

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный педагогический
университет им. В.П. Астафьева»
Филиал ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный
педагогический университет им. В.П. Астафьева» в г. Железногорске

С.В. Бутаков

**МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ
ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ
В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ
1997–2008 ГОДЫ**

Учебно-методическое пособие

Красноярск 2012

ББК 74.200.58+74.262.26

Б 93

Печатается по решению редакционно-издательского совета ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева»

Рецензенты:

Е.В. Штыр,

главный специалист министерства образования и науки Красноярского края

С.В. Карнов,

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Б 93 Бутаков С.В.

Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае. 1997–2008 годы: учебно-методическое пособие / С.В. Бутаков. Изд. 2-е, испр. – Красноярск: РИО КГПУ им. В.П. Астафьева, 2012. – 91 с.: 14 ил.; 4 табл.; 20 наимен. библи.

Пособие содержит комплекты заданий с решениями, предлагавшиеся на втором (муниципальном) этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае в период с 1997 по 2008 гг. и методические рекомендации по организации и проведению муниципального этапа олимпиады по этому предмету. Предназначено для учителей школ, готовящих школьников к участию в олимпиадах, организаторов олимпиад школьников – завучей школ, специалистов муниципальных органов управления образованием, занимающихся работой с одаренными учащимися, а также студентов педагогических специальностей вузов.

ББК 74.200.58+74.262.26

ISBN 978-5-85981-362-9

© ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева», 2012

© Филиал ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева» в г. Железногорске, 2012

© Бутаков С.В., 2012

Содержание

Предисловие	5
Методические рекомендации по проведению муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии	8
Условия задач	20
Задания 1997–1998 учебного года	20
Задания 1998–1999 учебного года	21
Задания 1999–2000 учебного года	21
Задания 2000–2001 учебного года	22
Задания 2001–2002 учебного года	23
Задания 2002–2003 учебного года	24
Задания 2003–2004 учебного года	25
Задания 2004–2005 учебного года	29
Задания 2005–2006 учебного года	31
Задания 2006–2007 учебного года	32
Задания 2007–2008 учебного года	34
Задания 2008–2009 учебного года	36
Решения задач	38
Решения заданий 1997–1998 учебного года	38
Решения заданий 1998–1999 учебного года	40
Решения заданий 1999–2000 учебного года	41
Решения заданий 2000–2001 учебного года	43
Решения заданий 2001–2002 учебного года	45
Решения заданий 2002–2003 учебного года	49
Решения заданий 2003–2004 учебного года	52
Решения заданий 2004–2005 учебного года	56
Решения заданий 2005–2006 учебного года	60
Решения заданий 2006–2007 учебного года	63

Решения заданий 2007–2008 учебного года.....	66
Решения заданий 2008–2009 учебного года.....	68
ПРИЛОЖЕНИЯ	71
Приложение 1. Вопросы по астрономии, рекомендуемые Центральной предметно-методической комиссией всероссийской олимпиады школьников по астрономии для подготовки школьников к решению задач этапов олимпиады.....	71
Приложение 2. Справочные данные	78
Приложение 3. Карта звездного неба	82
Приложение 4. Памятка участника олимпиады	83
Приложение 5. Некоторые основные формулы	85
Список литературы, рекомендуемой при подготовке к олимпиаде по астрономии	90

Предисловие

Ежегодно по инициативе Министерства образования и науки Российской Федерации проводится всероссийская олимпиада школьников по астрономии, в которой участвуют школьники общеобразовательных учреждений России.

Основными целями и задачами олимпиады являются выявление и развитие у обучающихся творческих способностей и интереса к научно-исследовательской деятельности, создание необходимых условий для поддержки одаренных детей, пропаганда научных знаний.

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

Первый этап – школьный – проводится общеобразовательными учреждениями в октябре каждого учебного года.

Второй этап – муниципальный – проводится органами местного самоуправления муниципальных и городских округов в сфере образования в ноябре–декабре каждого учебного года.

Третий этап – региональный – проводится в субъектах Российской Федерации органами государственной власти субъектов Российской Федерации в сфере образования в январе–феврале каждого учебного года.

Заключительный этап проводится Федеральным агентством по образованию в апреле каждого учебного года.

Первая Российская олимпиада школьников по астрономии и космической физике состоялась в 1994 году, став восьмой в единой системе общероссийских олимпиад наряду с олимпиадами по математике, физике, химии, биологии, информатике, географии и экономике. Олимпиада про-

ходила в Ярославле, и в ней участвовал 61 школьник 7–11 классов со всей страны. В 2011 году в Анапе прошел заключительный этап уже 18 всероссийской олимпиады школьников по астрономии, в котором приняли участие 145 учащихся 9–11 классов из 44 регионов России.

По результатам заключительного этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии формируется сборная команда, представляющая Россию на Международной астрономической олимпиаде. Она проводится ежегодно осенью в одном из астрономических центров государственных участников. Первая (экспериментальная) Международная олимпиада астрономического общества состоялась в рамках III Осенней астрономической школы в Специальной астрофизической обсерватории РАН (Россия, п. Нижний Архыз) в ноябре 1996 г. В последующие годы Международные астрономические олимпиады проходили, кроме России, в таких странах, как Украина, Швеция, Китай, Индия, Италия, и в них принимали участие школьники из 23 стран мира.

Однако история олимпиадного движения по астрономии в нашей стране началась еще в XIX веке с «Олимпиад для учащейся молодежи», которые проводило Астрономическое общество Российской Империи. Из ныне существующих астрономических олимпиад уже более шестидесяти лет, начиная с 1947 года, проводится Московская астрономическая олимпиада для школьников Москвы и Московской области.

В настоящее время, помимо официальных олимпиад, являющихся частью Российской системы олимпиадного движения, проводятся ряд других интеллектуальных соревнований школьников по астрономии, такие, как Российская открытая заочная школьная астрономическая олимпиада, которая проводится с 2005 года (решением организаторов и жюри эта олимпиада приостановлена); Азиатско-тихоокеанская астрономическая олимпиада, впервые состоявшаяся в городе Иркутске в 2005 году; олимпиады наукоградов и научных центров (ННЦ), проводимые под Москвой в научном

центре «Черноголовка» Российской Академии наук, астрономия на которых присутствует с 1986/87 учебного года; Русский Международный астрономический турнир школьников, впервые организованный в 2006 году и представляющий собой лично-командное состязание школьников старших классов в умении решать сложные исследовательские и научные проблемы.

В Красноярском крае первые районная и краевая олимпиады по астрономии были проведены в 1997–1998 учебном году в рамках всероссийской олимпиады школьников. С тех пор олимпиады по астрономии в Красноярском крае проводятся ежегодно, за исключением 2000–2001 и 2002–2003 учебных годов, когда оргкомитет краевых олимпиад принял решение не проводить региональный (краевой) этап олимпиады по астрономии в связи с большим количеством предметных олимпиад и сложностей с размещением их участников.

В апреле 2002 года Красноярский край принял участников заключительного этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии и физике космоса. Олимпиада проводилась одновременно в двух городах: в Железногорске (Красноярский край) – для учащихся регионов Сибири и Дальнего Востока и в Сыктывкаре (Республика Коми) – для школьников европейской части России. В г. Железногорск съехались 29 школьников из 5 регионов Сибири (Красноярский край, Новосибирская область, Томская область, Кемеровская область, Иркутская область). Задания были едиными для участников в Сыктывкаре и Железногорске, а подведение итогов и распределение мест производилось по единому протоколу жюри.

Пособие содержит методические рекомендации по проведению муниципального этапа олимпиады по астрономии и комплекты заданий с решениями, предлагавшиеся на втором (муниципальном) этапе всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Красноярском крае, начиная с первой олимпиады, в период с 1997–1998 по 2008–2009 учебные годы. Составителями комплектов заданий являлись: ведущий научный сотрудник

Института физики им. Л.В. Киренского д.ф.-м.н. С.В. Карпов (задания 1997–1998 учебного года) и научный сотрудник Института физики им. Л.В. Киренского доцент кафедры теоретической физики Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева к.т.н. С.В. Бутаков (задания последующих лет). В сборник также включены приложения, содержащие справочные материалы и вопросы по астрономии, рекомендуемые Центральной предметно-методической комиссией всероссийской олимпиады школьников по астрономии для подготовки учащихся к решению задач различных этапов олимпиады.

Методические рекомендации по проведению муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии¹

Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии является важным звеном в подготовке учащихся к участию в олимпиадах более высокого уровня. Целью муниципального этапа олимпиады является поощрение у школьников интереса к изучению астрономии и выделение талантливых ребят для участия в последующих этапах всероссийской олимпиады.

Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников проводится муниципальными органами управления образованием с 15 ноября по 15 декабря каждого учебного года. Конкретные даты проведения этого этапа устанавливаются организатором муниципального этапа олимпиады – министерством образования и науки Красноярского края.

Для проведения муниципального этапа олимпиады муниципальными органами управления образованием создаются оргкомитет, предметно-методическая комиссия и жюри муниципального этапа олимпиады. Чис-

¹ Составлены с учетом методических рекомендаций Центральной предметно-методической комиссии по астрономии всероссийской олимпиады школьников.

ленность жюри должна составлять не менее трех человек, включая председателя. В случае большего количественного состава жюри также назначается заместитель председателя жюри. Жюри олимпиады рекомендуется формировать из членов краевой предметно-методической комиссии по составлению олимпиадных задач, преподавателей астрономии и студентов вузов, учителей астрономии.

В муниципальном этапе олимпиады могут принимать участие учащиеся 7–11 классов общеобразовательных учреждений – победители и призеры школьного этапа олимпиады текущего учебного года, а также победители и призеры муниципального этапа олимпиады предыдущего учебного года, если они продолжают обучение в образовательных организациях. Рекомендуется проводить этот этап в четырех возрастных параллелях: 7–8, 9, 10 и 11 классы.

Муниципальный этап олимпиады проводится в соответствии с требованиями к проведению данного этапа олимпиады и по олимпиадным заданиям, которые разрабатываются краевой предметно-методической комиссией по астрономии, созданной министерством образования и науки Красноярского края, с учетом методических рекомендаций Центральной предметно-методической комиссии по астрономии всероссийской олимпиады школьников. Комплект заданий муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии для учащихся 11 класса, как правило, состоит из 6 теоретических заданий, для учащихся 10 класса и более младших школьников – из 5. Из них, как правило, 3–4 задания имеют односложную структуру решения, связанную с применением одного-двух астрономических фактов или физических законов (задания первой категории) и 2–3 задания второй категории, требующие последовательного применения сразу нескольких фактов или законов.

Согласно концепции Центральной предметно-методической комиссии по астрономии всероссийской олимпиады школьников большинство

олимпиадных задач должно быть ориентировано на уровень дополнительного образования по астрономии, выходящей за рамки программы средней школы, но не требующей знаний по физике или математике за пределами школьной программы. Однако краевая предметно-методическая комиссия по астрономии, особенно в последние годы, в целях привлечения учащихся районов края к участию в олимпиаде при разработке комплекта заданий для муниципального этапа старается не выходить за рамки общеобразовательной программы по астрономии. Задания муниципального этапа олимпиады обычно доступны для интересующегося астрономией школьника и содержат познавательные элементы, побуждающие участников по ее окончании к дополнительному изучению материала. Тематика заданий для 9, 10 и 11 классов выбирается исходя из списка вопросов, рекомендуемых Центральной предметно-методической комиссией всероссийской олимпиады школьников по астрономии для подготовки школьников к решению задач этапов олимпиады, приведенных в Приложении 1. Так как муниципальный этап проводится в первой половине учебного года, задания ориентированы на программу предыдущих лет и первые пункты программы текущего года. При составлении заданий для 7–8 классов используется тематика первых пунктов списка вопросов вместе с основными начальными астрономическими понятиями и фактами, входящими в программу предмета «природоведение» и других естественнонаучных предметов. Каждое из заданий связано с разными вопросами из указанного списка. На этот же список вопросов следует ориентироваться при подготовке школьников к участию в различных этапах олимпиады по астрономии.

Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии проводится в один теоретический тур, проходящий в один день, и начинается, как правило, в 10.00. Участники олимпиады и сопровождающие их лица должны быть предупреждены о необходимости прибыть на место проведения муниципального этапа не менее чем за 20–30 минут до

его начала. Перед началом тура проводится предварительное собрание в конференц-зале или иной большой аудитории учреждения, в котором проводится олимпиада, где оглашаются правила ее проведения, представляется состав оргкомитета и жюри. После этого участники олимпиады распределяются по аудиториям.

Для проведения муниципального этапа олимпиады организационный комитет предоставляет аудитории в количестве, определяемом числом участников олимпиады. Аудитории должны соответствовать всем техническим и санитарным требованиям, в них должны быть обеспечены условия для нормальной работы участников олимпиады в течение всего мероприятия. В каждой аудитории должны находиться не более 15 участников, каждый из которых должен сидеть за отдельной партой. Рекомендуется участников олимпиады по каждой возрастной группе размещать в разных аудиториях. Для жюри на весь день проведения олимпиады оргкомитетом должно быть предоставлено отдельное помещение.

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

Перед началом работы каждому участнику олимпиады выдают тетрадь, на обложке которой участники должны указать свою фамилию, имя и отчество, номер класса и школы, населенный пункт. Участникам олимпиады запрещается писать свои личные данные на внутренних страницах тет-

ради. Представитель организационного комитета проставляет на обложку и первую страницу тетради каждого участника идентичный шифр.

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 14 пт, позволяющий читать условия также школьникам с ослабленным зрением. Написание условий на доске в аудитории не допускается. Время решения комплекта заданий составляет 4 часа. Участники начинают выполнять задания со второй 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 шифр, 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 любыми своими канцелярскими принадлежностями наряду с выданными оргкомитетом.
2. Пользоваться собственным непрограммируемым калькулятором, а также просить наблюдателя временно предоставить ему калькулятор.
3. Обращаться с вопросами по поводу условий задач, приглашая к себе наблюдателя поднятием руки.
4. Принимать продукты питания.
5. Временно покидать аудиторию, оставляя у наблюдателя свою тетрадь.

Во время работы над заданиями участнику запрещается:

1. Пользоваться мобильным телефоном (в любой его функции).
2. Пользоваться программируемым калькулятором или переносным компьютером.

3. Пользоваться какими-либо источниками информации, за исключением листов со справочной информацией, раздаваемых оргкомитетом перед туром (Приложение 2).

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.

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

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

Перед началом проверки работ представители оргкомитета отделяют обложки от тетрадей с указанием персональных данных и шифра участников. Шифрованные тетради с решениями заданий передаются в комнату жюри.

Во время проведения тура, до начала проверки работ, проводится рабочее совещание жюри, на котором представитель оргкомитета рассказывает об основных правилах проведения олимпиады, правилах подхода жюри к оценке работ, системе оценок, отвечает на вопросы, а члены жюри знакомятся с условиями и правильными решениями задач. Рекомендуется членам жюри самостоятельно провести решения заданий. Далее жюри 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 членами жюри. При проверке работ жюри использует решения и рекомендации краевой предметно-методической комиссией 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. В некоторых случаях за оригинальность идей, расширяющих и дополняющих правильное решение задачи, допускается выставление оценок в 9 баллов. Жюри выставляет оценки на первой странице тетради участника.

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

Основные правила проверки работ следующие:

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

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

3. В случае отсутствия или неполноты решения в черновике следует просмотреть черновик. Решения и рассуждения, сделанные в черновике, также оцениваются, если они не противоречат изложению в чистовике. Од-

нако если в черновике и чистовике приведены взаимоисключающие решения, оценивать следует только «чистовое» решение.

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

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

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

Общая оценка участника получается путем суммирования оценок за решение всех заданий для возрастной параллели. Если решение задания не-

зависимо проверяется несколькими членами жюри, оценка получается усреднением оценок, выставленных членами жюри за это задание.

Максимальная оценка за весь этап (без учета дополнительных баллов) в параллели 11 классов за шесть заданий составляет 48 баллов, в параллелях 10 классов и более младших школьников, в случае пяти заданий, – 40 баллов.

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

По окончании работы жюри передает тетради в оргкомитет. Оргкомитет соединяет тетради с обложками на основе шифра и проводит усреднение и суммирование оценок участников по каждой из задач. После этого оргкомитетом для каждой возрастной параллели заполняется протокол, представляющий собой ранжированный список участников, расположенных по мере убывания набранных ими суммарных оценок с указанием персональных данных участников и их оценок за каждое из заданий. Участники с равным количеством баллов располагаются в алфавитном порядке.

Затем протоколы вывешиваются для ознакомления участников с предварительными результатами.

Одним из важных моментов проведения олимпиады является разбор задач и проведение апелляций.

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

После ознакомления с предварительными результатами, участники, в случае возникновения вопросов по оценке какого-либо задания, могут за-

писаться в оргкомитете на апелляцию, указав номера апеллируемых заданий.

Жюри рассматривает апелляции в процессе индивидуальной беседы членов жюри, проверявших ту или иную задачу с каждым из записавшихся на апелляцию участников. Важно отметить, что предметом разговора могут быть только те мысли, которые нашли отражение в тетради. В процессе беседы член жюри может изменить оценку за задание.

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, письменно изложенную в решении. Мысли, не нашедшие отражения в работе, не могут обсуждаться. Также не могут быть предметом обсуждения и критерии оценки задач.

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 выписки из протокола, не содержащие персональных данных, с указанием лишь суммарных оценок.

В соответствии с Положением о всероссийской олимпиаде школьников [1] победителем муниципального этапа олимпиады в каждой из возрастных параллелей считается участник, набравший наибольшее количество баллов при условии, что количество набранных ими баллов превышает половину максимально возможных.

В случае, если в какой-либо из возрастных параллелей двое или более участников набрали равное количество баллов, превышающее половину максимально возможных и превосходящее число баллов, набранное други-

ми участниками, их работы (без обложки с указанием персональных данных) возвращаются в жюри, каждый член которого независимо проверяет решение каждого задания. На основе этого выставляется новая усредненная оценка с учетом дробных баллов, также заносящихся в протокол. Если после этой процедуры суммарное количество баллов вновь оказывается равным, жюри проводит прения, на основе которых устанавливается единственный победитель, суммарная оценка которого должна быть больше, чем у других участников.

В случае, когда победители не определены, на муниципальном этапе олимпиады определяются только призеры.

Количество призеров муниципального этапа олимпиады определяется, исходя из квоты победителей и призеров, установленной министерством образования и науки Красноярского края.

Призерами муниципального этапа олимпиады в пределах установленной квоты становятся все участники, следующие в итоговом протоколе по возрастной группе за победителем.

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

Итоговые оценки каждого участника с указанием оценки за каждое задание олимпиады и решения по вручению дипломов победителей и призеров олимпиады заносятся в итоговый протокол, который составляется оргкомитетом отдельно для каждой из трех возрастных параллелей, и подписывается председателем и всеми членами жюри.

По окончании олимпиады жюри представляет в оргкомитет муниципального этапа аналитические отчеты о результатах проведения олимпиады.

Список победителей и призеров муниципального этапа олимпиады утверждается муниципальным органом управления образованием. Победители и призеры муниципального этапа олимпиады награждаются дипломами I и II степени, соответственно. Оргкомитетом муниципального этапа могут учреждаться дополнительные специальные призы и грамоты для участников олимпиады.

Победители и призеры муниципального этапа олимпиады по астрономии текущего учебного года – учащиеся 9–11 классов, в пределах квоты, устанавливаемой министерством образования и науки Красноярского края, приглашаются для участия в региональном этапе олимпиады.

Условия задач

Задания 1997–1998 учебного года

1. Взрыв Тунгусского метеорита наблюдался в г. Киренске (Иркутская область) на горизонте, примерно в 330 км от места взрыва. На какой высоте над земной поверхностью взорвался метеорит? Атмосферную рефракцию не учитывать.

2. Космический корабль опустился на астероид, диаметр которого 1 км и средняя плотность $2,5 \cdot 10^3$ кг/м³. Космонавты решили объехать на вездеходе астероид по экватору за 2 часа. Смогут ли они это сделать?

3. На месте взрыва сверхновой 1987 г. в Большом Магеллановом Облаке был обнаружен оптический пульсар с периодом 0,002 с. Полагая, что невозможно движение со скоростью больше скорости света, оцените размер пульсара. К какому классу звезд принадлежит этот компактный объект?

4. Какой должна была бы быть длина пушки в романе Жюль Верна «Из пушки на Луну», чтобы путешественники испытали при выстреле ускорение не более 10g? Во сколько раз увеличится вес человека во время выстрела?

5. Угловой диаметр солнечного пятна округлой формы, наблюдаемого невдалеке от центра диска Солнца, составляет 17". Каковы его действительные размеры?

6. Космический телескоп способен зарегистрировать значительно менее яркие звезды, чем наземный телескоп такого же размера. Почему?

Задания 1998–1999 учебного года

1. Как изменилась бы орбита Земли, если бы а) масса Солнца внезапно уменьшилась вдвое, б) масса Земли увеличилась бы вдвое.

2. Какое количество звезд (с точностью до целого числа) 4-й, 5-й, и 16-й звездной величины могут дать столько же света, сколько дает одна звезда 1-й величины?

3. В полдень длина тени вертикального стержня была равна его высоте. Вычислите географическую широту места наблюдения, зная, что склонение Солнца составляло $+15$ градусов.

4. Плоскость орбиты Луны наклонена на 5 градусов к плоскости эклиптики. На какое минимальное угловое расстояние на небесной сфере (в градусах) Луна может подходить к Северному полюсу мира?

5. На какое максимальное угловое расстояние от Солнца может удаляться Земля для наблюдателя, находящегося на астероиде, который движется по круговой орбите с периодом $T=3$ года? Как зависит ответ от наклона плоскости орбиты астероида?

Задания 1999–2000 учебного года

1. Во сколько раз меньше солнечной энергии получают участки одинаковой площади, ориентированные перпендикулярно солнечным лучам, на поверхности Марса, чем на Земле? А на поверхности Плутона?

2. Некто уверял, что его знакомый, живущий в Красноярске ($\varphi = 56^{\circ}01'$), видел днем звезду Капеллу ($\delta = 46^{\circ}$) из очень глубокого колодца. Могло ли это быть? Ответ поясните.

3. Параллакс Веги равен $0,12''$, а звездная величина – 0^m . На каком расстоянии от Солнца вблизи прямой Солнце-Вега должен находиться наблюдатель, чтобы эти две звезды были для него одинаково яркими? Видимая звездная величина Солнца равна $-26,8^m$.

4. Звезда движется со скоростью 10 км/с. Оцените, сколько парсек она пройдет за миллион лет.

5. Луна восходит не менее двух минут, если ее наблюдать на Земле. В течение какого времени восходит Земля для наблюдателя на Луне?

Задания 2000–2001 учебного года

1. Может ли синодический период обращения некоторой планеты (с точки зрения земного наблюдателя) быть равен ее сидерическому периоду обращения: а) для внутренней планеты; б) для внешней планеты?

2. Определить угловой диаметр Урана при наблюдениях с Земли в момент максимального сближения планет, если период обращения Урана составляет 84 года, его радиус $24\ 800$ км. При решении задачи воспользоваться необходимыми параметрами Земли.

3. Земля имеет отражательную способность в 6 раз большую, чем Луна. Во сколько раз земное освещение на Луне больше, чем лунное освещение на Земле? Диаметр Луны составляет $0,273$ земного.

4. Плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости эклиптики на $5^\circ 09'$. На каком минимальном зенитном расстоянии можно наблюдать Луну на широте Красноярска ($56^\circ 01'$)?

5. Оцените, какую часть своей массы теряет Солнце с излучением за сутки.

Задания 2001–2002 учебного года²

1. Какие объекты Солнечной системы могут (хотя бы иногда) наблюдаться в созвездии Большой Медведицы?

2. Существует народная примета, что если месяц «лежит на боку» (Рис. 1 а), то будет тепло, а если «стоит» прямо, как бы нахохлившись (Рис. 1 б), то будет холодно. Верна ли эта примета с астрономической точки зрения? Свой ответ научно обоснуйте.



Рис. 1

3. В какое местное (среднее солнечное) время точка весеннего равноденствия находится в верхней кульминации через три недели после дня осеннего равноденствия?

4. Где и насколько выше Солнце поднимается над горизонтом 22 июня – в Кито (Эквадор, 79° з.д., широта 0°) или в Сочи (Россия, 40° в.д., 44° с.ш.)?

5. Сможет ли человек с нормальным зрением, попав на Нептун, увидеть Солнце в виде диска? (Минимальный угловой размер, различимый глазом, приблизительно равен 1', среднее расстояние от Солнца до Нептуна равно $4,50 \cdot 10^9$ км, а линейный радиус Солнца – $6,96 \cdot 10^5$ км).

² Рекомендуемые задачи для 8 класса (и младше) – 1-6; для 9 класса – 2-7; для 10 класса – 3-8; для 11 класса – 4-9.

6. Как известно, примерно два раза в сутки по Земле проходят большие приливные волны. Вычислите точнее, с каким периодом повторяются приливы.

7. Насколько процентов меняется за сутки скорость наблюдателя, находящегося в Магадане (широта 60° с.ш.) относительно Солнца вследствие осевого вращения Земли?

8. Известен период изменения блеска пульсирующей звезды $T=10$ сут. Определить массу звезды, если ее средний радиус составляет $5 \cdot 10^{11}$ см. Считать звездные пульсации аналогичными колебаниям математического маятника.

9. Из наблюдений за блеском затменно-двойной звезды известно, что ее период составляет 2,2 суток. Продолжительность затмения 8 часов, а продолжительность полной фазы затмения 2 часа. Звездная величина в максимуме $M=8,0^m$, а во время полной фазы затмения $m=10,5^m$. Определить: а) размеры каждой из звезд системы, выраженные в долях расстояния между ними; б) относительный блеск каждой из звезд системы, выраженный в долях полного блеска системы.

Задания 2002–2003 учебного года³

1. Опишите вид звездного неба сегодня вечером в 23 часа при условии хорошей погоды.

2. Фотографическая камера Шмидта имеет поле зрения $7.5^\circ \times 7.5^\circ$. Оцените, сколько фотографий нужно получить этой камерой, чтобы по-

³ При решении задач разрешается пользоваться подвижной картой звездного неба (Приложение 3).

крыть все небо (сделайте, пожалуйста, оценку минимального и максимального числа фотоснимков). Объясните ваши вычисления.

3. Корабль запускается с Земли к Марсу по гомановской орбите (половина эллипса, касательного к орбитам двух планет). Изобразите на чертеже приблизительные положения Земли и Марса на их орбитах в момент старта и в момент окончания полета на Марс, а также орбиту корабля. Отношение радиусов орбит планет примерно $3/2$.

4. Вновь открытая малая планета из пояса Койпера (в районе орбиты Плутона) имеет диаметр около 600 км. Почему же такой большой объект открыли только сейчас, в то время как даже маленькие астероиды из пояса «классических» астероидов открыли уже давно? Оцените размеры такого «классического» астероида, блеск которого сравним с блеском вновь открытой малой планеты.

5. Среднее расстояние Венеры от Солнца составляет 108 млн. км. На какое наибольшее угловое расстояние удаляется Луна от Земли при наблюдениях с Венеры?

6. Оцените примерную ширину метеорного потока Персеид в километрах, зная, что они наблюдаются с 17 июля по 24 августа.

Задания 2003–2004 учебного года⁴

Задачи Красной планеты

В последние дни августа, когда вы еще находились на каникулах, почти все средства массовой информации сообщали, что в Солнечной системе произошло уникальное явление – «Величайшее» противостояние Марса.

⁴ Рекомендуемые задачи для 8-10 классов – 1,2,4,5,6; для 11 класса – 1-6. При решении задач разрешается пользоваться подвижной картой звездного неба (Приложение 3).

27 августа Марс находился на наименьшем расстоянии от Земли за последние несколько десятков тысяч лет – 55,8 миллионов километров! Следующее такое противостояние состоится только через 284 года – в конце августа 2287 года!

Определите, используя эту информацию, общеизвестные табличные данные о планетах, ну и, конечно, знания, условия видимости Марса в конце августа 2003 г.

1. Не пользуясь эфемеридами, определите, в каком созвездии находился Марс в день великого противостояния. Укажите наиболее благоприятное время для наблюдений Марса в этот момент и в какой стороне неба он при этом находился.

2. Во сколько раз угловой диаметр Марса в момент наибольшего сближения с Землей в августе 2003 года был больше, чем в среднем противостоянии? Сравните угловой диаметр Марса во время великого противостояния 2003 г. с угловыми диаметрами других планет, видимых невооруженным глазом, в их среднем противостоянии или элонгации.

Указание: Средним противостоянием планеты считать противостояние, при котором $D_0=a$, $d_0=(a-1)$, где D_0 – расстояние от Солнца до планеты, d_0 – расстояние от планеты до Земли, a – большая полуось орбиты планеты в астрономических единицах. Необходимые данные для решения задачи возьмите из таблицы 1.

3. Вычислите звездную величину Марса во время наибольшего сближения с Землей в августе 2003 года и сравните ее со звездными величинами других планет в их среднем противостоянии или элонгации, зная, что Марс в тот момент находился на расстоянии 1,382 а.е. от Солнца. Во сколько раз Марс во время Великого противостояния 2003 г. был ярче, чем в среднем противостоянии?

Указание: см. указание к задаче 2.

4. Газета «Комсомольская правда» 8 февраля 1989 г. впервые в Советском Союзе опубликовала фотографию участка марсианской поверхности в районе Сидонии (Cydonia), которая была передана на Землю американской автоматической межпланетной станцией «Викинг». На фотографии видно изображение так называемого «марсианского сфинкса» – скалы высотой 300 м и поперечником 1,5 км, очень напоминающей человеческое лицо. Можно ли было увидеть «сфинкса» во время наибольшего сближения Марса с Землей в один из крупнейших в мире телескопов с диаметром зеркала 10 метров, который расположен на Гавайских островах?

5. Великие противостояния Марса в среднем повторяются раз в 15–17 лет. В этом столетии будет еще 7 великих противостояний: 27 июля 2018 г., 15 сентября 2035 г., 14 августа 2050 г., 13 июля 2065 г., 2 октября 2067 г., 1 сентября 2082 и 31 июля 2097г., однако во время этих противостояний расстояние между Марсом и Землей будет больше, чем в 2003 г. Объясните, почему великие противостояния Марса происходят в основном летом?

6. Оцените, на каком расстоянии от Земли находится Марс сегодня, в день проведения олимпиады?

Указание: Необходимые данные возьмите из таблицы 1 и из условий к предыдущим задачам.

P.S. Сегодня Марс уже далеко от Земли, но все-таки посмотрите на него в телескоп хотя бы потому, что за 4 часа, решая Задачи Красной планеты, вы самостоятельно нашли ответы на некоторые его загадки!

Таблица 1. Некоторые основные характеристики планет Солнечной системы⁵

Планета	Среднее расстояние от Солнца в а.е.	Сидерический период обращения в троп. годах (365,24 д)	Эксцентриситет орбиты	Наклон орбиты к эклиптике	Экваториальный диаметр в км	Масса (10^{27} г.)	Средняя плотность г/см ³	Период вращения вокруг оси	Альбедо	Звездная величина*
Меркурий	0,387	0,241	0,206	7°00′	4 879	0,33	5,45	58с.15ч.30м.	0,06	+0,16
Венера	0,723	0,615	0,007	3°24′	12 104	4,87	5,25	243с.03ч.50м.**	0,78	-4,07
Земля	1,000	1,000	0,017	0°00′	12 756	5,97	5,52	23с.56ч.04м.	0,36	—
Марс	1,524	1,880	0,093	1°51′	6 794	0,64	3,89	24с.37ч.23м.	0,15	-1,85
Юпитер	5,203	11,862	0,048	1°18′	141 796	1898	1,35	9с.50ч.40м.	0,67	-2,23
Сатурн	9,539	29,458	0,054	2°29′	120 000	568	0,70	10с.14ч.24м.	0,69	+0,89 -0,18
Уран	19,191	84,015	0,046	0°46′	50 800	87	1,30	10с.49ч.**	0,75	+5,74
Нептун	30,071	164,788	0,008	1°46′	48 600	103	1,71	15с.48ч.	0,60	+7,65
Плутон	39,518	247,697	0,253	17°08′	2 600	0,01	1,4	6с.09ч.17м.	0,5	+14,7

⁵ Бронштэн В.А. Планеты и их наблюдение. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1979.

* Звездная величина для внешних планет указана в среднем противостоянии, для внутренних – в элонгации, для Сатурна даны два значения: при наименьшем и наибольшем раскрытии колец.

** Вращение обратное.

Задания 2004–2005 учебного года⁶

1. В последнее время в прессе все чаще появляются «сенсационные» публикации о том, что американцы не были на Луне. Больше всего сомневаются в реальности проекта «Apollo» («Аполлон») сами американцы, которые считают, что правительство их всегда обманывает, скрывая секреты «Летающих тарелок», убийства Дж. Кеннеди и т.п. Чтобы убедиться в том, что человек действительно высаживался на Луну, один из сомневающихся американцев, «расследователей Лунной фальсификации», Билл Кейсинг предлагает: «Я хотел бы пригласить NASA и всех его сторонников встретиться у самого большого на Земле телескопа и посмотреть на лунную поверхность. Если там есть остатки лунного корабля, я не скажу больше ни слова об обмане...». Можно ли в действительности воспользоваться его предложением и обнаружить в один из крупнейших в мире телескопов с диаметром зеркала 10 метров посадочные ступени лунных кораблей, оставшиеся на Луне? Диаметр посадочной ступени (без шасси) – 4,3 м.

2. В 1999 году в кинопрокат вышел голливудский триллер «Конец света» с Арнольдом Шварценеггером в главной роли. Согласно сюжету фильма, в 1979 году произошло небесное явление «Око Господне», которое было предсказано в древних рукописях (Рис. 2) и означало начало «конца света». Как вы считаете, может ли на самом деле произойти это явление и почему?

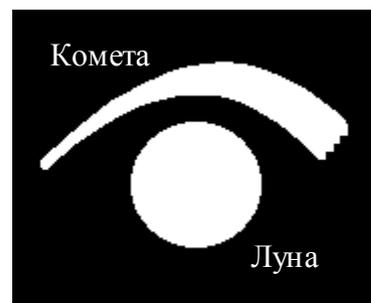


Рис. 2

3. Планета обращается вокруг звезды по круговой орбите. Как изменится период ее обращения вокруг звезды, если расстояние в апоастре уве-

⁶ Рекомендуемые задачи для 8-10 классов – 1-5; для 11 класса – 1-6.

личить в 2 раза, а расстояние в периастре уменьшить в 2 раза. Если период обращения не изменится, то почему? Если изменится, то вычислите, во сколько раз.

4. Телескопом среднего размера можно зарегистрировать астероид из главного пояса астероидов размером до 5 км. Какого размера объекты пояса Койпера можно зарегистрировать этим же телескопом и этими же методами?

Указание: расстояние от Солнца до главного пояса астероидов – 2,8 а.е., а до пояса Койпера – около 40 а.е.; физические характеристики (состав) астероида из главного пояса считать приблизительно соответствующими Марсу (альбедо 0,15), а астероида из пояса Койпера – Плутону (альбедо 0,65).

5. Юный астроном в с. Дзержинском Красноярского края (долгота $\lambda_{\text{д}}=95^{\circ}1'$), собираясь на олимпиаду по астрономии, услышал по радио сигналы точного времени и сообщение диктора о том, что в Красноярске – 8 ч 00 мин. Сколько в этот момент должны показывать часы по местному среднему дзержинскому времени?

6. Представьте себе, что всю поверхность Солнца закрыли большим черным экраном, оставив только небольшое отверстие, через которое можно наблюдать большое солнечное пятно. С каким из небесных тел можно сравнить его блеск: Луной, Венерой, Сатурном, Полярной звездой? Размер пятна – 1 угловая минута, температура – 4500 К.

Задания 2005–2006 учебного года⁷

О Луне и не только...

1. Школьник, наблюдая Луну в Красноярске без использования оптических инструментов, сделал ее зарисовку (Рис. 3). Какое явление и какую его фазу изобразил очевидец?



Рис. 3

2. 7 ноября 2005 года произошло противостояние Марса, при этом планета находилась на расстоянии 0,470 а.е. от Земли. Можно ли было в этот момент с Марса невооруженным глазом увидеть Луну?

3. В какое время года высота полной Луны в момент верхней кульминации будет минимальна? Вычислите эту высоту для Красноярска ($\varphi = 56^{\circ}05'$), зная, что плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости эклиптики на $5^{\circ}09'$.

4. В ночь с 21 на 22 июля 2005 года, как сообщали средства массовой информации, жители России могли увидеть «необычайно большую Луну». При этом видимый угловой диаметр Луны составлял $33'33''$. Объясните причину этого явления. На сколько видимый угловой диаметр «большой» Луны был больше углового диаметра «обычной» Луны, а во сколько раз отличались их видимые площади? Как вы считаете, действительно ли можно было заметить невооруженным глазом увеличение размера Луны?

⁷ Рекомендуемые задачи для 8-10 классов – 1-5; для 11 класса – 1-6.

5. На рекламном щите, расположенном в Красноярске, изображена эмблема торговой фирмы (Рис. 4). Могут ли Луна и звезды наблюдаться на небе так, как они показаны на эмблеме?



Рис. 4

6. В одной из книг по астрономии есть такое утверждение: «Пыль и газ рассеяны в глубинах космоса и загораживают от нас звезды Млечного Пути. Как много этого тумана находится в далеком пространстве? Он заслоняет так много света, что, если бы нам удаюсь каким-то образом сдуть его прочь, ты смог бы с легкостью читать ночью книгу при ярком свете одного лишь Млечного Пути». Насколько справедливо это утверждение?

Задания 2006–2007 учебного года⁸

1. В конце августа 2006 года Международный астрономический союз ввел новый класс небесных тел – карликовые планеты. Первыми представителями этого класса стали Плутон, который был исключен из числа «классических» планет (теперь в Солнечной системе осталось восемь планет!), астероид Церера и транснептуновый объект 2003 UB313, названный Эридой (Eris).

Эрида обращается вокруг Солнца по сильно вытянутой эллиптической орбите, расстояние в афелии составляет 97,61 а.е., в перигелии – 37,81 а.е. Вычислите звездный период обращения Эриды.

2. Можно ли с борта самолета, который летит на высоте 11600 м, невооруженным глазом различить кратеры на Луне, находящейся в зените? Свой ответ обоснуйте, необходимые для этого данные вспомните или возь-

⁸ Рекомендуемые задачи для 8-10 классов – 1-5; для 11 класса – 1-6. При решении задач разрешается пользоваться подвижной картой звездного неба (Приложение 3).

мите из таблицы 2. Трудности, связанные с наблюдением Луны в зените из иллюминатора самолета, не учитывать.

Таблица 2

Диаметр, км	Большая полуось орбиты, км	Расстояние в апогее, км	Расстояние в перигее, км	Сидерический период обращения, в сут.	Средний эксцентриситет орбиты	Средний наклон орбиты к эклиптике	Средний видимый угловой диаметр	Наибольший видимый угловой диаметр	Наименьший видимый угловой диаметр	Видимая звездная величина в полнолуние
3476	384400	405500	363300	27,32166	0,055	5°09'	31'05'',16	32'53'',5	29'28'',1	-12 ^m ,7

3. Мог ли самолет, описанный в предыдущей задаче, лететь над территорией России? На каких широтах он летел?

4. Представьте, что вам предстоит провести экскурсию по звездному небу, например, сегодня вечером в 22–23 часа. Опишите вид звездного неба при условии хорошей погоды, какие созвездия, планеты и другие интересные небесные объекты можно будет наблюдать невооруженным глазом.

5. Во сколько раз по размеру красный гигант больше красного карлика, если их светимость отличается в 10^8 раз?

6. В феврале 2006 года в одной из галактик, находящейся на расстоянии 440 млн. световых лет от Земли в направлении созвездия Овна, вспыхнула сверхновая звезда. Какова была ее абсолютная звездная величина, если видимая звездная величина составляла $+17^m$? Во сколько раз светимость сверхновой звезды была больше светимости Солнца? Абсолютная звездная величина Солнца равна $+4,8^m$.

Задания 2007–2008 учебного года⁹

1. Какие наземные наблюдения Луны доказывают, что у нее отсутствует сколько-нибудь существенная атмосфера?

2. По правилам Международного астрономического союза (который ведаёт всеми названиями за пределами Земли), крупные кратеры Марса (диаметром более 100 км) называют в честь ученых, внесших существенный вклад в изучение этой планеты, а кратерам поменьше присваивают названия небольших городов и деревень различных стран мира.

В 1988 году небольшой марсианский кратер диаметром 4,2 км, расположенный на равнине Элизий, получил имя по названию населенного пункта в Красноярском крае – Абан. Вычислите, можно ли во время противостояния Марса в телескоп с увеличением 600 раз увидеть кратер Абан?

Указание: считать, что человеческий глаз еще может различить детали, видимые под углом $2'$, экваториальный диаметр Марса равен 6 794 км, а его видимый угловой диаметр в противостоянии – $25''$.

3. Каким условиям должны удовлетворять экваториальные координаты звезды, чтобы она была незаходящей для наблюдателя, находящегося в г. Красноярске (широта Красноярска равна 56° с.ш.)?

4. Используя выданный вам рисунок (Рис. 5), на котором приведена фотография (негатив) одного из созвездий, видимых с территории нашей страны, выполните следующие задания:

1) подпишите на рисунке название этого созвездия, буквенные обозначения ярких звезд;

⁹ Рекомендуемые задачи для 8-10 классов – 1-5; для 11 класса – 1-6. При решении задач разрешается пользоваться подвижной картой звездного неба (Приложение 3).

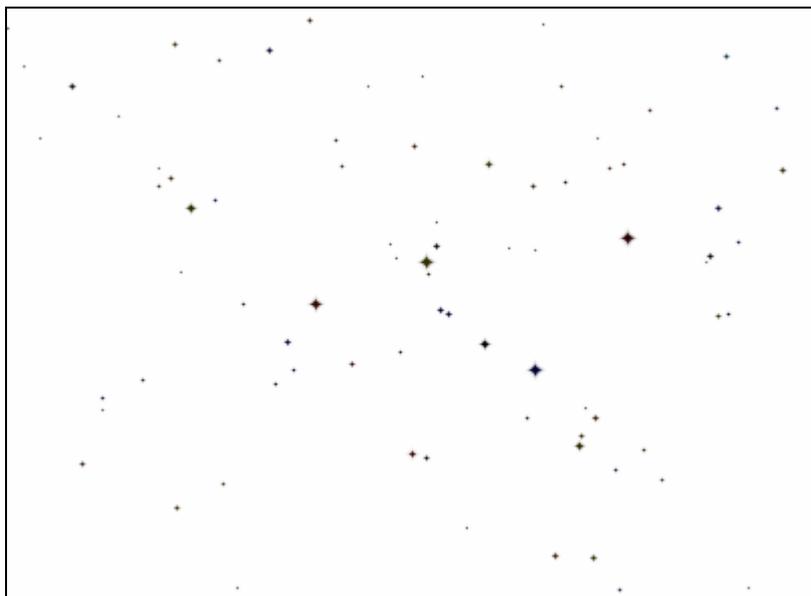


Рис. 5

2) соедините звезды контурами так, чтобы очертание созвездия соответствовало его названию;

3) дорисуйте и подпишите известные вам объекты (переменные звезды, двойные звезды, галактики, туманности, звездные скопления), опишите, что вы знаете об этих объектах;

4) напишите, можно ли сегодня увидеть это созвездие, если да, то в какое время суток?

5. Представьте, что вам предстоит провести экскурсию по звездному небу, например, сегодня вечером в 22–23 часа. Опишите вид звездного неба при условии хорошей погоды, какие созвездия, планеты и другие интересные небесные объекты можно будет наблюдать невооруженным глазом.

6. Сколько времени прошло от соединения до противостояния планеты, если ее блеск изменился за это время на 1^m ?

Задания 2008–2009 учебного года¹⁰

1. Горизонтальный параллакс планеты равен $23''$. Определите угловой радиус Земли, наблюдаемой с этой планеты в данный момент.

2. Солнце находится в созвездии Тельца. Звезды каких созвездий будут видны в полночь близ верхней кульминации?

3. Используя выданный вам рисунок (Рис. 6), на котором приведена фотография (негатив) одного из созвездий, видимых с территории нашей страны, выполните следующие задания:

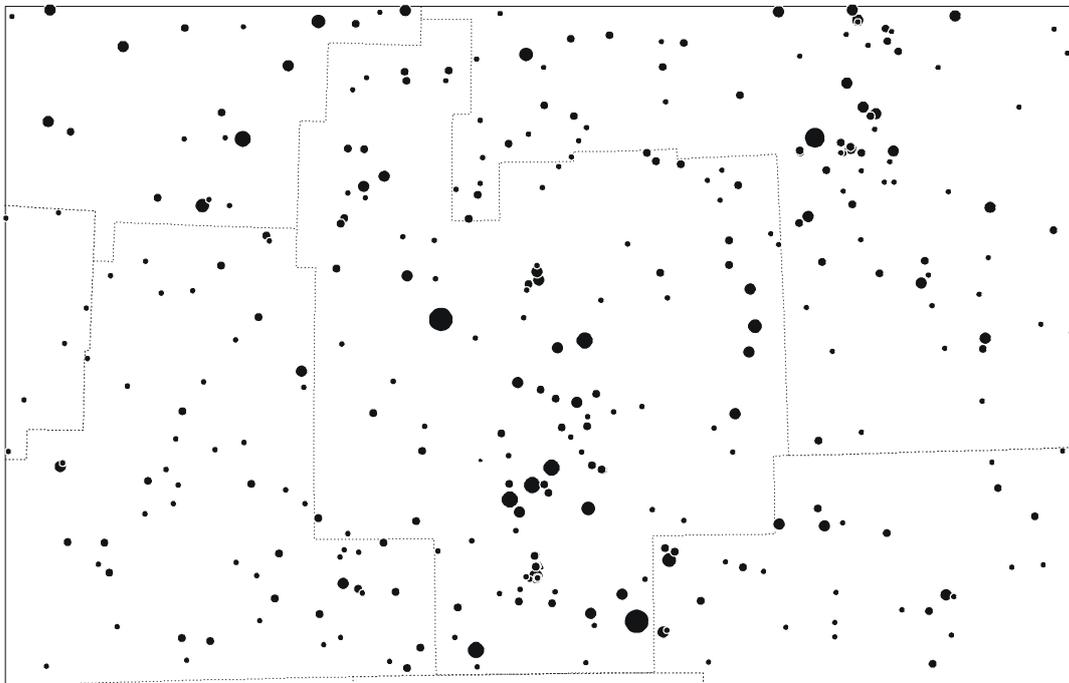


Рис. 6

1) подпишите на рисунке название этого созвездия, буквенные обозначения ярких звезд;

2) соедините звезды контурами так, чтобы очертание созвездия соответствовало его названию;

¹⁰ При решении задач разрешается пользоваться подвижной картой звездного неба (Приложение 3).

3) дорисуйте и подпишите известные вам объекты (переменные звезды, двойные звезды, галактики, туманности, звездные скопления), опишите, что вы знаете об этих объектах;

4) напишите, можно ли сегодня увидеть это созвездие, если да, то в какое время суток?

4. Во сколько раз изменился угловой диаметр Марса для наблюдателя Земли, если планета перешла из противостояния в соединение?

Указание: орбиту Марса считать окружностью $R=1,5$ а.е.

5. Чему равен период вращения Солнца, если наблюдениями установлено, что пятно, расположенное близ экватора, сместилось за 3 суток на 40° ?

6. Сколько бы вам было лет по «венерианскому календарю», если синодический период обращения Венеры равен 583,9 земных суток?

Решения задач

Решения заданий 1997–1998 учебного года

1. Принимая, что на земной поверхности длина дуги в 1° близка к 110 км, найдем угол α (Рис. 7), соответствующий дуге длиной 330 км, $\alpha = 330/110 = 3$, причем $\cos \alpha = \frac{R}{R+h}$, где $R = 6400$ – радиус Земли, h – высота взрыва над земной поверхностью. Тогда $h = \frac{R}{\cos \alpha} - R$, и так

как $\cos \alpha = \cos 3^\circ = 0,9986$, то $h = \frac{6400}{0,9986} - 6400 = 9$ км.

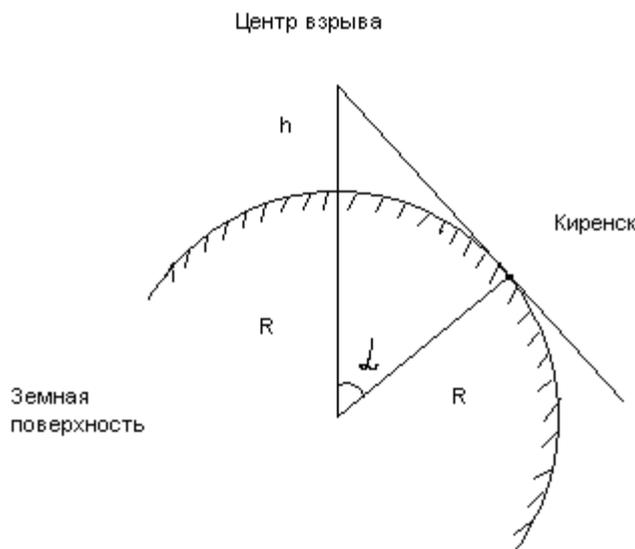


Рис. 7

2. Введем обозначения: R – радиус, M – масса и ρ – средняя плотность астероида, T – период обращения тела вокруг астероида (у самой его поверхности) с первой космической скоростью v_k ; G – гравитационная постоянная. Тогда $T = \frac{2\pi R}{v_k}$, причем, $v_k = \sqrt{\frac{GM}{R}}$, где $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$, и поэтому

$$T = \frac{2\pi R \sqrt{3R}}{\sqrt{4\pi R^3 G \rho}} = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}},$$

т.е. период обращения $T \sim \sqrt{\frac{1}{\rho}}$.

Известно, что средняя плотность Земли $\rho_0 = 5,5 \cdot 10^3$ кг/м³, а при первой космической скорости период обращения вокруг Земли $T_0 = 1,5$ час. Отсюда находим:

$$T = T_0 \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}} = 1,5 \sqrt{\frac{5,5 \cdot 10^3}{2,5 \cdot 10^3}} = 2,2 \text{ час.}$$

Следовательно, объехать астероид за меньшее время, т.е. за 2 часа, не удастся, так как для этого требуется скорость $v > v_k$, при которой вездеход не удержится на поверхности астероида.

3. Самая осторожная оценка размера L излучающего объекта получается из тех соображений, что L не может превышать расстояние, проходимое светом за время импульса $T = 0,002$ с. Иначе импульсы, вышедшие из различных точек объекта, наложились бы друг на друга. Тогда $L \leq cT = 600$ км. Однако мы точно знаем, что пульсары – это вращающиеся компактные звезды. За один оборот звезда посылает один импульс. Значит, чтобы скорость поверхности не превосходила скорости света, должно выполняться неравенство: $\frac{2\pi R}{T} \leq c$, где R – радиус звезды. Тогда $R \leq 100$ км.

Так малы могут быть только нейтронные звезды – катастрофически сжавшиеся ядра массивных звезд, прошедших стадию сверхновой.

4. Для достижения скорости $v = 11$ км/с, необходимой при старте к Луне, двигаясь с ускорением a , нужно пройти путь:

$$S = \frac{v^2}{2a} = \frac{v^2}{20g} = 605 \text{ км.}$$

Вес человека в момент выстрела увеличился бы в 11 раз.

5. Возможны любые варианты решений, например: угловой диаметр Солнца около $30' = 1800''$. Следовательно, диаметр пятна приблизительно в 109 раз меньше. Во столько же раз размер Солнца превышает размер Земли: $\frac{1400000}{12800} \approx 109$, т.е. пятно размером с Землю.

6. Наблюдению слабых звезд мешает атмосфера Земли. Во-первых, атмосферное размытие (дрожание) искажает изображение звезды, превращая практически точечный источник в диск не менее $1'' - 2''$, тогда как сам крупный наземный телескоп, без учета влияния атмосферы, способен собрать, сконцентрировать свет звезды в диске диаметром менее $0.05''$. Во-вторых, ночное небо у поверхности Земли светится из-за химических реакций в атмосфере, из-за рассеяния городского света атмосферной пылью и т.п. Яркость ночного неба соответствует излучению одной звезды $m = 21^m$ с квадратной секунды. Поэтому изображения звезд $23^m - 24^m$ почти не отличаются по яркости от соседних беззвездных участков ночного неба. В-третьих, атмосфера поглощает свет звезд, ослабляя их яркость почти вдвое. К тому же и длительность экспозиции при накоплении света звезд на фотопленке в космосе не ограничена продолжительностью земной ночи.

Решения заданий 1998–1999 учебного года

1. В первом случае Земля улетела бы по параболе, во втором – орбита практически бы не изменилась.

$$2. \frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)} = 16,40, 1000000.$$

3. Высота Солнца равна 45° , поэтому широта места наблюдения составит $90^\circ - (45^\circ - 15^\circ) = 60^\circ$.

4. Максимально возможное склонение Луны равно $23,5 + 5 = 28,5^\circ$. Отсюда минимальное расстояние до северного полюса мира $90 - 28,5 = 61,5^\circ$.

5. Определим радиус орбиты астероида. По 3-му закону Кеплера он равен корню кубическому из

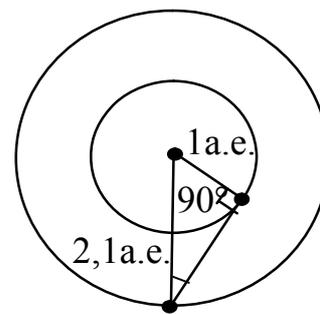


Рис. 8

квадрата звездного периода обращения, или 2,1 а.е. Тогда искомый угол (Рис. 8) будет равен $\arcsin(1 \text{ а.е.}/2,1 \text{ а.е.}) = 28^\circ$. От наклона орбиты ответ не зависит.

Решения заданий 1999–2000 учебного года

1. Единичный участок, ориентированный перпендикулярно солнечным лучам на Земле, получает $\frac{1}{S_3}$ энергии Солнца, где $S_3 = 4\pi R_3^2$ – площадь сферы с радиусом, равным среднему расстоянию от Земли до Солнца

R_3 . Такой же участок на поверхности Марса получает $\frac{1}{S_M}$ энергии Солнца,

где $S_M = 4\pi R_M^2$ – площадь сферы с радиусом, равным среднему расстоянию от Марса до Солнца R_M . Зная, что $R_3=1$ а.е., а $R_M=1,5$ а.е., найдем, во сколько раз меньше солнечной энергии получают участки одинаковой площади, ориентированные перпендикулярно солнечным лучам на поверхности

Марса: $\frac{S_M}{S_3} = \frac{4\pi R_M^2}{4\pi R_3^2} = \frac{R_M^2}{R_3^2} = 2,25$ раза. Аналогично, учитывая, что среднее

расстояние от Плутона до Солнца $R_{II} = 39,5$, получаем:

$$\frac{S_{II}}{S_3} = \frac{4\pi R_{II}^2}{4\pi R_3^2} = \frac{R_{II}^2}{R_3^2} \approx 1560 \text{ раз меньше для Плутона.}$$

2. Так как Капелла якобы наблюдалась из очень глубокого колодца, то она должна была находиться в зените, т.е. ее высота $h = 90^\circ$. Найдем реальную максимальную высоту звезды над горизонтом (в кульминации) h_r . Для этого сначала найдем высоту небесного экватора над горизонтом: $\chi = 180^\circ - (\varphi + 90^\circ) = 180^\circ - (56^\circ 01' + 90^\circ) = 33^\circ 59'$. Теперь найдем реальную максимальную высоту звезды над горизонтом $h_r = \chi + \delta = 33^\circ 59' + 46^\circ = 79^\circ 59'$,

т.е. эта высота значительно меньше 90° , а значит, Капеллу нельзя было увидеть из глубокого колодца.

3. Найдем сначала, во сколько раз светимость Веги превышает светимость Солнца. Расстояние до Веги (обозначим его через D) равно $1/0,12 = 8,3$ парсека, или около $1,7 \cdot 10^6$ астрономических единиц (а.е.). То есть, это расстояние в $1,7 \cdot 10^6$ раз больше, чем расстояние от Земли до Солнца (R). Если бы Солнце находилось на том же расстоянии, что и Вега, то оно выглядело бы слабее, чем с Земли в

$$\left(\frac{D}{R}\right)^2 \approx (1,7 \cdot 10^6)^2 \approx 2,9 \cdot 10^{12} \text{ раз.}$$

Его видимая звездная величина тогда была бы больше, $-26,8^m$ на $2,5 \cdot \lg(2,9 \cdot 10^{12})$, или примерно на 31,2, то есть составляла бы $-26,8 + 31,2 = +4,4^m$.

Вега имеет нулевую звездную величину (по условию). Поскольку разность в 5 звездных величин означает различие по яркости в 100 раз, различие в 4,4 звездные величины говорит о том, что светимость Веги выше, чем у Солнца в $100^{0,88} \approx 58$ раз. Обозначим теперь за x величину, которую надо найти – расстояние от Солнца до точки, где находится наблюдатель. Тогда от Веги до этой точки расстояние будет $(D-x)$ либо $(D+x)$. Поскольку видимая яркость падает обратно пропорционально квадрату расстояния и должна быть одинакова у обеих звезд в точке наблюдения, составим пропорции. Для первого случая:

$$\frac{L_C}{x^2} = \frac{L_B}{(D-x)^2},$$

где L_C и L_B – светимости Солнца и Веги, соответственно.

$$\frac{(D-x)}{x} = \sqrt{\left(\frac{L_B}{L_C}\right)} = \sqrt{58} \approx 7,6;$$

откуда $x = \frac{D}{8,6}$; учитывая, что $D = 8,3$ парсека $x = 0,97$ парсека. Для второго

случая аналогично:

$$\frac{L_C}{x^2} = \frac{L_B}{(D+x)^2},$$

$$\frac{(D+x)}{x} \approx 7,6, \quad x = \frac{D}{6,6} \approx 1,26 \text{ парсека.}$$

Ответ: 0,97 парсека по направлению к Веге, или 1,26 парсека по направлению от Веги.

4. Известно, что $1 \text{ км/с} = 1000 \text{ м/с}$, $1 \text{ парсек} \approx 3,2 \cdot 10^{16} \text{ м}$, 1 год содержит около $3,2 \cdot 10^7 \text{ с}$, отсюда миллион лет – это $3,2 \cdot 10^{13} \text{ с}$. За это время звезда пройдет $10^4 \text{ м/с} \cdot 3,2 \cdot 10^{13} \text{ с} \approx 3,2 \cdot 10^{17} \text{ м}$, или около 10 парсек.

5. Для наблюдателя на Луне Земля не восходит и не заходит.

Решения заданий 2000–2001 учебного года

1. Имеем формулу, связывающую сидерический (звездный) период обращения планеты T с синодическим периодом ее обращения S :

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T} \text{ (для внешних планет)}, \quad \frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}} \text{ (для внутренних планет)}, \text{ где}$$

T_{\oplus} – период обращения Земли вокруг Солнца. По условию задачи необходимо,

чтобы $S = T$. Для внутренней планеты: $\frac{1}{T_{\oplus}} = \frac{1}{T} - \frac{1}{S} = 0$, что невозможно, т.к. $T_{\oplus} = 365$ дней.

$$\text{Для внешней планеты: } \frac{1}{T_{\oplus}} = \frac{1}{T} + \frac{1}{S} = \frac{2}{S}, \text{ откуда } S = 2 T_{\oplus}, \text{ т.е. период}$$

внешней планеты должен быть в 2 раза больше периода обращения Земли вокруг Солнца.

2. По 3-му закону Кеплера: $\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3$. Пусть T_1 – период обращения Земли (1 год), T_2 – период обращения Урана (84 года), a_1 – большая полуось орбиты Земли, a_2 – большая полуось орбиты Урана. Тогда

$a_2 = \sqrt[3]{84^2} a_1 = 19,2 a_1$. Значит, в момент сближения расстояние между Ураном и Землей составляет: $r = a_2 - a_1 = 18,2 a_1 = 2,7 \cdot 10^9$ км. Определим угловой диаметр Урана, зная расстояние до него и его радиус:

$$d = 2 \operatorname{tg} \alpha = \frac{2R}{r 206265''} \approx 3,8''.$$

3. Предположим, что Луна для наблюдателя на Земле и Земля для наблюдателя на Луне имеют одинаковые фазы – полные. Освещение, создаваемой полной Луной на единичном участке поверхности Земли:

$$I_{\text{л}} = \frac{S_{\text{л}} I_c a}{S_{\text{R}} / 2}, \text{ где } S_{\text{л}} \text{ – площадь поверхности Луны, отражающая солнечный свет, } I_c \text{ – солнечная постоянная, } a \text{ – отражательная способность поверхности Луны, } S_{\text{R}} \text{ – площадь сферы с радиусом, равным среднему расстоянию от Земли до Луны.}$$

Освещение, создаваемой полной Землей на единичном участке поверхности Луны: $I_{\text{з}} = \frac{S_{\text{з}} I_c 6a}{S_{\text{R}} / 2}$, где $S_{\text{з}}$ – площадь поверхности Земли, отражающая солнечный свет. Найдем, во сколько раз земное освещение на Луне больше лунного освещения на Земле:

$$\frac{I_{\text{з}}}{I_{\text{л}}} = \frac{6S_{\text{з}}}{S_{\text{л}}} = \frac{6r_{\text{з}}^2}{r_{\text{л}}^2} = \frac{6}{(0,273)^2} = 80,5$$

раза.

4. Максимальное удаление Луны от небесного экватора: $\gamma = \delta + i = 23^\circ 26' + 5^\circ 09' = 28^\circ 35'$. Следовательно, минимальное зенитное расстояние: $z = \varphi - \gamma = 56^\circ 01' - 28^\circ 35' = 27^\circ 26'$

5. Полная энергия, излучаемая Солнцем в секунду (светимость) $L=4 \cdot 10^{26}$ Вт. Излучение уносит массу (за одну секунду), равную: $M = \frac{L}{c^2} = 4,4 \cdot 10^9$ кг/с, где c – скорость света. Таким образом, за сутки Солнце теряет: $60 \text{ с} \cdot 60 \text{ мин} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 4,4 \cdot 10^9 \text{ кг/с} = 3,8 \cdot 10^{14}$ кг, или $3,8 \cdot 10^{14} \text{ кг} / 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \approx 10^{-16}$ часть своей массы.

Решения заданий 2001–2002 учебного года

1. В созвездии Большой Медведицы могут наблюдаться только кометы и астероиды. Остальные тела Солнечной системы могут наблюдаться только вблизи эклиптики.

2. С астрономической точки зрения примета неверна. Направление рогов серпа молодой Луны определяется направлением от Солнца, а перпендикуляр к линии, соединяющей рожки лунного серпа, направлен на Солнце и в проекции на небесную сферу является дугой большого круга. Таким образом, в месте наблюдения величина «наклона» серпа Луны будет определяться только положением Солнца, причем в течение одного и того же вечера она будет меняться. «Наклон» серпа Луны также зависит и от широты места наблюдения, например, в тропических странах можно наблюдать серп Луны заходящим в море в виде лодочки, рогами кверху. Естественно, что с погодой это явление не связано.

3. В день осеннего равноденствия точка весеннего равноденствия кульминирует ровно в полночь (0 часов). Каждый день она кульминирует на примерно 4 минуты раньше, чем предыдущий. Следовательно, через три недели кульминация произойдет в 0 ч. – 4·21 минут, или в 22 ч. 36 мин.

4. Выше всего Солнце поднимается в момент верхней кульминации, при пересечении им небесного меридиана. При этом в Сочи Солнце будет к

югу от точки зенита, а в Кито – к северу. Определим высоту Солнца в Сочи и в Кито: $h_c = 90^\circ - \varphi + \varepsilon = 90^\circ - 44^\circ + 23,5^\circ = 69,5^\circ$; $h_k = 90^\circ - \varepsilon = 90^\circ - 23,5^\circ = 66,5^\circ$, где $\varepsilon = 23,5^\circ$ – угол наклона эклиптики к небесному экватору. $h_c - h_k = 3^\circ$.

Таким образом, Солнце поднимется над горизонтом выше на 3° в Сочи.

5. Из $R = D \sin(\rho)$, где D расстояние от Нептуна до Солнца, R – линейный радиус Солнца, ρ – угловой радиус Солнца, видимый с Нептуна, найдем $\rho = \arcsin(R/D) = \arcsin(6,96 \cdot 10^5 / 4,50 \cdot 10^9) = 1,55 \cdot 10^{-4}$ рад $\approx 32''$. Теперь найдем угловой диаметр $2 \cdot 32'' = 64'' \approx 1'$. То есть диск Солнца с Нептуна будет виден на «пределе зрения».

6. Приливы, как известно, обусловлены в основном притяжением со стороны Луны и имеют два максимума: «под Луной» и на противоположной стороне Земли. Таким образом, за один период прохождения лунного диска по небосклону Земли приливы повторяются дважды. Есть еще солнечная составляющая в приливах, но она мала по сравнению с лунной, поэтому Луна и определяет период приливов. Видимый период обращения Луны вокруг Земли составляет 29,53 суток (синодический период). Каждый день Луна перемещается на небесной сфере примерно на $12,2^\circ$ ($360^\circ / 29,53$). Легко видеть: время между двумя верхними кульминациями Луны больше, чем 24 ч., т.к. Земле необходимо время, чтобы повернуться на эти примерно $12,2$ градуса, которые Луна пройдет по небесной сфере за сутки. Нетрудно посчитать, что время между двумя кульминациями составляет примерно 24 часа 50 минут. Это и есть удвоенный период между приливами. Таким образом, получаем, что приливы повторяются каждые 12 часов 25 минут.

7. Центр Земли движется по орбите со скоростью $\frac{2\pi R}{T}$, а Магадан относительно центра Земли – со скоростью $\frac{2\pi r}{t}$, где R – расстояние от Земли до Солнца, r – расстояние от Земной оси до Магадана, в точности равное половине радиуса Земли (поскольку широта Магадана – 60°), T – период обращения Земли вокруг Солнца, t – период суточного вращения Земли.

Таким образом, скорость Магадана относительно Солнца меняется от $\frac{2\pi R}{T} - \frac{2\pi r}{t}$ до $\frac{2\pi R}{T} + \frac{2\pi r}{t}$. Их разница по отношению к средней скорости со-

ставляет:
$$\frac{\left(\frac{4\pi r}{t}\right)}{\left(\frac{2\pi R}{T}\right)} = \left(\frac{2r}{R}\right) \cdot \left(\frac{T}{t}\right) = \frac{6370}{149600000 \cdot 365} \approx 1,55 \%$$

8. Используем формулу колебаний математического маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}, \text{ где } M \text{ – масса, } R \text{ – радиус звезды. Отсюда находим:}$$

$$M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2} = 10^{33} \text{ г.}$$

9. Определим относительные размеры звезд, считая, что звезда меньшего радиуса вращается вокруг большой звезды по круговой орбите.

Рассмотрим Рис. 9:

Здесь R – радиус орбиты, т.е. расстояние между центрами звезд.

В момент начала затмения сумма радиусов первой звезды R_1 и второй R_2 (отрезок АВ) удовлетворяет уравнению $R_1 + R_2 = R \sin(\theta_1)$ (треугольник ОАВ). Чтобы определить θ_1 , учтем то обстоятельство, что $\theta_1 = l_1/2$ (дуга орбиты, которую проходит вторая звезда от начала до конца затмения).

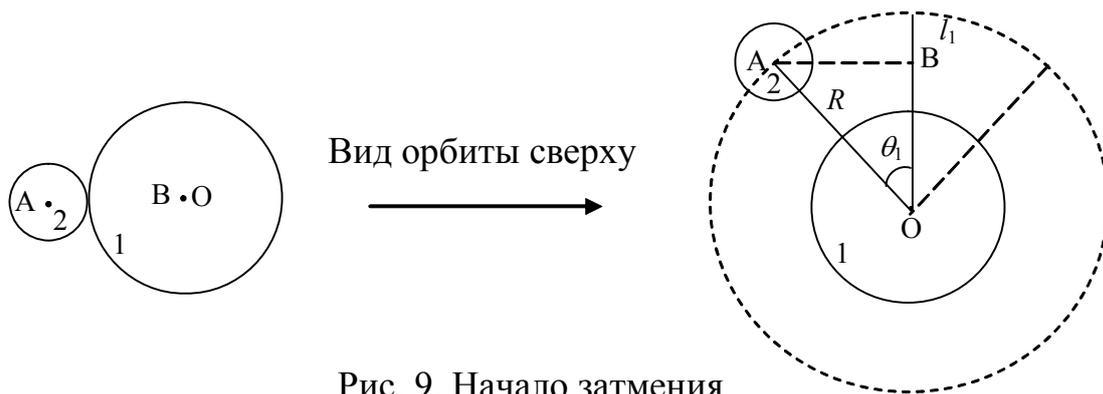


Рис. 9. Начало затмения

Так как все затмение длится 8 часов, а период обращения второй звезды вокруг первой равен 2,2 суток ≈ 53 часа, $l_1 = \frac{8 \cdot 360}{53} \approx 55^\circ$, значит $\theta_1 = 27,5^\circ$. Итак, $R_1 + R_2 = 0,46R$.

Рассмотрим теперь полное затмение (Рис. 10):

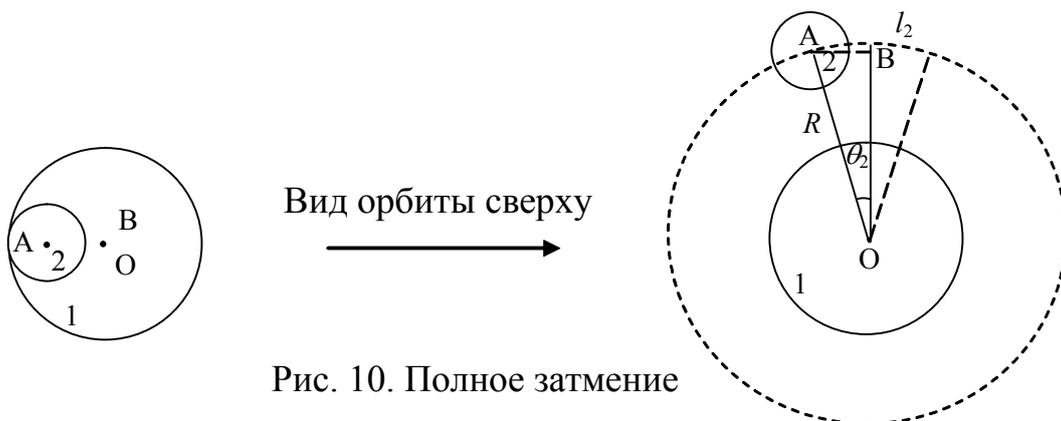


Рис. 10. Полное затмение

Теперь отрезок АВ есть $R_1 - R_2$. А угол θ_2 определяется из условия $\theta_2 = l_2/2$, где l_2 – дуга орбиты, проходимая второй звездой во время полной фазы затмения. $l_2 = \frac{2 \cdot 360}{53} = 13,6^\circ$, следовательно, $\theta_2 = 6,8^\circ$.

Имеем второе уравнение из треугольника OAB
 $R_1 - R_2 = R \sin(\theta_2) = 0,12R$.

Окончательно решение системы двух уравнений

$$\begin{cases} R_1 + R_2 = 0,46R \\ R_1 - R_2 = 0,12R \end{cases}$$

дает $R_1=0,29R$, $R_2=0,17R$. Итак, $\frac{R_1}{R} = 0,29$, $\frac{R_2}{R} = 0,17$.

Определим теперь относительный блеск каждой из звезд системы, выраженный в долях полного блеска системы. В момент главного минимума звезда меньшего радиуса (но с большей температурой) скрывается за звездой большего радиуса, но с меньшей температурой поверхности. В этот момент звездная величина системы $m=10,5$, а блеск системы есть E_1 (светит только большая звезда). Когда обе звезды видны одновременно (и звезда меньшего радиуса не проецируется на диск большей), $M=8$. Общий блеск системы в этот момент есть $E = E_1 + E_2$. Следовательно,

$$\frac{E_1}{(E_1 + E_2)} = 2,512^{M-m} = 2,512^{8-10,5} = 0,1.$$

Значит: $E_1=0,1E$, $E_2=0,9E$. То есть максимальный вклад в общую светимость вносит горячая звезда меньшего радиуса.

Решения заданий 2002–2003 учебного года

1. 6 декабря 2002 года (день проведения олимпиады по астрономии согласно Приказу Главного управления образования края) в 23 часа на небе видны: Юпитер (на востоке низко над горизонтом на границе созвездий Льва и Рака), Сатурн (на юго-востоке в созвездии Тельца). В южной стороне неба видны созвездия: Орион, Телец, Персей, Эридан, Кит, Овен, Треугольник, Андромеда, Рыбы. На востоке видны созвездия: Рак, Близнецы, Малый Пес, Возничий. На западе – созвездия: Рыбы, Андромеда, Пегас, Лебедь, Кассиопея, Лира. На севере – созвездия Цефей, Дракон, Большая Медведица и Малая Медведица. Близки к зениту созвездия: Андромеда, Персей, Кассиопея. В это время можно наблюдать рассеянные звездные

скопления: Ясли (Рак), Плеяды (Телец) η и χ Персея; туманности: М 1 (Крабовидная в Тельце), М 42 (Орион); галактики М 81 и М 82 (Б. Медведица), М 33 (Треугольник), М 31 (Андромеда).

2. Оценка минимального числа фотоснимков: длина окружности: $2\pi R=360^\circ$. Площадь сферы: $4\pi R^2 = 4\pi(360^\circ/2\pi)^2 = 41253$ кв. градусов. Поле зрения телескопа $7,5^2=56,25$ кв. градусов, следовательно, нужно сделать не менее $41253/56,25 \approx 734$ фотоснимка. Но это только оценка минимального числа фотоснимков. Невозможно сделать прямоугольные фотоснимки без наложений.

Оценка максимального числа фотоснимков: мы должны сделать не больше чем $(360^\circ/7,5^\circ) \cdot (180^\circ/7,5^\circ) = 1152$ фотоснимка, чтобы покрыть все небо.

3. Во-первых, очевидно, что Земля в момент старта и Марс в момент окончания полета должны находиться в противоположных относительно Солнца точках своей орбиты (точки Z_1 и M_2 , Рис.11).

Во-вторых, космическое тело (планета, корабль) совершает оборот вокруг Солнца тем дольше, чем больше большая полуось его орбиты. Соответственно, за то время, пока корабль долетит от Земли до Марса (совершит пол-оборота по эллипсу, изображенному на рисунке), Земля пройдет по орбите больше пол-оборота, а Марс – меньше. Следовательно, в момент старта Марс находится примерно в точке M_1 , а Земля в момент завершения полета – в точке Z_2 .

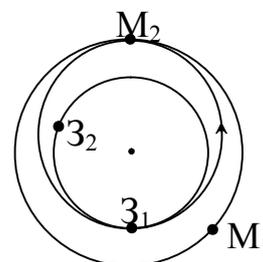


Рис. 11

4. Даже если вновь открытая малая планета имела такой же видимый блеск, что и известные астероиды, открыть ее было гораздо сложнее. Пояс астероидов находится сравнительно недалеко – на расстоянии примерно в 3 а.е., поэтому перемещение астероидов по небесной сфере достаточно за-

метно. Расстояние до вновь открытой малой планеты более 30 а.е., поэтому ее перемещение очень незначительно и может быть зафиксировано только при очень точных наблюдениях, которые стали возможны лишь в последнее время.

Размер астероида из пояса астероидов, которому должен соответствовать такой же блеск (при условии одинаковой отражательной способности) определяется так. Блеск малой планеты обратно пропорционален четвертой степени расстояния: свет должен пройти путь от Солнца до планеты $\sim \frac{1}{R^2}$ и обратно от планеты до нас (еще $\sim \frac{1}{R^2}$); считаем, что расстояние от Земли до Солнца мало по сравнению с расстоянием до астероидов. Значит, при увеличении расстояния в 10 раз световой поток, доходящий до нас от единицы поверхности планеты, падает в 10^4 раз. Следовательно, для сохранения блеска неизменной площадь отражаемой поверхности должна быть увеличена в 10^4 раз. Значит площадь новой малой планеты в 10^4 раз больше площади предполагаемого астероида, и размер астероида, имеющего такую же звездную величину, должен быть $\sqrt{10^4} = 100$ раз меньше. Получаем, что искомым размер «классического» астероида составляет порядка 6 км.

5. Известно, что среднее расстояние Земли от Солнца составляет около 150 млн. км, а среднее расстояние от Земли до Луны – 384 тысячи км. Наименьшее расстояние от Венеры до Земли составляет $1,5 \cdot 10^8 - 1,08 \cdot 10^8 = 4,2 \cdot 10^7$ км. Тогда наибольшее угловое расстояние

$$\rho = \frac{206265'' \cdot 3,84 \cdot 10^5}{4,2 \cdot 10^7} = 1886'' = 31,4'.$$

6. Его ширина будет не менее длины пути, пройденного за это время Землей, т.е. $30 \text{ км/с} \cdot 60 \text{ с} \cdot 60 \text{ мин} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 38 \text{ дней} = 9,8 \cdot 10^7 \text{ км}$.

Решения заданий 2003–2004 учебного года

1. Марс находился в созвездии Водолея. В противостоянии планета расположена на небесной сфере вблизи точки, диаметрально противоположной Солнцу. Для определения этой точки нужно воспользоваться подвижной картой звездного неба (Приложение 3). Проведем линию, пересекающую эклиптику, от заданной даты на обрете карты через Северный полюс мира. Первая точка пересечения с эклиптикой будет примерным положением Солнца, вторая – примерным положением Марса. Наиболее благоприятное время для наблюдений Марса – ночь, при этом он находился в южной стороне неба.

2. Угловой диаметр Марса в момент его наибольшего сближения с Землей в августе 2003 года составлял $\rho_{\text{вп}} = 2 \cdot 206265'' \cdot r_{\text{м}} / d_{\text{вп}}$, где $r_{\text{м}}$ – экваториальный радиус Марса, $d_{\text{вп}}$ – расстояние от Земли до Марса в этот момент. Используя указание к задаче, найдем угловой диаметр Марса (внешней планеты) в среднем противостоянии:

$\rho_{\text{п}} = 2 \cdot 206265'' \cdot r_{\text{м}} / ((a_{\text{м}} - 1) \cdot 1,496 \cdot 10^8 \text{ км})$, где $a_{\text{м}}$ – большая полуось орбиты Марса. Взяв необходимые данные из таблицы 1, вступления к заданиям и зная, что большая полуось орбиты планеты – это ее среднее расстояние от Солнца, получим:

$$\rho_{\text{вп}} = \frac{2 \cdot 206265'' \cdot 3397 \text{ км}}{55,8 \cdot 10^6 \text{ км}} = 25,1'',$$
$$\rho_{\text{п}} = \frac{2 \cdot 206265'' \cdot 3397 \text{ км}}{(1,524 \text{ а.е.} - 1 \text{ а.е.}) \cdot 1,496 \cdot 10^8 \text{ км}} = 17,9''.$$

Отсюда угловой диаметр Марса в $\rho_{\text{вп}} / \rho_{\text{п}} = 25,1'' / 17,9'' = 1,4$ раза был больше, чем в среднем противостоянии.

Найдем угловой диаметр для внутренней планеты в элонгации (когда угол между направлениями планета-Солнце и планета-Земля равен 90°)

$$\rho_3 = \frac{2 \cdot 206265'' \cdot r}{\sqrt{(1-a^2)} \cdot 1,496 \cdot 10^8 \text{ км}}$$

чим угловые диаметры планет, видимых невооруженным глазом: для Меркурия $\rho_3=7,3''$, для Венеры $\rho_3=24,2''$, для Юпитера $\rho_{\text{п}}=46,5''$, для Сатурна $\rho_{\text{п}}=19,4''$. Таким образом, угловой диаметр Марса в момент наибольшего сближения с Землей уступал только угловому диаметру Юпитера в среднем противостоянии.

3. Марс в великом противостоянии получает $\frac{1}{S_1}$ света Солнца, где

$S_1 = 4\pi D^2$ – площадь сферы с радиусом D , равным расстоянию от Марса до Солнца в великом противостоянии. На Земле Марс в великом противостоянии

создает освещенность I_1 , пропорциональную $\frac{1}{S_2}$, от света, получаемого

им от Солнца, т.е. $I_1 \sim \frac{1}{S_1} \cdot \frac{1}{S_2} = \frac{1}{S_1 \cdot S_2}$, где $S_2 = 4\pi d^2$ – площадь сферы с

радиусом d , равным расстоянию от Марса до Земли в великом противостоянии. Аналогично получаем, что в среднем противостоянии Марс на

Земле создает освещенность $I_2 \sim \frac{1}{S_3 \cdot S_4}$, где $S_3 = 4\pi D_0^2$ – площадь сферы с

радиусом D_0 , равным расстоянию от Марса до Солнца в среднем противостоянии, $S_4 = 4\pi d_0^2$ – площадь сферы с радиусом d_0 , равным расстоянию от

Марса до Земли в среднем противостоянии.

Подставим выражения для I_1 и I_2 в формулу $\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}$:

$$\frac{S_3 \cdot S_4}{S_1 \cdot S_2} = \frac{D_0^2 \cdot d_0^2}{D^2 \cdot d^2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}.$$

Используя указание к Задаче 2, получим:

$$\frac{a^2 \cdot (a-1)^2}{D^2 \cdot d^2} = \frac{(a^2 - a)^2}{D^2 \cdot d^2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}. \text{ Отсюда найдем звездную величину}$$

Марса в момент наибольшего сближения с Землей:

$$m_1 = m_2 - 5 \cdot \lg\left(\frac{a^2 - a}{D \cdot d}\right). \text{ Взяв необходимые данные из условия задачи, таб-}$$

лицы 1, вступления к заданиям, и зная, что большая полуось орбиты планеты – это ее среднее расстояние от Солнца, найдем:

$$m_1 = -1,85 - 5 \cdot \lg\left(\frac{1,524^2 - 1,524}{1,382 \cdot 0,373}\right) = -2,8^m, \text{ что в } 2,512^{(-1,85 - (-2,8))} = 2,4 \text{ раза яр-}$$

че, чем в среднем противостоянии. Сравнивая звездную величину Марса в этом противостоянии со звездными величинами других планет в среднем противостоянии или элонгации, из таблицы 1 видим, что Марс уступал по яркости только Венере.

4. Определим, под каким углом был виден «сфинкс»: $\rho = \frac{206265'' \cdot r}{d_{\text{вн}}}$

$$= \frac{206265'' \cdot 1,5 \text{ км}}{55,8 \cdot 10^6 \text{ км}} = 0,006''. \text{ Теоретическая разрешающая способность теле-}$$

скопа определяется как $\alpha = \frac{206265'' \cdot \lambda}{D}$, где λ – средняя длина световой

волны ($5,5 \cdot 10^{-7}$ м), D – диаметр объектива телескопа [10]. Для 10-метрового телескопа-рефлектора теоретическая разрешающая способность будет

$$\alpha = \frac{206265'' \cdot 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{10 \text{ м}} = 0,01'' \text{ (в действительности она будет гораздо ху-}$$

же). Примечание: можно использовать формулу $\alpha = \frac{140''}{D}$, где D – диаметр

объектива телескопа в миллиметрах.

Таким образом, «сфинкс» в крупнейший в мире телескоп виден не будет, так как теоретическая разрешающая способность телескопа значительно меньше, чем угол, под которым виден «сфинкс».

5. Во время великих противостояний расстояние между Землей и Марсом самое минимальное. Для этого нужно, во-первых, чтобы Солнце, Земля и Марс располагались на одной линии. Во-вторых, т.к. орбиты Земли и Марса эллипсы, чтобы Марс находился вблизи перигелия своей орбиты (ближайшей к Солнцу точки орбиты), а Земля – вблизи афелия (удаленной от Солнца точки орбиты). В афелии Земля находится в начале июля, поэтому великие противостояния Марса происходят, в основном, в летние месяцы.

6. Найдем примерное расстояние Марса от Солнца в день проведения олимпиады, например, 1 декабря. Так как орбита Марса – эллипс со значительным эксцентриситетом, то найдем расстояние в перигелии $D_n = a \cdot (1 - e)$ и в афелии $D_a = a \cdot (1 + e)$, где a – большая полуось орбиты, e – эксцентриситет орбиты. Взяв данные из таблицы 1, получим: $D_n = 1,52 \cdot (1 - 0,093) = 1,38$ а.е., $D_a = 1,52 \cdot (1 + 0,093) = 1,66$ а.е. Сравнивая эти значения с расстоянием Марса от Солнца во время противостояния (условие Задачи 3), можно сделать вывод, что Марс в этот момент находился в перигелии. За половину марсианского года

$(\frac{1,88 \text{ л} \cdot 365,24 \text{ д}}{2} = \frac{687 \text{ д}}{2} = 343,5 \text{ д})$ расстояние Марса от Солнца изменяется на $D_a - D_n = 1,66 - 1,38 = 0,28$ а.е. За 95 дней, прошедших со дня наибольшего сближения Марса с Землей, расстояние в среднем изменилось на $\frac{95 \text{ д} \cdot 0,28 \text{ а.е.}}{343,5 \text{ д}} = 0,08$ а.е. Таким образом, примерное расстояние Марса от

Солнца 1 декабря составляет $D_M = 1,38 \text{ а.е.} + 0,08 \text{ а.е.} = 1,46$ а.е. Аналогич-

ные вычисления можно провести и для Земли, но эксцентриситет ее орбиты незначителен, поэтому будем считать, что расстояние Земли от Солнца 1 декабря составляет $D_3=1$ а.е.

Теперь найдем угол между направлениями с Солнца на Марс и с Солнца на Землю, т.е. насколько градусов Земля за это время обогнала Марс, если смотреть с Солнца. За один день Земля обгоняет Марс в среднем на $\alpha = \frac{360^\circ}{365,24 \text{ д}} - \frac{360^\circ}{687 \text{ д}} = 0,461^\circ$. За 95 дней Земля в среднем обогнала

Марс на $\rho = 95 \text{ д} \cdot 0,461^\circ = 43,8^\circ$.

Используя теорему косинусов, получим примерное расстояние Марса от Земли:

$$D_{3M} = \sqrt{D_M^2 + D_3^2 - 2 \cdot D_M \cdot D_3 \cos(\rho)} = \\ = \sqrt{(1,46 \text{ а.е.})^2 + (1 \text{ а.е.})^2 - 2 \cdot 1,46 \text{ а.е.} \cdot 1 \text{ а.е.} \cdot \cos(43,8^\circ)} \approx 1 \text{ а.е.}$$

В действительности это расстояние 0,85 а.е., т.е. ошибка в оценке составила 15% за счет усреднения скорости движения Земли и Марса по орбите.

P.S. Видимая звездная величина Марса 1 декабря составляет $-0,4^m$, а угловой диаметр $11''$.

Решения заданий 2004–2005 учебного года

1. Теоретическая разрешающая способность телескопа определяется как $\alpha = \frac{206265'' \cdot \lambda}{D}$, где λ – средняя длина световой волны ($5,5 \cdot 10^{-7}$ м), D – диаметр объектива телескопа [10]. Для 10-метрового телескопа-рефлектора теоретическая разрешающая способность $\alpha = \frac{206265'' \cdot 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{10 \text{ м}} = 0,01''$ (в действительности она будет гораздо хуже). Теперь определим предельный

линейный размер d объекта на Луне, видимого в этот телескоп. Зная среднее расстояние от Земли до Луны $D=384400$ км, найдем

$$d = \frac{D \cdot \rho}{206265''} = \frac{384400000 \text{ м} \cdot 0,01''}{206265''} \approx 19 \text{ м}.$$

Таким образом, посадочную ступень лунного корабля диаметром 4,3 м мы, даже теоретически, увидеть не сможем. Примечание: можно использовать формулу $\alpha = \frac{140''}{D}$, где D – диаметр объектива телескопа в миллиметрах.

2. На частицы, образующие хвост кометы, действуют сила светового давления, солнечный ветер, направленные от Солнца, и сила притяжения, направленная к Солнцу. Соотношение этих сил, действующих на частицы с разными характеристиками, различно. На легкие и мелкие частицы преобладающее действие оказывают силы отталкивания, и хвост, состоящий из таких частиц, будет почти точно направлен от Солнца вдоль линии, соединяющей Солнце с ядром кометы (плазменный хвост). Если хвост состоит из более крупных и тяжелых частиц (пылевой хвост), все большую роль будут оказывать силы притяжения, и хвост будет отклоняться от этого направления в сторону, противоположную движению кометы по ее орбите, образуя изгиб. Очень изогнутые и короткие хвосты состоят из тяжелых и крупных частиц. Таким образом, хвосты комет практически всегда направлены в противоположную от Солнца сторону (за исключением аномальных хвостов, состоящих из очень крупных частиц, но такие хвосты наблюдаются вместе с «основным» хвостом). Кроме того, на вид хвоста оказывает влияние и то, в какой проекции он виден земному наблюдателю.

Поэтому, судя по «древнему» изображению (Рис. 2), чтобы «обеспечить» соответствующий вид хвосту кометы, Солнце должно находиться в левом нижнем углу рисунка. Однако на рисунке изображена полная Луна («зрачок»), поэтому Солнце «светит» перпендикулярно плоскости рисунка, и хвост кометы должен быть направлен в том же направлении от наблюда-

теля. Можно, конечно, предположить, что мы видим проекцию сильно изогнутого хвоста, направленного от наблюдателя, но такие хвосты короткие, и их проекция не будет иметь такой изгиб, образующий «бровь» или «веко». Таким образом, небесное явление, упоминаемое в фильме, произойти не может, и «конец света» откладывается на неопределенное время.

3. Большая полуось орбиты связана с расстояниями в апоастре и периастре соотношением $a = \frac{r_a - r_p}{2}$. Так как первоначально планета обращалась по круговой орбите, то $r_{п1} = r_{a1}$. Если расстояние в апоастре увеличится в 2 раза, а расстояние в периастре уменьшится в 2 раза, то $r_{a2} = 2r_{a1}$, $r_{п2} = 0,5r_{п1} = 0,5r_{a1}$. Таким образом, большая полуось орбиты составит

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{(r_{a2} + r_{п2})}{(r_{a1} + r_{п1})} = \frac{(2r_{a1} + 0,5r_{a1})}{(r_{a1} + r_{a1})} = \frac{(2 + 0,5)}{(1 + 1)} = 1,25 \text{ от первоначальной.}$$

По третьему закону Кеплера $\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3$, поэтому:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^{3/2} = (1,25)^{3/2} = 1,398 \approx 1,4 \text{ раза, то есть период обращения планеты}$$

увеличится примерно в 1,4 раза.

4. Телескоп должен получать одинаковую интенсивность света от астероида из главного пояса размером $D_1 = 5$ км и от астероида из пояса Койпера. Так как интенсивность света, падающего на астероид, обратно пропорциональна квадрату его расстояния от Солнца R , интенсивность света, отраженная астероидом, пропорциональна квадрату его размера D и пропорциональна альбедо α , а интенсивность света, попадающего в телескоп, обратно пропорциональна квадрату расстояния от астероида до Земли L , то

$$I \sim \frac{1}{R^2} \cdot D^2 \cdot \alpha \cdot \frac{1}{L^2}. \text{ И для } I_1 = I_2 \text{ мы можем записать: } \frac{D_2}{D_1} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{L_2}{L_1} \cdot \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2}}.$$

Считая, что расстояние от астероида из главного пояса до наблюдателя

$L_1=(2,8 \text{ а.е.}-1 \text{ а.е.})=1 \text{ а.е.}$ (в противостоянии), а для астероида из пояса Койпера $L_2 \approx 40 \text{ а.е.}$ найдем:

$$D_2 = 5 \text{ км} \cdot \frac{40 \text{ а.е.}}{2,8 \text{ а.е.}} \cdot \frac{40 \text{ а.е.}}{1,8 \text{ а.е.}} \cdot \sqrt{\frac{0,15}{0,65}} \approx 750 \text{ км}.$$

5. По радио сообщают поясное время – среднее местное время центрального меридиана данного часового пояса, плюс 1 час зимой (декретное, зимнее время) или 2 часа летом (летнее время). Так как события, описанные в задаче, происходят в день проведения олимпиады (зимой), то среднее местное время для центрального меридиана нашего часового пояса будет 7 ч. 00 мин. Центральные меридианы каждого часового пояса отстоят друг от друга на 15° . Красноярский край находится в шестом часовом поясе, поэтому долгота центрального меридиана нашего часового пояса $6 \cdot 15^\circ = 90^\circ$ в.д. Разница по долготе между центральным меридианом шестого часового пояса и с. Дзержинским составляет $(95^\circ 1' - 90^\circ) = 5^\circ 1' = 5,017^\circ$ или в часовой мере $5,017^\circ \cdot 24 \text{ ч} \cdot 60 \text{ мин} / 360^\circ = 0 \text{ ч} 20 \text{ м}$ к востоку. Таким образом, часы, идущие по местному среднему дзержинскому времени, будут показывать 7 ч. 20 мин.

6. Вспомним, что видимый диаметр Солнца примерно равен $30'$, а температура его поверхности – 6000 К . Таким образом, изменение блеска

за счет изменения площади будет $\sim \frac{S_c}{S_\Pi} = \frac{(15')^2}{(0,5')^2} = 900$ раз, а изменение блеска

за счет температуры пропорционально 4 степени, т.е.

$$\sim \left(\frac{T_c}{T_\Pi} \right)^4 = \left(\frac{6000^\circ}{4500^\circ} \right)^4 \approx 3 \text{ раза. Всего блеск уменьшится в } 900 \cdot 3 = 2700 \text{ раз.}$$

Чтобы сравнить с блеском других небесных тел, надо эту величину перевести в звездные величины. Изменение звездной величины будет равно $2,5 \cdot \lg(2700) = 8,6$. Звездная величина Солнца $-26,8^m$, таким образом, блеск

пятна будет равен $-18,2^m$. Это более чем в 100 раз ярче полной Луны. Блеск Луны равен $-12,7^m$, блеск Венеры -4^m , Сатурна -1^m , Полярной звезды 2^m .

Решения заданий 2005–2006 учебного года

1. Освещенная часть Луны, изображенной на рисунке, находится слева. Учитывая, что наблюдения проводились на «нашей» широте (в северном полушарии) и без использования оптических приборов, которые могут переворачивать изображение, можно предположить, что это обычная фаза Луны между полнолунием и последней четвертью. Однако при такой фазе терминатор «выгнут» в другую сторону. Поэтому школьник на своем рисунке изобразил частную фазу теневого затмения (фаза полутеневого затмения невооруженным глазом незаметна). Осталось выяснить, что это – начало или конец затмения. Так как Луна обращается вокруг Земли против часовой стрелки, то она в момент начала лунного затмения входит в тень Земли левым краем, обращенным к востоку. На рисунке тень справа (на западном крае), поэтому наш любитель астрономии стал свидетелем окончания полного лунного затмения.

2. Нет, так как для наблюдателя на Марсе во время противостояния Земля находится в нижнем соединении, т.е. видна в направлении Солнца.

3. Луна перемещается по небесной сфере вдоль эклиптики, отклоняясь от нее на $\pm 5^\circ 09'$. Высота Солнца максимальна летом, в день летнего солнцестояния, т.е. Солнце находится выше небесного экватора на $23^\circ 27'$. Противоположная точка эклиптики, которая кульминирует ночью, наоборот, – ниже небесного экватора на $23^\circ 27'$, т.е. $\delta = -23^\circ 27'$. Так как Луна в полнолунии находится около эклиптики в точке, противоположной Солнцу, то ее высота в момент верхней кульминации будет минимальна летом. Определим эту высоту. Высота противоположной Солнцу точки эклиптики

в момент ее верхней кульминации равна $h_3=90^\circ-\varphi+\delta = 90^\circ-56^\circ05'-23^\circ27'=10^\circ28'$. А высота Луны будет минимальной, когда она находится ниже эклиптики на $5^\circ09'$, и составит $h_3-5^\circ09'=5^\circ19'$.

4. Явление «большой» Луны объясняется совпадением нескольких факторов. Во-первых, видимое полушарие Луны должно быть полностью освещено Солнцем, т.е. Луна должна быть в фазе полнолуния. Во-вторых, нужно, чтобы Луна в момент полнолуния находилась в ближайшей к Земле точке своей орбиты – перигее. Кроме того, известно, что Луна, находящаяся низко над горизонтом и наблюдаемая на фоне земных предметов (домов, деревьев), кажется больше, чем когда она поднимется выше (оптическая иллюзия Понцо, названная так в честь Марио Понцо, попытавшегося объяснить ее в 1913 году). В действительности же угловые размеры Луны остаются одинаковыми (в этом можно убедиться, если на протяжении ночи смотреть на Луну на фоне монетки: соотношение размеров Луны и монетки будет одинаковым при любых положениях Луны). Так как указанное в задаче явление происходило летом, когда Луна не поднимается высоко над горизонтом (см. решение задачи №3), то этот эффект также оказал влияние на восприятие ее размера.

Теперь посчитаем, на сколько в действительности Луна была больше «обычной». За видимый угловой диаметр «обычной» Луны возьмем величину $d_{cp}=31'05''$ – угловой диаметр Луны на среднем расстоянии от Земли $R=384\,400$ км. Величину d_{cp} можно вспомнить или вычислить, вспомнив линейный диаметр Луны $D=3476$ км: $d_{cp} = \frac{206265'' \cdot D}{R} = 1865'' = 31'05''$. Тогда угловой диаметр «большой» Луны был больше «обычной» Луны на $33'33''-31'05''=2'28''$. Так как считается, что разрешающая способность глаза составляет $2'$, то, казалось бы, различить невооруженным глазом увеличение размера Луны невозможно. Однако посчитаем, во сколько раз увели-

чилась видимая площадь Луны: $\frac{S}{S_{cp}} = \frac{d^2}{d_{cp}^2} = \frac{(33'33'')^2}{(31'05'')^2} = \frac{(2013'')^2}{(1865'')^2} = 1,17$

раза, что тоже не так уж много. Поэтому значительную роль в «увеличении» Луны сыграл эффект Понцо, особенно во время ее восхода.

5. Звезда, расположенная в правом нижнем углу рисунка, наблюдаться может, а две звезды в левом углу – нет, так как их закрывала бы неосвещенная часть Луны.

6. Примем формально расстояние Солнца от центра Галактики (10 кпк) как расстояние от источника света. Сравним нашу Галактику с галактикой Туманности Андромеды, которая похожа на нашу, а по размерам даже превосходит ее. Расстояние до нее составляет около 2 млн. св.л. или ~ 700 кпк, а ее звездная величина на нашем небе 4^m . Если приблизиться к Туманности Андромеды с нынешнего расстояния 700 кпк до 10 кпк, то ее видимый блеск возрастет до $m = 4^m - 5 \cdot \lg\left(\frac{700}{10}\right) \approx -5^m$. При этом часть ее излучения также поглощается пылью, хотя и гораздо меньше, чем в Галактике, поскольку мы находимся вне ее слоя и наблюдаем галактику не с ребра.

Итак, можно принять, что в отсутствие пыли суммарный блеск звездного неба будет около -5^m . Это в сотни раз слабее полной Луны ($-12,91^m$). А, как известно, даже в полнолуние с трудом удается разобрать только крупный и четкий шрифт. Так что даже при отсутствии пыли Млечный Путь все равно был бы слабым источником света.

Решения заданий 2006–2007 учебного года

1. Вспомнив элементы эллиптической орбиты, вычислим большую полуось орбиты Эриды: $a = \frac{(r_a + r_n)}{2} = \frac{(97,61 \text{ а.е.} + 37,81 \text{ а.е.})}{2} = 67,71 \text{ а.е.}$, т.е.

по 3-му закону Кеплера: $\frac{T^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a^3}{a_{\oplus}^3}$, где T_{\oplus} – звездный период обращения

Земли (1 год), T – звездный период обращения Эриды, a_{\oplus} – большая полуось орбиты Земли (1 а.е.), a – большая полуось орбиты Эриды. Тогда звездный период обращения Эриды вокруг Солнца $T = \sqrt{a^3} = \sqrt{(67,71)^3} \approx 557$ лет.

2. Конечно, с высоты ≈ 12 км над поверхностью Земли кратеры на Луне невооруженным глазом различить невозможно. В решении задачи учащиеся должны это обосновать, взяв необходимые данные из таблицы 2. Например, это можно сделать следующим образом. Так как Луна – в зените, то наблюдатель находится на прямой линии между Землей и Луной, поэтому расстояние между ним и Луной сократилось ровно на величину высоты полета самолета, т.е. на ≈ 12 км. Наименьшее удаление Луны от Земли составляет 363300 км (в перигее), наибольшее удаление Луны от Земли 405500 км (в апогее). Таким образом, расстояние от Земли до Луны в процессе ее движения по орбите изменяется на $405500 - 363300 = 42200$ км, что значительно больше 12 км, при этом, как известно, с поверхности Земли кратеры на Луне невооруженным глазом все равно не видны.

Примечание: если школьники в решении укажут, что расстояния, приводимые в таблицах, – это расстояния между материальными точками – центрами масс небесных тел, а не между их поверхностями, то при правильном и полном обосновании ответа можно дополнительно добавить 1 балл к максимальной оценке задачи.

Невооруженным глазом на лунном диске видны светлые и темные образования – так называемые материки и моря, лучевые системы кратеров Тихо, Аристарха, Кеплера и Коперника и некоторые горные системы. Ряд крупных кратеров с диаметром более 200 км, таких как Клавий или Шиккард, «теоретически» могут быть видны с поверхности Земли невооруженным глазом «на пределе зрения» (разрешающая способность глаза составляет около 2'), а так как условия для наблюдения Луны с борта самолета более благоприятны из-за менее плотной и более чистой и спокойной атмосферы, чем у поверхности, то человек с очень зорким зрением, при определенной фазе Луны, вероятно, сможет их различить. Если учащиеся дадут такой ответ с обоснованием, то его тоже можно засчитать как правильный.

3. Как следует из условия предыдущей задачи, Луна во время полета самолета находилась в зените. Поэтому вначале определим, на каких широтах можно наблюдать Луну в зените. Высота Луны в зените равна $h=90^\circ$. Через точку зенита проходит небесный меридиан, следовательно, светило в зените может находиться только в момент верхней кульминации. Высота светила в верхней кульминации определяется как $h=90^\circ-\varphi+\delta$. Отсюда $\varphi=90^\circ-h+\delta=90^\circ-90^\circ+\delta=\delta$. Так как Луна перемещается по небесной сфере вдоль эклиптики, отклоняясь от нее на $\pm 5^\circ 09'$, а эклиптика пересекается с небесным экватором под углом $23^\circ 27'$, то склонение Луны может изменяться в пределах $\delta=\pm(23^\circ 27'+5^\circ 09')=\pm 28^\circ 36'$. Следовательно, диапазон широт, на которых Луна может наблюдаться в зените, $\varphi=\delta=\pm 28^\circ 36'$, т.е. от $28^\circ 36'$ с.ш. до $28^\circ 36'$ ю.ш. Таким образом, самолет не мог лететь над территорией России.

4. В день проведения олимпиады 25 ноября 2006 года в 22–23 часа в южной стороне неба видны созвездия: Эридан, Телец, Персей, Кит, Овен, Треугольник, Рыбы, Андромеда. На востоке – созвездия: Рак, Близнецы,

Малый Пес, Возничий, Орион. На западе – созвездия: Водолей, Пегас, Дельфин, Лебедь, Лира, Орел. На севере – созвездия: Дракон, Цефей, Геркулес, Большая и Малая Медведица, Гончие Псы. Близки к зениту созвездия: Персей, Кассиопея, Андромеда, Жираф. В западной части неба видны три ярких звезды «летнего треугольника» – Вега (α Лир), Денеб (α Лебедя), Альтаир (α Орла). В это время можно наблюдать рассеянные звездные скопления Ясли (Рак), Плеяды (Телец), η и χ Персея, туманность Ориона, галактику Туманность Андромеды. Из планет виден только Сатурн, который восходит около 23 часов на востоке в созвездии Льва.

5. Поскольку звезды имеют одинаковый цвет, то их температура одинакова. Различие светимости вызвано различием площади светящейся поверхности. Следовательно, $\frac{R_1^2}{R_2^2} = \frac{L_1}{L_2}$. Отсюда $\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \sqrt{10^8} = 10^4$ раз.

6. Абсолютная звездная величина M связана с видимой звездной величиной m и расстоянием в парсеках до звезды r следующим соотношением: $M = m + 5 - 5 \cdot \lg(r)$ (эту формулу можно помнить, а можно вывести из

соотношения $\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}$, зная, что абсолютная звездная величина –

это звездная величина, которую имела бы звезда, если бы она находилась на расстоянии 10 пк). Таким образом,

$$M = 17^m + 5 - 5 \cdot \lg\left(\frac{440 \cdot 10^6 \text{ св.лет}}{3,26 \text{ св.лет}}\right) = -18,7^m \text{ без учета поглощения излуче-}$$

ния межзвездной пылью. Так как созвездие Овна находится в стороне от Млечного Пути – диска Галактики, в котором сосредоточены газопылевые облака, то поглощением света можно пренебречь.

Определим различие в светимостях сверхновой звездой и Солнца, зная абсолютную звездную величину Солнца $M_C = +4,8^m$:

$$\frac{L}{L_C} = 2,512^{(M_C - M)} = 2,512^{(4,8 + 18,7)} = 2,5 \cdot 10^9 \text{ раз, т.е. одна сверхновая}$$

звезда светила как 2,5 миллиарда звезд, подобных нашему Солнцу!

Решения заданий 2007–2008 учебного года

1. Основным доказательством отсутствия у Луны сколько-нибудь заметной атмосферы служит отсутствие уменьшения яркости звезд перед началом и сразу после их покрытия Луной. Кроме того, можно привести и другие факты: наличие на поверхности резких теней, отсутствие рассеянного света вблизи терминатора, отсутствие явления удлинения рогов лунного серпа за линию полярного диаметра диска (как это наблюдается у Венеры).

2. Вычислим в километрах размер наименьших деталей, видимых в указанный телескоп на Марсе во время противостояния. Весь диск Марса при наблюдении его в телескоп с 600-кратным увеличением будет иметь угловой размер $25'' \cdot 600 = 15000'' = 250'$. Тогда размер наименьших видимых деталей будет: $2' \cdot 6794 \text{ км} / 250' = 54,4 \text{ км}$. Таким образом, кратер Абан диаметром 4,2 км в телескоп виден не будет.

3. Для того чтобы звезда 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 $\delta > 90^\circ - \varphi > 90^\circ - 56^\circ > +34^\circ$.

4. На рисунке (см. рис 12) показано созвездие Кассиопеи. На нем обозначены яркие звезды, образующие «рисунки» созвездия (α , β , δ , γ , ϵ). Звезда γ Кассиопеи является переменной звездой, а точнее «новоподобной» или «нестационарной» звездой, блеск которой подвержен неправильным, а ино-

гда и резким изменениям. Звезда η Кассиопеи является двойной звездой, расположенной в относительной близости от Солнца (около 20 световых лет). Одним из интересных объектов этого созвездия является мощный радиоисточник «Кассиопея-А» – остаток сверхновой звезды – «звезды Тихо Браге», вспыхнувшей в 1572 году. На рисунке он обозначен символом «А», недалеко от звезды κ Кассиопеи. Знаком \odot обозначены рассеянные звездные скопления М 103, NGC 457, М 52, а в левом нижнем углу рисунка – два известных рассеянных звездных скопления χ и η Персея, находящиеся в созвездии Персея, которое граничит с созвездием Кассиопеи. Так как созвездие Кассиопеи является для широты Красноярска незаходящим созвездием (см. решение задачи №3), то его можно наблюдать каждую ночь, начиная с вечера и до утра.

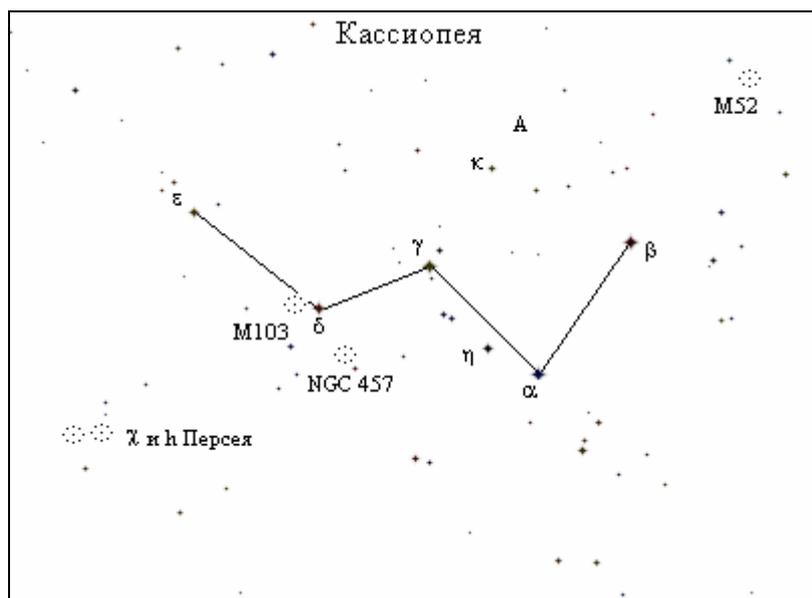


Рис. 12

5. В день проведения олимпиады 29 ноября 2007 года в 22–23 часа в южной стороне неба видны созвездия: Эридан, Телец, Персей, Кит, Овен, Треугольник, Рыбы, Андромеда. На востоке – созвездия: Рак, Близнецы, Малый Пес, Возничий, Орион. На западе – созвездия: Водолей, Пегас, Дельфин, Лебедь, Лира, Орел. На севере – созвездия: Дракон, Цефей, Гер-

кулес, Большая и Малая Медведица, Гончие Псы. Близки к зениту созвездия: Персей, Кассиопея, Андромеда, Жираф. В западной части неба видны три ярких звезды «летнего треугольника» – Вега (α Лиры), Денеб (α Лебедя), Альтаир (α Орла). В это время можно наблюдать рассеянные звездные скопления Ясли (Рак), Плеяды (Телец), η и χ Персея, туманность Ориона, галактику Туманность Андромеды. Из ярких планет виден только Марс на востоке в созвездии Близнецов.

6. Предполагаем, что орбиты Земли и планеты круговые. Планета в противостоянии была ярче на 1^m , т.е. в 2,512 раза. А поскольку изменение

блеска обратно пропорционально квадрату расстояния, то $\frac{(R+r)^2}{(R-r)^2} = 2,512$,

где r и R – радиусы орбиты Земли и планеты. Отсюда $R \approx 4,4$ а.е. По 3 закону Кеплера ($T^2 = a^3$) находим период обращения планеты. Он равен 9,2 годам. Затем по формуле, связывающей сидерический и синодический пе-

риоды $\frac{1}{S} = \frac{1}{1 \text{ год}} - \frac{1}{T}$, находим синодический период планеты. Он равен

1,12 года. Значит между соединением и противостоянием пройдет 0,56 года, или 205 дней.

Решения заданий 2008–2009 учебного года

1. Горизонтальным параллаксом называется угол, под которым светила виден радиус Земли, перпендикулярный лучу зрения. Поэтому угловой радиус Земли, наблюдаемой с этой планеты, будет равен $23''$.

2. Звезды, у которых прямое восхождение отличается на 12 ч. от созвездия Тельца, легко можно определить по карте звездного неба. Это звезды созвездий Геркулес, Северной Короны, Змеи, Змееносца, Скорпиона.

3. На рисунке (см. рис. 13) показано созвездие Ориона. Основными объектами этого созвездия являются яркие звезды Бетельгейзе, Ригель и Беллатрикс, три звезды, образующие «пояс Ориона», газовая Туманность Ориона (М 42 и М 43). Внутри туманности Ориона располагается кратная звезда θ Ориона («Трапедия Ориона»). Эти объекты и соседние созвездия подписаны на звездной карте. Во время проведения олимпиады (в декабре) созвездие Ориона хорошо видно в первой половине ночи в южной части неба.

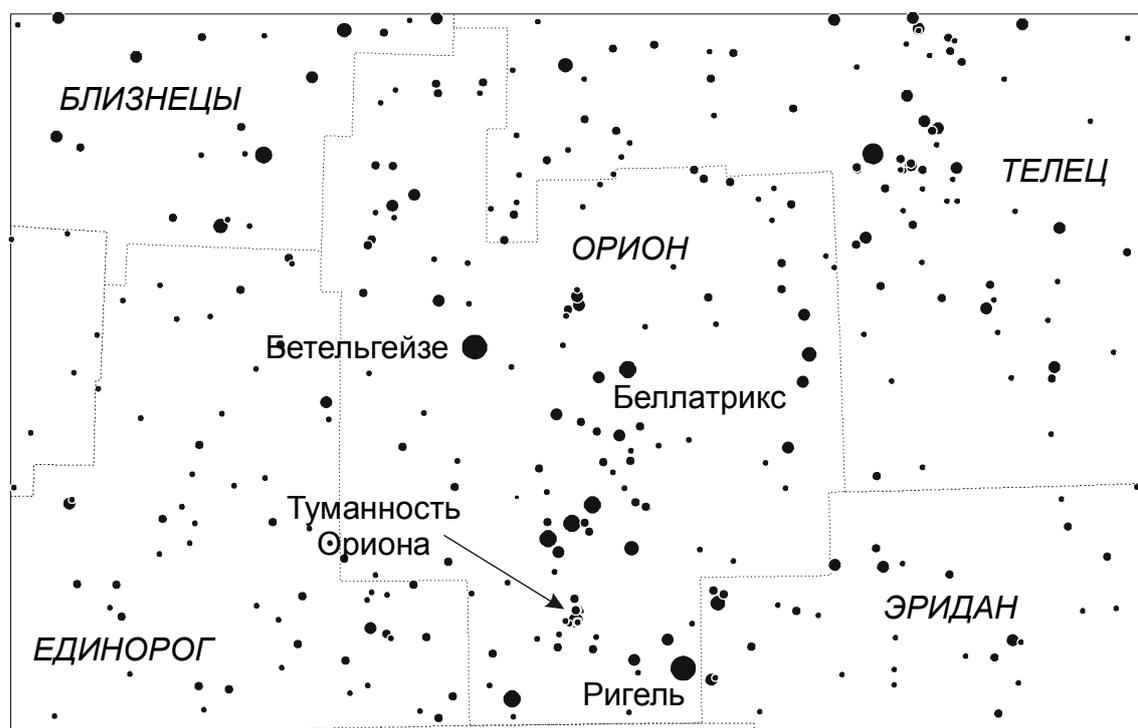


Рис. 13

4. Так как радиус орбиты Земли равен 1 а.е., то расстояние от Земли до Марса в противостоянии составит 0,5 а.е., в соединении – 2,5 а.е., а угловой диаметр Марса, соответственно, уменьшится в 5 раз.

5. Определим, во сколько раз потребуется больше времени, чтобы Солнце совершило полный оборот: $360^\circ/40^\circ=9$. Так как на 40° пятно переместилось за 3 суток, то полный оборот оно совершит за: $9 \cdot 3 \text{ сут.} = 27 \text{ сут.}$ Это будет синодический (видимый) период вращения Солнца, так наблю-

дения проводятся с движущейся Земли. Применив уравнение синодического движения для внутренних планет $\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}}$, где S – синодический период вращения, T – сидерический (звездный) период вращения, а T_{\oplus} – сидерический период обращения Земли вокруг Солнца, равный 365 сут., найдем, что сидерический период вращения экваториальной области Солнца примерно равен 25 сут.

6. Из формулы, связывающей сидерический (звездный) период обращения внутренней планеты T с синодическим периодом ее обращения S :

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}},$$

найдем сидерический (звездный) период Венеры – «венерианский» год. Он примерно равен 225 земным суткам. Таким образом, год на Венере короче земного года в 1,6 раза. Если участнику олимпиады 15 земных лет, то по «венерианскому календарю» ему бы было $15 \cdot 1,6 = 24$ года.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

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

1. 9 класс

1.1. Звездное небо.

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

1.2. Небесная сфера.

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

1.3. Движение Земли по орбите.

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

1.4. Измерение времени.

Тропический год. Солнечные и звездные сутки, связь между ними. Солнечные часы. Местное, поясное время. Истинное и среднее солнечное

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

1.5. Движение небесных тел под действием силы всемирного тяготения.

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

1.6. Солнечная система.

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

1.7. Система Солнце–Земля–Луна.

Движение Луны вокруг Земли, фазы Луны. Либрации Луны. Движение узлов орбиты Луны, периоды «низкой» и «высокой» Луны. Синодический, сидерический, аномалистический и драконический месяцы. Солнеч-

ные и лунные затмения, их типы, условия наступления. Сарос. Покрытия звезд и планет Луной, условия их наступления. Понятие о приливах.

1.8. Оптические приборы.

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

1.9. Шкала звездных величин.

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

1.10. Электромагнитные волны.

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

1.11. Общие представления о структуре Вселенной.

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

1.12. Измерения расстояний в астрономии.

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

1.13. Дополнительные вопросы.

Дополнительные вопросы по математике: Запись больших чисел, математические операции со степенями. Приближенные вычисления. Число значащих цифр. Пользование инженерным калькулятором. Единицы измерения углов: градус и его части, радиан, часовая мера. Понятие сферы, большие и малые круги. Формулы для синуса и тангенса малого угла. Ре-

шение треугольников, теоремы синусов и косинусов. Элементарные формулы тригонометрии.

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

2. 10 класс.

2.1. Шкала звездных величин.

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

2.2. Звезды, общие понятия.

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

2.3. Классификация звезд.

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

2.4. Движение звезд в пространстве.

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

2.5. Двойные и переменные звезды.

Затменные переменные звезды. Спектрально-двойные звезды. Определение масс и размеров звезд в двойных системах. Внесолнечные планеты. Пульсирующие переменные звезды, их типы, кривые блеска. Зависи-

мость «период-светимость» для цефеид. Долгопериодические переменные звезды. Новые звезды.

2.6. Рассеянные и шаровые звездные скопления.

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

2.7. Солнце.

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

2.8. Ионизованное состояние вещества.

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

2.9. Межзвездная среда.

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

2.10. Телескопы, разрешающая и проникающая способности.

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

2.11. Дополнительные вопросы.

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

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

3. 11 класс.

3.1. Основы теории приливов.

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

3.2. Оптические свойства атмосфер планет и межзвездной среды.

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

3.3. Законы излучения.

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

3.4. Спектры звезд.

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

3.5. Спектры излучения разреженного газа.

Представление о спектрах солнечной короны, планетарных и диффузных туманностях, полярных сияниях.

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

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

3.7. Эволюция Солнца и звезд.

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

3.8. Строение и типы галактик.

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

3.9. Основы космологии.

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

3.10. Приемники излучения и методы наблюдений.

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

3.11. Дополнительные вопросы.

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

Дополнительные вопросы по физике: элементы специальной теории относительности. Релятивистская формула для эффекта Доплера. Гравита-

ционное красное смещение. Связь массы и энергии. Основные свойства элементарных частиц (электрон, протон, нейтрон, фотон). Квантовые и волновые свойства света. Энергия квантов, связь с частотой и длиной волны. Давление света. Спектр атома водорода. Космические лучи. Понятие об интерференции и дифракции.

Приложение 2

Справочные данные¹¹

Основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$

Скорость света в вакууме $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Постоянная Стефана-Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$

Астрономическая единица 1 а.е. = $1,496 \cdot 10^{11} \text{ м}$

Парсек 1 пк = 206265 а.е. = $3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

Данные о Солнце

Радиус 695 000 км

Масса $1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$

Светимость $3,88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$

Спектральный класс G2

Видимая звездная величина $-26,8^{\text{m}}$

Абсолютная болометрическая звездная величина $+4,72^{\text{m}}$

Показатель цвета (B–V) $+0,67^{\text{m}}$

Температура поверхности около 6000К

Средний горизонтальный параллакс $8,794''$

¹¹ Разрешается использовать участникам олимпиады по астрономии при решении задач во время проведения тура.

Данные о Земле

Эксцентриситет орбиты 0,017

Тропический год 365,24219 суток

Период вращения 23 часа 56 минут 04 секунды

Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000 года: 23°26'21,45"

Экваториальный радиус 6378,14 км

Полярный радиус 6356,77 км

Масса $5,974 \cdot 10^{24}$ кг

Средняя плотность $5,52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$

Данные о Луне

Среднее расстояние от Земли 384400 км

Минимальное расстояние от Земли 356410 км

Максимальное расстояние от Земли 406700 км

Эксцентриситет орбиты 0,055

Наклон плоскости орбиты к эклиптике 5°09'

Сидерический (звездный) период обращения 27,321662 суток

Синодический период обращения 29,530589 суток

Радиус 1738 км

Масса $7,348 \cdot 10^{22}$ кг или 1/81,3 массы Земли

Средняя плотность $3,34 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$

Визуальное геометрическое альbedo 0,12

Видимая звездная величина в полнолуние $-12,7^m$

Физические характеристики Солнца и планет

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Гео-метр. альбеда	Видимая звездная величина**
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1,989 \cdot 10^{30}$	332946	695000	108,97	1,41	25,380 сут	7,25	–	–26,8
Меркурий	$3,302 \cdot 10^{23}$	0,05271	2439,7	0,3825	5,42	58,646 сут	0,00	0,10	–0,1
Венера	$4,869 \cdot 10^{24}$	0,81476	6051,8	0,9488	5,20	243,019 сут*	177,36	0,65	–4,4
Земля	$5,974 \cdot 10^{24}$	1,00000	6378,1	1,0000	5,52	23,934 час	23,45	0,37	–
Марс	$6,419 \cdot 10^{23}$	0,10745	3397,2	0,5326	3,93	24,623 час	25,19	0,15	–2,9
Юпитер	$1,899 \cdot 10^{27}$	317,94	71492	11,209	1,33	9,924 час	3,13	0,52	–2,9
Сатурн	$5,685 \cdot 10^{26}$	95,181	60268	9,4494	0,69	10,656 час	25,33	0,47	–0,5
Уран	$8,683 \cdot 10^{25}$	14,535	25559	4,0073	1,32	17,24 час*	97,86	0,51	5,7
Нептун	$1,024 \cdot 10^{26}$	17,135	24746	3,8799	1,64	16,11 час	28,31	0,41	7,8
Плутон	$1,5 \cdot 10^{22}$	0,003	1160	0,1819	1,1	6,387 сут*	122,52	0,3	13,7

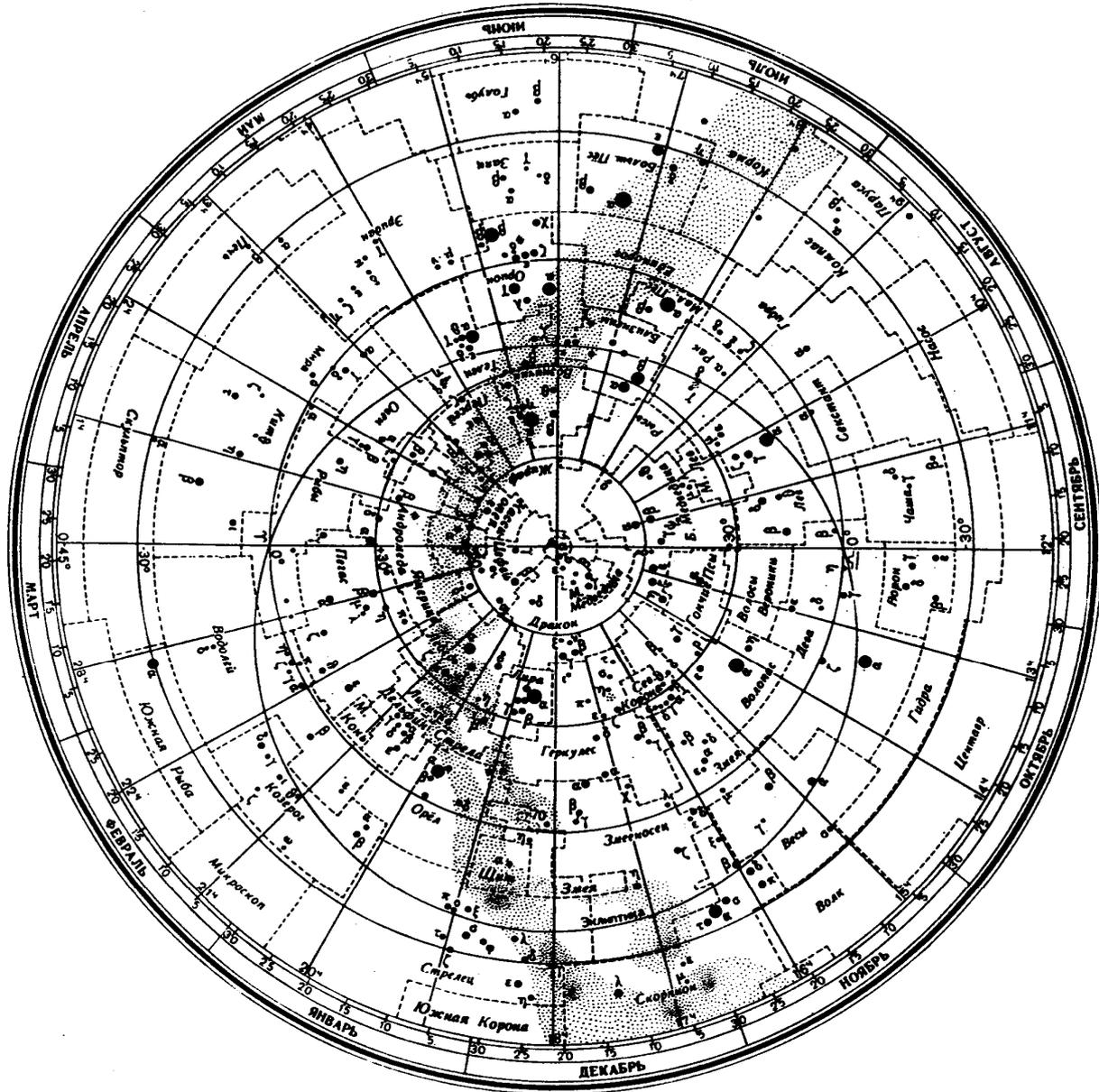
* – обратное вращение.

** – для наибольшей элонгации Меркурия и Венеры и наиболее близкого противостояния внешних планет.

Характеристики орбит планет

Планета	Большая полуось		Эксцентриситет	Наклон к плоскости эклиптики	Период обращения	Синодический период
	млн.км	а.е.				
				градусы		сут
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
Плутон	5913,5	39,5294	0,2482	17,148	248,54 лет	366,7

Приложение 3
Карта звездного неба



Приложение 4

Памятка участника олимпиады

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 (или задания для 9 класса, если вы моложе). 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.

Вы можете временно покинуть аудиторию, при этом вы должны отдать свою рабочую тетрадь сотруднику оргкомитета, находящемуся в ауди-

тории. Он вернет ее вам, когда вы вернетесь в аудиторию и продолжите работу. Одновременный выход из аудитории двух или более участников олимпиады не допускается.

Во время олимпиады все записи (в том числе черновые) вы можете делать только в тетрадь, выданную вам оргкомитетом. Делать записи на какую-либо другую бумагу запрещается. На обложке тетради напишите свою фамилию, имя и отчество, класс и номер школы, район, город или иной населенный пункт, где находится ваша школа. Эта информация должна быть только на обложке, писать ее внутри тетради не разрешается.

Первую страницу тетради оставьте чистой – она понадобится для работы жюри. Начинайте работу со второй страницы тетради. Оставьте несколько последних страниц тетради для черновых записей, подписав их словом «Черновик». Помните, что жюри при работе просматривает черновики и может засчитать решение задачи, выполненное в черновике.

Если выданной вам тетради недостаточно для записей, поднимите руку. Вам выдадут еще одну тетрадь.

При решении задач помните, что жюри смотрит прежде всего не на ответ, а на структуру решения, обоснованность и связанность законов и фактов, которые вы используете. Старайтесь писать полные и подробные решения, но не добавляйте в них лишнюю информацию, не относящуюся к теме задания. Записи и рисунки делайте аккуратно, чтобы ваш ход мысли был легко понят. Получив ответ, постарайтесь проверить его известными вам способами, чтобы исключить возможность случайных ошибок.

Если вы закончили решения раньше срока, не спешите покидать аудиторию. Используйте оставшееся время, чтобы еще раз просмотреть и проверить все ваши решения. Наверняка в них будет то, что можно улучшить, идеальных работ на олимпиаде практически не бывает.

От всей души желаем вам успеха на олимпиаде!

Приложение 5

Некоторые основные формулы¹²

1. Теоретическая разрешающая способность телескопа:

$$\alpha = \frac{206265'' \cdot \lambda}{D}, \text{ где } \lambda - \text{средняя длина световой волны } (5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}), D -$$

диаметр объектива телескопа, или $\alpha = \frac{140''}{D}$, где D – диаметр объектива телескопа в миллиметрах.

2. Высота светила в верхней кульминации:

для светил, кульминирующих к югу от зенита ($\delta < \varphi$):

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta, \text{ где } \varphi - \text{широта места наблюдения, } \delta - \text{склонение светила;}$$

для светил, кульминирующих к северу от зенита ($\delta > \varphi$):

$$h = 90^\circ + \varphi - \delta, \text{ где } \varphi - \text{широта места наблюдения, } \delta - \text{склонение светила.}$$

3. Астрономическая рефракция:

приближенная формула для вычисления угла рефракции, выраженного в секундах дуги (при температуре $+10^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении 760 мм. рт. ст.):

$$\rho = 58'',2 \cdot \text{tg}(z), \text{ где } z - \text{зенитное расстояние светила (для } z < 70^\circ).$$

4. Время:

звездное время:

$s = t + \alpha$, где α – прямое восхождение какого-либо светила, t – его часовой угол;

среднее солнечное время (местное среднее время):

$$T_m = T_\odot + \eta, \text{ где } T_\odot - \text{истинное солнечное время, } \eta - \text{уравнение времени;}$$

всемирное время:

¹² Запрещается использовать участникам олимпиады по астрономии во время проведения тура.

$T_m = T_0 + \lambda$, где λ – долгота пункта с местным средним временем T_m , выраженная в часовой мере, T_0 – всемирное время в этот момент;

поясное время:

$T_n = T_0 + n$, где T_0 – всемирное время; n – номер часового пояса (для Гринвича $n=0$, для Москвы $n=2$, для Красноярска $n=6$);

зимнее время:

$$T_з = T_0 + n + 1\text{ч.} \text{ или } T_з = T_m - \lambda + n + 1\text{ч.};$$

летнее время:

$$T_л = T_0 + n + 2\text{ч.} \text{ или } T_л = T_m - \lambda + n + 2\text{ч.}$$

5. Формулы, связывающие сидерический (звездный) период обращения планеты T с синодическим периодом ее обращения S :

для верхних планет:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T};$$

для нижних планет:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}}, \text{ где } T_{\oplus} - \text{звездный период обращения Земли вокруг Солнца.}$$

6. Третий закон Кеплера:

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3, \text{ где } T_1 \text{ и } T_2 - \text{периоды обращения планет, } a_1 \text{ и } a_2 - \text{большие}$$

полуоси их орбиты.

7. Закон всемирного тяготения:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}, \text{ где } m_1 \text{ и } m_2 - \text{массы притягивающихся материальных точек, } r$$

– расстояние между ними, G – гравитационная постоянная.

8. Третий обобщенный закон Кеплера:

система Солнце и две планеты:

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 \left(\frac{M+m_1}{M+m_2}\right) = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3, \text{ где } T_1 \text{ и } T_2 - \text{ сидерические (звездные) периоды}$$

обращения планет, M – масса Солнца, m_1 и m_2 – массы планет, a_1 и a_2 – большие полуоси орбит планет;

система Солнце и планета, планета и спутник:

$$\frac{T_1^2(M+m_1)}{a_1^3} = \frac{T_2^2(m_1+m_2)}{a_2^3}, \text{ где } M - \text{ масса Солнца; } m_1 - \text{ масса планеты;}$$

m_2 – масса спутника планеты; T_1 и a_1 – период обращения планеты вокруг Солнца и большая полуось ее орбиты; T_2 и a_2 – период обращения спутника вокруг планеты и большая полуось его орбиты;

при $M \gg m_1$, а $m_1 \gg m_2$,

$$\frac{M}{m_1} = \frac{a_1^3 \cdot T_2^2}{a_2^3 \cdot T_1^2}.$$

9. Линейная скорость движения тела по параболической орбите (параболическая скорость):

$$v_p = \sqrt{\frac{2GM}{r}}, \text{ где } G - \text{ гравитационная постоянная, } M - \text{ масса центрально-}$$

го тела, r – радиус-вектор избранной точки параболической орбиты.

10. Линейная скорость движения тела по эллиптической орбите в избранной точке:

$$v = \sqrt{GM \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}, \text{ где } G - \text{ гравитационная постоянная, } M - \text{ масса цен-}$$

трального тела, r – радиус-вектор избранной точки эллиптической орбиты, a – большая полуось эллиптической орбиты.

11. Линейная скорость движения тела по круговой орбите (круговая скорость):

$$v_c = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \frac{v_p}{\sqrt{2}}, \text{ где } G - \text{ гравитационная постоянная, } M - \text{ масса цен-}$$

трального тела, R – радиус орбиты, v_p – параболическая скорость.

12. Эксцентриситет эллиптической орбиты, характеризующий степень отклонение эллипса от окружности:

$$e = \frac{c}{a} = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}, \text{ где } c - \text{расстояние от фокуса до центра орбиты, } a - \text{большая}$$

полуось орбиты, b – малая полуось орбиты.

13. Связь расстояний перицентра и апоцентра с большой полуосью и эксцентриситетом эллиптической орбиты:

$$r_{\Pi} = a(1 - e), \quad r_A = a(1 + e), \quad a = \frac{r_{\Pi} + r_A}{2}, \text{ где } r_{\Pi} - \text{расстояния от фокуса, в}$$

котором находится центральное небесное тело, до перицентра, r_A – расстояния от фокуса, в котором находится центральное небесное тело, до апоцентра, a – большая полуось орбиты, e – эксцентриситет орбиты.

14. Расстояние до светила (в пределах Солнечной системы):

$$D = \frac{206265'' R_{\oplus}}{\rho_0}, \text{ где } R_{\oplus} - \text{экваториальный радиус Земли, } \rho_0 - \text{горизонтальный}$$

параллакс светила, выраженный в секундах дуги,

$$\text{или } \frac{D_1}{D_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}, \text{ где } D_1 \text{ и } D_2 - \text{расстояния до светил, } \rho_1 \text{ и } \rho_2 - \text{их горизонтальные}$$

параллаксы.

15. Радиус светила:

$$R = \frac{\rho R_{\oplus}}{\rho_0}, \text{ где } \rho - \text{угол, под которым с Земли виден радиус диска светила}$$

(угловой радиус), R_{\oplus} – экваториальный радиус Земли, ρ_0 – горизонтальный параллакс светила, выраженный в секундах дуги.

16. Расстояние до звезд:

$$\text{в парсеках: } r = \frac{1}{\pi}, \text{ где } \pi - \text{годовой параллакс звезды, выраженный в радианах;}$$

в астрономических единицах: $r = \frac{206265''}{\pi}$, где π – годичный параллакс

звезды, выраженный в секундах дуги;

в километрах: $r = \frac{206265'' a}{\pi}$, где π – годичный параллакс звезды, выра-

женный в секундах дуги, a – средний радиус (большая полуось) земной орбиты.

17. Связь блеска звезды и ее звездной величины (формула Погсона):

$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}$, 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 .

18. Абсолютная звездная величина:

$M = m + 5 - 5 \lg R$, где m – видимая звездная величина, R – расстояние до звезды в парсеках.

19. Закон Стефана–Больцмана:

$\varepsilon = \sigma T^4$, где ε – энергия, излучаемая в единицу времени с единицы поверхности, T – температура (в кельвинах), а σ – постоянная Стефана–Больцмана.

20. Закон Вина:

$\lambda_{\max} = \frac{0,29}{T}$, где λ_{\max} – длина волны, на которую приходится максимум

излучения абсолютно черного тела (в сантиметрах), T – абсолютная температура в кельвинах.

21. Закон Хаббла:

$v = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = c \cdot z = H \cdot r$, где v – лучевая скорость удаления галактики, c –

скорость света, $\Delta\lambda$ – доплеровское смещение линий в спектре, λ – длина волны источника излучения, z – красное смещение, r – расстояние до галактики в мегапарсеках, H – постоянная Хаббла, равная 75 км/(с·Мпк).

Список литературы, рекомендуемой при подготовке к олимпиаде по астрономии

1. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 2 декабря 2009 г. № 695 «Об утверждении Положения о всероссийской олимпиаде школьников».
2. Официальный портал всероссийской олимпиады школьников. URL: <http://www.rosolymp.ru/>
3. Официальный сайт всероссийской олимпиады школьников по астрономии. URL: <http://www.astroolymp.ru/>
4. Портал школьных олимпиад Красноярского края. URL: <http://olymp.fkgpu.ru/>
5. Угольников О.С. Методические рекомендации по разработке заданий для школьного и муниципального этапов Всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2009/2010 учебном году. М., 2009.
6. 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.
7. Сурдин В.Г. Астрономические олимпиады. Задачи с решениями. М.: МГУ, 1995.
8. Сурдин В.Г. Астрономические задачи с решениями. М.: УРСС, 2002.
9. Всероссийская олимпиада школьников по астрономии в 2006 году. Авт.-сост. О.С. Угольников. М.: АПК и ППРО, 2006.
10. Воронцов-Вельяминов Б.А. Астрономия. 11 кл.: учеб. для общеобразоват. учеб. заведений. – 2-е изд., стереотип. М.: Дрофа, 2001.
11. Левитан Е.П. Астрономия: учеб. для 11 кл. общеобразоват. учреждений. М.: Просвещение, 1994.

12. Малахова Г.И., Страут Е.К. Дидактический материал по астрономии: пособие для учителя. 3-е изд., перераб. М.: Просвещение, 1989.
13. Кононович Э.В., Мороз В.И.. Общий курс астрономии: учебное пособие / под ред. В.В. Иванова. М.: Едиториал УРСС, 2001.
14. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии / Под ред. В.Г. Сурдина. Изд. 6-е, испр. и доп. М.: Книжный дом «ЛИБРИКОМ», 2009.
15. Энциклопедия для детей. Том 8. Астрономия. М.: Аванта+, 2004.
16. Иванов В.В., Кривов А.В., Денисенков П.А.. Парадоксальная Вселенная. 175 задач по астрономии. СПб.: СПбГУ, 1997.
17. Гаврилов М.Г. Звездный мир. Сборник задач по астрономии и космической физике. Черноголовка–Москва, 1998.
18. Московские астрономические олимпиады. 1997–2002. / под ред. О.С. Угольникова и В.В. Чичмаря. М.: МИОО, 2002.
19. Московские астрономические олимпиады. 2003–2005. / под ред. О.С. Угольникова и В.В. Чичмаря. М.: МИОО, 2005.
20. Задания олимпиад школьников Московской области по астрономии. М., 2006.

Сергей Владимирович Бутаков
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ
ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ.
1997–2008 годы
Учебно-методическое пособие

Редактор Н.А. Агафонова
Корректор С.Ю. Глазунова
Компьютерная верстка О.В. Шеина

660049, г. Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89.
Редакционно-издательский отдел КГПУ им В.П. Астафьева,
тел. (391) 217-17-52

Формат 60×84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. 5,75.