**

#### **1. Астрологические знаки**

На Рис. 5 изображены очертания некоторых созвездий и соответствующие им астрологические знаки и названия. Напишите русские названия этих созвездий.

#### **2. Понедельник – день «тяжелый»**

В феврале 2016 года было пять понедельников! Попробуйте объяснить почему? Когда такое может произойти в следующий раз?

#### **3. Самая далекая комета?**

Открытая осенью 2012 года комета C/2012 S4 (Pan-STARRS) прошла перигелий летом последующего года на расстоянии в 4,35 а.е. от Солнца.

Длительный (более года) ряд наблюдений показал, что она движется по очень вытянутой орбите с эксцентриситетом  $e = 0,999983$ . Оцените период обращения этой кометы и ее максимальное удаление от Солнца. Сравните максимальное удаление кометы с расстоянием до ближайшей звезды Проксима Центавра, которое составляет примерно 4,2 световых года.

#### 4. Зайдет или не зайдет?

Любитель астрономии увидел одну из звезд точно в зените. «Интересно, – подумал он, – зайдет эта звезда за горизонт или нет»? Помогите ему разобраться в ситуации (считайте, что свою географическую широту  $\varphi$  он знает).

#### 5. Вега вместо Солнца

Госкорпорация «Роскосмос» недавно выпустила видеоролик «Если вместо Солнца были бы другие звезды», кадр из которого представлен на рисунке (Рис. 6). Оцените, во сколько раз больше энергии получала бы Земля в сравнении с Меркурием, если вместо Солнца была бы звезда Вега.



Рис. 6

*Примечание:* в действительности расстояние до Веги составляет около 25 световых лет, а ее видимый блеск  $m = 0$  звездной величины.

#### 6. Сихотэ-Алинский метеорит

Почти 70 лет назад, 12 февраля 1947 года, на Дальнем Востоке нашей страны наблюдался яркий болид, закончившийся падением крупного железного метеорита и его осколков (координаты места па-



Рис. 7

дения  $\varphi = 46^\circ 10'$  с.ш.,  $\lambda = 134^\circ 39'$  в.д.). По счастливому стечению обстоятельств одним из свидетелей падения стал художник Петр Медведев из поселка Иман ( $\varphi = 45^\circ 56'$  с.ш.,  $\lambda = 133^\circ 44'$  в.д.), который изобразил это явление на одной из своих картин (Рис. 7). Оцените высоту финального взрыва болида, считая, что для художника он произошел на линии горизонта. Радиус Земли принять за 6371 км.

## 2017–2018 учебный год

### Задания для 7 класса

#### 1. Летний треугольник

Как называются три яркие звезды, которые образуют так называемый «Летний треугольник» или «Летне-осенний треугольник»? Из каких они созвездий? В какие месяцы этот «треугольник» виден лучше всего на наших широтах?

#### 2. Классификация планет

Какие классы (типы) планет существуют в Солнечной системе? Чем они отличаются друг от друга?

#### 3. Четвертый – лишний

В таблице 4 приведены названия небесных тел, сгруппированных в столбцы по определенным критериям, но в каждом столбце есть по одному лишнему телу. Какие тела лишние и почему?

Таблица 4

Луна	Паллада	Альтаир	Венера
Ганимед	Каллисто	Вега	Уран
Церера	Веста	Мицар	Плутон
Титан	Юнона	Галлея	Сатурн

#### 4. «Великое американское затмение»

Жители США от Западного до Восточного побережья 21 августа 2017 года наблюдали красивейшее астрономическое явление – полное солнечное

затмение. На одном из сайтов в сети Интернет была размещена фотография этого затмения (Рис. 8) с надписью «Солнце начинает выходить из тени Луны». Какую астрономическую ошибку допустил автор надписи? Попробуйте сформулировать верную надпись для этой фотографии.



Рис. 8

## Задания для 8 класса

### 1. Летний треугольник

Как называются три яркие звезды, которые образуют так называемый «Летний треугольник» или «Летне-осенний треугольник»? Из каких они созвездий? В какие месяцы этот «треугольник» виден лучше всего на наших широтах?

### 2. Наблюдения Малой Медведицы

В каком месяце можно дольше всего наблюдать созвездие Малой Медведицы на темном небе в Красноярском крае (при условии ясной погоды)? а) август; б) октябрь; в) январь; г) март; д) нет разницы. Ответ поясните.

### 3. Загадочная планета

На Рис. 9 слева приведен вид солнечного диска, наблюдаемого с Земли, в сравнении с солнечным диском, который можно было бы увидеть с другой планеты Солнечной системы. Назовите эту планету. Свой ответ обоснуйте.

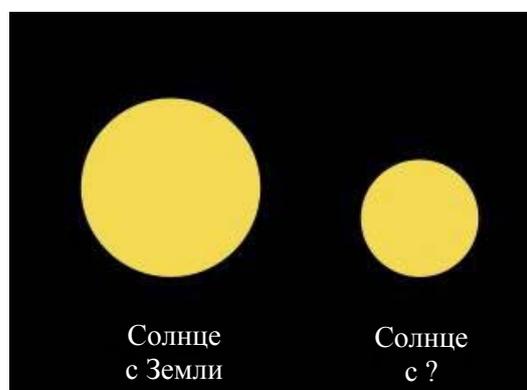


Рис. 9

#### **4. Солнечная вспышка**

6 сентября 2017 года в 16 часов по московскому времени на Солнце произошла самая крупная вспышка за последние двенадцать лет. Выброс массы солнечного вещества от этой вспышки достиг Земли 8 сентября около 2 часов ночи по московскому времени, вызвав очень сильную магнитную бурю. С какой скоростью (в км/с) двигалось к Земле облако солнечной плазмы?

#### **Задания для 9 класса**

##### **1. Зимний треугольник**

Как называются три яркие звезды, которые образуют так называемый «Зимний треугольник»? Из каких они созвездий? В какие месяцы этот «треугольник» виден лучше всего на наших широтах?

##### **2. Всегда ли видна?**

Звезда удалена от северного полюса мира на 47 градусов. Всегда ли ее можно наблюдать в темное время суток в Москве (географическая широта  $\varphi = +55^\circ 45'$ ), в Ростове-на-Дону ( $\varphi = +47^\circ 14'$ ), в Сочи ( $\varphi = +43^\circ 35'$ ) и почему?

##### **3. Сириусы А и Б**

Самая яркая звезда неба – Сириус – является двойной, состоящей из Сириуса А (видимая звездная величина  $-1,5^m$ ) и его спутника – белого карлика Сириуса Б, который очень труден для наблюдений. Профессиональные фотометрические наблюдения показали, что интенсивность света от Сириуса А примерно в 10 тысяч раз больше, чем от Сириуса Б. Определите видимую звездную величину Сириуса Б.

#### **4. «Великое американское затмение» и 1 сентября**

Жители США от Западного до Восточного побережья 21 августа 2017 года наблюдали красивейшее астрономическое явление – полное солнечное затмение. Можно ли было увидеть в Красноярске Луну 1 сентября? Если нет, то почему? Если да, то в какой фазе и в какое время суток?

#### **5. Флоренция вблизи Земли**

Летом этого года газеты писали: «К Земле приближается самый крупный астероид за всю историю телескопических наблюдений!!!». Действительно, 1 сентября 2017 года малая планета (астероид) № 3122 Florence (Флоренция) диаметром около 4,4 км прошла на расстоянии всего лишь в 0,04723 астрономической единицы от нашей планеты. Смоделируйте ситуацию: если в качестве модели Земли взять глобус диаметром 30 см, то на каком расстоянии от глобуса Земли в этом масштабе пролетел астероид Флоренция? На каком расстоянии от Земли в этом масштабе будет находиться Луна?

#### **6. Планета у Проксимы Центавра**

В конце августа 2016 года было объявлено об открытии землеподобной планеты у ближайшей к Солнцу звезды Проксимы Центавра. Планета обращается вокруг звезды на расстоянии, которое в 20 раз меньше расстояния от Земли до Солнца. Сколько земных суток длится год на этой планете? Известно, что масса Проксимы Центавра составляет 0,123 солнечной.

### **Задания для 10 класса**

#### **1. Весенний треугольник**

Как называются три яркие звезды, которые образуют так называемый «Весенний треугольник»? Из каких они созвездий? В какие месяцы этот «треугольник» виден лучше всего на наших широтах?

## 2. Альдебаран и Процион

Любитель астрономии наблюдал верхнюю кульминацию звезды Альдебаран (прямое восхождение  $\alpha = 04$  ч 35 мин 55,3 с, склонение  $\delta = +16^\circ 30' 30''$ ) в 23 ч 35 мин 10 с по местному времени на высоте точно  $50^\circ$  над горизонтом. Когда в этом же месте можно было (или будет) увидеть кульминацию звезды Процион (прямое восхождение  $\alpha = 07$  ч 39 мин 17,3 с, склонение  $\delta = +05^\circ 13' 12''$ )? На какой высоте над горизонтом?

## 3. Алголь в прошлом

Одна из самых известных затменно-переменных звезд – Алголь ( $\beta$  Персея) имеет видимую величину  $2,12^m$  и удалена от нас примерно на 30 парсек. Однако около 7,3 миллиона лет назад Алголь находился на расстоянии всего 3 парсека от Солнца. Какой была видимая величина этой звезды в те времена?

## 4. Два затмения Луны

В 2018 году земляне смогут наблюдать два лунных затмения. Первое произойдет 31 января (полная фаза с 12 ч 51 мин до 14 ч 08 мин по всемирному времени), а второе – 27 июля (полная фаза с 19 ч 30 мин до 21 ч 14 мин по всемирному времени). Будут ли оба этих затмения видны в Красноярске и почему? Если да, то какое из этих затмений будет видно лучше (при условии ясной погоды) и почему?

## 5. Определение широты по Полярной звезде

Какой ошибки в местоположении на поверхности Земли (в километрах) можно ожидать при определении географической широты наблюдателя по Полярной звезде ( $\alpha$  Малой Медведицы), если ее экваториальные координаты: прямое восхождение  $\alpha = 02$  ч 31 мин 49 с, склонение  $\delta = +89^\circ 15' 51''$ ?

## 6. Солнце и Сириус

Параллакс Солнца  $8,79''$ , а параллакс Сириуса  $0,38''$ . Во сколько раз Сириус дальше, чем Солнце?

### Задания для 11 класса

#### 1. Бриллиант Девы

Как называются четыре яркие звезды, которые образуют на небе почти правильный ромб – так называемый «Бриллиант Девы»? Из каких они созвездий? В какие месяцы этот «ромб» виден лучше всего на наших широтах?

#### 2. Альдебаран и Процион

Любитель астрономии наблюдал верхнюю кульминацию звезды Альдебаран (прямое восхождение  $\alpha = 04$  ч 35 мин 55,3 с, склонение  $\delta = +16^\circ 30' 30''$ ) в 23 ч 35 мин 10 с по местному времени на высоте точно  $50^\circ$  над горизонтом. Когда в этом же месте можно было (или будет) увидеть кульминацию звезды Процион (прямое восхождение  $\alpha = 07$  ч 39 мин 17,3 с, склонение  $\delta = +05^\circ 13' 12''$ )? На какой высоте над горизонтом?

#### 3. Стрелец А

В центре нашей Галактики Млечный Путь находится компактный объект Стрелец А, вокруг которого по вытянутой эллиптической орбите с эксцентриситетом 0,88 и перицентрическим расстоянием 120 а.е. обращается звезда S2 с периодом 15,5 лет. Оцените массу этого компактного объекта. Как вы думаете, какова может быть его природа?

#### 4. Два затмения Луны

В 2018 году земляне смогут наблюдать два лунных затмения. Первое произойдет 31 января (полная фаза с 12 ч 51 мин до 14 ч 08 мин по всемирному времени), а второе – 27 июля (полная фаза с 19 ч 30 мин до

21 ч 14 мин по всемирному времени). Будут ли оба этих затмения видны в Красноярске и почему? Если да, то какое из этих затмений будет видно лучше (при условии ясной погоды) и почему?

### **5. Персеиды из южного полушария**

До какой примерно южной широты можно наблюдать метеоры из метеорного потока Персеид? Считать, что радиант Персеид имеет склонение  $+58^\circ$ , а метеорные тела начинают загораться в атмосфере на высоте 100 км. Ответ поясните рисунком.

### **6. Сверхновая в «Фейерверке»**

Астроном-любитель Патрик Виггинс из Университета штата Юта (США) 14 мая 2017 года открыл сверхновую звезду, вспыхнувшую в спиральной галактике NGC 6946 («Фейерверк»), которая расположена на границе созвездий Лебедя и Цефея. Видимая звездная величина этой сверхновой звезды в максимуме блеска достигла  $12,8^m$ . Известно, что абсолютная звездная величина сверхновых такого типа в среднем составляет  $-18^m$ . Оцените расстояние до галактики.

**2018–2019 учебный год**

**Задания для 7 класса**

#### **1. Несколько созвездий**

Близнецы, Овен, Рак, Козерог, Телец. Какая общая особенность есть у этих созвездий? Укажите лишнее созвездие в этом списке и обоснуйте свой выбор.

#### **2. Астрономические явления**

Какие астрономические явления изображены на рисунках (см. Рис. 10)?

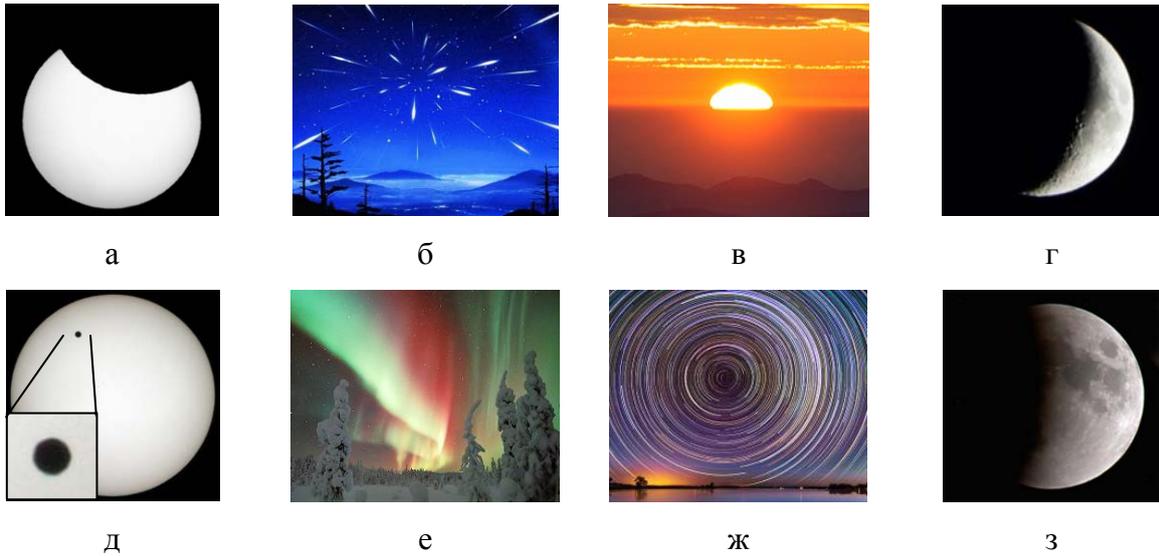


Рис. 10

### 3. Околоземный астероид

3 октября 2018 года мимо Земли на скорости 60 000 км/ч пронесся астероид 2018 SP1 размером с одну из скал Красноярского заповедника «Столбы». Какова была его скорость, выраженная в километрах в секунду?

### 4. Кольцеобразное солнечное затмение

26 декабря 2019 года земляне смогут наблюдать кольцеобразное солнечное затмение. В какой фазе в этот день будет Луна? Чем отличается кольцеобразное солнечное затмение от полного и почему?

## Задания для 8 класса

### 1. Несколько созвездий

Близнецы, Овен, Рак, Козерог, Телец. Какая общая особенность есть у этих созвездий? Укажите лишнее созвездие в этом списке и обоснуйте свой выбор.

### 2. Три явления в одну дату

27 июля 2018 года произошло сразу три редких астрономических явления, два из которых – это полное лунное затмение и соединение Луны

с Марсом. Попробуйте назвать третье, каким-то образом связанное с Марсом. Обоснуйте свой ответ.

### 3. Конфигурации кометы Энке

Какие существуют конфигурации планет Солнечной системы? В каких из этих конфигураций может наблюдаться самая короткопериодическая из наблюдаемых комет – комета Энке? Известно, что расстояние кометы от Солнца в перигелии  $q = 0,33$  а.е., расстояние кометы от Солнца в афелии  $Q = 4,11$  а.е., а период ее обращения вокруг Солнца  $T = 3,3$  года.

### 4. Солнечное затмение 11 августа 2018 года

На Рис. 11 представлена фотография частного солнечного затмения 11 августа 2018 года, полученная через темный светофильтр участниками Красноярской астрономической школы. Определите по фотографии величину фазы затмения в момент съемки.



Рис. 11

### Задания для 9 класса

#### 1. Юпитер и бета Скорпиона

24 ноября 2018 года Юпитер проходит всего в  $0,3^\circ$  от достаточно яркой звезды  $\beta$  Скорпиона. Можно ли наблюдать это явление из Красноярска при условии хорошей погоды?

#### 2. Спика или Регул?

Какая из двух звезд будет дольше находиться над горизонтом в Красноярске: Спика ( $\alpha$  Девы), имеющая экваториальные координаты  $\alpha = 13$  ч 25 мин,  $\delta = -11^\circ 10'$ , или Регул ( $\alpha$  Льва), имеющая экваториальные координаты  $\alpha = 10$  ч 08 мин,  $\delta = +11^\circ 58'$ ? Почему?

### 3. Конфигурации кометы Энке

Какие существуют конфигурации планет Солнечной системы? В каких из этих конфигураций может наблюдаться самая короткопериодическая из наблюдаемых комет – комета Энке? Известно, что период обращения кометы вокруг Солнца  $T = 3,3$  года, а эксцентриситет ее орбиты  $e = 0,85$ .

### 4. Солнечное затмение 11 августа 2018 года

На Рис. 12 представлена фотография частного солнечного затмения 11 августа 2018 года, полученная через темный светофильтр участниками Красноярской астрономической школы. Определите по фотографии величину фазы затмения в момент съемки. До или после максимума затмения был получен снимок, если в окрестностях Красноярска максимальная фаза затмения составляла 0,42? Можно ли было надеяться увидеть большую фазу затмения при перемещении наблюдателя в одном из указанных на рисунке направлений? Считать, что линии на рисунке совпадают с линиями прямого восхождения и склонения на небесной сфере.

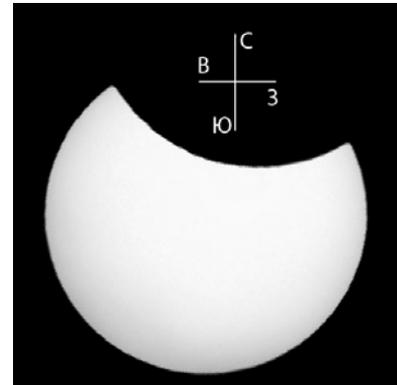


Рис. 12

### 5. Следующее затмение Солнца

Единственным солнечным затмением 2019 года, очень малые фазы которого будут видны и из Красноярска (в максимуме примерно до 0,02 в 04 ч 51 мин по всемирному времени), станет кольцеобразное солнечное затмение 26 декабря 2019 года. Во сколько по времени Красноярска можно будет попытаться увидеть максимальную фазу этого затмения? Определите местное среднее солнечное время в этот момент, если долгота Красноярска  $\lambda = 92^\circ 52'$  в.д.

## **6. Соединения Юпитера с Сатурном**

Положение двух тел Солнечной системы на одной линии с Землей, в результате чего при наблюдении с Земли они кажутся расположенными близко друг к другу на небесной сфере, в астрономии называется соединением. Как часто земляне могут видеть на небе соединение двух самых больших планет солнечной системы – Юпитера и Сатурна?

### **Задания для 10 класса**

#### **1. Противостояние Юпитера**

Очередное противостояние Юпитера произойдет 11 июня 2019 года. В каком созвездии будет находиться Юпитер? Как называется яркая звезда, которая будет видна в это время «западнее и немного южнее» Юпитера?

#### **2. Зенитные расстояния Веги**

Найдите разность зенитных расстояний Веги (склонение  $\delta = +38^\circ 47'$ ) в разноименных кульминациях в Красноярске (географическая широта  $\varphi = +56^\circ 01'$ ).

#### **3. Передвинуть Землю**

В будущем, когда энергетический потенциал человечества станет колоссальным, предлагается слегка изменить орбиту Земли вокруг Солнца так, чтобы в году стало ровно 6 месяцев по 30 суток и еще 6 – по 31. В какую сторону и на сколько километров нужно будет «сдвинуть» Землю?

#### **4. Солнечное затмение 11 августа 2018 года**

На Рис. 12 представлена фотография частного солнечного затмения 11 августа 2018 года, полученная через темный светофильтр участниками Красноярской астрономической школы. Определите по фотографии величину фазы затмения в момент съемки. До или после максимума затмения был получен снимок, если в окрестностях Красноярска максимальная фаза затмения составляла 0,42? Можно ли было надеяться увидеть большую фа-

зу затмения при перемещении наблюдателя в одном из указанных на рисунке направлений? Считать, что линии на рисунке совпадают с линиями прямого восхождения и склонения на небесной сфере.

### **5. Солнце с Арктура**

Звездой какой звездной величины выглядит Солнце из окрестностей Арктура ( $\alpha$  Волопаса), параллакс которого равен  $0,0888''$ ?

### **6. Соединения Юпитера с Сатурном**

Положение двух тел Солнечной системы на одной линии с Землей, в результате чего при наблюдении с Земли они кажутся расположенными близко друг к другу на небесной сфере, в астрономии называется соединением. Как часто земляне могут видеть на небе соединение двух самых больших планет солнечной системы – Юпитера и Сатурна? Через какие промежутки времени эти соединения будут происходить примерно в одной и той же части эклиптики?

## **Задания для 11 класса**

### **1. Покрытие Альдебарана Луной**

В ночь с 23 на 24 февраля 2018 года из Красноярска можно было увидеть покрытие звезды Альдебаран ( $\alpha$  Тельца) Луной. В какой примерно фазе была Луна?

### **2. Зенитные расстояния Веги**

Найдите разность зенитных расстояний Веги (склонение  $\delta = +38^\circ 47'$ ) в разноименных кульминациях в Красноярске (географическая широта  $\varphi = +56^\circ 01'$ ).

### **3. Пыль на земной орбите**

По оценкам ученых каждые сутки на Землю из космоса выпадает около 100 тонн метеорного вещества. За счет чего это происходит? Оцените плотность пылевой материи в районе земной орбиты.

#### **4. Солнечное затмение 11 августа 2018 года**

На Рис. 12 представлена фотография частного солнечного затмения 11 августа 2018 года, полученная через темный светофильтр участниками Красноярской астрономической школы. Определите по фотографии величину фазы затмения в момент съемки. До или после максимума затмения был получен снимок, если в окрестностях Красноярска максимальная фаза затмения составляла 0,42? Можно ли было надеяться увидеть бóльшую фазу затмения при перемещении наблюдателя в одном из указанных на рисунке направлений? Считать, что линии на рисунке совпадают с линиями прямого восхождения и склонения на небесной сфере.

#### **5. Комета Джакобини-Циннера**

Во сколько раз комета 21P Джакобини-Циннера (родоначальница метеорного потока Драконида) получает тепла от Солнца больше в перигелии, чем в афелии? Найдите период обращения этой кометы. Считать, что комета обращается по орбите с эксцентриситетом  $e = 0,710$  и на среднем расстоянии 3,498 а.е. от Солнца.

#### **6. Хвост кометы**

Знаменитая комета 21P Джакобини-Циннера прошла очередной перигелий 10–11 сентября 2018 года на расстоянии 0,39 а.е. от Земли и 1,02 а.е. от Солнца. По некоторым наблюдениям, длина ее хвоста в это время достигала  $2^\circ$ . Определите длину хвоста кометы в километрах, если ее элонгация (видимое угловое удаление от Солнца) в это время была  $80^\circ$ . Сравните длину хвоста кометы с расстоянием от Земли до Луны. Расстояние от Земли до Солнца принять за  $1,00 \text{ а.е.} = 149,598 \cdot 10^6 \text{ км}$ .

## РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

2014–2015 учебный год

Решения заданий для 7–8 классов

### 1. Комета вблизи Марса

Так как с расстояния 300 км камера может зафиксировать детали размером 0,4 м, то при таком же разрешении с расстояния в 467 раз большем (140000 км / 300 км), минимальные размеры тоже увеличатся в 467 раз и составят около  $467 \cdot 0,4 \approx 190$  м.

Поскольку типичные ядра комет имеют размеры нескольких километров (1–3 км), то с помощью этой камеры можно будет различить ядро кометы, но вряд ли ученым удастся рассмотреть на его поверхности детали рельефа.

*Ответ:* около 190 м. Ядро кометы можно будет рассмотреть на фотографиях, но детали рельефа видны не будут.

#### *Критерии оценивания*

Правильный расчет размеров деталей, которые можно различить в голове кометы с помощью камеры HiRISE, – 4 балла.

Знание типичных размеров ядер комет и вывод о возможности наблюдать ядро кометы – 3 балла.

Вывод о невозможности различить детали рельефа ядра – 1 балл.

### 2. Лунное затмение

Лунное затмение наступает, когда Луна входит в конус тени, отбрасываемой Землей. В этот момент Солнце, Земля и Луна находятся на одной линии, причем Луна находится за Землей, т.е. относительно Земли в направлении, противоположном направлению на Солнце. Поэтому во время лунных затмений Луна всегда в фазе полнолуния.

*Ответ:* в фазе полнолуния.

#### *Критерии оценивания*

Правильный ответ – 4 балла.

Правильное и полное объяснение своего ответа – 4 балла.

### 3. Южные небеса

*Ответ:* в качестве отличий наблюдаемых в небе средних широт южного полушария Земли, по сравнению со средними широтами северного полушария, могут быть перечислены следующие:

а) Полюс мира – южный – будет находиться в южной стороне неба над точкой юга в созвездии Октанта, и вблизи него нет ярких звезд.

б) Светила будут обращаться вокруг полюса мира по часовой стрелке, если смотреть на полюс.

в) Над горизонтом в течение года можно наблюдать все созвездия и объекты (например, Большое и Малое Магеллановы Облака) южного полушария небесной сферы и только часть созвездий северного полушария.

г) Привычные очертания тех созвездий, которые видны и в наших широтах, в южном полушарии Земли будут наблюдаться «перевернутыми».

д) Верхние кульминации Солнца в полдень, а также других светил, которые в наших широтах кульминируют к югу от зенита, будут происходить в северной стороне неба над точкой севера.

е) В день зимнего солнцестояния высота Солнца над горизонтом в полдень будет максимальна, а в день летнего солнцестояния – минимальна.

ж) Суточное движение восходящих и заходящих светил, в том числе Солнца и Луны, будет происходить против часовой стрелки, если смотреть на север.

з) Так как видимое движение Луны в течение месяца и годичное движение Солнца относительно звезд происходит в направлении, противоположном суточному вращению небесной сферы, то в южном полушарии Земли это движение будет происходить по часовой стрелке, если смотреть на север.

и) Луна и диски планет будут наблюдаться «перевернутыми».

к) В южном полушарии серп растущей Луны будет похож на букву «С», а «Старый» месяц, если мысленно приставить к серпу палочку – на букву «Р».

### *Критерии оценивания*

За каждое верно указанное отличие выставляется 1 балл, но в сумме не более 8 баллов за задачу.

#### **4. Солнце и братец Месяц**

Действительно, Солнце и Луна могут одновременно наблюдаться на небе, причем в наших широтах Луна может находиться выше и левее (восточнее) Солнца вечером в западной стороне неба вскоре после новолуния (растущий месяц), но в данной фазе на несколько большем удалении от Солнца. Однако на рисунке (см. Рис. 1) изображен «старый» месяц, а лунный серп наружной дугой направлен от Солнца. На самом деле освещенная сторона Луны всегда обращена в сторону Солнца.

*Ответ:* нет, не могут.

### *Критерии оценивания*

Указание на возможность одновременного наблюдения Солнца и Луны – 2 балла.

Указание на возможность наблюдать Луну выше и левее Солнца – 2 балла.

Указание, что в такой конфигурации Луна должна быть растущей, а не убывающей – 2 балла.

Указание, что на рисунке неправильно изображен лунный серп, так как освещенная сторона Луны всегда обращена в сторону Солнца – 2 балла.

#### **5. Космический взрыв**

Световой год – единица длины, употребляемая преимущественно в научно-популярной астрономической литературе, равная расстоянию, проходимому светом за один год. По современным представлениям, скорость света в вакууме – предельная скорость движения частиц, распространения взаимодействий и передачи информации, равная примерно 300 000 км/с. Таким образом, свет от взрыва звезды летел до Земли 160 тысяч лет, а сам взрыв произошел 160 тысяч лет назад!

*Ответ:* 160 тысяч лет назад.

*Критерии оценивания*

Знание понятия «световой год» и понимание его масштабно-временного значения – 4 балла.

Верный вывод о времени, когда произошел взрыв звезды, – 4 балла.

## **6. Созвездия осеннего неба**

Чтобы ответить на вопрос задачи, нужно либо знать вид звездного неба в различные сезоны, либо воспользоваться картой звездного неба (Приложение 2). Подробное решение приведено в ответе на задачу № 6 за 9 класс.

*Ответ:* вечером в Красноярске на осеннем небе можно наблюдать следующие созвездия: Андромеда, Водолей, Возничий, Дельфин, Овен, Пегас, Рыбы, Цефей.

*Критерии оценивания*

Пояснения в этой задаче не требуются. За каждое верно указанное созвездие выставляется 1 балл.

## **Решения заданий для 9 класса**

### **1. Комета вблизи Марса**

Переведем расстояние от Марса до кометы в километры:  $0,00094 \cdot 149,6 \cdot 10^6 \approx 140000$  км. Это почти в три раза меньше, чем расстояние от Земли до Луны!

Так как с расстояния 300 км камера может зафиксировать детали размером 0,4 м, то при таком же разрешении с расстояния в 467 раз большем ( $140000$  км / 300 км), минимальные размеры тоже увеличатся в 467 раз и составят около  $467 \cdot 0,4 \approx 190$  м.

Поскольку типичные ядра комет имеют размеры нескольких километров (1–3 км), то с помощью этой камеры можно будет различить ядро кометы, но вряд ли ученым удастся рассмотреть на его поверхности детали рельефа.

*Ответ:* около 190 м. Ядро кометы можно будет рассмотреть на фотографиях, но детали рельефа видны не будут.

*Критерии оценивания*

Верное определение расстояния от Марса до кометы в километрах – 2 балла.

Правильный расчет размеров деталей, которые можно различить в голове кометы с помощью камеры HiRISE, – 2 балла.

Знание типичных размеров ядер комет и вывод о возможности наблюдать ядро кометы – 3 балла.

Вывод о невозможности различить детали рельефа ядра – 1 балл.

## **2. Лунное и солнечное затмения**

Лунное затмение произошло 8,5 октября по всемирному времени, когда Луна находилась в фазе полнолуния. Ближайшее солнечное затмение может произойти, когда Луна окажется в фазе новолуния, то есть через половину полного цикла смены лунных фаз – половину синодического месяца:  $29,53 \text{ сут} / 2 = 14,77 \text{ сут}$ . Таким образом, ближайшее солнечное затмение на Земле может наступить:  $8,5 + 14,77 \text{ сут} \approx 23 \text{ октября}$ .

*Ответ:* около 23 октября.

*Примечание:* действительно, 23 октября 2014 года произойдет частное солнечное затмение. В России (кроме Чукотки) это затмение видно не будет.

*Критерии оценивания*

Понимание механизмов затмений, а также того, что солнечное затмение может наступить только тогда, когда Луна будет находиться в фазе новолуния, – 3 балла.

Определение минимального интервала между затмениями, как половины синодического месяца, – 3 балла (если участник для этого будет использовать сидерический месяц, то баллы не засчитываются).

Определение верной даты наступления солнечного затмения – 2 балла.

### 3. Южные небеса

См. решение задания 3 для 7–8 классов.

### 4. Ошибки корреспондента

*Решение и ответ:* во-первых, значения расстояний, указанные в заметке, не совпадают со значениями из Справочных данных, выданных участникам вместе с условиями задач (Приложение 1). Следует отметить, что в разных справочниках эти значения также несколько различаются. Это связано с тем, что все расстояния между космическими телами отсчитываются от их центров и определяются с некоторыми погрешностями.

Во-вторых, легко проверить, на сколько процентов в действительности сократится расстояние от Луны до Земли в перигее от его среднего значения:  $100\% - 356100 \text{ км} / 384467 \text{ км} \cdot 100\% = 7,4\%$ , а не  $14\%$ , как указано в тексте.

В-третьих, проверим, на сколько процентов изменится яркость Луны при изменении расстояния Луны от Земли от обычного (среднего)  $R_{\text{ср}}$  до минимального (перигейного)  $R_{\text{п}}$ . Она увеличится за счет увеличения видимой площади диска Луны, которая обратно пропорциональна квадрату расстояния от Луны до Земли:  $100\% - S_{\text{п}} / S_{\text{ср}} \cdot 100\% = 100\% - R_{\text{ср}}^2 / R_{\text{п}}^2 \cdot 100\% = 100\% - 384467^2 / 356100^2 \cdot 100\% = 16,6\%$ , а не на  $30\%$ , как написано в заметке.

*Примечание:* в заметке, видимо, указаны относительные изменения расстояния и яркости полной Луны при прохождении перигея по сравнению с ее положением в наиболее удаленной точке орбиты – апогее, а не на обычном (среднем) расстоянии, как написано в тексте.

В-четвертых, фраза «В эти дни орбиты Земли и Луны начинают свое сближение» совершенно некорректна. Орбиты остаются на месте, а вот Луна проходит ближайшую к Земле точку своей орбиты (перигей) и действительно становится чуть ближе к земному наблюдателю.

Кроме того, фраза «Ряд астрономов полагает, что особенно хорошо явление будет видно в Сибири» также вызывает сомнения. Полнолуние

10 августа происходит задолго до дня осеннего равноденствия, а это значит, что солнце находится в северном полушарии небесной сферы (на границе созвездий Рака и Льва). В это время полная Луна будет находиться в противоположной точке эклиптики (созвездие Козерога), то есть иметь отрицательное склонение, и наблюдается низко над горизонтом, где условия наблюдений неблагоприятны (мешают земные предметы, велико поглощение света в атмосфере, турбулентность и т.п.). С этой точки зрения, Луну в этот период лучше всего наблюдать в южном полушарии Земли, где она, наоборот, выше всего поднимается над горизонтом.

По всей видимости, упоминание Сибири связано с тем, что момент прохождения Луной точки перигея (самое близкое положение Луны) пришелся на вечер по московскому времени, когда в Сибири уже была ночь, и Луна действительно была видна над горизонтом выше, чем в Москве. Но ведь время перехода Луны от перигея к апогею составляет около половины ее орбитального периода, то есть около 2-х недель! Поэтому за 3–4 часа до московской полуночи Луна не успеет существенно удалиться от Земли. Тем более, что наиболее эффектно близкая Луна видна как раз не высоко в небе, а на восходе или закате, когда глаз невольно сравнивает ее с другими предметами на горизонте (дома, деревья и т.п.).

#### *Критерии оценивания*

Выявление неточностей в указанных значениях расстояний – 1 балл.

Выявление ошибки в указанном относительном изменении расстояния – 2 балла.

Выявление ошибки в указанном относительном изменении яркости – 2 балла.

Выявление ошибки во фразе про сближение орбит – 2 балла.

Обоснование, что условия наблюдения суперлуния в Сибири будут не самыми благоприятными – 1 балл.

## 5. Марс или Меркурий?

Время полета камня при свободном падении не зависит от его массы:  $t^2 = \frac{2h}{g}$  (1) и определяется только величиной ускорения свободного

падения на планете, которое может быть найдено по формуле:

$g = G \frac{M}{R^2}$  (2). Подставив (2) в (1), получим:  $\frac{t_{\text{Мерк}}^2}{t_{\text{Марс}}^2} = \frac{M_{\text{Марс}}}{R_{\text{Марс}}^2} \cdot \frac{R_{\text{Мерк}}^2}{M_{\text{Мерк}}}$ . Взяв необ-

ходимые данные из Таблицы 1 Приложения 1, получим

$\frac{t_{\text{Мерк}}}{t_{\text{Марс}}} = \sqrt{\frac{6,419 \cdot 10^{23}}{3397,2^2} \cdot \frac{2439,7^2}{3,302 \cdot 10^{23}}} \approx 1$ . Откуда приходим к выводу, что время

падения камня с одинаковой высоты на обеих планетах одинаково, несмотря на то, что Марс по массе и размерам больше Меркурия! А значит и сила притяжения на поверхности обеих планет тоже одинакова!

Однако следует отметить, что на Марсе есть более плотная атмосфера, чем на Меркурии, но все же из-за ее разреженности и малости пути камня она не способна существенно повлиять на итоговый результат.

*Ответ:* время падения камня будет, примерно, одинаково.

*Критерии оценивания*

Запись выражения для времени свободного падения камня, и вывод, что оно определяется ускорением свободного падения и не зависит от массы камня, – 2 балла.

Запись выражения для ускорения свободного падения на поверхности планеты – 2 балла.

Вывод отношения времен падения камня на планетах – 2 балла.

Правильные вычисления и вывод об одинаковом времени падения камня на обеих планетах – 2 балла.

## 6. Созвездия осеннего неба

Чтобы ответить на вопрос задачи, нужно либо знать вид звездного неба в различные сезоны, либо воспользоваться картой звездного неба

(Приложение 2). Для этого определим, в каких созвездиях осенью находится Солнце. На обрывке карты нанесены названия месяцев и даты. Положение Солнца среди звезд в ту или иную дату получим на пересечении радиуса, соединяющего дату и центр карты с эклиптической. Таким образом найдем созвездия, по которым в течение осени (с сентября по ноябрь) перемещается Солнце. Это Лев, Дева, Весы, Скорпион, которые осенью в темное время суток видны не будут. Созвездия, звезды которых имеют прямое восхождение, отличающиеся на 12 часов от прямого восхождения Солнца (находящиеся на противоположном конце диаметра, проходящего через Солнце и центр карты), будут кульминировать в истинную полночь. А вечером они будут восходить в восточной стороне неба. Вечером также будут наблюдаться созвездия, расположенные в направлении видимого годичного движения Солнца (в направлении счета месяцев и дат на карте) между созвездием, в котором находится Солнце, и созвездиями, кульминирующими в полночь. Это следующие созвездия, из указанных в задаче: Водолей, Дельфин, Пегас, Рыбы, Андромеда, Овен. Созвездия, расположенные в противоположном направлении от Солнца, будут находиться над горизонтом утром или во второй половине ночи. Это следующие созвездия из условия задачи: Ворон, Чаша, Секстант, Рак, Гидра. Кроме того, созвездия, звезды которых имеют склонение  $\delta \geq 90^\circ - \varphi$  (для Красноярска, широта которого  $\varphi = 56^\circ$ ,  $\delta \geq 90^\circ - 56^\circ = 34^\circ$ ), являются незаходящими и могут наблюдаться в любой сезон. К таким созвездиям относятся, например, Цефей, большая часть Возничего и т.п. А созвездия, у которых  $\delta \leq -(90^\circ - \varphi)$  (для Красноярска  $\delta \leq -34^\circ$ ), будут невосходящими и никогда на данной широте наблюдаться не будут, например, созвездие Центавра.

*Ответ:* вечерами в Красноярске на осеннем небе можно наблюдать следующие созвездия: Андромеда, Водолей, Возничий, Дельфин, Овен, Пегас, Рыбы, Цефей.

### *Критерии оценивания*

Пояснения в этой задаче не требуются. За каждое верно указанное созвездие выставляется 1 балл.

## **Решения заданий для 10 класса**

### **1. Комета вблизи Марса**

Переведем расстояние от Марса до кометы в километры:  $0,00094 \cdot 149,6 \cdot 10^6 \approx 140000$  км. Это почти в три раза меньше, чем расстояние от Земли до Луны!

После этого найдем размеры наименьших деталей, которые могут быть видны с расстояния  $d = 140000$  км под углом  $0,28''$ :  $l = d \cdot \operatorname{tg} \alpha$ . Учитывая, что для малых углов  $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$  радиан,  $l = 140 \cdot 10^6 \text{ м} \cdot 0,28'' / 206265'' \approx 190$  м.

Поскольку типичные ядра комет имеют размеры нескольких километров (1–3 км), то это позволит различить ядро, но вряд ли ученым удастся рассмотреть на его поверхности детали рельефа.

Угловое разрешение космического телескопа имени Хаббла почти в три раза выше, но расположен он на орбите Земли. Марс удален от Солнца на 1,5 а.е., поэтому даже в противостояниях нас разделяет  $1,5 - 1 = 0,5$  а.е. Значит космический телескоп будет находиться, как минимум, в  $0,5 / 0,00094 \approx 530$  раз дальше от кометы, чем камера HiRISE, и выигрыш в разрешении в 3 раза не повысит качество изображений. Можно посчитать, что размер наименьших видимых деталей в голове кометы, наблюдаемых с космического телескопа имени Хаббла с земной орбиты (с расстояния, большего, чем  $0,5 \cdot 149,6 \cdot 10^6 = 74,8 \cdot 10^6$  км), составит  $l > 74,8 \cdot 10^6 \text{ км} \cdot 0,1'' / 206265'' \approx 36$  км, что во много раз больше, чем при наблюдениях с камеры HiRISE.

*Ответ:* около 190 м. Ядро кометы можно будет рассмотреть на фотографиях, но детали рельефа видны не будут. Качество изображений кометы, полученных с помощью космического телескопа имени Хаббла, будет хуже.

### *Критерии оценивания*

Верное определение расстояния от Марса до кометы в километрах – 1 балл.

Правильный расчет размеров деталей, которые можно различить в голове кометы с помощью камеры HiRISE, – 2 балла.

Знание типичных размеров ядер комет и вывод о возможности наблюдать ядро кометы – 1 балл.

Вывод о невозможности различить детали рельефа ядра – 1 балл.

Вывод о значительно худшем качестве изображений кометы при наблюдениях с космического телескопа имени Хаббла с обоснованием и пояснениями – 3 балла.

## **2. Возвращение кометы**

Эксцентриситет орбиты кометы равен единице, а это значит, что она движется по параболической орбите и навсегда уйдет от Солнца в бесконечность, независимо от значения перигелийного расстояния. Таким образом, эта комета больше никогда не вернется к Солнцу.

*Примечание:* На самом деле значение эксцентриситета, близкое к единице, говорит о том, что форма наблюдаемой части орбиты кометы не отличается от параболы. Но раз уж она появилась в окрестностях Солнца, то с большой вероятностью является членом солнечной системы и когда-нибудь вернется еще раз. Вот только когда она вернется – мы не можем определить даже приблизительно. Более того, комета пройдет вблизи Марса на расстоянии в 3 раза ближе, чем от Земли до Луны. А это значит, что за счет гравитационного воздействия Марса она как-то изменит свою сегодняшнюю орбиту.

*Ответ:* комета больше никогда не вернется к Солнцу.

### *Критерии оценивания*

Знание, что эксцентриситет равен единице у параболической орбиты, – 3 балла.

Понимание того, что, двигаясь по параболической орбите, тело навсегда уходит в бесконечность от притягивающего центра – 3 балла.

Окончательный верный вывод (здесь также может быть поощрена дополнительная информация о комете из медиаисточников, приведенная участником в решении, например, то, что эта комета предположительно прибыла из облака Оорта и т.п.) – 2 балла.

### **3. Южные небеса**

См. решение задания 3 для 7–8 классов.

### **4. Гринвич или Париж?**

Как следует из условия задачи, парижское время опережает гринвичское на  $9 \text{ мин} \cdot 60 \text{ с} + 21 \text{ с} = 561 \text{ секунду}$ . Поскольку полный диапазон долгот в  $360^\circ$  соответствует 24 часам времени (сутки), можно легко получить переводную шкалу: за 1 секунду времени наша планета поворачивается на 15 угловых секунд относительно Солнца. Далее все просто:  $561 \text{ с} \cdot 15' = 8415 \text{ угловых секунд}$ , или  $8415' / 3600' = 2,3375 \text{ градуса}$ , или  $2^\circ 20' 15''$ . Поскольку, как уже было сказано, парижское время опережает гринвичское (в Парижской обсерватории полночь или полдень начинаются раньше, чем в Гринвиче), то это  $2^\circ 20' 15''$  восточной долготы (или  $+2^\circ 20' 15''$ ).

*Ответ:*  $\lambda = 2^\circ 20' 15''$  в.д.

*Критерии оценивания*

Правильный перевод времени в угловую меру – 3 балла.

Правильный перевод угловой меры в градусную (выделение целых градусов, угловых минут и угловых секунд) – 2 балла.

Понимание, что опережение времени происходит при движении к востоку и правильное отнесение долготы Парижской обсерватории к восточным долготам, – 3 балла.

### **5. Отодвигаем Марс**

Марс – внешняя планета. Поэтому формула для его синодического периода  $S$  (периода повторения одинаковых конфигураций – в данном

случае противостояний) может быть записана как  $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_M}$ . Подставим в нее сидерический (звездный) период обращения Земли  $T_3 = 1$  год и  $S = 2$  года, получим:  $\frac{1}{T_M} = \frac{1}{T_3} - \frac{1}{S} = 1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ , откуда сидерический (звездный) период обращения Марса  $T_M = 2$  года. Далее из третьего закона Кеплера:  $a = \sqrt[3]{T_M^2}$  найдем новое значение большой полуоси орбиты Марса  $a = 1,587$  а.е. Сравнивая это расстояние с существующим (из Таблицы 2 Приложения 1), получим, что Марс следует удалить всего лишь в  $1,5874 / 1,5237 = 1,04$  раза.

*Ответ:* в 1,04 раза.

*Критерии оценивания*

Использование формулы синодического движения – 2 балла.

Правильное определение нового периода обращения Марса – 2 балла.

Применение 3-го закона Кеплера и правильное определения новой большой полуоси орбиты Марса – 2 балла.

Окончательный правильный ответ на вопрос задачи – 2 балла.

## **6. Созвездия осеннего неба**

См. решение задания 6 для 9 класса.

## **Решения заданий для 11 класса**

### **1. Комета вблизи Марса**

Переведем расстояние от Марса до кометы в километры:  $0,00094 \cdot 149,6 \cdot 10^6 \approx 140000$  км. Это почти в три раза меньше, чем расстояние от Земли до Луны!

Теоретическая разрешающая способность фотокамеры HiRISE может быть найдена как:  $\alpha''_{\text{пред}} \approx 140'' / D \text{ мм} = 140'' / 500 \text{ мм} = 0,28''$ .

После этого найдем размеры наименьших деталей, которые могут быть видны с расстояния  $d = 140000$  км под углом  $0,28''$ :  $l = d \cdot \operatorname{tg} \alpha$ . Учитывая, что для малых углов  $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$  радиан,  $l = 140 \cdot 10^6 \text{ м} \cdot 0,28'' / 206265'' \approx 190 \text{ м}$ .

Поскольку типичные ядра комет имеют размеры нескольких километров (1–3 км), то это позволит различить ядро, но вряд ли ученым удастся рассмотреть на его поверхности детали рельефа.

Теперь найдем теоретическую разрешающую способность космического телескопа имени Хаббла:  $\alpha''_{\text{пред}} \approx 140'' / 2400 \text{ мм} \approx 0,06''$  (в действительности, согласно спецификации телескопа, она ниже и составляет  $0,1''$ ).

Таким образом, угловое разрешение космического телескопа имени Хаббла более чем в 4,5 раза выше, но расположен он на орбите Земли. Марс удален от Солнца на 1,5 а.е., поэтому даже в противостояниях нас разделяет  $1,5 - 1 = 0,5$  а.е. Значит космический телескоп будет находиться, как минимум, в  $0,5 / 0,00094 \approx 530$  раз дальше от кометы, чем камера HiRISE, и выигрыш в разрешении в 4,5 раза не повысит качество изображений. Можно посчитать, что размер наименьших видимых деталей в голове кометы, наблюдаемых с космического телескопа имени Хаббла с земной орбиты (с расстояния, большего, чем  $0,5 \cdot 149,6 \cdot 10^6 = 74,8 \cdot 10^6$  км), составит  $l > 74,8 \cdot 10^6 \text{ км} \cdot 0,06'' / 206265'' \approx 22 \text{ км}$ , что во много раз больше, чем при наблюдениях с камеры HiRISE.

*Ответ:* около 190 м. Ядро кометы можно будет рассмотреть на фотографиях, но детали рельефа видны не будут. Качество изображений кометы, полученных с помощью космического телескопа имени Хаббла, будет хуже.

#### *Критерии оценивания*

Верное определение расстояния от Марса до кометы в километрах – 1 балл.

Правильное определение теоретической разрешающей способности фотокамеры MPO – 2 балла.

Правильный расчет размеров деталей, которые можно различить в голове кометы с помощью камеры HiRISE, – 1 балл.

Знание типичных размеров ядер комет и вывод о возможности наблюдать ядро кометы, но без различения деталей рельефа его поверхности – 1 балл.

Правильное вычисление теоретической разрешающей способности космического телескопа имени Хаббла (или определение отношения диаметров объективов телескопа и фотокамеры, показывающее во сколько раз разрешающая способность телескопа Хаббла выше камеры HiRISE) и вывод о значительно худшем качестве изображений кометы при наблюдениях с космического телескопа имени Хаббла с обоснованием и пояснениями – 3 балла.

## 2. Комета Барнарда-Боттини

Зная период обращения  $T$ , можно получить значение большой полуоси орбиты  $a$  из третьего закона Кеплера:  $a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{5,83^2} = 3,239$  а.е. Величина эксцентриситета определяет степень сжатия орбиты (степень отклонения орбиты от окружности) кометы и позволяет найти ее минимальное (перигелийное)  $q$  и максимальное (афелийное)  $Q$  расстояния от Солнца:  $q = a \cdot (1 - e)$  и  $Q = a \cdot (1 + e)$ . Откуда  $q = 3,239 \cdot (1 - 0,6464) = 1,145$  а.е. и  $Q = 3,239 \cdot (1 + 0,6464) = 5,333$  а.е. Видно, что комета может достаточно близко приближаться к Земле (до  $1,145$  а.е. –  $1$  а.е. =  $0,145$  а.е. =  $21,7$  млн км) и удаляться от Солнца немного дальше орбиты Юпитера ( $a_{\text{Ю}} = 5,203$  а.е.).

Положение афелия указывает на то, что комета могла немного изменить свою орбиту после сближения с Юпитером, после чего и была утеряна (сближения действительно были в 1922, 1934 и 2005 годах). Между наблюдениями в 2008 и 1892 годах прошло 116 лет, или примерно  $116 / 5,83 = 19,9 \approx 20$  оборотов кометы, из которых наблюдались два возвращения к перигелию (первое и последнее). Значит, оставшиеся 18 были пропущены.

*Ответ:* 18 возвращений кометы к перигелию были пропущены. Это произошло из-за того, что притяжение Юпитера изменило ее орбиту.

### *Критерии оценивания*

Применение 3-го закона Кеплера и верное определение величины большой полуоси орбиты кометы – 2 балла.

Вычисление перигелийного и афелийного расстояний и определение расстояния сближения с Землей – 3 балла.

Определение количества пропущенных возвращений кометы – 1 балл.

Вывод о возможном изменении орбиты кометы притяжением Юпитером, что привело к потере кометы – 2 балла.

### **3. Южные небеса**

См. решение задания 3 для 7–8 классов.

### **4. Солнце в Кызыле**

Расстояние между двумя параллелями, которые отличаются на 1 градус, равно примерно 111 км. Его можно вспомнить или вычислить исходя из того, что  $360^\circ = 2\pi R_3$ , где  $R_3$  – радиус Земли, равный 6378 км. Так как по условию задачи Кызыл находится точно к югу от Красноярска, определим, что широта Кызыла меньше на  $480 \text{ км} / 111^\circ = 4,3^\circ$  и составляет  $\varphi_K = 56,0^\circ - 4,3^\circ = 51,7^\circ$  с.ш.

Далее из формулы для высоты светила в верхней кульминации:  $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ , можно определить максимальную высоту Солнца над горизонтом в Кызыле. Для этого нужно вспомнить, что максимальное склонение у Солнца бывает в день летнего солнцестояния (около 22 июня)  $\delta = +23,5^\circ$ . В полдень (в момент верхней кульминации Солнца) этого дня высота Солнца будет максимальной и составит  $h = 90^\circ - \varphi + \delta = 90^\circ - 51,7^\circ + 23,5^\circ = 61,8^\circ$ .

Возможно и другое решение. Так как Кызыл находится южнее Красноярска, то Солнце в полдень в Кызыле выше, чем в Красноярске, на разницу в широтах городов, т.е. на полученные ранее  $4,3^\circ$ .

На широте Красноярска небесный экватор находится на высоте  $h = 90^\circ - 56^\circ = 34^\circ$  над южной частью горизонта. В день летнего солнцестояния солнце достигает максимального отклонения от небесного экватора к северу на  $+23,5^\circ$ . Теперь получим для Красноярска максимальную высоту Солнца над горизонтом  $h = 34^\circ + 23,5^\circ = 57,5^\circ$ . В итоге максимальная высота Солнца в Кызыле составит  $57,5^\circ + 4,3^\circ = 61,8$  градуса.

*Ответ:*  $h_{max} = 61,8^\circ$ .

*Критерии оценивания*

Определение разности широт городов или широты Кызыла – 3 балла.

Понимание, что максимальная высота Солнца будет в день, когда у него максимальное склонение и знание его значения, – 2 балла.

Правильное вычисление максимальной высоты Солнца над горизонтом в Кызыле – 3 балла.

## **5. Космический взрыв**

Из формулы  $M = m + 5 - 5 \lg R$ , связывающей абсолютную звездную величину  $M$  с видимой звездной величиной  $m$  и расстоянием до звезды  $R$  в парсеках, можно найти расстояние до Новой звезды и БМО, в котором она находится. Получаем  $\lg R = (15,5 + 8) / 5 = 4,7$ , откуда  $R = 10^{4,7} = 50119$  пк  $\approx 50$  кпк.

Переведем расстояние в парсеках в световые годы. Зная, что 1 парсек равен 3,26 световых года, получим  $(3,26 \text{ св.год} \cdot 50000 \text{ пк}) / 1 \text{ пк} \approx 160000$  световых лет.

Световой год – единица длины, употребляемая преимущественно в научно-популярной астрономической литературе, равная расстоянию, проходимому светом за один год. По современным представлениям, скорость света в вакууме – предельная скорость движения частиц, распространения взаимодействий и передачи информации, равная примерно 300 000 км/с. Таким образом, свет от взрыва звезды летел до Земли 160 тысяч лет, а сам взрыв произошел 160 тысяч лет назад!

*Ответ:* 160 тысяч лет назад.

*Критерии оценивания*

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

Верное вычисление расстояния до звезды и БМО в парсеках – 1 балл.

Перевод парсек в световые годы (любым способом) – 1 балл.

Понимание масштабно-временного значения понятия «световой год» – 1 балл.

Верный вывод о времени, когда произошел взрыв звезды, – 1 балл.

## **6. Созвездия осеннего неба**

См. решение задания 6 для 9 класса.

### **2015–2016 учебный год**

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

### **1. Прохождения с Цереры**

Главный пояс астероидов расположен между орбитами Марса и Юпитера. А так как Церера находится в том поясе (то есть за орбитой Марса), то все планеты, находящиеся ближе к Солнцу (Меркурий, Венера, Земля и Марс), периодически располагаются между Солнцем и Церерой, а при особо благоприятных условиях могут наблюдаться с Цереры на фоне солнечного диска.

*Ответ:* Меркурий, Венера, Земля и Марс.

*Критерии оценивания*

За каждую верно указанную планету – 2 балла.

### **2. Три полумесяца**

Большим количеством спутников обладают планеты-гиганты – Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Судя по виду серпов, все три спутника сфероидальные. Три и более сфероидальных спутника есть у трех планет – Юпитера, Сатурна и Урана (у Нептуна только один сфероидальный спут-

ник – Тритон). Если внимательно рассмотреть форму серпов, то у двух из них (меньших по размеру) концы серпов не выходят за линии, совпадающие с полярными диаметрами дисков спутников, а у большого серпа «рога» удлинены за пределы линии полярного диаметра диска. Такое удлинение «рогов» может наблюдаться только у тел, имеющих плотную атмосферу. Единственным спутником, обладающим плотной атмосферой, является спутник Сатурна – Титан. Поэтому картину, приведенную на Рис. 2, можно было бы наблюдать из окрестностей Сатурна.

*Ответ:* на Рис. 2 изображены спутники Сатурна.

*Примечание:* на рисунке (Рис. 2) приведена фотография, полученная АМС Кассини, на которой изображены три спутника Сатурна: Титан, Мимас и Рея.

*Критерии оценивания*

Указание, что такое возможно наблюдать с одной из планет-гигантов, имеющих много спутников, – 3 балла.

Исключение Нептуна – 1 балл.

Опознание Титана и определение Сатурна как места наблюдения (с обоснованием) – 4 балла.

### **3. Суперлуние после солнечного затмения**

Суперлунием называют астрономическое явление, происходящее при совпадении полнолуния или новолуния с моментом наибольшего сближения Луны и Земли. И действительно, Луна в этот момент, находясь в фазе полнолуния, может выглядеть так, как говорилось в новостях. Но в этот день произошло солнечное затмение, которое возможно только тогда, когда Луна находится в фазе новолуния и наблюдается днем на фоне диска Солнца, полностью или частично закрывая его на некоторое время. Поэтому ночью после солнечного затмения увидеть Луну невозможно.

*Ответ:* нет, ночью после солнечного затмения увидеть Луну невозможно, так как солнечные затмения происходят только в новолуния.

#### *Критерии оценивания*

Правильный ответ с объяснением – 8 баллов. За правильный ответ без объяснения оценка не может превышать 2 балла.

#### **4. «Новые горизонты»**

Во-первых, потусторонние силы не рассматриваются наукой в качестве причин для объяснения тех или иных явлений природы. Во-вторых, временно затенить солнечные батареи на 1,35 часа в открытом космосе нечему (следует заметить, что и солнечных батарей на «Новых горизонтах» нет – все КА, запускаемые к дальним планетам, получают энергию от радиоизотопных источников). Зная, что расстояние в 1 астрономическую единицу (расстояние от Солнца до Земли) свет проходит примерно за 8 минут (это можно и рассчитать, зная скорость света и значение величины астрономической единицы), получим, что любая отправленная из ЦУПа команда достигнет КА только через ~256 минут, а это уже более 4 часов. Поэтому восстановить связь с Земли за более короткое время просто нельзя. Остается 4 вариант – предусмотрительные конструкторы, которые должны были предвидеть подобное развитие событий и продублировать все важные механизмы, а также заранее запрограммировать действия космического аппарата в подобных случаях. В действительности аппарат после возникшего сбоя автоматически переключился на дублирующую систему связи с Землей.

*Ответ:* 4 вариант – предусмотрительность конструкторов КА, заранее запрограммировавших действия КА в такой ситуации.

#### *Критерии оценивания*

Опровержение первого варианта – 1 балл.

Опровержение второго варианта – 2 балла.

Опровержение третьего варианта – 2 балла.

Выбор четвертого варианта с обоснованием – 3 балла.

## 5. Самолетом на Плутон

Астрономическая единица – единица измерения расстояний в астрономии, равная среднему расстоянию от Земли до Солнца. Численно она равна 149 600 000 км (см. Приложение 1).

Переведем расстояние до Плутона из астрономических единиц в километры:  $32 \text{ а.е.} \cdot 149\,600\,000 \text{ км} = 4\,787\,200\,000 \text{ км}$ .

Определим время полета  $t = s / v = 4\,787\,200\,000 \text{ км} / 900 \text{ км/ч} = 5\,319\,111 \text{ часов}$ .

Переведем часы в более осмысливаемые единицы времени – годы:

$$5\,319\,111 \text{ ч} / 24 \text{ ч} = 221\,629,63 \text{ сут,}$$

$$221\,629,63 \text{ сут} / 365,25 \text{ сут} = 606,79 \text{ лет.}$$

*Ответ:* полет на Плутон со скоростью реактивного пассажирского самолета занял бы около 600 лет!

### *Критерии оценивания*

Знание понятия «астрономическая единица» и правильный перевод расстояния до Плутона в километры – 2 балла.

Правильное вычисление времени полета в часах – 2 балла.

Перевод времени полета в годы – 2 балла.

Использование более точного значения продолжительности года, чем целое число суток (например, продолжительность юлианского года, равную 365,25 сут; участники также могут использовать продолжительность года по григорианскому календарю, тропического года и т.п.) – 2 балла.

## 6. Старинный рисунок

Во-первых, Солнце – слишком яркий объект, чтобы около него можно было различить такие слабые объекты, как кометы. Однако существует семейство околосолнечных комет (кометы, проходящие чрезвычайно близко от Солнца), которые астрономы прошлого могли наблюдать около Солнца в моменты полных солнечных затмений. Кроме того, иногда появляются так

называемые Большие или Великие кометы, например, Большие кометы 1843 и 1882 годов, которые наблюдались на дневном небе даже вблизи Солнца. В наши дни околосолнечные кометы наблюдаются с помощью космических аппаратов, например, SOHO, который был запущен в 1995 году.

Во-вторых, еще из курса «Природоведение» должно быть известно, что хвосты комет направлены в сторону от Солнца. Это происходит вследствие действия на частицы, образующие хвост кометы, силы светового давления и солнечного ветра – потока плазмы, испускаемой Солнцем. Однако пылевые хвосты, состоящие из крупных и тяжелых частиц, под действием силы притяжения могут быть сильно изогнуты в направлении к Солнцу. Кроме того, на вид хвоста оказывает влияние и то, в какой проекции он виден наблюдателю. Но все же при этом направления хвостов комет образуют некоторый угол в сторону от Солнца, как это видно на фотографии одной из околосолнечных комет, переданной космическим аппаратом (Рис. 13).



Рис. 13

Поэтому две кометы, изображенные на старинном рисунке (Рис. 3) по центру слева и справа от Солнца, могли наблюдаться астрономами прошлого, а 4 кометы, расположенные в углах рисунка, скорее всего – нет.

*Ответ:* две кометы, изображенные по центру слева и справа от Солнца, могли наблюдаться астрономами прошлого во время полных солнечных затмений, а 4 кометы, расположенные в углах рисунка, – нет.

#### *Критерии оценивания*

Рассуждения о возможности наблюдения комет около Солнца – 4 балла.

Рассуждения о направлении хвостов комет и выводы о возможности наблюдения комет, изображенных на рисунке, – 4 балла.

## Решения заданий для 9 класса

### 1. Прохождения с Цереры

См. решение задания 1 для 7–8 классов.

### 2. Три полумесяца

См. решение задания 2 для 7–8 классов.

### 3. Июньской ночью

Самая короткая ночь бывает в день летнего солнцестояния, когда Солнце проходит наивысшую точку эклиптики. В полночь Солнце находится под горизонтом точно на севере, так что угловое расстояние вдоль эклиптики между ним и восходящей Луной составляет  $90^\circ$ . Так как по условию задачи наклон орбиты Луны к плоскости эклиптики не учитывается, то можно догадаться, что в данный момент Луна будет расположена на небесном экваторе (в точке пересечения эклиптики с экватором, посередине между точками летнего и зимнего солнцестояний – в точке весеннего равноденствия). Поэтому она восходит точно в точке востока. И ей остается пройти по эклиптике четверть окружности до соединения с Солнцем (новолуния). Поэтому Луна в момент наблюдения будет находиться в фазе последней четверти.

*Ответ:* Луна будет восходить в точке востока и находиться в фазе последней четверти.

#### *Критерии оценивания*

Указание с объяснением, что Луна восходит точно в точке востока, – 4 балла. Односложный ответ типа «Луна восходит на востоке» (без пояснений) не может быть оценен выше 1 балла.

Указание с обоснованием, что Луна находится в фазе последней четверти, – 4 балла. За «угадывание» фазы Луны без пояснения оценка не может превышать 1 балл.

#### 4. Архимед в Сиракузах

Зная, как устроена сетка экваториальных небесных координат, можно рассуждать так: точка зенита имеет склонение, равное географической широте места наблюдения ( $0^\circ$  для экватора и  $+37^\circ$  для Сиракуз). В день летнего солнцестояния склонение Солнца составляет  $\delta = +23,5^\circ$ . Зенитное расстояние Солнца в полдень на экваторе в этот день  $23,5^\circ$  (к северу от зенита), а в Сиракузах:  $37^\circ - 23,5^\circ = 13,5^\circ$  (к югу от зенита). Высота зенита над горизонтом равна  $90^\circ$  по определению. Соответствующие разницы (высоты Солнца над горизонтом) составляют  $90^\circ - 23,5^\circ = 66,5^\circ$  для экватора и  $90^\circ - 13,5^\circ = 76,5^\circ$  для Сиракуз. Таким образом, в день летнего солнцестояния в Сиракузах солнце поднимается над горизонтом ровно на 10 градусов выше, чем на экваторе.

Отметим, что можно воспользоваться и формулами для высоты светила в кульминации, с учетом того, что в Сиракузах Солнце кульминирует к югу, а на экваторе – к северу от зенита.

*Ответ:* в день летнего солнцестояния Солнце поднимается выше в Сиракузах, чем на экваторе, на 10 градусов.

#### *Критерии оценивания*

Верное определение высоты Солнца в Сиракузах – 3 балла.

Верное определение высоты Солнца на экваторе – 3 балла.

Правильные окончательные выводы – 2 балла.

#### 5. Покрытие во время затмения

Лунное затмение возможно только в полнолуние. При этом Луна находится в точке эклиптики, противоположной положению Солнца. Уран находился там же, что означает, что он был вблизи противостояния (которое, кстати, произошло 7 октября). В такой конфигурации, кроме Урана, могут оказаться все внешние относительно Земли планеты (Марс, Юпитер, Сатурн, Нептун). Внутренние планеты (Меркурий, Венера) не могут уда-

ляться от Солнца на угол, больший, чем элонгация, поэтому они никогда не бывают в противостоянии и не могут наблюдаться вблизи полной Луны.

*Ответ:* во время лунного затмения еще могут произойти покрытия Марса, Юпитера, Сатурна и Нептуна, никогда – Меркурия и Венеры. Уран находился вблизи противостояния.

#### *Критерии оценивания*

По 1 баллу выставляется за каждую правильно указанную внешнюю планету (при наличии объяснения) – всего максимум 4 балла.

Указание на то, что Меркурий и Венера никогда не бывают в противостоянии и не могут наблюдаться вблизи полной Луны (по 1 баллу за каждую планету) – всего максимум 2 балла.

Правильное определение конфигурации Урана – 2 балла.

### **6. Размер кометы**

Горизонтальный параллакс – это угол, под которым со светила виден экваториальный радиус Земли (6378,14 км – см. Приложение 1). Поэтому если с кометы вся Земля видна под углом  $2 \cdot 15'' = 30''$ , а с Земли голова кометы выглядит как  $3 \cdot 60'' = 180''$ , или в 6 раз больше –, то и размер комы в 6 раз превосходит Землю:  $2 \cdot 6378,14 \text{ км} \cdot 6 = 76537,68 \approx 76,5 \text{ тыс. км}$  (большей точности не требуется, поскольку у комы нет резких границ).

Еще один вариант решения, связанный со знанием солнечного параллакса: сравнивая параллакс кометы с параллаксом Солнца ( $8,794''$  – см. Приложение 1), получаем расстояние до кометы  $8,794'' / 15'' \cdot 149,6 \cdot 10^6 \text{ км} = 87705493 \text{ км}$ . С такого расстояния размер объекта, видимого под углом  $3'$ , составит  $87705493 \text{ км} \cdot \sin 3' = 87705493 \text{ км} \cdot \sin 0,05^\circ = 76537,47 \text{ км} \approx 76,5 \text{ тыс. км}$ .

*Примечание:* возможно использование приближенного значения параллакса Солнца, которое часто встречается в литературе: до 1964 года параллакс Солнца являлся фундаментальной астрономической постоянной и

считался равным  $8,80''$ . С принятием в 1964 году Астрономическим союзом новой системы единиц он является производной постоянной и составляет  $8,794''$ . Если кто-то из учащихся использует значение не экваториального, а среднего или полярного радиусов Земли, то это не является ошибкой, но требует уточнения в ходе последующего разбора задач.

*Ответ:* размеры головы кометы составляет примерно 76,5 тыс. км.

*Критерии оценивания*

Использование необходимых справочных данных из приложения или знание соответствующих величин – 2 балла.

Правильное вычисление размера головы кометы – 6 баллов.

### Решения заданий для 10 класса

#### 1. С Марса или с Юпитера?

В момент прохождения по диску Солнца (так называемый «транзит») планета и Земля должны находиться на одной линии. Так как по условию задачи все планеты движутся в одной плоскости, такие конфигурации будут повторяться через синодические периоды  $S$ . Поэтому задача сводится к нахождению и сравнению  $S$  для каждой из данных планет. Обе планеты внешние по отношению к Земле ( $T_3 = 1$  звездный год = 365,2564 средних солнечных суток), поэтому используем формулу в виде:  $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_{пл}}$ .

Выразим период обращения Марса в земных годах:  $T_M = 687$  сут / 365,2564 сут = 1,88 года. Тогда для Марса получим:  $\frac{1}{S_M} = \frac{1}{1} - \frac{1}{1,88} = 0,468$ .

Откуда  $S_M = 2,14$  года. Аналогично для Юпитера:  $\frac{1}{S_{Ю}} = \frac{1}{1} - \frac{1}{11,86} = 0,916$ .

Откуда  $S_{Ю} = 1,09$  года. Как видим, прохождения Земли по диску Солнца можно было бы чаще видеть с Юпитера – каждые 1,09 года (точнее из его окрестностей, так как Юпитер является газовым гигантом, не имеющим

твердой поверхности, подобной той, что есть у планет земной группы). И примерно в 2 раза чаще ( $2,14 / 1,09 = 1,96$ ).

*Ответ:* чаще с Юпитера, примерно в 2 раза.

#### *Критерии оценивания*

Понимание, что задача сводится к нахождению и сравнению синодических периодов для каждой из планет, – 2 балла.

Верное определение синодического периода Марса – до 2 баллов (если для нахождения  $S$  использовалось значение сидерического периода Земли, равное целому числу суток (365 суток), – не более 1 балла).

Верное определение синодического периода Юпитера – 2 балла.

Верное определение, во сколько раз чаще наблюдались бы прохождения с Юпитера и окончательный вывод, – 2 балла.

## **2. 110 лет Джерарду Койперу**

Третий закон Кеплера  $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$  связывает среднее расстояние (большую полуось орбиты) любого объекта солнечной системы с его периодом обращения вокруг Солнца. Сравнивая движение такого объекта с Землей (для которой можно принять  $T_2 = 1$  год,  $a_2 = 1$  а.е.), имеем:  $a = \sqrt[3]{T^2}$ . Подставляя данные из условия задачи, получаем оценку расстояния от Солнца до границ пояса Койпера: от  $a = \sqrt[3]{165^2} \approx 30,1$  до  $a = \sqrt[3]{400^2} \approx 54,3$  а.е. от Солнца (или примерно от 30 до 55 а.е.). Тогда ширина этого пояса составляет около 24–25 астрономических единиц. Или (1 а.е.  $\approx$  150 млн км) около 3,7 миллиарда километров. Можно заметить, что «внутри» этого пояса можно было бы уместить большую часть Солнечной системы – до Сатурна включительно.

*Ответ:* ширина пояса Койпера составляет приблизительно 24–25 астрономических единиц.

### *Критерии оценивания*

Использование III закона Кеплера для расчета расстояния от Солнца до границ пояса Койпера – 4 балла.

Правильная оценка ширины пояса Койпера – 4 балла.

### **3. Июньской ночью**

См. решение задания 3 для 9 класса.

### **4. Наблюдения Весты**

Найдем в эфемериде (Таблица 2) ближайшую дату ко дню наблюдения – это 23.09.2015. Так как Веста – далекий объект из главного пояса астероидов, то за одни сутки ее координаты, а также другие параметры существенно не изменятся (попытки интерполяции данных на 24 сентября являются лишней тратой времени, поскольку не влияют на указание созвездия). Нанеся точку с указанными в эфемериде координатами Весты на карту звездного неба (Приложение 2), получим, что астероид был виден на фоне созвездия Кита.

Внимательное изучение таблицы показывает, что где-то вблизи 23 сентября расстояние Весты от Земли было минимальным (сначала уменьшается, а в конце – возрастает). Для внешних планет такая ситуация бывает вблизи противостояния. Действительно, 24 сентября произошло сближение астероида Веста с Землей до 1,427 а.е., а 29 сентября – ее противостояние. Можно воспользоваться и положением Солнца на небесной сфере в день наблюдения. Для этого найдем дату по краю карты – около 25 сентября, соединим ее с центром карты, и на пересечении этого радиуса с эклиптической укажем положение Солнца (созвездие Девы). Как видим, Солнце и Веста находятся в противоположных частях эклиптики (их разделяет примерно 12 ч, или  $12 \text{ ч} \cdot 15^\circ/\text{ч} = 180^\circ$  по прямому восхождению). В любом случае можно сделать вывод, что 24 сентября Веста будет иметь конфигурацию, близкую к противостоянию. Как известно, светила в проти-

востоянии можно наблюдать всю ночь, а лучшим временем наблюдения является полночь, когда они находятся выше всего над горизонтом – в верхней кульминации. Поэтому Весту 24 сентября можно было наблюдать всю ночь, а лучше всего – около полуночи.

Увидеть Весту невооруженным глазом вряд ли бы удалось, так как считается, что предельная звездная величина объектов, видимых невооруженным глазом, составляет  $+6^m$ , а блеск Весты был слабее:  $+6,3^m$ – $+6,2^m$  (см. столбец «Звезд. величина  $m$ » эфемериды). Кроме того, фаза Луны была близка к полнолунию (около 70 %, см. последний столбец эфемериды), что создавало дополнительную засветку и также мешало наблюдениям. Но все же следует отметить, что в этом году Веста была самой яркой среди всех наблюдаемых астероидов.

*Ответ:* 24 сентября Весту можно было наблюдать всю ночь (лучше всего близко к полуночи) в созвездии Кита. Увидеть ее невооруженным глазом было невозможно.

#### *Критерии оценивания*

Определение, что Веста находилась в созвездии Кита, – 1 балл.

Определение, что Веста находилась в конфигурации, близкой к противостоянию, – 2 балла.

Правильное определение условий видимости Весты – 2 балла.

Вывод о том, что блеск Весты слабее предельного блеска, видимого невооруженным глазом, – 2 балла.

Вывод о том, что Луна будет мешать наблюдению Весты, – 1 балл.

### **5. Гравитационный маневр**

Пренебрегая несколькими сутками, можно считать, что реальный полет длился около 9,5 лет. Если бы космический аппарат двигался по «гомановскому эллипсу», то полный период его обращения можно вычислить по III закону Кеплера – он будет равен периоду обращения небесного тела по

орбите с большой осью 41 а.е. (40 а.е. Солнце – Плутон, и 1 а.е. Земля – Солнце).

С учетом того, что в III законе Кеплера используется величина полуоси ( $41 \text{ а.е.} / 2 = 20,5 \text{ а.е.}$ ), получим:  $T = \sqrt{a^3} = \sqrt{20,5^3} \approx 92,8$  года. Время полета к планете (только туда) составит половину от полученного значения:  $92,8 / 2 = 46,4$  года. Найдем выигрыш во времени полета за счет гравитационного маневра в поле тяготения Юпитера:  $46,4 / 9,5 \approx 4,88 \approx 5$  раз (можно заметить, что без такого маневра полет занял бы около полувека!).

*Ответ:* время полета КА к Плутону удалось сократить примерно в 5 раз.

*Критерии оценивания*

Правильное вычисление длительности полета – 1 балл.

Правильное вычисление большой оси (полуоси) «гомановского эллипса» – 2 балла.

Правильное вычисление периода обращения по «гомановскому эллипсу» – 2 балла.

Правильное вычисление времени полета по гомановской траектории – 2 балла.

Окончательные верные выводы – 1 балл.

## **6. Противостояние астероида**

Расстояние до светила обратно пропорционально его горизонтальному параллаксу  $D \sim 1 / \rho$ . Сравнивая параллакс малой планеты с параллаксом Солнца, получаем расстояние от Земли до астероида в астрономических единицах  $8'' / 16'' = 0,55 \text{ а.е.}$  С учетом того, что в противостоянии Солнце, Земля и астероид находятся на одной линии, получаем расстояние астероида от Солнца:  $a = 0,55 + 1 = 1,55 \text{ а.е.}$  Откуда по III закону Кеплера можно вычислить период его обращения:  $T = \sqrt{a^3} = \sqrt{1,55^3} \approx 1,93$  года.

*Ответ:* период обращения астероида составляет примерно 1,93 года.

### Критерии оценивания

Правильное вычисление расстояния от Земли до астероида – 3 балла.

Правильное вычисление расстояния от Солнца до астероида – 2 балла.

Применение III закона Кеплера и правильное вычисление периода обращения астероида – 3 балла.

## Решения заданий для 11 класса

### 1. Переменная звезда

Между максимумами блеска у периодической переменной звезды должно находиться целое число периодов. Поэтому:

$$\frac{JD2 - JD1}{T} = K, \quad \frac{JD3 - JD2}{T} = N, \quad \text{где } K \text{ и } N - \text{целые числа.}$$

$$\text{Тогда } T = \frac{JD2 - JD1}{K} = \frac{JD3 - JD2}{N},$$

$$\text{а } N = \frac{K(JD3 - JD2)}{(JD2 - JD1)} = K \frac{7,68}{25,6} = 0,3 \cdot K.$$

При целом  $K$  должно получиться целое  $N$ . Поэтому, чтобы выполнить это условие, примем  $K = 10$ , тогда  $N = 0,3 \cdot K = 3$ . То есть можно сделать вывод, что по каким-то причинам, например, из-за плохой погоды, были зафиксированы не все последовательные моменты максимумов блеска звезды: между первой и второй юлианской датой включительно было, как минимум, 10 периодов, между второй и третьей – 3 периода.

Теперь вычислим период переменности блеска:

$$T = \frac{JD2 - JD1}{K} = \frac{25,6}{10} = 2,56 \text{ сут.}$$

*Ответ:* период изменения блеска составляет 2,56 дня.

*Примечание:* следует отметить, что полученное значение периода является максимально возможным. Так как  $N = 0,3 \cdot K$ , то  $K$  может быть еще равным 20, 30 и т.д., а  $N = 6, 9$  и т.д., а период может составлять 1,28 сут,

0,85 сут и т.д., соответственно. Для того, чтобы однозначно определить период, необходимо выполнить дополнительные наблюдения звезды.

### *Критерии оценивания*

Понимание того, что между максимумами блеска у периодической переменной звезды должно находиться целое число периодов, – 2 балла.

Правильное определение количества прошедших периодов между юлианскими датами – 3 балла.

Правильное определение периода изменения блеска переменной звезды – 3 балла.

## **2. 110 лет Джерарду Койперу**

См. решение задания 2 для 10 класса.

## **3. Арес и АнтиАрес**

Определим координаты планеты. Так как зенитное расстояние Марса будет на  $1^\circ 46' 05''$  меньше, чем у Антареса в его верхней кульминации, то значит, что Марс будет виден выше Антареса (ближе к зениту), откуда сразу получаем его склонение:  $-26^\circ 25' 55'' + 1^\circ 46' 05'' = -24^\circ 39' 50'' \approx -24,6639^\circ$ . Зная, что Марс пересечет небесный меридиан на 1 мин 05 с позже Антареса, можно определить его прямое восхождение:  $16 \text{ ч } 29 \text{ мин } 24 \text{ с} + 1 \text{ мин } 05 \text{ с} = 16 \text{ ч } 30 \text{ мин } 29 \text{ с}$ .

Чтобы найти угловое расстояние между Марсом и Антаресом, удобно привести упомянутые в условии задачи разности к единой единице измерения, например, угловые секунды.

Начнем со склонения:  $1^\circ 46' 05'' = 5'' + 46 \cdot 60'' + 1 \cdot 3600'' = 6365''$ .

Теперь переведем разность прямых восхождений. Так как Земля вращается со скоростью  $15^\circ$  за 1 час ( $15''$  за 1 секунду времени), то 1 мин 05 с – это:  $65 \text{ с} \cdot 15'' = 975''$ . Однако здесь обязательно следует учесть, что все круги склонений, имеющие различные прямые восхождения, сходятся на полюсах, поэтому для больших склонений этот фактор имеет существенное зна-

чение. Для учета этого полученное значение  $975''$  необходимо умножить на косинус склонения Марса:  $975'' \cdot \cos(-24,6639^\circ) \approx 886''$ . Пренебрегая кривизной небесной сферы на таком небольшом участке, вычислим расстояние между объектами по теореме Пифагора:  $r = \sqrt{6365^2 + 886^2} \approx 6426'' = 77,1' = 1,285^\circ$ .

Отметим, что исходная точность условия задачи ограничена значением в 1 секунду по прямому восхождению, что позволяет считать с округлениями до  $\pm 7''$  ( $15'' \cdot \cos(24,6639^\circ) \approx 13,6'' \approx 14''$ ).

*Ответ:* экваториальные координаты Марса:  $\alpha = 16$  ч 30 мин 29 с,  $\delta = -24^\circ 39' 50''$ , угловое расстояние между Марсом и Антаресом  $r \approx 6426'' = 77,1' = 1,285^\circ$ .

#### *Критерии оценивания*

Правильное определение склонения Марса – 2 балла.

Правильное определение прямого восхождения Марса – 2 балла.

Расчет углового расстояния – 2 балла.

Учет схождения кругов склонений – 2 балла.

#### **4. Вверх и в сторону**

За счет вращения Земли светила восходят (и заходят) под углом  $\alpha = 90^\circ - \varphi$  градусов к горизонту, где  $\varphi$  – географическая широта места наблюдения. Рассмотрев прямоугольный треугольник, в котором сторона **a** вдвое меньше стороны **b**, легко получить, что  $\text{tg } \alpha = 1/2$ , откуда  $\alpha = 26,565^\circ$ . Теперь можно вычислить широту наблюдателя:  $\varphi = 90^\circ - 26,565^\circ = 63,435^\circ \approx 63,44^\circ$ . Склонение (угловое расстояние от небесного экватора) Солнца в течение года изменяется от  $+23,44$  до  $-23,44$  градусов (наклон экватора Земли к эклиптике – см. Приложение 1). По формуле высоты светила в верхней (полуденной для Солнца) кульминации можно получить искомые высоты. Максимальная (летом):  $h_M = 90^\circ - 63,44^\circ + 23,44^\circ = 50$  градусов. Минимальная (зимой):  $h_m = 90^\circ - 63,44^\circ - 23,44^\circ = 3$  градуса. Для наблюда-

теля в северном полушарии высота Солнца будет максимальной в день летнего солнцестояния – около 22 июня. Из соображений симметрии такой же восход звезды может наблюдаться с аналогичной широты южного полушария. Только в этом случае разгар лета (и максимальная высота Солнца) там приходится на наш «день зимнего солнцестояния» – около 21 декабря.

*Ответ:* максимальная высота Солнца  $50^\circ$ , минимальная высота Солнца  $3^\circ$ . Высота Солнца будет максимальной в день летнего (для наблюдателя в северном полушарии) или зимнего (в южном полушарии) солнцестояния.

#### *Критерии оценивания*

Правильное нахождение широты – 2 балла.

Определение максимальной высоты – 2 балла.

Определение минимальной высоты – 2 балла.

Указание, что высота Солнца в северном полушарии Земли будет максимальной в день летнего солнцестояния – 1 балл.

Указание, что высота Солнца в южном полушарии Земли будет максимальной в день зимнего солнцестояния – 1 балл.

### **5. Гравитационный маневр**

См. решение задания 5 для 10 класса.

### **6. Что ближе?**

Годичный параллакс – это угол, под которым со светила виден радиус орбиты Земли. Поэтому ближе та звезда, у которой параллакс больше, т.е.  $\beta$  Дельфина. Эта звезда ближе в  $0,0335 / 0,0136 \approx 2,46$  раза. Обратная параллаксу величина – это расстояние до звезды в парсеках (пк), а 1 ПК равен примерно 3,26 световых года. Откуда для  $\alpha$  Дельфина получаем:  $(1 / 0,0136) \cdot 3,26 \approx 240$  световых лет, а для  $\beta$  Дельфина:  $(1 / 0,0335) \cdot 3,26 \approx 97$  световых лет.

*Ответ:* ближе  $\beta$  Дельфина примерно в 2,46 раза. Расстояние до  $\alpha$  Дельфина составляет около 240 световых лет; до  $\beta$  Дельфина – около 97 световых лет.

*Критерии оценивания*

Правильное определение ближней звезды – 3 балла.

Правильное определение, во сколько раз одна звезда ближе другой, – 2 балла.

Верное определение расстояние до одной из звезд – 3 балла.

## **2016–2017 учебный год**

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

#### **1. Астрологические знаки**

На Рис. 4 изображены зодиакальные созвездия: Taurus – Телец, Gemini – Близнецы, Leo – Лев, Virgo – Дева, Scorpio – Скорпион, Sagittarius – Стрелец, Aquarius – Водолей, Pisces – Рыбы.

*Ответ:* Телец, Близнецы, Лев, Дева, Скорпион, Стрелец, Водолей, Рыбы.

*Критерии оценивания*

За каждое правильно названное созвездие – 1 балл.

#### **2. Понедельник – день «тяжелый»**

Да, в феврале может быть пять понедельников, если год високосный, когда в феврале 29 суток. Если в один из таких годов понедельник придется на 1 февраля, то последующие понедельники наступят, соответственно, 8, 15, 22 и 29 февраля. Кстати, в текущем 2016 году как раз так и было!

*Ответ:* в феврале может быть пять понедельников, если год високосный и первый понедельник месяца приходится на 1 февраля.

*Критерии оценивания*

Верный ответ с указанием, что это возможно в високосный год, – 6 баллов.

За более детальные пояснения, например, что такое возможно, если 1 февраля – понедельник – 2 балла.

### **3. Столкновение галактик**

Галактики столкнутся примерно через  $24\,000\,000\,000$  млрд км /  $140$  км/с  $\approx 171\,000\,000$  млрд с. Так как один год содержит  $365,25$  сут  $\cdot 24$  ч  $\cdot 60$  мин  $\cdot 60$  с  $\approx 31\,557\,600$  с, то столкновение произойдет примерно через  $171\,000\,000$  млрд с /  $31\,557\,600$  с  $\approx 5,4$  млрд лет.

*Примечание:* в данной задаче можно использовать значение величины года, равное 365 сут, тогда количество секунд в году будет составлять  $31\,536\,000$  с, что существенно не повлияет на приближенную оценку времени до столкновения галактик.

*Ответ:* галактики столкнутся примерно через 5,4 млрд лет.

*Критерии оценивания*

Правильное вычисление времени до столкновения в секундах – 4 балла.

Правильный перевод времени из секунд в годы – 4 балла.

### **4. Фантастика и реальность**

*Ответ:* В Таблице 3 приведены всего 4 космических тела, которые существуют на самом деле: Арктур – звезда, Ариэль – спутник Урана, Церера – карликовая планета, Нептун – планета.

*Критерии оценивания*

За каждое правильно указанное реально существующее космическое тело – 1 балл, еще 1 балл – за правильное пояснение, чем это тело является.

### **5. Землянин, Марсианин и Меркурианец**

Для удобства назовем друзей Землянином, Марсианином и Меркурианцем. Понятно, что через 5 земных лет Землянину будет 15 лет. Теперь выясним, сколько лет исполнится Марсианину и Меркурианцу по «летоисчислению» их планет. Для этого воспользуемся Таблицей 2 «Характери-

стики орбит планет» справочных данных (Приложение 1). В графе «Период обращения» указаны периоды обращения соответствующих планет вокруг Солнца в земных сутках. Воспользовавшись этими данными, получим, что на Земле за 5 лет пройдет  $5 \cdot 365,26 \text{ сут} = 1826,3 \text{ суток}$ . За это время Меркурий совершит  $1826,3 \text{ сут} / 87,97 \text{ сут} \approx 20,8$  оборота вокруг Солнца, т.е. по «меркурианскому летоисчислению» пройдет 20,8 лет. Соответственно, Меркурианцу исполнится  $10 \text{ лет} + 20,8 \text{ лет} = 30,8 \text{ лет}$ . Марс за 5 лет совершит  $1826,3 \text{ сут} / 686,98 \text{ сут} \approx 2,7$  оборота вокруг Солнца, таким образом, по «марсианскому летоисчислению» пройдет всего 2,7 года, а Марсианину исполнится  $10 \text{ лет} + 2,7 \text{ лет} = 12,7 \text{ лет}$ . Но биологический возраст друзей, конечно же, будет одинаковый (если не брать в расчет тяжелые условия жизни друзей на Меркурии и Марсе).

*Ответ:* Землянину исполнится 15 лет по земному летоисчислению, Меркурианцу – 30,8 лет по «меркурианскому летоисчислению», Марсианину – 12,7 лет по «марсианскому летоисчислению».

#### *Критерии оценивания*

Верное вычисление возраста Марсианина – 4 балла.

Верное вычисление возраста Меркурианца – 4 балла.

### **6. Затмение с Луны**

Когда на Земле происходит лунное затмение, на Луне будет наблюдаться солнечное затмение (Земля закроет Солнце, см. Рис. 14).

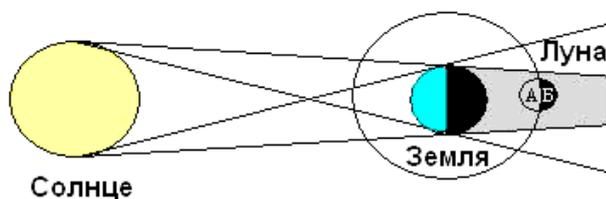


Рис. 14

Однако наблюдаться это явление будет только с обращенного к Земле полушария Луны (позиция А на Рис. 14). Очевидно, что с невидимого с Земли полушария Луны это явление наблюдаться не будет (позиция Б на Рис. 14).

*Ответ:* на Луне в этот момент будет наблюдаться солнечное затмение, но с невидимого с Земли полушария Луны оно будет не видно.

*Критерии оценивания*

Правильный ответ без поясняющего рисунка – 2 балла.

Верный рисунок, иллюстрирующий геометрию затмения, – 4 балла.

Указание на невозможность наблюдать солнечное затмение с невидимого с Земли полушария Луны – 2 балла.

### **Решения заданий для 9 класса**

#### **1. Астрологические знаки**

См. решение задания 1 для 7–8 классов.

#### **2. Понедельник – день «тяжелый»**

См. решение задания 2 для 7–8 классов.

#### **3. Столкновение галактик**

Световой год – это расстояние, которое свет, распространяющийся со скоростью примерно равной 300 000 км/с, проходит за год. Так как один год содержит  $365,25 \text{ сут} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 60 \text{ мин} \cdot 60 \text{ с} \approx 31\,557\,600 \text{ с}$ , то расстояние до галактики Туманность Андромеды составит  $2,5 \text{ млн св.год} \cdot 300\,000 \text{ км/с} \cdot 31\,557\,600 \text{ с} \approx 24\,000\,000\,000 \text{ млрд км}$ . Галактики столкнутся примерно через  $24\,000\,000\,000 \text{ млрд км} / 140 \text{ км/с} \approx 171\,000\,000 \text{ млрд с}$ . А так как один год содержит примерно  $31\,557\,600 \text{ с}$ , то столкновение произойдет примерно через  $171\,000\,000 \text{ млрд с} / 31\,557\,600 \text{ с} \approx 5,4 \text{ млрд лет}$ .

*Примечание:* в данной задаче можно использовать значение величины года, равное 365 сут, тогда количество секунд в году будет составлять  $31\,536\,000 \text{ с}$ , что существенно не повлияет на приближенную оценку времени до столкновения галактик.

*Ответ:* галактики столкнутся примерно через 5,4 млрд лет.

### *Критерии оценивания*

Верный перевод расстояния до соседней галактики в километры – 3 балла.

Правильное вычисление времени до столкновения в секундах – 3 балла.

Правильный перевод времени из секунд в годы – 2 балла.

#### **4. Фомальгаут**

*1 способ решения.* Эта звезда удалена на  $29^\circ 37'$  к югу от небесного экватора, поэтому может наблюдаться из всего южного полушария Земли. На столько же к югу от зенита она кульминирует и на земном экваторе, то есть на высоте  $h = 90^\circ - 29^\circ 37' = 60^\circ 23'$  над точкой юга. Как можно понять, при перемещении условного наблюдателя от экватора на север – на каждый градус его смещения по широте – эта высота будет уменьшаться на такую же величину. И когда наблюдатель достигнет широты  $\varphi = +60^\circ 23'$  с.ш., высота звезды в кульминации станет равной нулю. Это предельная северная широта, на которой теоретически еще можно увидеть Фомальгаут. Красноярск находится южнее, следовательно, там эта звезда может наблюдаться на высоте  $h = 60^\circ 23' - 56^\circ = 4^\circ 23'$  над южным горизонтом.

*2 способ решения.* Из Красноярска можно наблюдать звезды вплоть до  $56^\circ - 90^\circ = -34^\circ$  южной широты, Фомальгаут может быть виден на  $34^\circ - 29^\circ 37' = 4^\circ 23'$  выше линии южного горизонта. Аналогично предыдущим рассуждениям получаем граничное значение  $\varphi = 56^\circ + 4^\circ 23' = 60^\circ 23'$  с.ш.

*3 способ решения.* Можно воспользоваться формулой для высоты светила в верхней кульминации:  $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ . Приравняв высоту к нулю (звезда на горизонте), получим  $\varphi = 90^\circ + \delta = 90^\circ - 29^\circ 37' = 60^\circ 23'$ . Для Красноярска:  $h = 90^\circ - 56^\circ - 29^\circ 37' = 4^\circ 23'$  над южным горизонтом.

*Ответ:* Фомальгаут можно наблюдать до широты  $\varphi = 60^\circ 23'$  с.ш. В Красноярске эта звезда будет наблюдаться на максимальной высоте  $4^\circ 23'$ .

### *Критерии оценивания*

Все приведенные способы решения равноценны.

За правильное (с пояснениями) определение значения предельной широты – 4 балла.

За правильный ответ о максимальной высоте Фомальгаута в Красноярске – 4 балла.

## **5. Зодиакальный свет**

Так как зодиакальный свет является слабым свечением и простирается в направлении от Солнца вдоль эклиптики, то его лучше всего наблюдать, когда эклиптика пересекает горизонт под максимальным углом – тогда меньше сказывается влияние поглощения света вдоль горизонта, дымка и т.п. Если обратиться к карте звездного неба (Приложение 2), то можно догадаться, что это происходит в периоды, когда Солнце находится около точек равноденствия, т.е. осенью утром в восточной стороне горизонта или весной вечером в западной стороне горизонта, когда перед началом или после окончания астрономических сумерек, соответственно, над горизонтом возвышается часть эклиптики, имеющая положительные склонения.

*Ответ:* весной и осенью.

### *Критерии оценивания*

Указание весны с обоснованием – 4 балла.

Указание осени с обоснованием – 4 балла.

## **6. Лунное затмение**

В отличие от солнечных затмений, видимых только из узкой полосы лунной тени, лунные затмения видны со всего «ночного» полушария Земли (там, где Луна видна над горизонтом). Разница красноярского и всемирного времени составляет +7 часов. Следовательно, в момент максимальной фазы затмения у нас на часах будет 1 ч 20 мин ночи 8 августа. Это близко к местной полуночи (1 час ночи). А так как лунные затмения происходят в пол-

нолуние, когда Луна видна всю ночь, для нас это затмение будет не только видимым от начала и до конца, но и очень удобным для наблюдения (в середине затмения Луна будет находиться вблизи своей кульминации).

*Ответ:* Это затмение можно будет наблюдать в Красноярске, так как максимальная фаза затмения наступит в 1 ч 20 мин ночи 8 августа по Красноярскому времени, а полная Луна наблюдается всю ночь.

#### *Критерии оценивания*

Верное определение времени наступления максимальной фазы затмения в Красноярске – 4 балла.

Вывод с пояснениями о возможности наблюдения лунного затмения в Красноярске – до 4 баллов.

### **Решения заданий для 10 класса**

#### **1. Астрологические знаки**

На Рис. 5 изображены зодиакальные созвездия: Aries – Овен, Taurus – Телец, Cancer – Рак, Leo – Лев, Libra – Весы, Scorpio – Скорпион, Capricorn – Козерог, Aquarius – Водолей.

*Ответ:* Овен, Телец, Рак, Лев, Весы, Скорпион, Козерог, Водолей.

#### *Критерии оценивания*

За каждое правильно названное созвездие – 1 балл.

#### **2. Понедельник – день «тяжелый»**

2016 год был високосным, поэтому в феврале было 29 суток. А так как первый понедельник месяца приходился на 1 февраля, то последующие понедельники наступили, соответственно, 8, 15, 22 и 29 февраля – всего 5 понедельников. В следующий раз такое событие произойдет через 28 лет. В 4 годах содержатся  $365 \cdot 4 + 1 = 1461$  календарных суток (или можно вычислить это так:  $365,25 \cdot 4$ ). Но это число не делится нацело на 7. Значит, через ближайшие 4 года первое февраля будет уже другим днем недели.

Итак, мы имеем два условных периода: 4 года и 7 дней недели. Можно понять, что через период в  $4 \cdot 7 = 28$  лет день недели должен повториться (если в этот интервал не попали годы столетий, которые по григорианскому календарю не считаются високосными). Таким образом, пяти понедельников в феврале в следующий раз можно ожидать только в  $2016 + 28 = 2044$  году.

*Ответ:* в феврале 2016 года было пять понедельников, потому что год является високосным, а первый понедельник месяца приходится на 1 февраля. В следующий раз такое событие повторится через 28 лет в 2044 году.

*Критерии оценивания*

Правильное объяснение, почему в 2016 году было 5 понедельников, – 2 балла.

Правильное определение 28-летнего периода повторения дней недели по дням года – 5 баллов.

Окончательное определение года, когда в феврале будет 5 понедельников, – 1 балл.

### **3. Два спутника**

Скорость искусственного спутника Земли (ИСЗ) по круговой орбите (круговая скорость) определяется  $v_k = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$ , где  $G$  – постоянная тяготения или гравитационная постоянная,  $M$  – масса Земли,  $R$  – радиус Земли,  $h$  – высота орбиты. Как видно из формулы, от массы ИСЗ эта скорость не зависит. Так как спутники движутся по круговым орбитам одинакового радиуса ( $R+h$ ), то и скорости их будут одинаковы.

*Ответ:* скорости спутников будут одинаковы.

*Критерии оценивания*

Запись формулы для круговой скорости – 4 балла.

Вывод об одинаковых скоростях спутников – 4 балла.

#### 4. Наклон эклиптики в Красноярске

На широте Красноярска звезды восходят и заходят под углом  $\theta = 90^\circ - \varphi = 34,0^\circ$  к горизонту. Под таким же углом наклонен к горизонту и небесный экватор. Эклиптика наклонена к экватору на  $23,5^\circ$ . Следовательно, максимальным будет угол:  $34,0^\circ + 23,5^\circ = 57,5^\circ$ . А минимальным:  $34,0^\circ - 23,5^\circ = 10,5^\circ$ .

Максимальным этот угол будет, когда на западе находится (заходит) точка весеннего равноденствия (далее эклиптика идет вверх от экватора). А минимальным – когда там же находится точка осеннего равноденствия (от нее эклиптика начинает свой спуск к югу от небесного экватора). Как известно, эти точки находятся в созвездиях Рыб и Девы, соответственно.

*Ответ:* Максимальный угол наклона эклиптики к западному горизонту для наблюдателя в Красноярске составит  $57,5^\circ$ , а минимальный  $10,5^\circ$ . При максимальном угле на западе будет находиться созвездие Рыб, при минимальном угле – созвездие Девы.

#### *Критерии оценивания*

Верное определение максимального угла наклона эклиптики к горизонту – 2 балла.

Верное определение минимального угла наклона эклиптики к горизонту – 2 балла.

Верное определение созвездий – 2 балла за каждое созвездие.

#### 5. Вега и Альтаир

Найдем расстояние между Вегой и Альтаиром с помощью теоремы косинусов:  $r = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \theta}$ , где  $\theta = 2050' / 60' \approx 34,17^\circ$ . Получим расстояние между Вегой и Альтаиром  $r \approx 14,8$  световых лет. Следовательно, из окрестностей Веги Альтаир выглядит все-таки немного ярче, чем с Земли. Учитывая то, что яркость убывает пропорционально квадрату расстояния, Альтаир будет ярче в  $(16,8 \text{ св.год} / 14,8 \text{ св.год})^2 \approx 1,3$  раза из окре-

стностей Веги, чем с Земли. И, наконец, Вега – самая яркая звезда созвездия Лиры, а Альтаир – созвездия Орла.

*Ответ:* из окрестностей Веги Альтаир выглядит ярче, чем с Земли, примерно, в 1,3 раза. Вега – самая яркая звезда созвездия Лиры, а Альтаир – созвездия Орла.

#### *Критерии оценивания*

Верное определение расстояния между Вегой и Альтаиром – 4 балла.

Определение, во сколько раз Альтаир выглядит ярче из окрестностей Веги – 2 балла (если участники не возвели отношение в квадрат, то эти баллы не выставляются).

Верное указание, к какому созвездию принадлежит Вега – 1 балл.

Верное указание, к какому созвездию принадлежит Альтаир – 1 балл.

### **6. Альфа Геркулеса**

Поскольку обе звезды по блеску доступны даже невооруженному глазу (ярче 6-ой звездной величины), то можно использовать любой оптический инструмент, диаметр объектива которого превышает диаметр ночного зрачка человека ( $\sim 6\text{--}7\text{мм}$ ). Что же касается увеличения, то его следует применить не менее  $(3' \cdot 60'') / 4,7'' = 38,3 \approx 40$  крат.

*Ответ:* диаметр объектива телескопа должен быть не менее 6–7 мм, а увеличение должно быть не менее 40 крат.

#### *Критерии оценивания*

Верное определение диаметра объектива телескопа – 4 балла.

Верное определение увеличения телескопа – 4 балла.

## **Решения заданий для 11 класса**

### **1. Астрологические знаки**

См. решение задания 1 для 10 класса.

## 2. Понедельник – день «тяжелый»

См. решение задания 2 для 10 класса.

## 3. Самая далекая комета?

Из формулы для перигелийного расстояния  $r_{\text{п}} = a \cdot (1 - e)$  можно получить значение большой полуоси орбиты кометы:  $a = r_{\text{п}} / (1 - e) = 4,35 / 0,000017 \approx 256\,000$  а.е. Откуда по III закону Кеплера определим период обращения кометы:  $T = \sqrt{a^3} \approx 129,5$  миллионов лет! Наибольшее (афелийное) расстояние может быть получено из формулы  $r_{\text{А}} = a \cdot (1 + e) \approx 2 \cdot a \approx 512\,000$  а.е. Так как 1 световой год  $\approx 63\,000$  а.е., получим, что комета может удаляться от Солнца на расстояние  $512\,000 / 63\,000 \approx 8$  световых лет! Это почти в два раза дальше, чем расстояние до ближайшей звезды!

*Ответ:* период обращения кометы составляет 129,5 миллионов лет, а ее максимальное удаление от Солнца составляет около 512000 а.е. или примерно 8 световых лет, что почти в 2 раза больше, чем расстояние до ближайшей звезды.

### *Критерии оценивания*

Правильное определение большой полуоси орбиты – 2 балла.

Правильное определение периода обращения кометы – 2 балла.

Правильное определение афелийного расстояния – 2 балла.

Окончательный верный вывод о максимальной удаленности кометы в сравнении с ближайшей звездой – 2 балла.

## 4. Зайдет или не зайдет?

Известно, что на широте  $\varphi$  в зените видны звезды, склонение которых  $\delta = \varphi$ . Предположим, что наблюдатель находится в северном полушарии Земли и наблюдает незаходящие за горизонт звезды. Из формулы, определяющей высоту светила в нижней кульминации:  $h = \delta - (90^\circ - \varphi) = \delta - 90^\circ + \varphi$  и условия  $h \geq 0^\circ$ , получаем (с учетом  $\delta = \varphi$ ):  $\delta - 90^\circ + \varphi =$

$2\varphi - 90^\circ \geq 0^\circ$ , или  $2\varphi \geq 90^\circ$ . Другими словами,  $\varphi \geq 45^\circ$ . Таким образом, для наблюдателя на широте более или равной  $45^\circ$  с.ш. все звезды, которые он видит в зените, являются незаходящими. А для наблюдателей с широтой от экватора до  $45^\circ$  с.ш. все звезды, которые они могут видеть в зените, являются заходящими. Ситуация с южным полушарием выглядит аналогично. Таким образом, для всех наблюдателей на Земле, находящихся на географических широтах от  $\pm 45^\circ$  и до полюсов – зенитные звезды являются незаходящими за горизонт.

*Ответ:* для наблюдателей, находящихся на географических широтах от  $\pm 45^\circ$  и до полюсов, звезды, видимые в зените, являются незаходящими за горизонт.

#### *Критерии оценивания*

Знание, что в зените видны звезды, склонение которых равно широте места наблюдения, – 2 балла.

Вывод с пояснениями, что для наблюдателя  $\varphi \geq 45^\circ$  с.ш. звезды, видимые в зените, являются незаходящими – 4 балла.

Учет южного полушария Земли – 2 балла.

### **5. Вега вместо Солнца**

Сначала переведем расстояние до звезды в парсеки, вспомнив, что 1 парсек равен 3,26 световых года:  $D = 25 / 3,26 \approx 7,7$  пк. Затем вычислим абсолютную звездную величину Веги:  $M = m + 5 - 5 \lg D = 0 + 5 - 5 \lg 7,7 \approx +0,6^m$ . Разница абсолютных звездных величин Веги и Солнца (данные для Солнца можно взять из Приложения 1) составляет  $4,7 - 0,6 = 4,1$ . Другими словами, светимость Веги больше светимости Солнца в  $2,512^{4,1} \approx 44$  раза. А так как энергия убывает пропорционально квадрату расстояния, можно утверждать, что такое же количество энергии/тепла Земля получала бы от Солнца, если бы она была примерно в  $\sqrt{44} \approx 6,6$  раз ближе к Солнцу, чем сегодня, что соответствует расстоянию  $1 / 6,6 = 0,152$  а.е. от Солнца, а так как

Меркурий находится в 0,387 а.е. от Солнца (см. Таблицу 2 Приложения 1), то это в  $0,387 / 0,152 \approx 2,5$  раза ближе орбиты Меркурия. Таким образом, если бы вместо Солнца была Вега, то Земля получала бы на каждый квадратный метр своей поверхности примерно в  $2,5^2 \approx 6$  раз больше энергии, чем получает в настоящее время Меркурий от Солнца!

*Примечание:* очевидно, что показанные в фильме кадры не соответствуют действительности.

*Ответ:* Земля бы получала в 6 раз больше энергии, чем получает сегодня Меркурий от Солнца.

#### *Критерии оценивания*

Правильное вычисление абсолютной звездной величины Веги – 2 балла.

Правильное вычисление, во сколько раз светимость Веги больше солнечной, – 2 балла.

Верное вычисление, во сколько раз больше энергии получала бы Земля в сравнении с Меркурием, – 4 балла.

### **6. Сихотэ-Алинский метеорит**

Сначала вычислим разности координат и переведем их в расстояние между указанными точками:  $\Delta\varphi = 46^\circ 10' - 45^\circ 56' = 14'$  и  $\Delta\lambda = 134^\circ 39' - 133^\circ 44' = 55'$ . С учетом того, что длина дуги в  $1^\circ$  на земной поверхности примерно равна 111 км и что разницу в долготе надо умножить на  $\cos(\varphi)$ , т.к. расстояние между меридианами уменьшается к полюсам, получим:  $\Delta\varphi = 111 \text{ км} \cdot 14' / 60' \approx 25,9 \text{ км}$  по широте и  $\Delta\lambda = (111 \text{ км} \cdot 55' / 60') \cdot \cos(46^\circ) \approx 70,7 \text{ км}$  по долготе. Округлив эти значения до 26 и 71 км, оценим расстояние до взрыва по теореме Пифагора:  $d = \sqrt{26^2 + 71^2} \approx 76 \text{ км}$ .

Построив вспомогательный рисунок (Рис. 15), несложно получить:  $R^2 + L^2 = (R + h)^2 = R^2 + 2Rh + h^2$ . Пренебрегая малой величиной  $h^2$  по от-

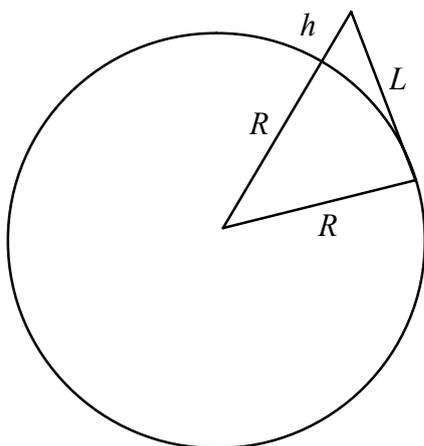


Рис. 15

ношению к размерам Земли ( $h^2 \approx 0$ ), получаем:  $h = L^2 / 2R$ , или  $(76 \text{ км})^2 / 12742 \text{ км} \approx 0,45 \text{ км}$ . Другими словами – болид взорвался на высоте «всего лишь» около 500 метров над землей.

P.S. В литературе про эпицентр взрыва болида написано: «В головной части эллипса рассеяния, площадью около квадратного километра, получившей название кратерного поля, было обнаружено 106 кратеров и воронок диаметром от 1 до 28 метров, причем глубина самой большой воронки достигала 6 метров».

*Ответ:* высота взрыва болида составила около 500 м.

*Критерии оценивания*

Знание величины длины дуги в  $1^\circ$  на земной поверхности – 1 балл.

Учет  $\cos(\varphi)$  при вычислении расстояния между меридианами – 1 балл.

Верное вычисление расстояния между Иманом и эпицентром взрыва – 2 балла.

Правильное построение рисунка (или текстовое пояснение) – 2 балла.

Верное вычисление высоты взрыва – 2 балла.

**2017–2018 учебный год**

**Решения заданий для 7 класса**

**1. Летний треугольник**

Звезды, которые образуют этот астеризм – Вега ( $\alpha$  Лир), Денеб ( $\alpha$  Лебедя) и Альтаир ( $\alpha$  Орла). Лучше всего (высоко в небе вблизи верхней кульминации) эти созвездия видны на наших широтах в июле и августе (ночью), а также в сентябре (вечером). А так как в начале и середине лета ночи светлые, то лучше всего этот астеризм наблюдать в августе и

сентябре, поэтому правильнее называть этот астеризм «Летне-осенний треугольник».

*Примечание:* для определения наилучшей видимости можно воспользоваться картой звездного неба (Приложение 2). Эти созвездия будут находиться вблизи верхней кульминации в месяцы, когда Солнце будет на эклиптической в противоположной по прямому восхождению точке небесной сферы (+12 часов).

*Ответ:* Вега ( $\alpha$  Лир), Денеб ( $\alpha$  Лебедя) и Альтаир ( $\alpha$  Орла). Июль, август, сентябрь.

#### *Критерии оценивания*

По 1 баллу за каждое верное название звезды, еще по 1 баллу за верное указание созвездий, в которых находятся эти звезды. Последние 2 балла выставляются за указание любых 2 месяцев из приведенного в решении перечня.

## **2. Классификация планет**

Современная классификация определяет 4 основных класса (типа) планет: 1 – планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс); 2 – планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун); карликовые планеты (Плутон, Церера, Эрида и т.д.); малые планеты или астероиды (Веста, Паллада, Юнона и т.д.).

Два первых класса (типа) – это «классические» планеты солнечной системы. Планеты земной группы имеют большую плотность, «твердую» поверхность и меньшую, чем у гигантов, массу. Гиганты больше напоминают «газовые шары», и мы можем наблюдать только верхние слои их плотных облачных атмосфер. За счет сил гравитации форма всех планет 1 и 2 групп близка к сферической. Большинство из них имеет естественные спутники.

Более мелкие объекты, обращающиеся вокруг Солнца по собственным орбитам, ранее относили к единому классу малых планет (астероидов). Однако, после открытия в глубинах солнечной системы нескольких «крупных» тел, сравнимых с Плутоном, все эти тела, включая Плутон, в 2006 году выделили в отдельный класс – карликовые планеты. Это такие тела, которые обращаются вокруг Солнца; не являются спутниками других планет; имеют достаточную массу, чтобы поддерживать близкую к сферической форму; они не могут, в отличие от главных планет, расчистить район своей орбиты от других объектов. А к классу малых планет (астероидов) стали относить все оставшиеся тела – меньших размеров и независимо от формы поверхности (у множества из них она далека от правильной).

*Примечание:* участники также могут указать такой класс (тип), характерный для экзопланет, но также употребляемый в отношении Урана и Нептуна, как ледяные гиганты – отдельный класс (тип) планет, в недрах которых присутствуют в большом количестве такие элементы, как вода, аммиак, метан и сероводород в твердом агрегатном состоянии. Или класс (тип) железных планет – разновидность экзопланет земного типа, которые имеют крупное (около  $2/3$  внутреннего объема) железо-никелевое ядро. Наиболее похожим астрономическим телом этого типа в Солнечной системе является Меркурий.

*Ответ:* планеты земной группы, планеты-гиганты, карликовые планеты, малые планеты (астероиды).

#### *Критерии оценивания*

По 1 баллу выставляется за указание каждого класса (типа) планет и по 1 баллу за каждое описание его особенностей, но суммарно не более 8 баллов.

### **3. Четвертый – лишний**

В первом столбце Таблицы 4 сгруппированы спутники планет, среди них лишним является Церера – карликовая планета. Во втором столбце

сгруппированы малые планеты (астероиды), среди них лишним является Каллисто – спутник Юпитера. В третьем столбце сгруппированы звезды, среди них лишним является Галлея – комета. В четвертом столбце сгруппированы планеты, среди них лишним является Плутон – карликовая планета.

*Ответ:* Церера – карликовая планета среди спутников планет; Каллисто – спутник планеты среди малых планет (астероидов); Галлея – комета среди звезд; Плутон – карликовая планета среди планет.

#### *Критерии оценивания*

За каждое правильно указанное лишнее тело – 1 балл, еще 1 балл – за правильное объяснение, почему оно лишнее.

#### **4. «Великое американское затмение»**

Во время солнечного затмения Луна закрывает (затмевает) Солнце, а не Солнце попадает в тень Луны, как это следует из надписи. Так как Луна движется по небесной сфере с запада на восток, то во время солнечного затмения первым закрывается Луной и первым открывается западный (правый) край солнечного диска. Таким образом, на фотографии (см. Рис. 8) запечатлено окончание полной фазы солнечного затмения. Поэтому корректными могли бы быть, например, следующие надписи: «Окончание полной фазы солнечного затмения» или «Диск Луны начинает сходить с солнечного диска» и т.п.

*Ответ:* тень Луны не может затмевать Солнце – это Луна закрывает Солнце. Например, «Диск Луны начинает сходить с солнечного диска».

#### *Критерии оценивания*

Понимание геометрии солнечного затмения и объяснение, в чем заключается ошибочность надписи, – 4 балла.

За формулировку корректной надписи – 4 балла.

## Решения заданий для 8 класса

### 1. Летний треугольник

См. решение задания 1 для 7 класса.

### 2. Наблюдения Малой Медведицы

Поскольку околополярное созвездие Малой Медведицы для наших широт является незаходящим за горизонт, то наблюдать его можно в любое темное время суток в течение всего года. Самая длительная ночь наступает в день зимнего солнцестояния (около 21–22 декабря). Поэтому дольше всего Малую Медведицу на темном небе можно наблюдать именно в декабре, так как в другие месяцы ночи короче. Но среди предложенных вариантов ответов декабря нет, поэтому правильным ответом будет ближайший месяц к декабрю – январь.

*Ответ:* в) январь.

*Критерии оценивания*

Понимание того, что Малую Медведицу можно наблюдать в темное время суток в течение всего года, – 3 балла.

Знание, что самая длительная ночь наступает в день зимнего солнцестояния, – 3 балла.

Выбор правильного ответа из предложенных вариантов – 2 балла.

### 3. Загадочная планета

Видимые (угловые) размеры (для малых углов) обратно пропорциональны расстоянию до тела. Так как диск Солнца, видимый с Земли, имеет угловой размер около  $0,5^\circ$ , а с «загадочной планеты» еще меньше, то можно воспользоваться этим утверждением. Из рисунка (см. Рис. 9) видно, что размер диска Солнца с «загадочной планеты» примерно в 1,5 меньше, чем с Земли, а значит, эта планета находится, примерно, в 1,5 раза дальше от

Солнца, чем Земля. Поэтому единственной планетой Солнечной системы, подходящей на роль «загадочной планеты», является Марс.

*Ответ:* Марс.

*Критерии оценивания*

Верное определение планеты – 4 балла.

Понимание связи видимого (углового) размера с расстоянием и обоснование выбора планеты – 4 балла.

#### **4. Солнечная вспышка**

С 16 часов 6 сентября до 2 часов 8 сентября прошло 34 часа или  $34 \text{ ч} \cdot 60 \text{ мин} \cdot 60 \text{ с} = 122\,400 \text{ с}$ . За это время облако солнечной плазмы преодолело 149,6 млн км – среднее расстояние от Солнца до Земли. Найдем скорость движения облака:  $149,6 \text{ млн км} / 122\,400 \text{ с} = 1222 \text{ км/с}$ .

*Ответ:* 1222 км/с.

*Критерии оценивания*

Верное определение времени движения облака – 3 балла.

Знание (или нахождение в справочных данных) расстояния от Солнца до Земли – 2 балла.

Окончательное верное определение скорости движения облака в км/с – 3 балла.

### **Решения заданий для 9 класса**

#### **1. Зимний треугольник**

Звезды, которые образуют этот астеризм, – Сириус ( $\alpha$  Большого Пса), Прокцион ( $\alpha$  Малого Пса), Бетельгейзе ( $\alpha$  Ориона). Лучше всего (высоко в небе вблизи верхней кульминации) эти созвездия видны на наших широтах зимой – в декабре и январе (ночью), а также в конце октября – ноябре (под утро) и в феврале (вечером).

*Примечание:* для определения наилучшей видимости можно воспользоваться картой звездного неба (Приложение 2). Эти созвездия будут находиться вблизи верхней кульминации в месяцы, когда Солнце будет на эклипике в противоположной по прямому восхождению точке небесной сферы (+12 часов).

*Ответ:* Сириус ( $\alpha$  Большого Пса), Прочион ( $\alpha$  Малого Пса), Бетельгейзе ( $\alpha$  Ориона). Декабрь, январь.

#### *Критерии оценивания*

По 1 баллу за каждое верное название звезды, еще по 1 баллу за верное указание созвездий, в которых находятся эти звезды. Последние 2 балла выставляются за указание любых 2 месяцев из приведенного в решении перечня.

## **2. Всегда ли видна?**

Решение данной задачи сводится к тому, чтобы определить, будет ли данная звезда незаходящей за горизонт для указанных городов.

Склонение полюса мира  $\delta = 90^\circ$ . Тогда склонение нашей звезды составляет  $\delta = 90^\circ - 47^\circ = +43^\circ$ . В то же время высота полюса мира над северным горизонтом равна широте наблюдателя  $\varphi$ . Значит, на северном горизонте он сможет теоретически видеть все звезды со склонением больше чем  $90^\circ - \varphi$  градусов. В случае Москвы – это будет:  $90^\circ - 55^\circ 45' = +34^\circ 15'$ . В Ростове-на-Дону:  $90^\circ - 47^\circ 14' = +42^\circ 46'$ , а в Сочи:  $90^\circ - 43^\circ 35' = +46^\circ 25'$ . Таким образом, в Москве эта звезда ( $\delta = +43^\circ$ ) будет видна даже в нижней кульминации на высоте  $43^\circ - 34^\circ 15' = +8^\circ 45'$ . В Ростове-на-Дону:  $43^\circ - 42^\circ 46' = +0^\circ 14'$ . А в Сочи:  $43^\circ - 46^\circ 25' = -3^\circ 25'$ . Как видим, в Москве и в Ростове эта звезда видна всегда (не заходит за горизонт), в то время как в Сочи ее нижняя кульминация происходит под горизонтом. Можно отметить, что минимальная высота звезды в Ростове-на-Дону близка к нулю, и, чтобы ее там увидеть, надо

искать хорошую возвышенность, откуда высота видимого северного горизонта не превышает высоту математического.

Еще одно возможное решение: для того чтобы звезду всегда можно было наблюдать в темное время суток, она должна быть незаходящей. А чтобы она была незаходящей, ее прямое восхождение может быть любым, а склонение должно быть таким, чтобы высота звезды в момент нижней кульминации была больше нуля. Так как высота светила в нижней кульминации равна  $h = \varphi + \delta - 90^\circ$ , то  $\varphi + \delta - 90^\circ > 0$ . Или  $\varphi > 90^\circ - \delta$ , т.е.  $\varphi > 47^\circ$ .

*Ответ:* в Москве и Ростове-на-Дону эту звезду всегда можно наблюдать в темное время суток, так как она для этих широт будет незаходящей за горизонт, а в Сочи нет.

#### *Критерии оценивания*

Верное определение склонения звезды – 1 балл.

Вывод или знание условия для незаходящих светил – 4 балла.

Окончательный правильный вывод о возможности наблюдений для каждого из городов – до 3 баллов (по 1 баллу за правильный вывод для каждого города).

### **3. Сириусы А и Б**

Расстояние до звезд можно считать одинаковым. По определению – разница в 5 звездных величин соответствует отношению освещенностей в 100 раз. В нашем случае (10 000 раз) мы имеем в 100 раз бóльшее отношение ( $10\,000 = 100 \cdot 100$ ). Так как звездные величины складываются, то Сириус Б на 10 звездных величин слабее, чем Сириус А. Это дает  $-1,5 + 10 = 8,5^m$ .

*Примечание:* участники олимпиады для решения задачи могут воспользоваться формулой Погсона  $\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}$ , тогда  $m_2 - m_1 = 2,51 \lg \frac{I_1}{I_2}$ .

Отсюда  $m_2 = 2,51 \lg(10000) + m_1 = 2,5 \cdot 4 - 1,5 = 8,5^m$ .

*Ответ:*  $8,5^m$ .

### *Критерии оценивания*

Знание соотношения звездных величин с освещенностями (или в целых числах или в виде формулы Погсона) – 4 балла.

Правильный перевод отношения освещенностей в звездные величины – 2 балла.

Окончательное верное вычисление звездной величины Сириуса Б – 2 балла.

### **4. «Великое американское затмение» и 1 сентября**

Так как 21 августа на Земле произошло солнечное затмение, то Луна в этот день была в фазе новолуния. С 21 августа до 1 сентября прошло 11 суток. Период изменения лунных фаз составляет около 29,5 суток (синодический месяц). Примерно каждые  $29,5 / 4 \approx 7,4$  суток фаза Луны меняется на одну четверть (от новолуния к первой четверти, затем к полнолунию последней четверти и т.д.). Значит, через 7,4 суток после затмения была первая четверть, после чего до 1 сентября прошло еще  $11 \text{ сут} - 7,4 \text{ сут} = 3,6 \text{ суток}$ , т.е. половина четверти. Таким образом, 1 сентября Луна была видна в фазе между первой четвертью и полнолунием (освещена примерно на 75%).

В фазе первой четверти Луна кульминирует (видна на юге) по вечерам (в 19 часов с учетом декретного времени). В полнолуние – близко к полуночи (видна в противоположной Солнцу части неба). Следовательно, 1 сентября она кульминировала между 19 часами и местной полночью (около 1 часа ночи по декретному времени), то есть около 22 часов декретного времени.

*Ответ:* Да, поздним вечером, в фазе около 0,75 (между первой четвертью и полнолунием).

### *Критерии оценивания*

Знание фазы Луны во время солнечного затмения – 1 балл.

Верное определение количества суток, прошедших с момента затмения до 1 сентября, – 1 балл.

Знание периода изменения лунных фаз (синодический месяц) – 2 балла. Если учащийся указывает период в 4 недели (28 суток), то выставяется только 1 балл.

Правильное определение фазы Луны 1 сентября – 2 балла.

Верное определение времени суток, когда была видна Луна 1 сентября, – 2 балла.

### **5. Флоренция вблизи Земли**

Астрономическая единица (среднее расстояние от Земли до Солнца) равна 149,6 миллионов километров. Переведем расстояние от Земли до астероида из а.е. в километры:  $0,04723 \text{ а.е.} \cdot 149,6 \cdot 10^6 \text{ км} = 7\,065\,608 \text{ км}$ . Сравнив полученное значение с радиусом Земли (6 378 км), получим  $7\,065\,608 \text{ км} / 6\,378 \text{ км} \approx 1108$  радиусов (554 диаметра) нашей планеты. В выбранном масштабе астероид при минимальном сближении пролетит на расстоянии  $554 \cdot 0,3 \text{ м} \approx 166$  метров от центра глобуса, т.е. далеко за пределами класса и даже всей школы! Луну следует поместить на расстоянии в  $(384\,400 \text{ км} / 6\,378 \text{ км}) \cdot 0,15 \text{ м} \approx 9$  метров от центра глобуса (в соседнем классе).

*Примечание:* можно дополнительно отметить, что диаметр астероида в нашей модели составит:  $4,4 \text{ км} / 12756 \text{ км} \cdot 0,3 \text{ м} \approx 0,0001 \text{ м}$ , или  $\approx 0,1$  миллиметра. А астероид при минимальном сближении пролетел от Земли в  $166 \text{ м} / 9 \text{ м} \approx 18$  раз дальше Луны. Вот и подумайте, может ли представлять хоть какую-то опасность для нашего 30-сантиметрового глобуса пылинки размером в 0,1 мм, пролетающая от него на расстоянии 166 метров?!

*Ответ:* расстояние от центра глобуса Земли до астероида в выбранном масштабе составит около 166 метров, до Луны – 9 метров.

### Критерии оценивания

Верный перевод расстояния до астероида из астрономических единиц в километры – 2 балла.

Правильное выражение расстояния до астероида в радиусах (диаметрах) Земли – 2 балла.

Верное окончательное вычисление расстояния от глобуса Земли до астероида в выбранном масштабе – 2 балла.

Верное вычисление расстояния от глобуса Земли до Луны в выбранном масштабе – 2 балла.

## 6. Планета у Проксимы Центавра

Чтобы определить продолжительность года на планете, т.е. период обращения планеты вокруг звезды, нужно применить третий обобщенный закон Кеплера, сравнив систему двух тел Проксима Центавра–планета с другой известной системой двух тел, например, Солнце–Земля:

$$\frac{T_1^2(M_{\text{П}} + m_1)}{a_1^3} = \frac{T_2^2(M_{\text{С}} + m_2)}{a_2^3},$$
 где  $T_1$  и  $a_1$  – сидерический период обращения планеты вокруг Проксимы Центавра и большая полуось ее орбиты

( $a_1 = 1/20$  а.е. = 0,05 а.е.);  $T_2$  и  $a_2$  – сидерический период обращения Земли вокруг Солнца ( $T_2 = 365,26$  сут) и большая полуось ее орбиты ( $a_2 = 1$  а.е.);  $M_{\text{П}}$  – масса Проксимы Центавра,  $m_1$  – масса планеты,  $M_{\text{С}}$  – масса Солнца;  $m_2$  – масса Земли.

Учитывая, что масса Солнца много больше массы Земли ( $M_{\text{С}} \gg m_2$ ), а масса Проксимы Центавра много больше массы планеты ( $M_{\text{П}} \gg m_1$ ), получим выражение:

$$\frac{T_1^2 M_{\text{П}}}{a_1^3} = \frac{T_2^2 M_{\text{С}}}{a_2^3},$$
 откуда найдем период обращения планеты:

$$T_1 = \sqrt{\frac{T_2^2 M_{\text{С}} a_1^3}{a_2^3 M_{\text{П}}}} = \sqrt{\frac{365,26^2 \cdot 1 \cdot 0,05^3}{1^3 \cdot 0,123}} = 11,6 \text{ сут.}$$

Ответ: 11,6 сут.

### *Критерии оценивания*

Применение третьего обобщенного закона Кеплера – 4 балла.

Вывод о пренебрежении массами Земли и планеты ввиду их малости и получение правильного выражения для определения периода обращения – 2 балла.

Использование верного значения величины сидерического периода обращения Земли (звездного года) в сутках – 1 балл.

Окончательные верные вычисления периода обращения планеты – 1 балл.

*Примечание:* использование участниками третьего эмпирического закона Кеплера для решения этой задачи является неверным, так как этот закон предполагает обращение, например, двух планет вокруг одного общего центрального тяготеющего тела, например Солнца. Поэтому такое решение не может быть оценено жюри более чем на 1 балл, который может быть выставлен за использование верной величины звездного года.

## **Решения заданий для 10 класса**

### **1. Весенний треугольник**

Звезды, которые образуют этот астеризм, – Арктур ( $\alpha$  Волопаса), Спика ( $\alpha$  Девы), Денебола ( $\beta$  Льва) или Регул ( $\alpha$  Льва). Лучше всего (высоко в небе вблизи верхней кульминации) эти созвездия видны на наших широтах весной – в марте и апреле (ночью), а также в феврале (под утро) и в мае (вечером).

*Примечание:* для определения наилучшей видимости можно воспользоваться картой звездного неба (Приложение 2). Эти созвездия будут находиться вблизи верхней кульминации в месяцы, когда Солнце будет на эклипике в противоположной по прямому восхождению точке небесной сферы (+12 часов).

*Ответ:* Арктур ( $\alpha$  Волопаса), Спика ( $\alpha$  Девы), Денебола ( $\beta$  Льва) или Регул ( $\alpha$  Льва). Март, апрель.

*Критерии оценивания*

По 1 баллу за каждое верное название звезды, еще по 1 баллу за верное указание созвездий, в которых находятся эти звезды. Последние 2 балла выставляются за указание любых 2 месяцев из приведенного в решении перечня.

## **2. Альдебаран и Процион**

Это задание на понимание устройства экваториальной системы координат, на которой построено большинство звездных карт, атласов и каталогов. Разность прямых восхождений звезд, упоминаемых в задании, составляет:  $07 \text{ ч } 39 \text{ мин } 17,3 \text{ с} - 04 \text{ ч } 35 \text{ мин } 55,3 \text{ с} = 03 \text{ ч } 03 \text{ мин } 22 \text{ с}$ . Из определения прямого восхождения следует, что звезды восходят, кульминируют и заходят в порядке роста их прямых восхождений (отсчет увеличивается с запада на восток). Поэтому кульминация Проциона наступит через  $03 \text{ ч } 03 \text{ мин } 22 \text{ с}$  после кульминации Альдебарана или в  $23 \text{ ч } 35 \text{ мин } 10 \text{ с} + 03 \text{ ч } 03 \text{ мин } 22 \text{ с} = 26 \text{ ч } 38 \text{ мин } 32 \text{ с}$  по часам наблюдателя. Поскольку 26 часов – это уже 2 часа после полуночи, то верхнюю кульминацию Проциона любитель сможет увидеть в  $02 \text{ ч } 38 \text{ мин } 32 \text{ с}$ . Вторая координата (склонение) определяет угловое расстояние светила от небесного экватора. Поскольку склонение Альдебарана больше на  $16^\circ 30' 30'' - 05^\circ 13' 12'' = 11^\circ 17' 18''$ , то и кульминировать он будет настолько же выше Проциона. Другими словами, высота Проциона в кульминации составит:  $50^\circ 00' 00'' - 11^\circ 17' 18'' = 38^\circ 42' 42''$ .

*Примечание:* данное решение ориентировано на уровень муниципального этапа олимпиады и не учитывает разницу между солнечным и звездным временем, которая составляет 3 мин 56 с за сутки.

*Ответ:* кульминацию звезды Процион можно будет увидеть в  $02 \text{ ч } 38 \text{ мин } 32 \text{ с}$  на высоте  $38^\circ 42' 42''$ .

### *Критерии оценивания*

Верное вычисление разности прямых восхождений этих звезд – 1 балл.

Понимание сущности прямого восхождения и верное вычисление времени верхней кульминации Проциона (с точностью до секунд) – 3 балла. Если участник в качестве ответа указывает 26 ч 38 мин 32 с, то оценка снижается на один балл. Если участник округляет время до минут, максимальная оценка за этот этап решения составляет 2 балла.

Верное вычисление разности склонений звезд – 1 балл.

Понимание сущности склонения и верное вычисление высоты кульминации Проциона (с точностью до угловых секунд) – 3 балла. Если участник округляет высоту до угловых минут, то максимальная оценка за этот этап решения составляет 2 балла, до градусов – 1 балл.

### **3. Алголь в прошлом**

Из условия задачи видно, что в далеком прошлом расстояние до Алголя было меньше в 10 раз. Поскольку блеск звезды изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния, то звезда была в 100 раз ярче, чем сейчас. Известно, что отношению освещенностей в 100 раз соответствует разница в 5 звездных величин. Тогда имеем:  $2,12^m - 5^m \approx -2,9^m$ . Отметим, что сегодня таких ярких звезд на небе мы не видим.

*Примечание:* участники олимпиады для решения задачи могут вос-

пользоваться формулой Погсона  $\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}$ . Тогда:  $\frac{r_2^2}{r_1^2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}$

или  $m_2 - m_1 = 2,51 \lg \frac{r_2^2}{r_1^2}$ . Отсюда  $m_1 = m_2 - 2,51 \lg(10^2) = 2,12^m - 2,5 \cdot 2 \approx -2,9^m$ .

*Ответ:*  $-2,9^m$ .

### *Критерии оценивания*

Указание на то, что видимый блеск объектов обратно пропорционален квадрату расстояния (численно или в виде формулы), – 3 балла.

Знание соотношения звездных величин с освещенностями (или в целых числах или в виде формулы Погсона) – 3 балла.

Окончательное верное вычисление звездной величины Алголя в прошлом – 2 балла.

### **4. Два затмения Луны**

Полная фаза первого январского лунного затмения продлится 1 ч 17 мин (14 ч 08 мин – 12 ч 51 мин) с максимальной фазой в 13 ч 30 мин по всемирному времени (середина этого интервала времени). Так как разница всемирного времени с красноярским составляет +7 часов, в Красноярске в это время будет 20 ч 30 мин. То есть максимум затмения наступит за 4,5 часа до истинной полуночи (около 1 часа ночи по красноярскому времени). Как можно понять, в январе – это темное время суток, а поскольку лунные затмения можно наблюдать со всего ночного полушария Земли, то в Красноярске это затмение будет видно. Так как лунные затмения происходят в полнолуние, а полная Луна кульминирует (находится на юге) в истинную полночь, то затмение можно будет наблюдать в юго-восточной части неба.

Аналогично со вторым июльским затмением: оно продлится 1 ч 44 мин с максимумом вблизи 20 ч 22 мин по всемирному времени. В Красноярске в этот момент будет уже 20 ч 22 мин + 7 ч = 03 ч 22 мин (28 июля), то есть – через 2 ч 22 мин после истинной полуночи. Это тоже ночное время, так что и это затмение будет видно из Красноярска. Только на этот раз Луна будет видна уже в юго-западной части неба (после истинной полуночи).

Сравнивая продолжительности затмений, можно заметить, что июльское затмение будет более долгим (так как Луна пройдет ближе к центру земной тени, чем в январе). Однако высота Луны над горизонтом во время июльского затмения будет меньше, чем во время январского. Это объясняется следующим образом: высота Солнца максимальна летом, а минимальна – зимой, так как Солнце на эклиптике летом находится выше небесного экватора, а зимой – ниже. А противоположная точка эклиптики, в которой будет находиться полная Луна во время лунного затмения, кульминирующая в истинную полночь, наоборот, летом – ниже небесного экватора, а зимой – выше. По этой причине лучше будет видно январское затмение, так как наблюдению «высокой» Луны не будут мешать предметы видимого горизонта (дома, деревья и т.п.).

Еще один фактор в пользу январского затмения – это темная зимняя ночь, в отличие от короткой светлой летней ночи, когда не заканчиваются астрономические сумерки. Кроме того, окончание полной фазы июльского затмения (в 04 ч 14 мин красноярского времени) будет проходить уже во время утренних гражданских сумерек.

*Примечание:* в момент максимума январского затмения высота Луны над горизонтом Красноярска составит более 26 градусов, в то время как в июле – немногим более 7 градусов. Желаем удачных наблюдений!

*Ответ:* в Красноярске будут видны оба затмения, так как они будут происходить, когда в городе будет темное время суток. Но лучше будет видно январское затмение, потому что Луна в это время будет выше над горизонтом, а полная фаза затмения придется на полностью темное время суток.

#### *Критерии оценивания*

Знание разницы между всемирным временем и красноярским – 2 балла.

Вывод о возможности наблюдать оба затмения в Красноярске с пояснениями – 2 балла.

Вывод о большей продолжительности июльского затмения – 1 балл.

Вывод с пояснениями о лучших условиях наблюдения затмения в январе в связи:

– с большей высотой Луны над горизонтом – 2 балла.

– с ночными условиями наблюдения во время полной фазы затмения – 1 балл.

### **5. Определение широты по Полярной звезде**

Поскольку Полярная звезда удалена от полюса мира на  $90^{\circ} 00' 00'' - 89^{\circ} 15' 51'' = 44' 09'' = 44,15'$ , то каждые сутки она бывает видна на столько же выше или ниже северного полюса мира (точки, в которую направлена ось вращения Земли в северном полушарии). Если вспомнить, что длина дуги  $1^{\circ}$  меридиана составляет примерно 111 км (это значение можно вычислить, зная радиус Земли и приравняв длину земной окружности к  $360^{\circ}$ ), получим, что при измерениях высоты Полярной звезды в моменты ее максимального удаления по высоте от северного полюса мира ошибка в определении широты может составить:  $111 \text{ км} \cdot 44,15' / 60' = 81,7 \text{ км}$ . А так как Полярная звезда в течение суток максимально удаляется как в сторону увеличения высоты, так и в сторону уменьшения высоты, то ошибка может составить примерно  $\pm 82 \text{ км}$  или 164 км! Это достаточно много, поэтому при реальных измерениях используются специальные таблицы, в которых дается поправка на каждый час каждого дня года с учетом времени наблюдения и прямого восхождения звезды.

*Ответ:* ошибка в местоположении на поверхности Земли может составить  $\pm 82 \text{ км}$  (или 164 км).

#### *Критерии оценивания*

Верное определение диапазона изменения высоты Полярной звезды – 2 балла.

Знание или вычисление длины дуги  $1^{\circ}$  меридиана – 2 балла.

Верное определение ошибки в километрах – 4 балла (если не указан знак «±» или весь диапазон ошибки, то за этот этап решения выставляется только 2 балла).

## 6. Солнце и Сириус

Главное – понимать, что речь идет о разных параллаксах. Для Солнца – это так называемый горизонтальный экваториальный параллакс, когда за базис принимается экваториальный радиус Земли (6378 км). А для звезд – годичный параллакс (угол, под которым со звезды виден радиус земной орбиты, равный 1 а.е. = 149,6 млн км). Дальнейшие расчеты можно проводить разными способами. Например, найти отношение параллаксов и масштабов:  $8,79'' / 0,38'' \approx 23$ ;  $149,6 \cdot 10^6 \text{ км} / 6378 \text{ км} \approx 23456$ . Тогда можно считать, что Сириус в  $23 \cdot 23456 \approx 540$  тысяч раз дальше, чем Солнце. Можно вычислить и другим способом, зная, что 1 парсек равен 206265 а.е. Расстояние до Сириуса  $1 / 0,38'' \approx 2,63$  парсек. Тогда, как и ранее, получаем:  $206265 \cdot 2,63 \approx 540 \cdot 10^3$  раз.

*Ответ:* примерно в 540 тысяч раз.

### *Критерии оценивания*

Указание, что параллакс Солнца – это горизонтальный экваториальный параллакс и понимание его сущности, – 3 балла.

Указание, что параллакс Сириуса – это годичный параллакс и понимание его сущности, – 3 балла.

Окончательное верное вычисление отношения расстояний (независимо от способа) – 2 балла.

## Решения заданий для 11 класса

### 1. Бриллиант Девы

Звезды, которые образуют этот астеризм, – Спика ( $\alpha$  Девы), Арктур ( $\alpha$  Волопаса), Денебола ( $\beta$  Льва) и Сердце Карла ( $\alpha$  Гончих Псов). Название

этого астеризма не является общеизвестным, но в условии задачи есть подсказки, что это почти правильный ромб, состоящий из ярких звезд, как-то связанных с созвездием Девы, поэтому, воспользовавшись картой звездного неба (Приложение 2), даже не зная этого астеризма, участники олимпиады могут попытаться угадать, из каких звезд он может состоять.

Лучше всего (высоко в небе вблизи верхней кульминации) эти созвездия (в том числе созвездие Девы) видны на наших широтах весной – в марте и апреле (ночью), а также в феврале (под утро) и в мае (вечером).

*Примечание:* для определения наилучшей видимости можно воспользоваться картой звездного неба (Приложение 2). Эти созвездия будут находиться вблизи верхней кульминации в месяцы, когда Солнце будет на эклиптической в противоположной по прямому восхождению точке небесной сферы (+12 часов).

*Ответ:* Спика ( $\alpha$  Девы), Арктур ( $\alpha$  Волопаса), Денебола ( $\beta$  Льва), Сердце Карла ( $\alpha$  Гончих Псов). Март, апрель.

#### *Критерии оценивания*

По 1 баллу за каждое верное название звезды, еще по 1 баллу за верное указание созвездий, в которых находятся эти звезды. Ошибочно участники олимпиады могут указать вместо звезды Денебола ( $\beta$  Льва) звезду Регул ( $\alpha$  Льва) или звезды  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\zeta$  Девы, что не является верным ответом (они не образуют почти правильный ромб) и при выставлении оценки не засчитывается. Еще до 2 баллов выставляется за указание любых 2 месяцев из приведенного в решении перечня. Однако суммарная оценка за задачу не может превышать 8 баллов.

## **2. Альдебаран и Процион**

См. решение задания 2 для 10 класса.

### 3. Стрелец А

Вначале определим большую полуось орбиты звезды S2, воспользовавшись соотношением:  $r_{\Pi} = a \cdot (1 - e)$ . Отсюда:  $a = \frac{r_{\Pi}}{(1 - e)} = \frac{120}{(1 - 0,88)} = 1000$  а.е.

Затем применим третий обобщенный закон Кеплера, сравнив систему двух тел Стрелец А–звезда S2 с другой известной системой двух тел, например, Солнце–Земля:  $\frac{T_1^2 (M + m_1)}{a_1^3} = \frac{T_2^2 (M_c + m_2)}{a_2^3}$ , где  $M$  – масса объекта Стрелец А,  $m_1$  – масса звезды S2,  $M_c$  – масса Солнца;  $m_2$  – масса Земли;  $T_1$  и  $a_1$  – период обращения звезды S2 вокруг объекта Стрелец А и большая полуось ее орбиты;  $T_2$  и  $a_2$  – период обращения Земли вокруг Солнца ( $T_2 = 1$  г) и большая полуось ее орбиты ( $a_2 = 1$  а.е.).

Предположим, что масса объекта Стрелец А много больше массы звезды S2 ( $M \gg m_1$ ). Учитывая, что масса Солнца много больше массы Земли ( $M_c \gg m_2$ ), получим выражение:  $M = \frac{a_1^3}{T_1^2} M_c$ . Подставив численные значения, найдем массу объекта Стрелец А, выраженную в массах Солнца:

$$M = \frac{1000^3}{15,5^2} M_c \approx 4 \cdot 10^6 M_c. \text{ То есть объект Стрелец А в 4 млн раз массивнее}$$

Солнца. По современным представлениям, компактным объектом с такой массой может быть только сверхмассивная черная дыра.

*Ответ:* Масса компактного объекта Стрелец А составляет примерно 4 млн масс Солнца. Этот объект – сверхмассивная черная дыра.

#### *Критерии оценивания*

Верное определение большой полуоси орбиты звезды – 2 балла.

Применение третьего обобщенного закона Кеплера и правильное вычисление массы объекта Стрелец А – 4 балла.

Вывод, что таким массивным и компактным объектом как Стрелец А, является сверхмассивная черная дыра – 2 балла.

#### 4. Два затмения Луны

См. решение задания 4 для 10 класса.

#### 5. Персеиды из южного полушария

Поскольку метеоры в потоке летят примерно по параллельным траекториям, то радиант будет в зените для наблюдателя  $H_1$  (см. Рис. 16), расположенного на географической широте, равной склонению радианта  $\delta$ . Пренебрегая рефракцией, можно найти положение наблюдателя  $H_2$ , у которого радиант будет виден на горизонте.

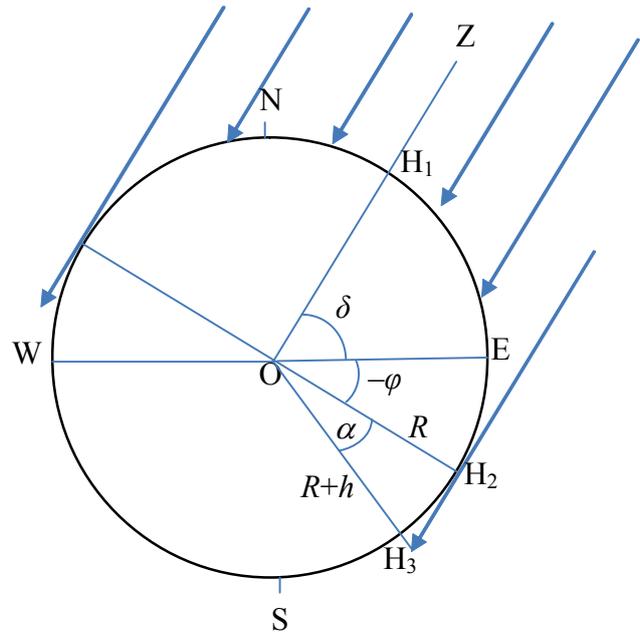


Рис. 16

Из рисунка видно, что  $\delta + (-\varphi) = 90^\circ$ , откуда  $\varphi = \delta - 90^\circ = -32^\circ$ .

Попытка учесть толщину атмосферы ( $h = 100$  км) приведет нас еще южнее – к наблюдателю  $H_3$ , для которого все метеорные тела потока с высотой ниже ста километров будут экранироваться Землей, а остальные – пролетать выше 100 км и не смогут породить метеоры.

Из рисунка видно, что эта поправка  $\alpha$  может достичь еще  $10^\circ$ , так как  $\cos(\alpha) = R / (R + h) \approx 6378 \text{ км} / 6478 \text{ км} \approx 0,9846$ , то  $\alpha \approx 10^\circ$ .

Таким образом, метеоры из метеорного потока Персеид можно наблюдать примерно до широты  $-(32^\circ + 10^\circ) = -42^\circ$  или 42 градуса южной широты. Но даже если в северном полушарии будет наблюдаться «звездный дождь», то наблюдатели на южных широтах  $-(30 \div 40^\circ)$  имеют шансы увидеть только редкие одиночные метеоры.

*Ответ:* примерно до широты  $-42^\circ$  ( $42^\circ$  ю.ш.).

*Критерии оценивания*

Определение широты наблюдателя ( $-32^\circ$ ), у которого радиант будет виден на горизонте (т.е. без учета толщины атмосферы), – 3 балла.

Учет толщины атмосферы и получение широты наблюдателя, примерно, равной  $-42^\circ$  – 3 балла.

Корректно выполненный рисунок – 2 балла.

## **6. Сверхновая в «Фейерверке»**

Из соотношения  $M = m + 5 - 5 \lg r$ , связывающего абсолютную звездную величину  $M$  с видимой звездной величиной  $m$  и расстоянием до звезды  $r$ , выраженному в парсеках, получим:  $\lg r = (m + 5 - M)/5 = (12,8^m + 5 + 18^m)/5$ . Отсюда  $r \approx 14,5$  Мпк =  $(14,5 \text{ Мпк} \cdot 3,26 \text{ св.год}) / 1 \text{ пк} \approx 47$  млн св.год.

Но так как галактика NGC 6946 находится на границе созвездий Лебедя и Цефея, расположенных близко к Млечному Пути, т.е. к галактической плоскости, то свет, приходящий от ее звезд, испытывает сильное поглощение межзвездной пылью. Поэтому полученное расстояние до галактики NGC 6946 сильно завышено.

*Примечание:* в действительности расстояние до галактики NGC 6946 составляет примерно 5,5 Мпк ( $\approx 18$  млн св.год).

*Ответ:* примерно 14,5 Мпк ( $\approx 47$  млн св.год).

*Критерии оценивания*

Вывод или использование готового соотношения, связывающего абсолютную звездную величину звезды с видимой звездной величиной и расстоянием до нее, – 4 балла.

Правильное определение расстояния до галактики в мегапарсеках или световых годах – 2 балла.

Указание на сильное влияние межзвездного поглощения на точность определения расстояния – 2 балла.

**2018–2019 учебный год**  
**Решения заданий для 7 класса**

**1. Несколько созвездий**

Все перечисленные созвездия являются зодиакальными, то есть через них проходит видимый путь Солнца – эклиптика. В них также могут наблюдаться Луна и планеты Солнечной системы. Лишним в списке является Козерог, так как это созвездие южной части небесной сферы, в то время как все остальные созвездия расположены в северном полушарии небесной сферы (см. карту звездного неба из Приложения 2).

*Ответ:* это зодиакальные созвездия. Лишнее созвездие Козерога, так как, в отличие от остальных, оно расположено в южном полушарии небесной сферы.

*Критерии оценивания*

Указание, что это зодиакальные созвездия, – 4 балла.

Указание, что лишнее созвездие Козерога, – 2 балла, верное обоснование этого выбора – 2 балла.

**2. Астрономические явления**

*Ответ:* на Рис. 10 изображены: а – солнечное затмение; б – метеорный дождь (метеорный поток, метеоры); в – восход или заход Солнца; г – фаза Луны («растущая» Луна); д – прохождение (транзит) внутренней планеты (в данном случае – Венеры) по диску Солнца; е – полярное (северное) сияние; ж – суточное вращение небесной сферы; з – лунное затмение.

*Примечание:* обратите внимание, что на рисунке рис. 1 г, где изображена фаза Луны, терминатор (граница света и тени) имеет форму полуэллипса, большая ось которого соединяет концы рогов серпа по диаметру лунного диска, а во время фаз лунного затмения (рис. 1 з) терминатор имеет форму дуги окружности радиусом, примерно в 2,5 раза большим, чем радиус видимого диска Луны.

### *Критерии оценивания*

За каждое правильно указанное явление – по 1 баллу.

### **3. Околоземный астероид**

Переведем скорость астероида, выраженную в километрах, в час, в километры в секунду:  $60\,000 \text{ км/ч} / (60 \text{ мин} \cdot 60 \text{ с}) = 16,7 \text{ км/с} \approx 17 \text{ км/с}$ .

*Ответ:* около 17 км/с.

### *Критерии оценивания*

Верный перевод скорости – 8 баллов.

### **4. Кольцеобразное солнечное затмение**

*Ответ:* солнечные затмения происходят, когда Луна закрывает для наблюдателя солнечный диск частично (частное солнечное затмение) или полностью (полное солнечное затмение). В этот момент она освещена с обратной стороны, а к Земле обращена неосвещенная ее часть. Такая фаза называется новолуние. Поэтому в день затмения Луна будет в фазе новолуния.

Помимо полных и частных солнечных затмений, бывают кольцеобразные солнечные затмения, когда во время максимальной фазы затмения вокруг темного диска Луны видно яркое кольцо незакрытой части солнечного диска.

Это происходит потому, что Луна движется по эллиптической орбите и бывает то немного ближе к Земле, то немного дальше. Если в момент солнечного затмения Луна находится на большем удалении от Земли, чем во время полного затмения, ее видимый диск оказывается меньше солнечного и не может полностью его перекрыть.

### *Критерии оценивания*

Верное определение фазы Луны во время солнечного затмения – 2 балла.

Описание отличия кольцеобразного солнечного затмения от полного – 2 балла.

Понимание причины возникновения кольцеобразных солнечных затмений – 4 балла.

### **Решения заданий для 8 класса**

#### **1. Несколько созвездий**

См. решение задания 1 для 7 класса.

#### **2. Три явления в одну дату**

Третье астрономическое явление – противостояние Марса. Полное лунное затмение означает, что Луна была в фазе полнолуния и видна в противоположной Солнцу части эклиптики (можно сказать «в противостоянии с Солнцем»). В этот же день/ночь произошло соединение Луны с Марсом, что свидетельствует о том, что Марс тоже находился в противоположной Солнцу части эклиптики. Откуда и следует ответ – еще одним астрономическим явлением стало противостояние Марса.

*Ответ:* противостояние Марса.

*Примечание:* противостояние Марса в 2018 году было великим, то есть таким, при котором расстояние до планеты близко к минимальному (возникает из-за эллиптичности орбиты Марса). Противостояние Марса повторяются примерно каждые два года, а великие противостояния – раз в 15–17 лет.

#### *Критерии оценивания*

Правильный ответ без обоснования (неважно, укажет ли участник в ответе просто противостояние Марса или великое противостояние Марса) – 4 балла.

Верное обоснование ответа – 4 балла.

### 3. Конфигурации кометы Энке

Для внутренних (нижних) планет определяют следующие четыре конфигурации: верхнее соединение (планета находится за Солнцем на одной линии с Солнцем и Землей), нижнее соединение (планета находится между Солнцем и Землей), восточная и западная элонгации (наибольшее угловое удаление планеты от Солнца к востоку или к западу). Для внешних (верхних) планет также определяют четыре конфигурации: соединение (планета находится за Солнцем на одной линии с Солнцем и Землей), противостояние (расположение планеты в противоположной Солнцу точке ее орбиты относительно Земли), восточная и западная квадратуры (расположение планеты на  $90^\circ$  от Солнца к востоку или к западу). Соединение внешней планеты иногда называют верхним соединением, т.е. по аналогии с подобной конфигурацией внутренней планеты.

Поскольку расстояние кометы от Солнца в афелии  $Q$  и период ее обращения  $T$  больше земных, то для нее более характерны конфигурации, в которых могут находиться внешние планеты – противостояние, западная и восточная квадратуры и соединение (верхнее соединение).

Однако вблизи перигелия  $q$  комета располагается внутри орбиты Земли, и в это время для земного наблюдателя возможны некоторые конфигурации, характерные для внутренних планет, например, нижнее соединение. Верхнее соединение по определению соответствует соединению, поэтому отдельно не рассматривается. Что касается элонгаций – наибольших угловых удалений кометы от Солнца, то у этой кометы они могут составлять  $180^\circ$ , а это уже противостояние (по определению), поэтому эти конфигурации не учитываются.

Таким образом, комету Энке можно наблюдать в следующих пяти конфигурациях: противостояние, западная и восточная квадратуры, соединение (верхнее соединение) и нижнее соединение.

*Ответ:* для внутренних планет – верхнее соединение, нижнее соединение, восточная элонгация, западная элонгация; для внешних планет – соединение (верхнее соединение), противостояние, восточная квадратура, западная квадратура. Комета Энке может наблюдаться в следующих пяти конфигурациях: противостояние, западная и восточная квадратуры, соединение (верхнее соединение) и нижнее соединение.

#### *Критерии оценивания*

Знание названий конфигураций для внутренних и внешних планет – 3 балла.

За каждую из пяти указанных возможных конфигураций кометы Энке – по 1 баллу.

*Примечание:* если участник указал, что для кометы возможны все конфигурации, характерные как для внешних, так и для внутренних планет – суммарная оценка за это задание не должна превышать 6 баллов (комета не может находиться в западной и восточной элонгациях – см. выше).

#### **4. Солнечное затмение 11 августа 2018 года**

Фаза солнечного затмения  $\Phi$  – это доля диаметра диска Солнца, закрытая Луной. Измерим отрезок  $L1$ , соответствующий диаметру солнечного диска на рисунке (см. Рис. 17, для удобства показа дополнительных линий изображение инвертировано):  $L1 \approx 5,8$  мм. Измерим еще один отрезок  $L2$ , соединяющий середину дуги лунного диска и максимально удаленную от нее противоположную часть диска Солнца:  $L2 \approx 3,9$  мм. Тогда видимую долю солнечного

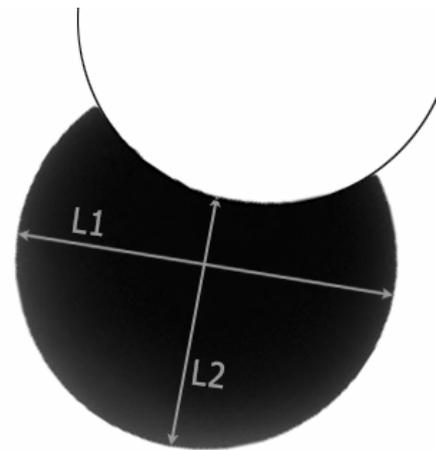


Рис. 17

диска можно определить, как  $L2 / L1 = 3,9 \text{ мм} / 5,8 \text{ мм} \approx 0,67$ . А доля закрытого Луной диска (величина фазы затмения) составит  $\Phi = 1 - 0,67 = 0,33$ .

*Ответ:* величина фазы затмения в момент съемки составляла примерно 0,33.

*Критерии оценивания*

Понимание, что означает фаза затмения, – 4 балла.

Верное вычисление значения фазы затмения – 4 балла.

## **Решения заданий для 9 класса**

### **1. Юпитер и бета Скорпиона**

Воспользовавшись картой звездного неба из Приложения 2, найдем положение Солнца на эклиптике 24 ноября на ее пересечении с радиусом, соединяющим дату и центр карты. Получим, что Солнце тоже находится в созвездии Скорпиона и всего в нескольких градусах от места встречи Юпитера со звездой. Поэтому ни из Красноярска, ни из какого другого города или места на Земле это явление наблюдаться не будет.

*Ответ:* наблюдать это явление невозможно.

*Критерии оценивания*

Верное определение (или знание) положения Солнца на эклиптике в указанную дату – 4 балла.

Верный вывод о невозможности наблюдать явление – 4 балла.

### **2. Спика или Регул?**

Прямое восхождение на длительность нахождения светил над горизонтом не влияет, а определяет последовательность их восходов (кульминаций, заходов). Насколько долго светило будет находиться над горизонтом или будет ли оно незаходящим или невосходящим в месте наблюдения, определяется его склонением. В северном полушарии Земли чем дальше от небесного экватора к северному полюсу мира (в сторону увеличения положительных склонений) расположено светило, тем дольше оно будет находиться над горизонтом или вообще будет незаходящим (при  $\delta > 90^\circ - \varphi$ ).

Спика удалена в сторону южного полюса мира от небесного экватора (склонение отрицательное:  $\delta = -11^\circ 10'$ ), в то время как Регул находится севернее небесного экватора (склонение положительное:  $\delta = +11^\circ 58'$ ). Красноярск расположен в северном полушарии Земли, поэтому из наших северных широт Регул будет виден дольше, чем Спика.

*Ответ:* Регул ( $\alpha$  Льва) будет дольше находиться над горизонтом в Красноярске, чем Спика ( $\alpha$  Девы).

#### *Критерии оценивания*

Понимание сущности экваториальных координат – 4 балла.

Указание, что речь в задаче идет о северном полушарии Земли, – 1 балл.

Верный вывод о том, какая звезда будет дольше находиться над горизонтом в Красноярске с объяснением, – 3 балла (без объяснения – 1 балл).

### **3. Конфигурации кометы Энке**

Для внутренних (нижних) планет определяют следующие четыре конфигурации: верхнее соединение (планета находится за Солнцем на одной линии с Солнцем и Землей), нижнее соединение (планета находится между Солнцем и Землей), восточная и западная элонгации (наибольшее угловое удаление планеты от Солнца к востоку или к западу). Для внешних (верхних) планет также определяют четыре конфигурации: соединение (планета находится за Солнцем на одной линии с Солнцем и Землей), противостояние (расположение планеты в противоположной Солнцу точке ее орбиты относительно Земли), восточная и западная квадратуры (расположение планеты на  $90^\circ$  от Солнца к востоку или к западу). Соединение внешней планеты иногда называют верхним соединением, т.е. по аналогии с подобной конфигурацией внутренней планеты.

По известному периоду обращения кометы из третьего закона Кеплера можно получить значение большой полуоси ее орбиты (среднего рас-

стояния от Солнца):  $a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{3,3^2} = 2,22$  а.е. Поскольку среднее расстояние кометы от Солнца  $a$  и период ее обращения  $T$  больше земных, то для нее более характерны конфигурации, в которых могут находиться внешние планеты – противостояние, западная и восточная квадратуры и соединение (верхнее соединение).

Определим расстояние кометы от Солнца в перигелии:  $q = a \cdot (1 - e) = 2,22$  а.е.  $\cdot (1 - 0,85) \approx 0,33$  а.е. Таким образом, вблизи перигелия комета располагается внутри орбиты Земли, и в это время для земного наблюдателя возможны некоторые конфигурации, характерные для внутренних планет, например, нижнее соединение. Верхнее соединение по определению соответствует соединению, поэтому отдельно не рассматривается. Что касается элонгаций – наибольших угловых удалений кометы от Солнца, то у этой кометы они могут составлять  $180^\circ$ , а это уже противостояние (по определению), поэтому эти конфигурации не учитываются.

Таким образом, комету Энке можно наблюдать в следующих пяти конфигурациях: противостояние, западная и восточная квадратуры, соединение (верхнее соединение) и нижнее соединение.

*Ответ:* для внутренних планет – верхнее соединение, нижнее соединение, восточная элонгация, западная элонгация; для внешних планет – соединение (верхнее соединение), противостояние, восточная квадратура, западная квадратура. Комета Энке может наблюдаться в следующих пяти конфигурациях: противостояние, западная и восточная квадратуры, соединение (верхнее соединение) и нижнее соединение.

#### *Критерии оценивания*

Знание названий конфигураций для внутренних и внешних планет – 3 балла.

За каждую из пяти указанных возможных конфигураций кометы Энке – по 1 баллу.

*Примечание:* если участник указал, что для кометы возможны все конфигурации, характерные как для внешних, так и для внутренних планет, суммарная оценка за это задание не должна превышать 6 баллов (комета не может находиться в западной и восточной элонгациях – см. выше).

#### 4. Солнечное затмение 11 августа 2018 года

Фаза солнечного затмения  $\Phi$  – это доля диаметра диска Солнца, закрытая Луной. Измерим отрезок  $L1$ , соответствующий диаметру солнечного диска на рисунке (см. Рис. 18, для удобства показа дополнительных линий изображение инвертировано):  $L1 \approx 5,8$  мм. Измерим еще один отрезок  $L2$ , соединяющий середину дуги лунного диска и максимально удаленную от нее противоположную часть диска Солнца:  $L2 \approx 3,9$  мм.

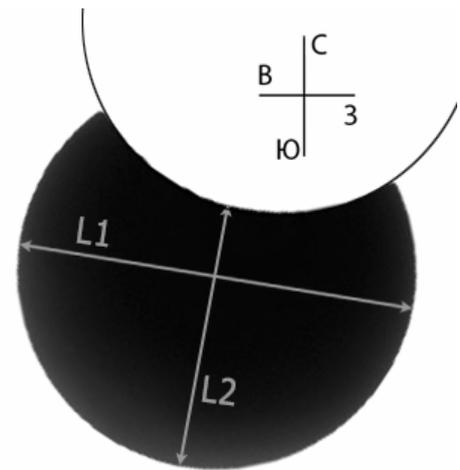


Рис. 18

Тогда видимую долю солнечного диска можно определить как  $L2 / L1 = 3,9 \text{ мм} / 5,8 \text{ мм} \approx 0,67$ . А доля закрытого Луной диска (величина фазы затмения) составит  $\Phi = 1 - 0,67 = 0,33$ .

Измеренная фаза меньше максимальной для Красноярска, поэтому снимок был получен или до, или после максимума. Определим когда. В северном полушарии Солнце и Луна перемещаются вдоль эклиптики справа – налево (с запада на восток). Луна движется быстрее, поэтому на фоне солнечного диска она тоже перемещается справа – налево (с запада на восток). А максимальная фаза затмения наступает посередине этого пути. В августе эклиптика немного наклонена влево и вниз (см. Рис. 19) к небесным параллелям, так как Солнце после летнего солнцестояния движется к осеннему равноденствию (склонение Солнца

уменьшается). Из Рис. 19 видно, что снимок был получен незадолго до максимальной фазы (центр Луны еще не дошел до перпендикуляра к эклиптике).

Теперь определим, можно ли было где-то увидеть более глубокое затмение. Достаточно вспомнить, что Луна находится неподалеку от Земли, поэтому из разных точек видна в разных направлениях (имеет значительный горизонтальный параллакс). Поэтому чем дальше к северу от Красноярска во время затмения будет располагаться наблюдатель, тем южнее он будет видеть Луну на небе и, соответственно, на солнечном диске. Действительно, для наблюдателей из полярных районов нашей страны максимальная фаза этого затмения достигала 0,73.

*Ответ:* величина фазы затмения в момент съемки составляла примерно 0,33. Снимок был получен незадолго до максимальной фазы затмения. Бóльшую фазу затмения можно было увидеть при перемещении наблюдателя на север от Красноярска.

#### *Критерии оценивания*

Понимание, что означает фаза затмения, – 1 балл.

Верное вычисление значения фазы затмения – 2 балла.

Определение, что снимок получен до максимальной фазы (с обоснованием), – 2 балла.

Верное определение направления, где наблюдалась бóльшая фаза (с обоснованием), – 3 балла.

### **5. Следующее затмение Солнца**

Разница между всемирным временем и временем в Красноярске составляет +7 часов (+3 часа разница Москвы с Гринвичем и +4 часа разница

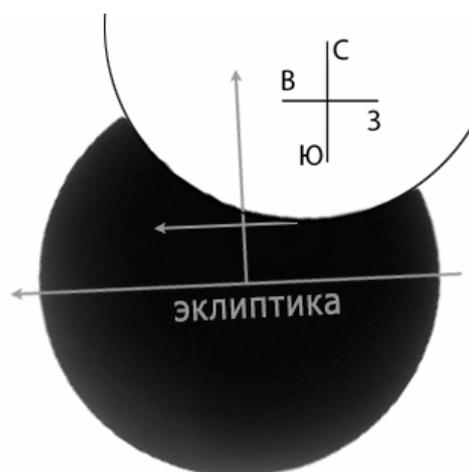


Рис. 19

Красноярска с Москвой). Поэтому максимальная фаза затмения будет наблюдаться в Красноярске в  $4 \text{ ч } 51 \text{ мин} + 7 \text{ ч} = 11 \text{ ч } 51 \text{ мин}$ .

Местное среднее солнечное время  $T_m$  связано со всемирным временем  $T_0$  и долготой  $\lambda$ , выраженной в часовой мере, следующим соотношением:  $T_m = T_0 + \lambda$ .

Переведем долготу из градусной в часовую меру угла.

Вначале переведем угловые минуты в доли градуса, учитывая, что  $1^\circ = 60'$ :

$$52' \cdot 1^\circ / 60' = 0,87^\circ, \text{ таким образом, } 92^\circ 52' = 92,87^\circ.$$

Далее, исходя из соотношения  $1 \text{ ч} = 15^\circ$ , получим:  $1 \text{ ч} \cdot 92,87^\circ / 15^\circ = 6,19 \text{ ч}$ .

А так как  $1 \text{ ч} = 60 \text{ мин}$ , то  $0,19 \text{ ч} \cdot 60 \text{ мин} / 1 \text{ ч} = 11,4 \text{ мин}$ .

Таким образом,  $92^\circ 52' \approx 6 \text{ ч } 11 \text{ мин}$ , то есть долгота Красноярска, выраженная в часовой мере, составит  $\lambda = 6 \text{ ч } 11 \text{ мин в.д.}$

Теперь определим местное среднее солнечное время в момент максимальной фазы затмения:

$$T_m = T_0 + \lambda = 4 \text{ ч } 51 \text{ мин} + 6 \text{ ч } 11 \text{ мин} = 11 \text{ ч } 02 \text{ мин}.$$

*Ответ:* в 11 ч 51 мин по времени Красноярска можно будет увидеть максимальную фазу солнечного затмения, а местное среднее солнечное время в этот момент составит 11 ч 02 мин.

#### *Критерии оценивания*

Знание разницы между всемирным временем и временем в Красноярске – 2 балла.

Верный расчет момента максимальной фазы затмения по времени Красноярска – 1 балл.

Знание соотношения, связывающего местное среднее солнечное время с долготой – 2 балла.

Верный перевод долготы из градусной в часовую меру угла – 2 балла.

Верное вычисление местного среднего солнечного времени – 1 балл.

## 6. Соединения Юпитера с Сатурном

В моменты соединений все три планеты (Земля, Юпитер и Сатурн) оказываются примерно на одной линии. Поскольку период обращения Земли равен 1 году, то достаточно найти синодический период (период повторения одинаковых конфигураций) одной из внешних планет по отношению к другой, воспользовавшись уравнением синодического движения:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\text{ю}}} - \frac{1}{T_{\text{с}}}, \text{ откуда: } S = \frac{T_{\text{ю}} \cdot T_{\text{с}}}{T_{\text{с}} - T_{\text{ю}}}.$$

Взяв данные о периодах обращения Юпитера и Сатурна из Таблицы 2 «Характеристики орбит планет» Приложения 1 и подставив их в полученное выражение, найдем:

$$S = \frac{11,862 \text{ г} \cdot 29,458 \text{ г}}{29,458 \text{ г} - 11,862 \text{ г}} = 19,859 \text{ г} \approx 20 \text{ г}.$$

*Ответ:* соединения Юпитера с Сатурном повторяются примерно один раз в 20 лет.

### *Критерии оценивания*

Верное применение уравнения синодического движения – 4 балла.

Использование необходимых данных о планетах из приложения или их знание – 2 балла.

Верные вычисления и окончательный ответ – 2 балла.

## Решения заданий для 10 класса

### 1. Противостояние Юпитера

Воспользовавшись картой звездного неба из Приложения 2, найдем положение Солнца на эклиптике 11 июня на ее пересечении с радиусом, соединяющим дату и центр карты. Получим, что Солнце находится в созвездии Тельца в точке с прямым восхождением около 05 ч 15 мин.

В момент противостояния Юпитер должен находиться вблизи диаметрально противоположной Солнцу точки эклиптики, которая имеет пря-

мое восхождение:  $05 \text{ ч } 15 \text{ мин} + 12 \text{ ч} = 17 \text{ ч } 15 \text{ мин}$  и располагается в созвездии Змееносца. Если посмотреть на карту звездного неба, то ближайшей яркой звездой, расположенной как раз «западнее и немного южнее» этой точки, является  $\alpha$  Скорпиона – Антарес.

*Ответ:* Юпитер будет находиться в созвездии Змееносца, а ближайшая к нему яркая звезда – Антарес.

#### *Критерии оценивания*

Верное определение прямого восхождения Солнца – 3 балла.

Верное определение прямого восхождения Юпитера – 3 балла.

Указание обозначения близкой к Юпитеру яркой звезды – 1 балл.

Указание собственного имени этой звезды – 1 балл.

## **2. Зенитные расстояния Веги**

Для удобства вычислений переведем в данные из условия задачи угловые минуты в доли градусов:

$\delta = +38^\circ 47'$ : так как  $47' = 47' / 60' \approx 0,8^\circ$ , то  $\delta = +38,8^\circ$ ;

$\varphi = +56^\circ 01'$ : так как  $01' = 01' / 60' \approx 0,0^\circ$ , то  $\varphi = +56,0^\circ$ .

*1 способ решения.*

Известно, что в зените кульминируют светила, склонение которых равно широте места наблюдения. Для Красноярска это соответствует склонению  $\delta = \varphi = +56,0^\circ$ . В момент верхней кульминации Вега будет видна в  $56,0^\circ - 38,8^\circ = 17,2^\circ$  к югу от зенита. Это и есть зенитное расстояние Веги в момент верхней кульминации.

Зенитное расстояние северного полюса мира ( $\delta = +90,0^\circ$ ) в Красноярске составляет:  $90,0^\circ - 56,0^\circ = 34,0^\circ$  к северу от зенита. Вега удалена от северного полюса мира на  $90,0^\circ - 38,8^\circ = 51,2^\circ$ . Следовательно, зенитное расстояние Веги в нижней кульминации (на севере) будет составлять:  $34,0^\circ + 51,2^\circ = 85,2^\circ$ .

Разность зенитных расстояний Веги в разноименных кульминациях в Красноярске составляет:  $85,2^\circ - 17,2^\circ = 68,0^\circ$ . Именно настолько в Красноярске Вега видна ближе к зениту в верхней кульминации, чем в нижней.

*2 способ решения.*

Определим высоту Веги в верхней кульминации из соотношения, связывающего высоту светила в верхней кульминации  $h_{max}$ , склонение светила  $\delta$  и широту места наблюдения  $\varphi$ :  $h_{max} = \delta + (90^\circ - \varphi)$ :

$$h_{max} = 38,8^\circ + (90^\circ - 56,0^\circ) = 72,8^\circ.$$

Тогда зенитное расстояние Веги в момент верхней кульминации составит:  $z_{max} = 90^\circ - h_{max} = 90^\circ - 72,8^\circ = 17,2^\circ$ .

Определим высоту Веги в нижней кульминации из соотношения, связывающего высоту светила в нижней кульминации  $h_{min}$ , склонение светила  $\delta$  и широту места наблюдения  $\varphi$ :  $h_{min} = \delta - (90^\circ - \varphi)$ :

$$h_{min} = 38,8^\circ - (90^\circ - 56,0^\circ) = 4,8^\circ.$$

Тогда зенитное расстояние Веги в момент нижней кульминации составит:  $z_{min} = 90^\circ - h_{min} = 90^\circ - 4,8^\circ = 85,2^\circ$ .

Разность зенитных расстояний Веги в разноименных кульминациях в Красноярске составляет:  $z_{min} - z_{max} = 85,2^\circ - 17,2^\circ = 68^\circ$ .

*Ответ:* разность зенитных расстояний Веги в разноименных кульминациях в Красноярске составляет  $68^\circ$ .

*Критерии оценивания*

Знание, что означает зенитное расстояние, – 1 балл.

Понимание угловых расстояний на небесной сфере (как в 1 способе решения) или применение формул для высот светила в кульминациях (как во 2 способе решения) – 4 балла.

Правильные вычисления и получение верного ответа – 3 балла.

### 3. Передвинуть Землю

Продолжительность тропического года, который лежит в основе исчисления лет, в настоящее время составляет 365,2422 средних солнечных суток (см. Данные о Земле в Приложении 1).

В предложенном варианте новый период обращения Земли вокруг Солнца должен составить ровно  $6 \cdot 30 + 6 \cdot 31 = 366$  суток, что больше величины тропического года в  $366 / 365,2422 \approx 1,0021$  раза. Следовательно, орбиту Земли надо «слегка расширить». Определим насколько. Для этого

воспользуемся третьим законом Кеплера:  $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$  (индексы 1 и 2 отнесем

к новой и существующей орбитам, соответственно). Приняв  $T_2 = 1$  год и  $a_2 = 1$  а.е. получим  $a_1^3 = 1,0021^2$ , откуда  $a_1 \approx 1,0014$  а.е. Таким образом, орбиту надо расширить на  $0,0014 \cdot 149,6 \cdot 10^6 = 209440$  км или примерно на 210 тысяч км. Это немногим больше половины расстояния от Земли до Луны.

*Ответ:* большую полуось земной орбиты надо увеличить примерно на 210 тысяч км.

#### *Критерии оценивания*

Знание, что в основе исчисления лет лежит тропический год, а также знание его величины или использование данных из приложения – 2 балла.

Применение третьего эмпирического закона Кеплера – 4 балла.

Правильные вычисления и верный вывод – 2 балла.

### 4. Солнечное затмение 11 августа 2018 года

См. решение задания 4 для 9 класса.

### 5. Солнце с Арктура

*1 способ решения.*

Зная параллакс Арктура, можно определить расстояние до него:  $d = 1 / \pi = 1 / 0,0888'' \approx 11,26$  парсек. Поскольку 1 парсек равен 206265 ас-

трономических единиц (число угловых секунд в радиане), то это расстояние превышает расстояние от Земли до Солнца (1 а.е.) в  $11,26 \cdot 206265 \approx 2322544$  раза. А поскольку яркость (блеск) изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния, то из окрестностей Арктура Солнце будет выглядеть в  $2322544^2 \approx 5,394 \cdot 10^{12}$  раз слабее, чем с Земли.

Переведем это значение в звездные величины. Одна звездная величина соответствует различию блеска в 2,512 раза, а  $x$  звездных величин – в  $2,512^x$ . Поэтому можно записать  $2,512^x = 5,394 \cdot 10^{12}$ . Логарифмируя обе части этого уравнения, получим:  $0,4 \cdot x = 12,73$  или  $x = 2,5 \cdot 12,73 = 31,83^m$ . Или можно записать, что  $m - m_C = 31,83^m$ , где  $m$  – видимая звездная величина Солнца с Арктура,  $m_C$  – видимая звездная величина Солнца с Земли. Зная, что видимая звездная величина Солнца с Земли составляет  $m_C = -26,78^m$  (см. Данные о Солнце в Приложении 1), найдем  $m = 31,83^m + m_C = 31,83^m - 26,78^m = 5,05 \approx 5^m$ . Итак, из окрестностей Арктура наше Солнце будет видно, как звезда 5 величины.

*Примечание:* для вычисления звездной величины участники могут использовать формулу Погсона:  $\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}$ , где  $I_1$  и  $I_2$  – яркости источников,  $m_1$  и  $m_2$  – их звездные величины, соответственно.

### *2 способ решения.*

Зная параллакс Арктура, можно определить расстояние до него:  $d = 1 / \pi = 1 / 0,0888'' \approx 11,26$  парсек.

Теперь воспользуемся следующим соотношением:  $M = m + 5 - 5 \lg r$ , связывающим абсолютную звездную величину  $M$  с видимой звездной величиной  $m$  и расстоянием до звезды  $r$  в парсеках.

Из него выразим видимую звездную величину:  $m = M - 5 + 5 \lg r$ .

Зная, что абсолютная звездная величина Солнца составляет  $M = +4,72^m$  (см. Данные о Солнце в Приложении 1), получим:

$$m = 4,72^m - 5 + 5 \lg(11,26 \text{ пк}) = 4,98^m \approx 5^m.$$

*Ответ:* из окрестностей Арктура наше Солнце будет видно как звезда 5 величины.

#### *Критерии оценивания*

Использование необходимых данных из приложения или их знание – 1 балл.

Умение определять расстояние до звезд в парсеках по известному годичному параллаксу – 1 балл.

При 1 способе решения:

знание, что яркость (блеск) изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния – 2 балла;

знание соотношения яркости (блеска) источников и их звездных величин или использование формулы Погсона – 2 балла.

При 2 способе решения:

использование соотношения, связывающего абсолютную звездную величину звезды с ее видимой звездной величиной, – 4 балла.

Окончательные верные вычисления и получение правильного ответа – 2 балла.

### **6. Соединения Юпитера с Сатурном**

В моменты соединений все три планеты (Земля, Юпитер и Сатурн) оказываются примерно на одной линии. Поскольку период обращения Земли равен 1 году, то достаточно найти синодический период (период повторения одинаковых конфигураций) одной из внешних планет по отношению к другой, воспользовавшись уравнением синодического движения:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{ю}} - \frac{1}{T_c}, \text{ откуда: } S = \frac{T_{ю} \cdot T_c}{T_c - T_{ю}}.$$

Взяв данные о периодах обращения Юпитера и Сатурна из Таблицы 2 «Характеристики орбит планет» Приложения 1 и подставив их в полученное выражение, найдем:

$$S = \frac{11,862 \text{ г} \cdot 29,458 \text{ г}}{29,458 \text{ г} - 11,862 \text{ г}} = 19,859 \text{ г} \approx 20 \text{ г}.$$

Трем этим синодическим периодам ( $19,859 \cdot 3 \approx 59,6$ ) кратными являются примерно 5 периодов обращения Юпитера ( $11,862 \cdot 5 \approx 59,3$  года) и 2 периода обращения Сатурна ( $29,458 \cdot 2 \approx 58,9$  года). Поэтому через каждые 59–60 лет соединения будут происходить примерно на одном и том же участке небесной сферы.

*Ответ:* соединения Юпитера с Сатурном повторяются примерно один раз в 20 лет, а в одних и тех же частях эклиптики – один раз в 59–60 лет.

#### *Критерии оценивания*

Верное применение уравнения синодического движения – 4 балла.

Использование необходимых данных о планетах из приложения или их знание – 1 балл.

Верные вычисления синодического периода – 1 балл.

Верное определение периода повторения соединений на одном и том же участке неба – 2 балла.

### **Решения заданий для 11 класса**

#### **1. Покрытие Альдебарана Луной**

Фазу Луны можно определить по ее угловому удалению от Солнца. Воспользовавшись картой звездного неба из Приложения 2, найдем положение Солнца на эклиптике 24 февраля на ее пересечении с радиусом, соединяющим дату и центр карты. Получим, что Солнце находится в созвездии Водолея в точке с прямым восхождением около 22 ч 15 мин.

Далее найдем на карте созвездие Тельца и его «главную» звезду Альдебаран ( $\alpha$  Тельца), которая имеет прямое восхождение примерно 04 ч 35 мин. Так как в эту ночь произошло покрытие Альдебарана Луной,

то Луна была удалена от Солнца примерно на 06 ч 20 мин (разница прямых восхождений Солнца и Альдебарана с учетом перехода через 24 часа). Зная, что Земля вращается со скоростью около  $15^\circ$  в час, вычислим угловое расстояние Луны от Солнца: 6 целых часов дают  $90^\circ$  и еще  $1/3$  часа – это  $5^\circ$ , в сумме получится  $95^\circ$ . По прямому восхождению Солнце расположено на эклиптике впереди Луны, а значит, Луна находится к востоку от Солнца. Учитывая это, можно сделать вывод, что Луна была видна в фазе чуть больше первой четверти.

*Ответ:* в ночь с 23 на 24 февраля 2018 года Луна была в фазе чуть больше первой четверти.

#### *Критерии оценивания*

Верное определение прямого восхождения Солнца – 2 балла.

Верное определение прямого восхождения Луны – 2 балла.

Верное определение углового удаления Луны от Солнца – 2 балла.

Окончательный верный вывод о фазе Луны – 2 балла.

## **2. Зенитные расстояния Веги**

См. решение задания 2 для 10 класса.

## **3. Пыль на земной орбите**

Космическая пыль выпадает на Землю в основном за счет столкновений пылевых частиц с Землей при ее движении по орбите, а не за счет притяжения их планетой, как может показаться на первый взгляд.

Определим скорость орбитального движения Земли вокруг Солнца: радиус орбиты Земли  $r$  примем за 149,6 млн км, а период ее обращения (звездный год)  $T$  за 365,26 суток, тогда  $v = 2\pi r / T = 2 \cdot 3,14 \cdot 149,6 \cdot 10^5 \text{ км} / (365,26 \text{ сут} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 60 \text{ мин} \cdot 60 \text{ с}) = 29,8 \text{ км/с} \approx 30 \text{ км/с}$ . Среднюю орбитальную скорость Земли можно и не вычислять, а взять в разделе Данные о Земле Приложения 1. Там также можно найти экваториальный радиус Земли  $R$ , равный 6378 км, который примем за радиус земного шара.

Земля за сутки (24 ч) пролетает по своей орбите путь  $L = 24 \text{ ч} \cdot 3600 \text{ с} \cdot 30 \text{ км/с} \approx 2,592 \cdot 10^6 \text{ км}$ , «заметая» собой всю пылевую материю, расположенную в цилиндрическом объеме пространства  $V = \pi R^2 L = 3,14 \cdot (6378000 \text{ м})^2 \cdot 2,592 \cdot 10^9 \text{ м} \approx 3,3 \cdot 10^{23} \text{ м}^3$ . В этом объеме находится примерно такая же масса пылевой материи, какая по условию задачи выпадает на Землю в виде метеорного вещества, т.е.  $M = 10^5 \text{ кг}$ . Пылевые частицы, образующие пылевую материю, движутся по своим орбитам вокруг Солнца, часть из них (более медленные) «заметает» при своем движении Земля, другие (более быстрые) могут догонять Землю. Зная массу и объем, можно оценить плотность пылевой материи:  $\rho = M / V = 10^5 \text{ кг} / 3,3 \cdot 10^{23} \text{ м}^3 \approx 3 \cdot 10^{-19} \text{ кг/м}^3$ .

*Ответ:* космическая пыль выпадает на Землю в основном за счет столкновений пылевых частиц с Землей при ее орбитальном движении. Плотность пылевой материи в районе земной орбиты составляет около  $3 \cdot 10^{-19} \text{ кг/м}^3$ .

#### *Критерии оценивания*

Правильное указание основной причины выпадения космической пыли на Землю – 2 балла.

Правильное вычисление объема пространства, заметаемого Землей за сутки, – 3 балла.

Верная оценка плотности пылевой материи – 3 балла.

#### **4. Солнечное затмение 11 августа 2018 года**

См. решение задания 4 для 10 класса.

#### **5. Комета Джакобини-Циннера**

Среднее расстояние от Солнца – это значение большой полуоси орбиты кометы  $a = 3,498 \text{ а.е.}$ . Тогда период ее обращения можно легко найти из III-го закона Кеплера:  $T = \sqrt{a^3} \approx 6,5 \text{ года}$ .

Перигелийное расстояние кометы можно определить из соотношения:  $q = a \cdot (1 - e) \approx 1,014$  а.е., а афелийное расстояние – из соотношения:  $Q = a \cdot (1 + e) \approx 5,982$  а.е. Таким образом, расстояние кометы от Солнца изменяется в  $Q / q = 5,982 / 1,014 \approx 5,9$  раза. Так как энергия, получаемая кометой от Солнца, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния, то в перигелии комета получает тепла больше в  $5,9^2 \approx 35$  раз.

*Ответ:* комета 21P Джакобини-Циннера получает от Солнца в 35 раз больше тепла в перигелии, чем в афелии. Период обращения кометы составляет 6,5 года.

#### *Критерии оценивания*

Верное определение период обращения кометы – 2 балла.

Правильное определение перигелийного и афелийного расстояний – 3 балла.

Знание, что энергия изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния – 2 балла.

Получение окончательного верного ответа – 1 балл.

#### **6. Хвост кометы**

Схематически изобразим положение кометы (К) относительно Солнца (С) и Земли (З) в момент, описанный в задаче (см. Рис. 20).

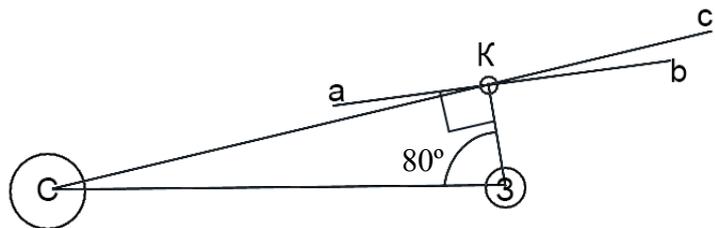


Рис. 20

Длину проекции хвоста на картинную плоскость (линию  $ab$ , перпендикулярную к направлению на комету) можно посчитать сразу: если хвост длиной  $l$  км с расстояния  $L = 0,39$  а.е.  $\cdot 149,598 \cdot 10^6$  км  $\approx 58,343$  млн км виден под углом  $\alpha = 2^\circ$ , то из простого соотношения  $l / L = \text{tg}(\alpha)$  можно получить:  $l \approx L \cdot \alpha$  (радиан)  $\approx 58,343 \cdot 10^6$  км  $\cdot 2^\circ / 57,3^\circ \approx 2,036 \cdot 10^6$  км. И это в  $2,036 \cdot 10^6$  км /  $3,84 \cdot 10^5$  км  $\approx 5,3$  раза больше расстояния от Земли до Луны.

Если решать задачу более точно, то надо учитывать тот факт, что хвосты комет направлены в сторону «от Солнца» (в нашем случае, по линии СКс), проекцию которого  $l = l_{\text{истинная}} \cdot \cos(\beta)$  мы вычислили выше ( $\beta$  – это угол сКб, или сКа). В нашем случае этот угол мал, поэтому истинная длина хвоста будет мало отличаться от вычисленной. В других случаях ошибка может быть очень существенной!

Воспользовавшись теоремой синусов можно вычислить угол СКЗ (Солнце-Комета-Земля), который в нашем случае будет равен  $(90^\circ - \beta)$ , т.е. меньше  $90^\circ$  как раз на интересующий нас угол  $\beta$ , позволяющий вычислить истинную длину хвоста кометы:  $l_{\text{истинная}} = l / \cos(\beta)$ .

Расстояние Солнце–Земля (СЗ) равно 1,00 а.е., а Солнце-Комета (СК) составляет 1,02 а.е. Тогда:  $СК / \sin(80^\circ) = СЗ / \sin(СКЗ)$  или  $1,02 \text{ а.е.} / \sin(80^\circ) = 1,00 \text{ а.е.} / \sin(СКЗ)$ , откуда угол Солнце-Комета-Земля  $СКЗ \approx \arcsin(\sin(80^\circ) / 1,02) \approx 74,9^\circ$ . А это значит, что в данном случае угол  $\beta$  равен  $(90^\circ - 74,9^\circ) = 15,1^\circ$ .

Поэтому  $l_{\text{истинная}} = l / \cos(15,1^\circ) = 2,036 \cdot 10^6 \text{ км} / 0,965 = 2,110 \cdot 10^6 \text{ км}$ , что на 74 тысяч километров больше полученного выше значения. Итоговый ответ:  $2,110 \cdot 10^6 \text{ км} / 3,84 \cdot 10^5 \approx 5,5$  раз больше расстояния от Земли до Луны.

*Примечание:* если бы угол  $\beta$  был более  $60^\circ$  (комета вблизи Солнца), то видимая длина хвоста могла бы быть в 2 и более раза меньше действительной (видимая длина хвоста всегда меньше действительной, за исключением редкого случая, когда направление хвоста совпадает с картинной плоскостью).

Авторы рекомендуют участникам посмотреть одну из фотографий этой кометы на сайте: <http://www.astronet.ru/db/msg/1438060>.

Ответ: длина хвоста кометы составляла  $2,110 \cdot 10^6 \text{ км}$ , что в 5,5 раз больше расстояния от Земли до Луны.

*Критерии оценивания*

Определение длины проекции хвоста на картинную плоскость – 2 балла.

Знание того, что хвосты комет направлены «от Солнца», – 1 балл.

Точное определение длины хвоста кометы – 4 балла.

Вычисление отношения длины хвоста кометы к расстоянию от Земли до Луны (как при приближенном решении, так и при точном) – 1 балл.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Справочная информация<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  $-26,78^m$

Абсолютная болометрическая звездная величина  $+4,72^m$

Показатель цвета (B–V)  $+0,67^m$

Эффективная температура  $5800\text{К}$

---

<sup>3</sup> Приведенная справочная информация разрешена центральной предметно-методической комиссией к использованию участниками на всех этапах всероссийской олимпиады школьников по астрономии и подлежит к выдаче вместе с условиями задач [4]. На школьном и муниципальном этапе по решению соответствующих предметно-методических комиссий эти справочные данные могут выдаваться в частичном объеме, необходимом для решения тех задач, которые входят в комплект текущего этапа олимпиады.

Средний горизонтальный параллакс 8,794"

Интегральный поток энергии на расстоянии Земли 1360 Вт/м<sup>2</sup>

Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли 600 Вт/м<sup>2</sup>

### **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 г·см<sup>-3</sup>

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 г·см<sup>-3</sup>

Визуальное геометрическое альbedo 0,12

Видимая звездная величина в полнолуние -12,7<sup>m</sup>

Таблица 1

### Физические характеристики Солнца и планет

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Гео- метр. аль- bedo	Види- мая звезд- ная вели- чина**
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	1,989·10 <sup>30</sup>	332946	695000	108,97	1,41	25,380 сут	7,25	–	–26,8
Меркурий	3,302·10 <sup>23</sup>	0,05271	2439,7	0,3825	5,42	58,646 сут	0,00	0,10	–0,1
Венера	4,869·10 <sup>24</sup>	0,81476	6051,8	0,9488	5,20	243,019 сут*	177,36	0,65	–4,4
Земля	5,974·10 <sup>24</sup>	1,00000	6378,1	1,0000	5,52	23,934 час	23,45	0,37	–
Марс	6,419·10 <sup>23</sup>	0,10745	3397,2	0,5326	3,93	24,623 час	25,19	0,15	–2,0
Юпитер	1,899·10 <sup>27</sup>	317,94	71492	11,209	1,33	9,924 час	3,13	0,52	–2,7
Сатурн	5,685·10 <sup>26</sup>	95,181	60268	9,4494	0,69	10,656 час	25,33	0,47	0,4
Уран	8,683·10 <sup>25</sup>	14,535	25559	4,0073	1,32	17,24 час*	97,86	0,51	5,7
Нептун	1,024·10 <sup>26</sup>	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.

Таблица 2

### 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

Таблица 3

### 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

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x;$$

$$\sin(\alpha + x) \approx \sin \alpha + x \cos \alpha;$$

$$\cos(\alpha + x) \approx \cos \alpha - x \sin \alpha;$$

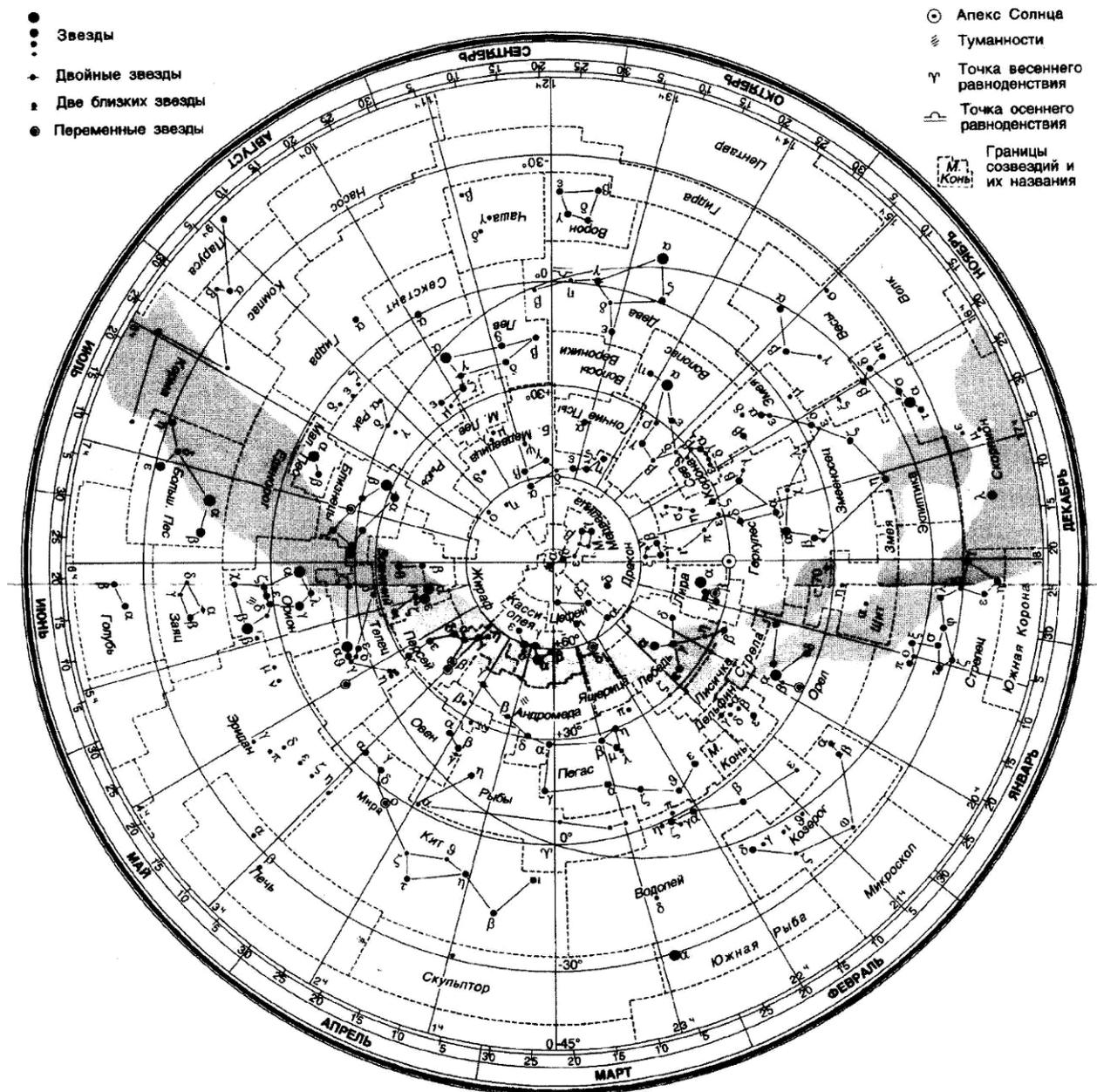
$$\operatorname{tg}(\alpha + x) \approx \operatorname{tg} \alpha + \frac{x}{\cos^2 \alpha};$$

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx;$$

( $x \ll 1$ , углы выражаются в радианах).

## Приложение 2

### 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 муниципальном этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае и подлежит к выдаче вместе с условиями задач.

**Приложение 3**  
**Методическая программа**  
**всероссийской олимпиады школьников по астрономии<sup>5</sup>**

*Примечание.* Темы разделены по параграфам, соответствующим возрастным параллелям (от 5–6 до 11 класса). Если для части темы указан определенный этап олимпиады, она может быть задействована в заданиях этого и более поздних этапов олимпиады вплоть до заключительного. Любая из тем может быть задействована на любом этапе олимпиады в более старшей возрастной параллели.

**1. 5–6 классы (только школьный этап)**

**1.1. Основные объекты звездного неба.**

Созвездия и наиболее яркие звезды неба. Условия их видимости в разные сезоны года. Ориентирование на местности по полярной звезде. Астеризмы. Видимые отличия планет от звезд.

**1.2. Видимое движение Солнца по небу.**

Эклиптика, зодиакальные созвездия. Положение Солнца в созвездиях в зависимости от времени года.

**1.3. Солнечная система.**

Структура и состав Солнечной системы. Астрономическая единица. Планеты Солнечной системы: радиусы орбит, физические характеристики (размеры, форма, масса, плотность, период вращения). Обращение Земли вокруг Солнца как причина смены времен года. Крупнейшие спутники планет. Системы мира Птолемея и Коперника.

**1.4. Основы летоисчисления.**

---

<sup>5</sup> Данная программа была разработана и утверждена Центральной предметно-методической комиссией по астрономии всероссийской олимпиады школьников в 2017 году [3; 4].

Календарный год. Високосные и невисокосные года. Юлианский и григорианский календари.

### 1.5. Вращение Земли.

Полюс и экватор. Смена дня и ночи. Изменение вида звездного неба в течение суток.

### 1.6. Основные сведения о Луне.

Движение Луны вокруг Земли, фазы Луны. Солнечные и лунные затмения.

### 1.7. Начальные представления о структуре Вселенной.

Основные типы объектов Вселенной (звезды, галактики). Характерные пространственные масштабы.

## **2. 7 класс (школьный и муниципальный этапы)**

### 2.1. Земля как планета.

*Школьный этап:* Фигура Земли. Экваториальный и полярный радиусы. Географические координаты.

### 2.2. Основы сферической астрономии.

*Школьный этап:* Основные точки и линии на небесной сфере (горизонт, небесный меридиан, зенит, полюс мира, стороны света). Понятие высоты объекта над горизонтом. Связь высоты полюса мира над горизонтом с широтой наблюдателя.

*Муниципальный этап:* Суточные пути светил на небесной сфере на разных широтах. Восход, заход, кульминация. Годичное движение Солнца по небу. Равноденствия и солнцестояния. Полярный день и полярная ночь. Тропик и полярный круг.

### 2.3. Оптические явления в атмосфере Земли.

*Школьный этап:* Радуга, солнечные и лунные гало, ложное Солнце (паргелий) и ложная Луна (парселений), световые столбы. Серебристые облака. Полярные сияния.

2.4. Солнце и звезды, их физические характеристики.

*Школьный этап:* Масса, радиус, температура Солнца.

*Муниципальный этап:* Основные характеристики звезд: Масса, размеры (гиганты, карлики), температура, цвет (качественно).

2.5. Малые тела Солнечной системы.

*Школьный этап:* Определение планеты и карликовой планеты. Свойства и основные характеристики карликовых планет, астероидов и комет, условия их наблюдений. Главный пояс астероидов, пояс Койпера и облако Оорта. Происхождение и эволюция комет. Метеоры и метеорные потоки на Земле. Радиант метеорного потока. Метеориты.

2.6. Электромагнитное излучение и система расстояний в астрономии.

*Школьный этап:* Скорость света, световой год. Характерные расстояния до объектов Вселенной в световых годах.

*Муниципальный этап:* Шкала и диапазоны электромагнитных волн. Парсек и метод годичного параллакса измерения расстояний до звезд. Соотношение между парсеком и световым годом. Пространственно-временные масштабы Вселенной.

2.7. Общие сведения по математике.

*Школьный этап:* Единицы измерения углов (часовые и градусные), их части. Длина окружности.

*Муниципальный этап:* Линейные уравнения. Решение систем линейных уравнений.

### **3. 8 класс (школьный и муниципальный этапы)**

3.1. Небесная сфера.

*Школьный этап:* Понятие небесной сферы. Большие и малые круги на небесной сфере. Угловые расстояния между объектами на небесной сфере.

*Муниципальный этап:* Координаты на поверхности сферы аналогично широте и долготе на Земле. Горизонтальная и экваториальная система

координат. Высота, азимут, часовой угол, прямое восхождение и склонение точек небесной сферы. Высоты светил в верхней и нижней кульминации. Рефракция (основные свойства). Незаходящие и невосходящие светила.

### 3.2. Шкалы времени в астрономии.

*Школьный этап:* Осевое вращение Земли и солнечные сутки. Местное и поясное время. Связь с географической долготой. Декретное время, часовые пояса и часовые зоны.

*Муниципальный этап:* Звездное время, звездные сутки. Изменение условий видимости звезд в течение года. Зимние, весенние, летние и осенние созвездия. Подвижная карта звездного неба.

### 3.3. Основы небесной механики.

*Школьный этап:* Законы Кеплера в простой формулировке для круговых орбит. Первая космическая скорость.

*Муниципальный этап:* Закон всемирного тяготения. Обобщенные законы Кеплера. Движение по эллипсу и параболе. Эллипс, его основные точки, большая и малая полуоси, эксцентриситет. Парабола как предельный случай эллипса. Вторая космическая скорость. Определение масс небесных тел на основе закона всемирного тяготения.

### 3.4. Солнечная система.

*Школьный этап:* Определение расстояний до тел Солнечной системы (методы радиолокации и суточного параллакса). Угловые размеры планет. Связь угловых и линейных размеров космических объектов.

*Муниципальный этап:* Упрощенная запись III закона Кеплера для планет Солнечной системы. Видимое движение планет, их конфигурации. Сидерический, синодический периоды планет, связь между ними. Перелеты между планетами. Расчеты времени межпланетных перелетов по эллипсам Гомана.

### 3.5. Система Земля-Луна.

*Школьный этап:* Синодический и сидерический периоды Луны. Эксцентриситет орбиты Луны, точки перигея и апогея.

3.6. Общие сведения о глазе и оптических приборах.

*Школьный этап:* Глаз как оптический прибор. Устройство простейших оптических приборов для астрономических наблюдений. Линзовые, зеркальные и зеркально-линзовые телескопы.

*Муниципальный этап:* Оптические схемы телескопов. Параметры оптических систем и изображений: фокусное расстояние, относительное отверстие, угловое увеличение, масштаб изображения, предельное угловое разрешение, размеры дифракционного изображения. Ограничения со стороны земной атмосферы на разрешающую способность.

3.7. Общие сведения по математике.

*Школьный этап:* Запись больших чисел, математические операции со степенями. Приближенные вычисления. Число значащих цифр. Пользование инженерным калькулятором.

*Муниципальный этап:* формулы для синуса и тангенса малых углов. Квадратные уравнения. Подобие фигур. Прямоугольный треугольник. Теорема Пифагора. Площади простейших геометрических фигур: треугольник, круг.

## **4. 9 класс**

4.1. Уравнение времени.

*Муниципальный этап:* Истинное и среднее солнечное время, причины их различия. Уравнение времени, его характерная величина в разные периоды года. Аналемма.

*Заключительный этап:* математическое выражение для уравнения времени.

4.2. Движение Земли и эклиптические координаты.

*Муниципальный этап:* Тропический и звездный год, прецессия оси Земли. Нутация (качественно). Принципы построения календарей. Солнечный, лунный и лунно-солнечный календари. Юлианские даты.

*Региональный этап:* Эклиптическая система координат. Абберрация света.

#### 4.3. Небесная механика.

*Региональный этап:* элементы орбит в общем случае. Скорость движения в точках перигелия и афелия. Законы сохранения энергии и момента импульса. Движение по гиперболе. Наклонение орбиты, линия узлов. Прохождения планет по диску Солнца, условия наступления. Третья космическая скорость для Земли и других тел Солнечной системы.

#### 4.4. Движение Луны.

*Региональный этап.* Наклонение орбиты, линия узлов. Луны Либрации Луны. Движение узлов орбиты Луны, периоды «низкой» и «высокой» Луны. Аномалистический и драконический месяцы. Солнечные и лунные затмения, их типы, условия наступления. Сарос. Покрытия звезд и планет Луной, условия их наступления. Понятие о приливах.

#### 4.5. Шкала звездных величин.

*Муниципальный этап:* Светимость. Освещенность. Яркость. Звездная величина, ее связь с освещенностью и расстоянием до объекта. Формула Погсона. Изменение видимой яркости планет и комет при их движении по орбите. Альbedo планет.

#### 4.6. Звезды, общие понятия.

*Муниципальный этап:* Основные характеристики звезд: температура, радиус, масса и светимость. Закон излучения абсолютно черного тела (закон Стефана-Больцмана). Понятие эффективной температуры.

#### 4.7. Движение звезд в пространстве.

*Муниципальный этап:* Тангенциальная скорость и собственное движение звезд. Пространственное движение Солнца и звезд, апекс.

*Региональный этап:* Эффект Доплера. Лучевая скорость звезд и принципы ее измерения.

#### 4.8. Двойные и переменные звезды.

*Муниципальный этап:* Затменные переменные звезды. Определение масс и размеров звезд в двойных системах.

*Региональный этап:* Классификация двойных: визуальные, астрометрические, затменные переменные. Кривые блеска и кривые вращения в двойных системах. Пульсирующие переменные звезды, их типы. Зависимость «период-светимость» для цефеид. Долгопериодические переменные звезды. Новые звезды. Внесолнечные планеты, методы их обнаружения. Характеристики их орбит, «зона обитаемости».

#### 4.9. Рассеянные и шаровые звездные скопления.

*Региональный этап:* Возраст, физические свойства скоплений и особенности входящих в них звезд. Основные различия между рассеянными и шаровыми скоплениями. Движения звезд, входящих в скопление. Метод «группового параллакса» определения расстояния до скопления.

#### 4.10. Солнце.

*Все этапы:* Основные характеристики Солнца (вращение, химический состав). Солнечные пятна, циклы солнечной активности, Активные образования в атмосфере Солнца. Солнечная постоянная. Числа Вольфа. Состав атмосферы Солнца.

*Муниципальный этап:* Магнитные поля на Солнце. Гелиосфера. Магнитосфера. Солнечный ветер.

*Региональный этап:* Механизм энерговыделения Солнца. Внутреннее строение Солнца. Солнечные нейтрино.

#### 4.11. Телескопы, проникающая способность, приемники излучения.

*Муниципальный этап:* Проникающая способность телескопа, поверхностная яркость протяженных объектов при наблюдении в телескоп.

*Региональный этап:* Современные приемники излучения: Фотоумножители, ПЗС-матрицы. Аберрации оптики. Оптические схемы современных телескопов. Космические телескопы, интерферометры.

#### 4.12. Строение и типы галактик.

*Школьный этап:* Морфологические типы галактик. Классификация Хаббла.

*Региональный этап:* Активные ядра галактик (классификация, наблюдательные проявления и физические механизмы). Происхождение и эволюция галактик. Кривые вращения галактических дисков. Темная материя в галактиках. Сверхмассивные черные дыры и оценка их массы.

#### 4.13. Основы космологии.

*Региональный этап:* Крупномасштабная структура Вселенной. Скопления и сверхскопления галактик. Гравитационное линзирование (качественно).

#### 4.14. Неоптическая астрономия.

*Школьный этап:* Космические лучи (состав, энергия, происхождение). Нейтрино. Гравитационные волны. Механизмы излучения.

#### 4.15. Общие сведения из физики.

*Региональный этап:* Теорема вириала. Связь массы и энергии. Строение ядра атома, дефект масс и энергия связи. Выделение энергии при термоядерных реакциях. Уравнения ядерных реакций (общие принципы), радиоактивность. Основные свойства элементарных частиц (электрон, протон, нейтрон, фотон, нейтрино). Антивещество.

#### 4.16. Общие сведения из математики.

*Школьный этап:* Экспонента, натуральные и десятичные логарифмы, вещественные степени. Формулы приближенных вычислений.

*Региональный этап:* Иррациональные уравнения. Метод простой итерации. Оценка погрешностей. Число значащих цифр. Линейная аппроксимация (графически). Площади и объемы простейших геометрических фи-

гур: эллипс, цилиндр, шар, шаровой сегмент, конус, эллипсоид (только объем). Уравнения плоскости, эллипса и сферы. Геометрический смысл коэффициентов уравнений. Телесный угол. Системы координат на плоскости и в пространстве (прямоугольная, полярная, сферическая). Конические сечения: круг, эллипс, парабола, гипербола. Основные свойства. Уравнение эллипса в полярных координатах.

## **5. 10 класс**

### 5.1. Движение в поле тяжести нескольких тел.

*Региональный этап:* Приливное воздействие. Сфера Хилла, полость Роша. Основы теории возмущенного движения, точки либрации.

### 5.2. Сферические координаты.

*Региональный этап:* Параллактический треугольник и преобразование сферических координат. Вычисление моментов времени и азимутов восхода и захода светил.

### 5.3. Основы спектроскопии.

*Региональный этап:* понятие спектра. Интенсивность, спектральная плотность излучения. Ангстрем. Закон смещения Вина. Многоцветная фотометрия, представление о фотометрической системе UBVR, показатели цвета. Спектр атома водорода и водородоподобных ионов. Квантовые и волновые свойства света. Поглощение, рассеяние, испускание электромагнитного излучения. Линейчатый и непрерывный спектры. Спектры различных астрономических объектов. Спектр разреженного газа (солнечной короны, планетарных и диффузных туманностей, полярных сияний). Профиль спектральной линии.

5.4. Влияние земной атмосферы на наблюдаемые характеристики звезд.

*Региональный этап:* Атмосферная рефракция, ее зависимость от температуры, давления и длины волны, «зеленый луч». Поглощение и рассея-

ние света в атмосфере, закон Бугера. Определение внеатмосферных звездных величин звезд. Понятие оптической толщины, ее связь с длиной пути луча в среде. Теллурические спектральные линии.

#### 5.5. Классификация звезд с учетом их спектральных характеристик.

*Школьный этап:* Спектральная классификация звезд. Диаграмма «цвет-светимость» (Герцшпрунга–Рассела), «спектр-светимость» для разных групп звезд, рассеянных и шаровых звездных скоплений. Звезды главной последовательности, гиганты, сверхгиганты.

*Региональный этап:* Соотношение «масса-светимость» для звезд главной последовательности.

#### 5.6. Эволюция звезд.

*Школьный этап:* Эволюция звезд различной массы и их перемещение по диаграмме Герцшпрунга–Рассела. Эволюция звездных скоплений.

*Региональный этап:* Нуклеосинтез в недрах звезд различных типов и при взрыве сверхновых. Равновесие звезд. Перенос энергии в звезде. Звездные атмосферы и их спектры. Временные шкалы эволюции звезд (ядерная, тепловая, динамическая). Образование звезд. Джинсовская масса. Конечные стадии эволюции звезд: белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры. Предел Чандрасекара. Гравитационный радиус. Пульсары. Планетарные туманности. Сверхновые звезды: типы, механизмы и основные характеристики. Сверхновые типа Ia. Остатки и расширяющиеся оболочки сверхновых. Сферическая и дисковая аккреция. Предел светимости Эддингтона.

#### 5.7. Межзвездная среда.

*Школьный этап:* Представление о распределении газа и пыли в пространстве. Плотность, температура и химический состав межзвездной среды. Горячий газ и холодные молекулярные облака. Газовые и диффузные туманности.

*Региональный этап:* Зависимость межзвездного поглощения от длины волны и влияние на звездные величины и цвет звезд, оптическая толщина. Связь избытка цвета с поглощением в полосе V.

#### 5.8. Общие сведения из физики.

*Школьный этап:* Газовые законы. Температура, тепловая энергия газа, концентрация частиц и давление. Термодинамическое равновесие. Идеальный газ. Связь скорости молекул и температуры.

*Региональный этап:* Длина свободного пробега и частота столкновений. Средняя квадратическая скорость молекул газа. Барометрическая формула. Плазма. Процессы ионизации и рекомбинации. Вырожденный газ.

#### 5.9. Общие сведения из математики.

*Региональный этап:* Метод наименьших квадратов. Непрерывные распределения, их простейшие параметры. Дифференцирование и его геометрический смысл. Сферическая тригонометрия (сферические теоремы синусов и косинусов).

### **6. 11 класс**

#### 6.1. Небесная механика.

*Региональный этап:* Движение тел с переменной массой. Уравнение Циолковского.

#### 6.2. Свойства излучения.

*Региональный этап:* Поляризация излучения. Давление света. Формула Планка. Приближения Рэлея-Джинса и Вина. Яркостная температура. Мазерное излучение. Синхротронное излучение. Мера дисперсии и эффект Фарадея в межзвездной среде.

#### 6.3. Галактика и галактики.

*Школьный этап:* Фотометрические и спектральные свойства галактик разных типов. Типы населения звезд в галактиках. Функция светимости звезд. Начальная функция масс.

*Региональный этап:* Соотношения Талли-Фишера и Фабера-Джексона.

#### 6.4. Космология.

*Школьный этап:* Закон Хаббла, космологическое красное смещение. Реликтовое излучение, его спектр и флуктуации яркости.

*Региональный этап:* Большой взрыв. Инфляционная теория. Первичный нуклеосинтез. Первичная рекомбинация. Расширение Вселенной. Прошлое и будущее Вселенной. Модель однородной изотропной Вселенной Фридмана. Альтернативные модели Вселенной. Барионное вещество, темная материя и темная энергия. Критическая плотность Вселенной. Масштабный фактор. Угломерное и фотометрическое расстояния. Рост неоднородностей во Вселенной.

#### 6.5. Общие сведения из физики.

*Региональный этап:* Специальная теория относительности. Преобразования Лоренца. Лоренцево сокращение и релятивистское замедление времени. Релятивистский эффект Доплера. Гравитационное красное смещение.

#### 6.6. Общие сведения из математики.

*Региональный этап:* Интегрирование и его геометрический смысл. Формула Ньютона-Лейбница. Простейшие дифференциальные уравнения в задачах по физике и астрономии.

## Приложение 4

### 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 внутренних страницах тетради.

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 5

### Памятка участника олимпиады<sup>6</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>6</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 другой бумаге 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 решение 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 6

### Некоторые основные формулы<sup>7</sup>

1. Теоретическая разрешающая способность телескопа:

$$\alpha = 1,22 \cdot \frac{206265'' \cdot \lambda}{D}, \text{ где } \lambda \text{ – средняя длина световой волны } (5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}),$$

$D$  – диаметр объектива телескопа, или  $\alpha = \frac{140''}{D}$ , где  $D$  – диаметр объектива телескопа в миллиметрах.

2. Увеличение телескопа:

$$W = \frac{F}{f}, \text{ где } F \text{ – фокусное расстояние объектива, } f \text{ – фокусное расстояние окуляра.}$$

3. Высоты светил в кульминации:

высота светил в верхней кульминации, кульминирующих к югу от зенита ( $\delta < \varphi$ ):

$$h_{\max} = \delta + (90^\circ - \varphi);$$

высота светил в верхней кульминации, кульминирующих к северу от зенита ( $\delta > \varphi$ ):

$$h_{\max} = 90^\circ - \delta + \varphi;$$

высота светил в нижней кульминации:

$$h_{\min} = \delta - (90^\circ - \varphi),$$

где  $\varphi$  – широта места наблюдения,  $\delta$  – склонение светила.

4. 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.):

---

<sup>7</sup> Основные формулы участники олимпиады по астрономии должны помнить или уметь вывести, пользоваться списком формул во время проведения туров запрещается.

$\rho = 58'' \cdot 2 \cdot \operatorname{tg}(z)$ , где  $z$  – зенитное расстояние светила (для  $z < 70^\circ$ ).

## 5. 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  $n=6$ );

декретное время:

$T_D = T_0 + n + 1$  ч или  $T_D = T_m - \lambda + n + 1$  ч.

**6. 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.

**7. 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.

**8.** 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.

**9.** 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 во- круг 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  $m_1 \gg m_2$ ,

$$\frac{M}{m_1} = \frac{a_1^3 \cdot T_2^2}{a_2^3 \cdot T_1^2}.$$

**10.** Линейная скорость движения тела по параболической орбите (параболическая скорость):

$$v_p = \sqrt{\frac{2GM}{r}}, \text{ где } G \text{ – гравитационная постоянная, } M \text{ – масса цен-}$$

трального тела,  $r$  – радиус-вектор избранной точки параболической орбиты.

**11.** Линейная скорость движения тела по эллиптической орбите в избранной точке:

$$v = \sqrt{GM \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}, \text{ где } G - \text{ гравитационная постоянная, } M - \text{ масса центрального тела, } r - \text{ радиус-вектор избранной точки эллиптической орбиты, } a - \text{ большая полуось эллиптической орбиты.}$$

**12.** Линейная скорость движения тела по круговой орбите (круговая скорость):

$$v_c = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \frac{v_p}{\sqrt{2}}, \text{ где } G - \text{ гравитационная постоянная, } M - \text{ масса центрального тела, } R - \text{ радиус орбиты, } v_p - \text{ параболическая скорость.}$$

**13.** Эксцентриситет эллиптической орбиты, характеризующий степень отклонение эллипса от окружности:

$$e = \frac{c}{a} = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}, \text{ где } c - \text{ расстояние от фокуса до центра орбиты, } a - \text{ большая полуось орбиты, } b - \text{ малая полуось орбиты.}$$

**14.** Связь расстояний перицентра и апоцентра с большой полуосью и эксцентриситетом эллиптической орбиты:

$$r_{\Pi} = a \cdot (1 - e), \quad r_A = a \cdot (1 + e), \quad a = \frac{r_{\Pi} + r_A}{2}, \text{ где } r_{\Pi} - \text{ расстояния от фокуса, в котором находится центральное небесное тело, до перицентра, } r_A - \text{ расстояния от фокуса, в котором находится центральное небесное тело, до апоцентра, } a - \text{ большая полуось орбиты, } e - \text{ эксцентриситет орбиты.}$$

**15.** Эффект Доплера:

$$\lambda_{наб} = \lambda \cdot \left( 1 + \frac{V_{луч}}{c} \right) \text{ или } \frac{(\lambda_{наб} - \lambda)}{\lambda} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{V_{луч}}{c},$$

где  $\lambda_{наб}$  – длина волны излучения, принятая наблюдателем,  $\lambda$  – длина волны источника излучения (лабораторная длина волны),  $V_{луч}$  – проекция

скорости источника на луч зрения (лучевая скорость),  $c$  – скорость света,  $\nu$  – частота излучения ( $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ).

**16.** 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.

**17.** Радиус светила:

$$R = \frac{\rho \cdot R_{\oplus}}{\rho_0}, \text{ где } \rho \text{ – угол, под которым с Земли виден радиус диска}$$

светила (угловой радиус),  $R_{\oplus}$  – экваториальный радиус Земли,  $\rho_0$  – горизон-  
тальный параллакс светила.

**18.** Расстояние до звезд:

$$\text{в парсеках: } r = \frac{1}{\pi''}, \text{ где } \pi'' \text{ – годичный параллакс звезды, выраженный}$$

в секундах дуги;

$$\text{в астрономических единицах: } r = \frac{206265''}{\pi''}, \text{ где } \pi'' \text{ – годичный парал-}$$

лакс звезды, выраженный в секундах дуги;

$$\text{в километрах: } r = \frac{206265'' a}{\pi''}, \text{ где } \pi'' \text{ – годичный параллакс звезды, вы-}$$

раженный в секундах дуги,  $a$  – средний радиус (большая полуось) земной  
орбиты, выраженный в километрах.

**19.** Связь блеска звезды и ее звездной величины (формула Погсона):

$$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)} \text{ или } \lg \frac{I_1}{I_2} = 0,4(m_2 - m_1) \text{ или } \Delta m = 2,5 \lg \frac{I_1}{I_2},$$

где  $I_1$  – освещенность, создаваемая звездой, звездная величина которой равна  $m_1$ , и  $I_2$  – освещенность, создаваемая другой звездой, звездная величина которой равна  $m_2$ .

**20.** Абсолютная звездная величина:

$M = m + 5 - 5 \lg R$ , где  $m$  – видимая звездная величина,  $R$  – расстояние до звезды, выраженное в парсеках.

**21.** Закон Стефана–Больцмана:

$\varepsilon = \sigma T^4$ , где  $\varepsilon$  – энергия, излучаемая в единицу времени с единицы поверхности,  $T$  – абсолютная температура (в кельвинах), а  $\sigma$  – постоянная Стефана–Больцмана.

**22.** 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).

**23.** Связь светимости звезды с ее радиусом и абсолютной температурой ее фотосферы:

$$\frac{L}{L_c} = \left( \frac{R}{R_c} \right)^2 \left( \frac{T}{T_c} \right)^4, \text{ где } L \text{ – светимость звезды, } L_c \text{ – светимость Солнца,}$$

$R$  – радиус звезды,  $R_c$  – радиус Солнца,  $T$  – абсолютная температура фотосферы звезды,  $T_c$  – абсолютная температура фотосферы Солнца ( $T_c \approx 5800 \text{ K}$ ).

**24.** Закон Хаббла:

$$v = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = c \cdot z = H \cdot r, \text{ где } v \text{ – лучевая скорость удаления галактики, } c$$

– 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  $75 \text{ км / (с}\cdot\text{Мпк)}$ .

## 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 (ред. от 17.11.2016) «Об утверждении Порядка проведения всероссийской олимпиады школьников».
2. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28 августа 2018 г. № 32н (ред. от 16.11.2018) «Об утверждении перечня олимпиад школьников и их уровней на 2018/19 учебный год».
3. Методическая программа Всероссийской олимпиады школьников по астрономии. URL: <http://www.astroolymp.ru/syllabus.php/>
4. Методические рекомендации по проведению школьного и муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2018/2019 учебном году. М.: Центральная предметно-методическая комиссия по астрономии всероссийской олимпиады школьников, 2018. 33 с.
5. Требования к проведению регионального этапа по астрономии 2018/2019 учебном году (для организаторов и членов жюри). М.: Центральная предметно-методическая комиссия всероссийской олимпиады школьников по астрономии, 2018. 28 с.
6. Методический сайт всероссийской олимпиады школьников. URL: <http://vserosolymp.rudn.ru/>
7. Всероссийская олимпиада по астрономии: официальный сайт URL: <http://www.astroolymp.ru/>
8. Всероссийская олимпиада школьников: сайт министерства образования Красноярского края. URL: <http://krao.ru/pages/vos/>
9. Раздел Санкт-Петербургской астрономической олимпиады на сайте «Школьная астрономия Петербурга». URL: <http://school.astro.spbu.ru/?q=olymp>.

10. 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. 200 с.
11. Всероссийская олимпиада школьников по астрономии: содержание олимпиады и подготовка конкурсантов. Авт.-сост. О.С. Угольников. М., 2006. 136 с.
12. Бутаков С.В., Лалетин Н.В. Роль вуза в системе всероссийских предметных олимпиад школьников: монография / С.В. Бутаков, Н.В. Лалетин; АНО ВО СИБУП. Красноярск, 2017. 109 с.
13. 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. 91 с.
14. Бутаков С.В., Гурьянов С.Е. 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.
15. Сурдин В.Г. Астрономические задачи с решениями: учебное пособие. М.: Либроком, 2018. 240 с.
16. Сурдин В.Г. Астрономические задачи с решениями: учебное пособие. М.: Едиториал УРСС, 2002. 240 с.
17. Сурдин В.Г. Астрономические олимпиады. Задачи с решениями. М.: МГУ, 1995. 320 с.
18. Веселова А.В., Волобуева М.И., Пирогов М.А., Утешев И.А. Астрофизический дивертисмент. Задачи и упражнения по астрономии и астрофизике / под ред. И.А. Утешева. М.: ООО «Сам Полиграфист», 2018. 154 с.
19. Шепелев А.С., Долгов Д.А., Молчанов С.Д., Борисов С.Б. Астрардъ – краткий сборник теории по астрономии. Жуковский, 2018. 60 с.

20. Гаврилов М.Г. Звездный мир. Сборник задач по астрономии и космической физике. Черноголовка–Москва, 1998. 100 с.
21. Московские астрономические олимпиады. 1997–2002 / под ред. О.С. Угольникова и В.В. Чичмаря. М.: МИОО, 2002. 64 с.
22. Московские астрономические олимпиады. 2003–2005 / под ред. О.С. Угольникова и В.В. Чичмаря. М.: МИОО, 2005. 110 с.
23. Задачи Московской Астрономической олимпиады. 2006–2015 / под ред. М.В. Кузнецова, Н.Ю. Подорванюка и О.С. Угольникова. М., 2015. 162 с.
24. Задания олимпиад школьников Московской области по астрономии. М., 2006. 48 с.
25. Олимпиады по астрономии и космической физике: сборник задач / сост. М.Г. Гаврилов; ред. В.Г. Сурдин. М.: Бюро Квантум, 1998. 128 с. (Приложение к журналу «Квант»; № 4/1998).
26. Угольников О.С. Небо начала века. 2001–2012: астроном. справ. М.: А.Д. Сельянов, 2000. 317 с.
27. Иванов В.В., Кривов А.В., Денисенков П.А. Парадоксальная Вселенная. 175 задач по астрономии. СПб.: СПбГУ, 1997. 144 с.

## Приложение 8

### ПЕРЛовка

(перлы из работ участников олимпиады<sup>8</sup>)

- ✓ Лучше всего поставить на ось вращения.
- ✓ Т.к. я не помню формулу, по которой определяется расстояние, я составила хитрую пропорцию... И это работает!!!
- ✓ Думаю, по составу она должна быть похожа на Землю, хотя кто ее знает.
- ✓ Период обращения Земли вокруг своей оси относительно солнца равен 24 ч, а относительно звезд 23 ч 56 минут. Это связано с тем, что чтобы сравнить время относительно солнца нам приходится доворачивать.
- ✓ Шар – симметричная фигура, поэтому мы повернем его таким образом...
- ✓ Исключение из прямоугольника труднозаметно и трудноизобразимо на конечном рисунке.
- ✓ Истинный солнечный полдень подразумевает, что лучи Солнца падают под прямым углом.
- ✓ Известно, что земная орбита не имеет формы идеальной окружности – с одного конца (большая полуось) она более вытянута, чем с другого.
- ✓ Мой не самый наглядный рисунок не самым наглядным образом объясняет, что, так как Луна меньше Земли, она должна находиться под определенным углом к экватору, чтобы находиться на одинаковом с Землей расстоянии от Солнца.
- ✓ А вот как найти этот чёртов угол, я понятия не имею.
- ✓ Из чего можно сделать вывод, что сидерический период обращения астероида равен 6 годам. А больше нам и не нужно.

---

<sup>8</sup> Сохранены авторская орфография, стилистика и пунктуация.

- ✓ По третьему закону парня с фамилией на букву «К» имеем...
- ✓ А что такое эксцентриситет, я как-то подзабыл.
- ✓ Пришло время определить разрешение (забыл, какую букву используют для разрешения, допустим, что  $\alpha$ ).
- ✓ Верхняя кульминация будет происходить на одном небесном меридиане.
- ✓ Так как оптическая звезда входит в двойную систему с темным компактным объектом, то можно пренебречь размерами и видимостью объекта.
- ✓ Так как небесная сфера – это сфера, то лучевой скоростью и движением можно пренебречь.
- ✓ Противостояния Сатурна не произойдет, так как будет переход месяцев от декабря к январю.
- ✓ Для того, чтобы знать, где звезды видны, нужно в первую очередь знать, где они не видны.
- ✓ Здесь получается что-то странное...
- ✓ Все звезды чуть-чуть смещаются на небе за год, а эта звезда, как геостационарный спутник зависла над Землей и не движется. Только спутники зависают над определенной точкой на Земле.
- ✓ Чтобы увидеть эти 2 звезды, нужно чтобы долгота отличалась менее чем на 90 (иначе мешает земной шар)...
- ✓ Звезду Арктур чаще можно встретить в северных широтах.
- ✓ В «дыру», соответствующую Канопусу, мог пролезть человек, но он должен быть ребенком.
- ✓ Звезды будут находится на одной ровной окружности.
- ✓ Телескоп ГАЛ-1 не сможет увидеть ни одну звезду млечного пути, так как видимое расстояние очень маленькое.
- ✓ Я вижу примерно до 3-й величины (до  $3^m$ ), поэтому пишу про себя, сколько бы звезд увидел бы я.

✓ Общей особенностью пяти данных созвездий является то, что все они входят в карту звездного неба и периодически видны на небе.

✓ По некоторым данным мне стало известно, что возможно происходил в этот день «Парад планет». А Марс – это тоже планета, возможно здесь имелось в виду это. Но из-за того, что это невозможно чисто физически, вряд ли является верным ответом.

✓ Земные планеты (Земля, Марс, Венера, Юпитер);

Неземные (Сатурн, Меркурий);

Планеты поздно открытые (Нептун, Уран);

В конфигурации Юпитера.

✓ Это явление невозможно наблюдать как в ясной, так и в пасмурной погоде, так как из-за туманности в созвездии Скорпиона, нельзя увидеть, как Юпитер будет проходить через него...

✓ Как известно, противостоянием называют явление, когда планеты и звезды собираются в точки, лежащие на одной прямой.

✓ Конфигурация планет – это когда планеты с разных осевых линий встают друг за другом. Комету Энке можно наблюдать, когда она пролетает в момент конфигурации.

✓ Дольше будет наблюдаться в эллипсоидной и эксцентрической.

✓ В атмосферу Земли постоянно врезаются микрометеориты, метеориты и болиды. ... Этот процесс идет постоянно и происходит по закону, открытому Шмидтом (известный ученый). ...

✓ То, что Земля постоянно растет, доказывают тем, что археологи должны снять большие пласты более поздних наслоений, чтобы добраться до первоначальных.

✓ P.S. А говорили, сюда случайно не попадают ☺.

*Учебное издание*

Сергей Владимирович Бутаков

Сергей Егорович Гурьянов

ЗАДАНИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПА  
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ  
В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

2014–2018 годы

Учебное пособие

Редактор Н.А. Агафонова

Корректор А.П. Малахова

Компьютерная верстка Т.О. Бормова

660049, г. Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89.

Редакционно-издательский отдел КГПУ им. В.П. Астафьева,

тел. (391) 217-17-52

Подписано в печать 07.05.19. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Усл. печ. л. 11,9. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии «ЛИТЕРА-принт»,

т. 295-03-40



Ursa Major

Lynx

Leo Minor

Castor

Pollux

Gemini

Leo

Cancer

Regulus

Canis minor

Procyon

Beltrius

Virgo

Hydra

Monoceros

Crater

Sirius

Hydra

Canis major

Antlia

Puppis

Vela

Canis

Canopus