

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ

Центральная предметно-методическая комиссия по астрономии
Всероссийской олимпиады школьников

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ по проведению школьного и муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2017/2018 учебном году

Москва 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Введение	3
2. Характеристика содержания школьного этапа	3
3. Характеристика содержания муниципального этапа	5
4. Общие принципы составления олимпиадных заданий и формирования комплектов олимпиадных заданий	6
4. Методическая программа олимпиады по астрономии	10
6. Примеры заданий школьного и муниципального этапа	19
7. Описание необходимого материально-технического обеспечения школьного и муниципального этапа олимпиады по астрономии	31
8. Процедура проведения школьного и муниципального этапа	31
9. Методика оценивания выполненных олимпиадных заданий	33
10. Процедура подведения итогов	34
11. Процедура отбора участников на следующие этапы	34
12. Список литературы	35
11. Информация об олимпиаде в сети Интернет	35
12. Перечень справочных материалов, средств связи и электронно-вычислительной техники, разрешенных к использованию во время проведения олимпиады (справочная информация, подлежащая раздаче вместе с условиями заданий)	36

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические рекомендации подготовлены Центральной методической комиссией по астрономии Всероссийской олимпиады школьников и направлены для разъяснения соответствующим методическим комиссиям и жюри общих принципов проведения и составления заданий и проведении школьного и муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2017/2018 учебном году в субъектах Российской Федерации.

Школьный и муниципальный этапы проводятся в строгом соответствии с Порядком проведения Всероссийской олимпиады школьников, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 1252 от 18 ноября 2013 г., с изменениями, утвержденными Приказами Министерства образования и науки Российской Федерации №249 от 17 марта 2015 г., №1488 от 17 декабря 2015 г. и №1435 от 17 ноября 2016 г.

Данный материал содержит сведения о характеристике школьного и муниципального этапов Всероссийской олимпиады школьников по астрономии, структуре и тематике заданий, условиям проведения этих этапов, материально-техническому обеспечению, а также системе оценивания и процедуре определения победителей и призеров школьного и муниципального этапа.

Методическая комиссия по астрономии желает организаторам успехов в проведении школьного и муниципального этапов олимпиады. По любым вопросам, связанным с данными этапами, можно обратиться по электронной почте к председателю Центральной предметно-методической комиссии Угольникову Олегу Станиславовичу по адресу ougolnikov@gmail.com, тел. (916)-391-73-00.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ ШКОЛЬНОГО ЭТАПА

В соответствии с Порядком проведения Всероссийской олимпиады, школьный этап олимпиады проводится на базе учреждений общего образования в период с 1 сентября по 1 ноября 2017 года. Данный этап проводится в один аудиторный тур в течение одного дня, общего для всех образовательных учреждений, подчиненных органу местного самоуправления, осуществляющему управление в сфере образования. К участию в этапе допускаются все желающие, проходящие обучение в данном образовательном учреждении в 5-11 классах. Любое ограничение списка участников по каким-либо критериям (успеваемость по различным предметам, результаты выступления на олимпиадах прошлого года и т.д.) является нарушением Порядка проведения Всероссийской олимпиады

школьников и **категорически запрещается**. В соответствии с пунктом 10 Порядка проведения олимпиады, **категорически запрещается** взимание платы за участие в олимпиаде.

Школьный этап независимо проводится в шести возрастных параллелях: 5-6, 7, 8, 9, 10 и 11 классы. В соответствии с Порядком проведения Всероссийской олимпиады, участник (в том числе моложе 5 класса) вправе выполнять задания за более старший класс. В этом случае он должен быть предупрежден, что в случае квалификации в список участников последующих этапов Всероссийской олимпиады (муниципального, регионального, заключительного) он будет выступать там в той же старшей параллели.

По ходу школьного этапа участникам предлагается комплект заданий, подготовленных отдельно для каждой из возрастных параллелей. Количество заданий в каждой возрастной параллели составляет не менее 4 и не более 6, в зависимости от возрастной параллели и длительности этапа. Рекомендуемая длительность этапа и число заданий приведены в таблице:

Возрастная параллель	5-6 кл	7 кл.	8 кл.	9 кл.	10 кл.	11 кл.
Длительность этапа (час)	1	1	1	2	2	2
Количество заданий	4	4	4	6	6	6

Часть заданий может быть общей для нескольких возрастных параллелей, однако конкурс и подведение итогов должны быть отдельными. Задания для школьного этапа разрабатываются муниципальной предметно-методической комиссией, формируемой органом местного самоуправления образованием, и являются общими для всех образовательных учреждений, подконтрольных данному органу. Основные принципы формирования комплекта заданий описаны в части 4 настоящих рекомендаций.

Решение заданий проверяется жюри, формируемым организатором олимпиады - органом местного самоуправления, осуществляющим управление в сфере образования. На основе протокола заседания жюри формируется список победителей и призеров школьного этапа. Полный протокол олимпиады с указанием оценок всех участников (не только победителей и призеров!) передаются в орган местного самоуправления, осуществляющий управление в сфере образования.

На основе протоколов школьного этапа по всем образовательным учреждениям орган местного самоуправления устанавливает проходной балл – минимальную оценку на школьном этапе, необходимую для участия в муниципальном этапе. Данный проходной балл устанавливается отдельно в возрастных параллелях 7, 8, 9, 10 и 11 классов и может быть

разным для этих параллелей. На основе этих баллов, формируется список участников муниципального этапа Всероссийской олимпиады по астрономии 2017/2018 учебного года.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПА

В соответствии с Порядком проведения Всероссийской олимпиады школьников, муниципальный этап олимпиады проводится на базе органа местного самоуправления, осуществляющего управление в сфере образования, в период не позднее 25 декабря 2017 года. Данный этап проводится в один аудиторный тур в течение одного дня, общего для всех органов местного самоуправления данного субъекта Российской Федерации, осуществляющих управление в сфере образования. Список участников муниципального этапа составляется в соответствии с Порядком проведения Всероссийской олимпиады школьников и результатами школьного этапа олимпиады по астрономии, проведенного в образовательных учреждениях, подведомственных данному органу местного самоуправления, осуществляющего управление в сфере образования.

Муниципальный этап проводится независимо для школьников 7-11 классов. В соответствии с Порядком проведения Всероссийской олимпиады, участник (в том числе моложе 7 класса) выполняет задания за более старший класс, если он выполнял задания школьного этапа за этот же класс. Он должен быть предупрежден, что в случае квалификации в список участников последующих этапов Всероссийской олимпиады (регионального, заключительного) он будет выступать там в той же старшей параллели.

По ходу муниципального этапа участникам предлагается комплект заданий, подготовленных отдельно для каждой из возрастных параллелей. Количество заданий в каждой возрастной параллели составляет не менее 4 и не более 6, в зависимости от возрастной параллели и длительности этапа. Рекомендуемая длительность этапа и число заданий приведены в таблице:

Возрастная параллель	7 кл.	8 кл.	9 кл.	10 кл.	11 кл.
Длительность этапа (час)	2	2	3	3	3
Количество заданий	4	4	6	6	6

Часть заданий может быть общей для нескольких возрастных параллелей, однако конкурс и подведение итогов должны быть отдельными. Задания для муниципального этапа разрабатываются региональной предметно-методической комиссией, формируемой органом государственной власти субъекта Российской Федерации, осуществляющим государственное

управление в сфере образования, и являются общими для всех муниципальных образований, входящих в данный субъект РФ. Основные принципы формирования комплекта заданий описаны в части 4 настоящих рекомендаций. Решение заданий проверяется жюри, формируемым организатором олимпиады – органом местного самоуправления, осуществляющим управление в сфере образования. На основе протокола заседания жюри формируется список победителей и призеров муниципального этапа. Полный протокол олимпиады с указанием оценок *всех участников* (не только победителей и призеров!) передаются в орган государственной власти субъекта Российской Федерации, осуществляющий государственное управление в сфере образования.

На основе протоколов муниципального этапа по всем муниципальным образованиям орган государственной власти субъекта Российской Федерации, осуществляющий государственное управление в сфере образования, устанавливает проходной балл – минимальную оценку на муниципальном этапе, необходимую для участия в региональном этапе. Данный проходной балл устанавливается отдельно в каждой возрастной параллели и может быть разным для разных параллелей. На основе этих баллов формируется список участников регионального этапа Всероссийской олимпиады по астрономии 2017/2018 учебного года.

4. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СОСТАВЛЕНИЯ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ И ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКТОВ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ

Школьный этап Всероссийской олимпиады школьников является ее первым этапом. Его цель состоит в популяризации астрономических знаний среди широкого круга учащихся, укрепление системы школьного астрономического образования. Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников является ее вторым этапом. Его цель состоит в выделении одаренных школьников, способных решать задачи повышенной сложности по данному предмету.

Основные принципы, в соответствии с которыми формируются задания того или иного этапа Всероссийской олимпиады школьников по астрономии, описаны в книге «Всероссийская олимпиада школьников по астрономии в 2006 году» (автор-составитель О.С. Угольников, Федеральное Агентство по образованию РФ, АПКиППРО, 2006). В 2017/2018 учебном году методические рекомендации по составлению заданий олимпиады разработаны в соответствии с Порядком проведения Всероссийской олимпиады школьников, принятым Министерством Образования и Науки Российской Федерации, приказ №1252 от 18 ноября 2013 года, с изменениями, утвержденными Приказами Министерства образования и науки

Российской Федерации №249 от 17 марта 2015 г. , №1488 от 17 декабря 2015 г. и №1435 от 17 ноября 2016 г.

Школьный этап Всероссийской олимпиады школьников по астрономии проводится среди школьников 5-11 классов в шести возрастных параллелях: 5-6, 7, 8, 9, 10 и 11 классы. В параллелях 7, 8, 9, 10 и 11 классов результаты школьного этапа являются основой для отбора участников следующего, муниципального этапа Всероссийской олимпиады.

Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по астрономии проводится среди школьников 7-11 классов в пяти возрастных параллелях: 7, 8, 9, 10 и 11 классы. В параллелях 9, 10 и 11 классов результаты школьного этапа являются основой для отбора участников следующего, регионального этапа Всероссийской олимпиады.

Задания школьного и муниципального этапа Всероссийской олимпиады по астрономии составляются на основе методической программы Всероссийской олимпиады школьников по астрономии (см. часть 5 настоящих рекомендаций). Данная программа была существенно переработана и расширена ЦПМК Всероссийской олимпиады по астрономии в 2017 г. и публикуется в настоящих рекомендациях полностью.

Список вопросов состоит из шести параграфов в соответствии с количеством возрастных параллелей школьного этапа Всероссийской олимпиады. Он может использоваться при последовательном изучении предмета астрономии в рамках подготовки к разным этапам Всероссийской олимпиады. Каждая из тем списка вопросов может иметь несколько разделов, для которых указывается этап олимпиады, начиная с которого этот раздел может затрагиваться в олимпиадных заданиях данной возрастной параллели. Например, если тема входит в программу 9 класса с пометкой «Муниципальный этап», то она может быть описана в заданиях муниципального, регионального и заключительного этапа олимпиады в 9 классе, а также на любом этапе олимпиады в 10-11 классах. Таким образом, программа школьного и муниципального этапов может охватывать все темы и понятия, описанные в методической программе всех этапов предыдущих возрастных параллелей.

Методическая программа олимпиады по астрономии, в частности, включает в себя основные понятия и вопросы из курсов физики и математики, необходимые для решения олимпиадных заданий по астрономии на данном этапе в данной возрастной параллели. Эти понятия также описаны в программе.

Для каждой из возрастных параллелей должен быть предложен свой комплект заданий, при этом некоторые задания могут входить в комплекты по нескольким возрастным параллелям (как в идентичной, так и в отличающейся формулировке). Допускается использование некоторых заданий для нескольких возрастных параллелей, при этом

составление итоговой рейтинговой таблицы, и подведение итогов в этих параллелях проводится отдельно.

Исходя из целей и задач школьного и муниципального этапов Всероссийской олимпиады по астрономии, рекомендуется предлагать школьникам 6-8 классов по 4 задания, а школьникам 9-11 классов по 6 заданий. Каждое задание комплекта не должно быть связано с другими заданиями в этой же возрастной параллели.

На первом этапе работы по составлению заданий необходимо создать базу, содержащую примерно вдвое большее число заданий-кандидатов, чем это требуется для проведения этапа Олимпиады. Задания школьного этапа проходят независимую экспертизу в муниципальной методической комиссии, на основе которой формируется более узкий комплект, который проходит повторную экспертизу в муниципальной методической комиссии. Задания муниципального этапа проходят экспертизу в региональной методической комиссии.

На втором этапе все задания, отобранные в предварительный комплект, проходят методическую проверку, в ходе которой каждому заданию присваивается пункт из Списка вопросов (пункт 5 настоящих рекомендаций), соответствующий тематике задания, а также категория сложности (1 или 2). Категория 1 присваивается заданиям, имеющим односложную структуру решения, связанную с применением одного-двух астрономических фактов или физических законов. Задания категории 2 имеют многоэтапное решение, требующее последовательное применение нескольких фактов и законов и математического аппарата. Все задания школьного этапа Всероссийской олимпиады школьников должны иметь категорию 1 и затрагивать вопросы Методической программы (часть 5), соответствующие школьному этапу для данной возрастной параллели и всем этапам предыдущих параллелей. Комплекты заданий муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников по астрономии должны характеризоваться следующим распределением заданий по сложности:

Задание	Возрастная параллель				
	7 кл.	8 кл.	9 кл.	10 кл.	11 кл.
Задание 1	1	1	1	1	1
Задание 2	1	1	1	1	1
Задание 3	1	1	1	1	1
Задание 4	1	2	1	2	2
Задание 5	-	-	2	2	2
Задание 6	-	-	2	2	2
Вопросы	§1,2*	§1-2, 3*	§1-3, 4*	§1-4, 5*	§1-5, 6*

Примечание. В параграфах, отмеченных звездочкой (), используются только темы, соответствующие школьному и муниципальному этапам.*

Комплект заданий в каждой возрастной параллели должен также характеризоваться методической полнотой: все 4 либо 6 заданий должны соответствовать **разным** пунктам списка вопросов по астрономии (пункт 5 настоящих рекомендаций). Система оценивания заданий должна быть идентичной (8-балльной) для всех заданий, независимо от их темы и уровня сложности.

Задания школьного и муниципального этапа должны иметь теоретический характер, не требовать для своего решения каких-либо астрономических приборов и электронно-вычислительных средств (за исключением непрограммируемых калькуляторов). Задания должны выполняться в аудитории, без выхода на улицу.

Для каждого задания, разработанного для школьного этапа, муниципальная предметно-методическая комиссия должна разработать подробное решение с учетом всех возможных способов, а также рекомендации по оцениванию решения участниками в том случае, если задание решено не полностью. Процедура оценивания решений и подведения итогов описана в части 8 настоящих рекомендаций. Аналогичная работа производится региональной предметно-методической комиссией для заданий муниципального этапа.

Часть 6 настоящих рекомендаций содержит примеры заданий, соответствующих разным вопросам списка с разным с разным уровнем сложности. Данные задания могут использоваться как образец для составления комплекта школьного и муниципального этапа Всероссийской олимпиады по астрономии с учетом приведенных выше рекомендаций, но **не могут** включаться в эти комплекты напрямую.

5. МЕТОДИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА ОЛИМПИАДЫ ПО АСТРОНОМИИ

Примечание. Темы разделены по параграфам, соответствующим возрастным параллелям (от 5-6 до 11 класса). Если для части темы указан определенный этап олимпиады, она может быть задействована в заданиях этого и более поздних этапов олимпиады вплоть до заключительного. Любая из тем может быть задействована на любом этапе олимпиады в более старшей возрастной параллели.

§ 1. 5-6 классы (только школьный этап).

1.1. Основные объекты звездного неба.

Созвездия и наиболее яркие звезды неба. Условия их видимости в разные сезоны года. Ориентирование на местности по полярной звезде. Астеризмы. Видимые отличия планет от звезд.

1.2. Видимое движение Солнца по небу.

Эклиптика, зодиакальные созвездия. Положение Солнца в созвездиях в зависимости от времени года.

1.3. Солнечная система.

Структура и состав Солнечной системы. Астрономическая единица. Планеты Солнечной системы: радиусы орбит, физические характеристики (размеры, форма, масса, плотность, период вращения). Обращение Земли вокруг Солнца, как причина смены времен года. Крупнейшие спутники планет. Системы мира Птолемея и Коперника.

1.4. Основы летоисчисления.

Календарный год. Високосные и невисокосные года. Юлианский и григорианский календари.

1.5. Вращение Земли.

Полус и экватор. Смена дня и ночи. Изменение вида звездного неба в течении суток.

1.6. Основные сведения о Луне.

Движение Луны вокруг Земли, фазы Луны. Солнечные и лунные затмения.

1.7. Начальные представления о структуре Вселенной.

Основные типы объектов Вселенной (звезды, галактики). Характерные пространственные масштабы.

§ 2. 7 класс (школьный и муниципальный этапы).

2.1. Земля как планета.

Школьный этап: Фигура Земли. Экваториальный и полярный радиусы. Географические координаты.

2.2. Основы сферической астрономии.

Школьный этап: Основные точки и линии на небесной сфере (горизонт, небесный меридиан, зенит, полюс мира, стороны света). Понятие высоты объекта над горизонтом. Связь высоты полюса мира над горизонтом с широтой наблюдателя.

Муниципальный этап: Суточные пути светил на небесной сфере на разных широтах. Восход, заход, кульминация. Годичное движение Солнца по небу. Равноденствия и солнцестояния. Полярный день и полярная ночь. Тропик и полярный круг.

2.3. Оптические явления в атмосфере Земли.

Школьный этап: Радуга, солнечные и лунные гало, ложное Солнце (паргелий) и ложная Луна (парселений), световые столбы. Серебристые облака. Полярные сияния.

2.4. Солнце и звезды, их физические характеристики.

Школьный этап: Масса, радиус, температура Солнца.

Муниципальный этап: Основные характеристики звезд: Масса, размеры (гиганты, карлики), температура, цвет (качественно).

2.5. Малые тела Солнечной системы.

Школьный этап: Определение планеты и карликовой планеты. Свойства и основные характеристики карликовых планет, астероидов и комет, условия их наблюдений. Главный пояс астероидов, пояс Койпера и облако Оорта. Происхождение и эволюция комет. Метеоры и метеорные потоки на Земле. Радиант метеорного потока. Метеориты.

2.6. Электромагнитное излучение и система расстояний в астрономии.

Школьный этап: Скорость света, световой год. Характерные расстояния до объектов Вселенной в световых годах.

Муниципальный этап: Шкала и диапазоны электромагнитных волн. Парсек и метод годичного параллакса измерения расстояний до звезд. Соотношение между парсеком и световым годом. Пространственно-временные масштабы Вселенной.

2.7. Общие сведения по математике.

Школьный этап: Единицы измерения углов (часовые и градусные), их части. Длина окружности.

Муниципальный этап: Линейные уравнения. Решение систем линейных уравнений.

§ 3. 8 класс (школьный и муниципальный этапы).

3.1. Небесная сфера.

Школьный этап: Понятие небесной сферы. Большие и малые круги на небесной сфере. Угловые расстояния между объектами на небесной сфере.

Муниципальный этап: Координаты на поверхности сферы аналогично широте и долготе на Земле. Горизонтальная и экваториальная система координат. Высота, азимут, часовой угол, прямое восхождение и склонение точек небесной сферы. Высоты светил в верхней и нижней кульминации. Рефракция (основные свойства). Незаходящие и невосходящие светила.

3.2. Шкалы времени в астрономии.

Школьный этап: Осевое вращение Земли и солнечные сутки. Местное и поясное время. Связь с географической долготой. Декретное время, часовые пояса и часовые зоны.

Муниципальный этап: Звездное время, звездные сутки. Изменение условий видимости звезд в течение года. Зимние, весенние, летние и осенние созвездия. Подвижная карта звездного неба.

3.3. Основы небесной механики.

Школьный этап: Законы Кеплера в простой формулировке для круговых орбит. Первая космическая скорость.

Муниципальный этап: Закон всемирного тяготения. Обобщенные законы Кеплера. Движение по эллипсу и параболе. Эллипс, его основные точки, большая и малая полуоси, эксцентриситет. Парабола как предельный случай эллипса. Вторая космическая скорость. Определение масс небесных тел на основе закона всемирного тяготения.

3.4. Солнечная система.

Школьный этап: Определение расстояний до тел Солнечной системы (методы радиолокации и суточного параллакса). Угловые размеры планет. Связь угловых и линейных размеров космических объектов.

Муниципальный этап: Упрощенная запись III закона Кеплера для планет Солнечной системы. Видимое движение планет, их конфигурации. Сидерический, синодический периоды планет, связь между ними. Перелеты между планетами. Расчеты времени межпланетных перелетов по эллипсам Гомана.

3.5. Система Земля-Луна.

Школьный этап: Синодический и сидерический периоды Луны. Эксцентриситет орбиты Луны, точки перигея и апогея.

3.6. Общие сведения о глазе и оптических приборах.

Школьный этап: Глаз как оптический прибор. Устройство простейших оптических приборов для астрономических наблюдений. Линзовые, зеркальные и зеркально-линзовые телескопы.

Муниципальный этап: Оптические схемы телескопов. Параметры оптических систем и изображений: фокусное расстояние, относительное отверстие, угловое увеличение, масштаб изображения, предельное угловое разрешение, размеры дифракционного изображения. Ограничения со стороны земной атмосферы на разрешающую способность.

3.7. Общие сведения по математике.

Школьный этап: Запись больших чисел, математические операции со степенями. Приближенные вычисления. Число значащих цифр. Пользование инженерным калькулятором.

Муниципальный этап: формулы для синуса и тангенса малых углов. Квадратные уравнения. Подобие фигур. Прямоугольный треугольник. Теорема Пифагора. Площади простейших геометрических фигур: треугольник, круг.

§ 4. 9 класс.

4.1. Уравнение времени.

Муниципальный этап: Истинное и среднее солнечное время, причины их различия. Уравнение времени, его характерная величина в разные периоды года. Аналемма.

Заключительный этап: математическое выражение для уравнения времени.

4.2. Движение Земли и эклиптические координаты.

Муниципальный этап: Тропический и звездный год, прецессия оси Земли. Нутация (качественно). Принципы построения календарей. Солнечный, лунный и лунно-солнечный календари. Юлианские даты.

Региональный этап: Эклиптическая система координат. Абerrация света.

4.3. Небесная механика.

Региональный этап: элементы орбит в общем случае. Скорость движения в точках перигея и афогия. Законы сохранения энергии и момента импульса. Движение по гиперболу. Наклонение орбиты, линия узлов. Прохождения планет по диску Солнца, условия наступления. Третья космическая скорость для Земли и других тел Солнечной системы.

4.4. Движение Луны.

Региональный этап. Наклонение орбиты, линия узлов. Луны Либрации Луны. Движение узлов орбиты Луны, периоды «низкой» и «высокой» Луны. Аномалистический и драконический месяцы. Солнечные и лунные затмения, их типы, условия наступления. Сарос. Покрытия звезд и планет Луной, условия их наступления. Понятие о приливах.

4.5. Шкала звездных величин.

Муниципальный этап: Светимость. Освещенность. Яркость. Звездная величина, ее связь с освещенностью и расстоянием до объекта. Формула Погсона. Изменение видимой яркости планет и комет при их движении по орбите. Альбедо планет.

4.6. Звезды, общие понятия.

Муниципальный этап: Основные характеристики звезд: температура, радиус, масса и светимость. Закон излучения абсолютно черного тела (закон Стефана-Больцмана). Понятие эффективной температуры.

4.7. Движение звезд в пространстве.

Муниципальный этап: Тангенциальная скорость и собственное движение звезд. Пространственное движение Солнца и звезд, апекс.

Региональный этап: Эффект Доплера. Лучевая скорость звезд и принципы ее измерения.

4.8. Двойные и переменные звезды.

Муниципальный этап: Затменные переменные звезды. Определение масс и размеров звезд в двойных системах.

Региональный этап: Классификация двойных: визуальные, астрометрические, затменные переменные. Кривые блеска и кривые вращения в двойных системах. Пульсирующие переменные звезды, их типы. Зависимость «период-светимость» для цефеид. Долгопериодические переменные звезды. Новые звезды. Внесолнечные планеты, методы их обнаружения. Характеристики их орбит, "зона обитаемости".

4.9. Рассеянные и шаровые звездные скопления.

Региональный этап: Возраст, физические свойства скоплений и особенности входящих в них звезд. Основные различия между рассеянными и шаровыми скоплениями. Движения звезд, входящих в скопление. Метод «группового параллакса» определения расстояния до скопления.

4.10. Солнце.

Все этапы: Основные характеристики Солнца (вращение, химический состав). Солнечные пятна, циклы солнечной активности, Активные образования в атмосфере Солнца. Солнечная постоянная. Числа Вольфа. Состав атмосферы солнца.

Муниципальный этап: Магнитные поля на Солнце. Гелиосфера. Магнитосфера. Солнечный ветер.

Региональный этап: Механизм энерговыделения Солнца. Внутреннее строение Солнца. Солнечные нейтрино.

4.11. Телескопы, проникающая способность, приемники излучения.

Муниципальный этап: Проникающая способность телескопа, поверхностная яркость протяженных объектов при наблюдении в телескоп.

Региональный этап: Современные приемники излучения: Фотоумножители, ПЗС-матрицы. Аберрации оптики. Оптические схемы современных телескопов. Космические телескопы, интерферометры.

4.12. Строение и типы галактик.

Школьный этап: Морфологические типы галактик. Классификация Хаббла.

Региональный этап: Активные ядра галактик (классификация, наблюдательные проявления и физические механизмы). Происхождение и эволюция галактик. Кривые вращения

галактических дисков. Темная материя в галактиках. Сверхмассивные черные дыры и оценка их массы.

4.13. Основы космологии.

Региональный этап: Крупномасштабная структура Вселенной. Скопления и сверхскопления галактик. Гравитационное линзирование (качественно).

4.14. Неоптическая астрономия.

Школьный этап: Космические лучи (состав, энергия, происхождение). Нейтрино. Гравитационные волны. Механизмы излучения.

4.15. Общие сведения из физики.

Региональный этап: Теорема вириала. Связь массы и энергии. Строение ядра атома, дефект масс и энергия связи. Выделение энергии при термоядерных реакциях. Уравнения ядерных реакций (общие принципы), радиоактивность. Основные свойства элементарных частиц (электрон, протон, нейтрон, фотон, нейтрино). Антивещество.

4.16. Общие сведения из математики.

Школьный этап: Экспонента, натуральные и десятичные логарифмы, вещественные степени. Формулы приближенных вычислений.

Региональный этап: Иррациональные уравнения. Метод простой итерации. Оценка погрешностей. Число значащих цифр. Линейная аппроксимация (графически). Площади и объемы простейших геометрических фигур: эллипс, цилиндр, шар, шаровой сегмент, конус, эллипсоид (только объем). Уравнения плоскости, эллипса и сферы. Геометрический смысл коэффициентов уравнений. Телесный угол. Системы координат на плоскости и в пространстве (прямоугольная, полярная, сферическая). Конические сечения: круг, эллипс, парабола, гипербола. Основные свойства. Уравнение эллипса в полярных координатах.

§ 5. 10 класс.

5.1. Движение в поле тяжести нескольких тел.

Региональный этап: Приливное воздействие. Сфера Хилла, полость Роша. Основы теории возмущенного движения, точки либрации.

5.2. Сферические координаты.

Региональный этап: Параллактический треугольник и преобразование сферических координат. Вычисление моментов времени и азимутов восхода и захода светил.

5.3. Основы спектроскопии.

Региональный этап: понятие спектра. Интенсивность, спектральная плотность излучения. Ангстрем. Закон смещения Вина. Многоцветная фотометрия, представление о фотометрической системе UBVR, показатели цвета. Спектр атома водорода и водородоподобных ионов. Квантовые и волновые свойства света. Поглощение, рассеяние, испускание электромагнитного излучения. Линейчатый и непрерывный спектры. Спектры различных астрономических объектов. Спектр разреженного газа (солнечной короны, планетарных и диффузных туманностей, полярных сияний). Профиль спектральной линии.

5.4. Влияние земной атмосферы на наблюдаемые характеристики звезд.

Региональный этап: Атмосферная рефракция, ее зависимость от температуры, давления и длины волны, "зеленый луч". Поглощение и рассеяние света в атмосфере, закон Бугера. Определение внеатмосферных звездных величин звезд. Понятие оптической толщины, ее связь с длиной пути луча в среде. Теллурические спектральные линии.

5.5. Классификация звезд с учетом их спектральных характеристик.

Школьный этап: Спектральная классификация звезд. Диаграмма «цвет-светимость» (Герцшпрунга-Рассела), «спектр-светимость» для разных групп звезд, рассеянных и шаровых звездных скоплений. Звезды главной последовательности, гиганты, сверхгиганты.

Региональный этап: Соотношение «масса-светимость» для звезд главной последовательности.

5.6. Эволюция звезд.

Школьный этап: Эволюция звезд различной массы и их перемещение по диаграмме Герцшпрунга-Рассела. Эволюция звездных скоплений.

Региональный этап: Нуклеосинтез в недрах звезд различных типов и при взрыве сверхновых. Равновесие звезд. Перенос энергии в звезде. Звездные атмосферы и их спектры. Временные шкалы эволюции звезд (ядерная, тепловая, динамическая). Образование звезд. Джинсовская масса. Конечные стадии эволюции звезд: белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры. Предел Чандрасекара. Гравитационный радиус. Пульсары. Планетарные туманности. Сверхновые звезды: типы, механизмы и основные характеристики. Сверхновые

типа Ia. Остатки и расширяющиеся оболочки сверхновых. Сферическая и дисковая аккреция. Предел светимости Эддингтона.

5.7. Межзвездная среда.

Школьный этап: Представление о распределении газа и пыли в пространстве. Плотность, температура и химический состав межзвездной среды. Горячий газ и холодные молекулярные облака. Газовые и диффузные туманности.

Региональный этап: Зависимость межзвездного поглощения от длины волны и влияние на звездные величины и цвет звезд, оптическая толщина. Связь избытка цвета с поглощением в полосе V.

5.8. Общие сведения из физики.

Школьный этап: Газовые законы. Температура, тепловая энергия газа, концентрация частиц и давление. Термодинамическое равновесие. Идеальный газ. Связь скорости молекул и температуры.

Региональный этап: Длина свободного пробега и частота столкновений. Средняя квадратическая скорость молекул газа. Барометрическая формула. Плазма. Процессы ионизации и рекомбинации. Вырожденный газ.

5.9. Общие сведения из математики.

Региональный этап: Метод наименьших квадратов. Непрерывные распределения, их простейшие параметры. Дифференцирование и его геометрический смысл. Сферическая тригонометрия (сферические теоремы синусов и косинусов).

§ 6. 11 класс.

6.1. Небесная механика.

Региональный этап: Движение тел с переменной массой. Уравнение Циолковского.

6.2. Свойства излучения.

Региональный этап: Поляризация излучения. Давление света. Формула Планка. Приближения Рэлея-Джинса и Вина. Яркостная температура. Мазерное излучение. Синхротронное излучение. Мера дисперсии и эффект Фарадея в межзвездной среде.

6.3. Галактика и галактики.

Школьный этап: Фотометрические и спектральные свойства галактик разных типов. Типы населения звезд в галактиках. Функция светимости звезд. Начальная функция масс.

Региональный этап: Соотношения Талли-Фишера и Фабер-Джексона.

6.4. Космология.

Школьный этап: Закон Хаббла, космологическое красное смещение. Реликтовое излучение, его спектр и флуктуации яркости.

Региональный этап: Большой взрыв. Инфляционная теория. Первичный нуклеосинтез. Первичная рекомбинация. Расширение Вселенной. Прошлое и будущее Вселенной. Модель однородной изотропной Вселенной Фридмана. Альтернативные модели Вселенной. Барионное вещество, темная материя и темная энергия. Критическая плотность Вселенной. Масштабный фактор. Угломерное и фотометрическое расстояния. Рост неоднородностей во Вселенной.

6.5. Общие сведения из физики.

Региональный этап: Специальная теория относительности. Преобразования Лоренца. Лоренцево сокращение и релятивистское замедление времени. Релятивистский эффект Доплера. Гравитационное красное смещение.

6.6. Общие сведения из математики.

Региональный этап: Интегрирование и его геометрический смысл. Формула Ньютона-Лейбница. Простейшие дифференциальные уравнения в задачах по физике и астрономии.

6. ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ШКОЛЬНОГО И МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПА

Предлагаемые ниже задания являются характерными примерами задач категорий 1 и 2, которые могут использоваться при составлении комплектов школьного и муниципального этапов Всероссийской олимпиады по астрономии по схеме, описанной в части 4 настоящих рекомендаций (задачи категории 2 – только на муниципальном этапе). Задачи-примеры сортированы в соответствии с пунктами методической программы олимпиады (часть 5). Задачи *не предназначены* для прямого включения в комплект этапов олимпиады 2017/2018 учебного года.

Задачи приведены с полными решениями. Подобным образом в документах для жюри школьного и муниципального этапов Всероссийской олимпиады по астрономии должны быть представлены все задачи, которые войдут в комплект для этих этапов.

№ 1. (Класс: 5-11 , тема: 1.1 – звездное небо, категория – 1)

Условие: Юный астроном на Земле наблюдает Луну в созвездии Овна. В тот же момент времени астронавт, находящийся на Луне, смотрит на Землю. Звезды какого созвездия окружают Землю для астронавта? Ответ обоснуйте.

Решение: Юный астроном на Земле и астронавт на Луне смотрят в противоположные стороны. Следовательно, астронавт видит Землю в созвездии, противолежащем на небе Овну. Это созвездие Весов.

№ 2. (Класс 5-11, темы: 1.1, 1.2 – звездное небо, видимое движение Солнца по небу, категория – 1)

Условие: Козерог, Весы, Телец, Орион, Близнецы. Найдите лишнее в этом списке и объясните свой выбор.

Решение: Лишнее – Орион, т.к. это единственное созвездие из списка, которое не является зодиакальным.

№ 3. (Класс: 5-11 , тема: 1.3 - объекты Солнечной системы, категория – 1)

Условие: Венера, Марс, Юпитер, Солнце, Нептун. Найдите лишний объект в этом списке и объясните свой выбор.

Решение: Лишний объект – Солнце, т.к. это звезда, а остальные объекты – планеты.

№ 4. (Класс: 5-11 , тема: 1.3 - объекты Солнечной системы, категория – 1)

Условие: Ганимед, Луна, Каллисто, Ио, Европа. Найдите лишний объект в этом списке и объясните свой выбор.

Решение: Лишний объект – Луна, т.к. это спутник Земли, а остальные – спутники Юпитера.

№ 5. (Класс: 5-11 , тема: 1.3 - объекты Солнечной системы, категория – 1)

Условие: Перечислите все планеты-гиганты Солнечной системы.

Решение: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.

№ 6. (Класс: 5-11 , тема: 1.3 - объекты Солнечной системы, категория – 1)

Условие: Перечислите все естественные спутники планет земной группы.

Решение: Луна – спутник Земли; Фобос и Деймос – спутники Марса. Другие планеты земной группы (Венера и Меркурий) естественных спутников не имеют.

№ 7. (Класс: 5-11 , тема: 1.3 - объекты Солнечной системы, категория – 1)

Условие: Среднее расстояние от Юпитера до Солнца равно 778.5 млн км. Чему равно расстояние от Юпитера до Солнца в астрономических единицах (1 а.е.), если 1 а.е. = 150 млн км?

Решение: В астрономических единицах расстояние будет равно $L = 778.5/150 = 5.2$ а.е.

№ 8. (Класс: 5-11 , тема: 1.3 - объекты Солнечной системы, категория – 1)

Условие: С какой планеты Солнечной системы Земля будет выглядеть ярче в максимуме блеска – с Венеры или с Нептуна? Почему?

Решение: Земля будет ярче будет выглядеть с Венеры, т.к. Земля гораздо ближе к Венере.

№ 9. (Класс: 5-11 , тема: 1.3 - объекты Солнечной системы, категория – 1)

Условие: Планеты Нару и Нутпен вращаются вокруг звезды Ецнлос в одной плоскости по круговым орбитам. Расстояние от Ецнлоса до Нару – 20 астрономических единиц, от Ецнлоса до Нутпена – 30 астрономических единиц. Чему равны минимальное и максимальное расстояние от Нару до Нутпена в астрономических единицах?

Решение: Минимальное расстояние между планетами равно разности расстояний от планет до звезды, т.е. 10 а.е., а максимальное – сумме этих расстояний, т.е. 50 а.е.

№ 10. (Класс: 5-11 , тема: 1.4 – основы летоисчисления, категория – 1)

Условие. Февраль 1960 года закончился в понедельник. А в какой день недели в 1960 году праздновал свое 25-летие будущий советский космонавт В. В. Аксёнов, если он родился 1 февраля? Объясните свой ответ.

Решение: 1960 год – високосный, т. е. тогда в феврале было 29 дней. Если 29 февраля было понедельником, то и 1 февраля было понедельником.

№ 11. (Класс: 5-11 , тема: 1.4 – основы летоисчисления, категория – 1)

Условие: В некотором году 1 сентября пришлось на четверг. На какие дни недели может выпасть 1 сентября в следующем году?

Решение: В году 365 дней, что составляет 52 полных недели и еще 1 день. Значит, начало каждого следующего года сдвигается на один день недели вперед по отношению к

предыдущему году. Если год високосный (366 дней), то разница составит 2 дня. Таким образом, ответ - пятница или суббота.

№ 12. (Класс: 5-11 , тема: 1.6 – основные сведения о Луне, категория – 1)

Условие: Юный астроном на Земле любит полную Луну. В какой фазе в это время видит Землю астронавт, находящийся на поверхности Луны?

Решение: Так как в фазе полнолуния поверхность Луны, обращенная к Земле, полностью освещена Солнцем, то в это же время поверхность Земли, обращенная к Луне, отвернута от Солнца. Следовательно, астронавт видит «новоземелие», т.е. полностью неосвещенную Землю.

№ 13. (Класс: 5-11 , тема: 1.6 – основные сведения о Луне, категория – 1)

Условие: 1 сентября 2016 года произошло кольцеобразное солнечное затмение. Известно, что в сентябре также случится полутеневое лунное затмение. Какого числа оно произойдет? Свой ответ подтвердите расчетами.

Решение: Солнечное затмение происходит тогда, когда Луна в новолунии, а лунное – когда Луна в полнолунии. Между полнолунием и новолунием проходит примерно половина месяца, т.е. 14-15 дней. Следовательно, лунное затмение произойдет 15-16 сентября.

№ 14. (Класс: 5-11 , тема: 1.6 – основные сведения о Луне, категория – 1)

Условие: В какой фазе была Луна за 2 недели до лунного затмения?

Решение: Лунное затмение – это явление, когда Луна попадает в тень Земли, а это значит, что в этот момент Солнце, Земля и Луна оказываются на одной прямой таким образом, что Земля оказывается точно между Солнцем и Луной. Полный оборот вокруг Земли Луна совершает примерно за месяц. Значит, за две недели до затмения Луна находилась с противоположной стороны от Земли, т.е. между Солнцем и Землей. Эта фаза называется новолунием.

№ 15. (Класс: 5-11 , тема: 1.6 – основные сведения о Луне, категория – 1)

Условие: Незнайка и Пончик полетели на Луну на космическом корабле. Корабль летит по прямой линии со скоростью 128 тысяч километров в час. Чтобы не впасть в депрессию, Пончику нужно каждые 15 минут съедать по одному пончику. Сколько пончиков успеет съесть Пончик, пока корабль не прилетит на Луну? Пончик, который Пончик съел в момент взлета, не считается. Справочные данные: расстояние от Земли до Луны равно 384 тыс. км.

Решение: До Луны корабль с такой скоростью будет лететь $384/128 = 3$ часа. За три часа пройдет $3 \cdot 60/15 = 12$ интервалов по 15 минут. Так как в конце каждого из этих интервалов Пончик будет съедать по пончику, он съест их 12 штук.

№ 16. (Класс: 5-11 , тема: 1.7 – начальные представления о структуре Вселенной, категория – 1)

Условие: Расставьте эти объекты в порядке увеличения их размеров: Галактика, Юпитер, Луна, Солнце, Земля.

Решение: Луна, Земля, Юпитер, Солнце, Галактика.

№ 17. (Класс: 8-11 (школьный этап), 7-11 (муниципальный этап), тема: 2.2 – основы сферической астрономии, категория – 1)

Условие: Объясните причину смены времен года на Земле.

Решение: Из-за наклона оси вращения Земли к перпендикуляру к плоскости орбиты Земли вокруг Солнца (плоскости эклиптики) в разные сезоны года солнечные лучи падают на поверхность под разными углами, что приводит к разной степени нагрева поверхности.

№ 18. (Класс: 8-11 (школьный этап), 7-11 (муниципальный этап), тема: 2.2 – основы сферической астрономии, категория – 1)

Условие: Два поезда в момент захода Солнца выехали из пункта А с одинаковой скоростью на запад и восток. Пассажиры какого из них раньше встретят рассвет?

Решение: Пассажиры поезда, едущего на восток, движутся навстречу Солнцу, которое из-за вращения Земли движется по небу с востока на запад. Поэтому они встретят рассвет раньше пассажиров другого поезда, который уезжает «от Солнца».

№ 19. (Класс: 7-11 , тема: 2.6 - электромагнитное излучение и системы расстояний, категория – 1)

Условие: Расстояние до ближайшей к Земле звезды, Проксимы Центавра, составляет 4.2 световых года. Сколько времени займет перелет с Земли на Проксиму Центавра, если скорость космического корабля составляет 2% от скорости света?

Решение: Скорость звездолета составляет 2% или $1/50$ от скорости света. Если свет проходит расстояние до Проксимы центавры за 4.2 года (расстояние до звезды 4.2 св. года), значит, звездолет пройдет это расстояние за время в 50 раз большее, т.е. примерно за 210 лет.

№ 20. (Муниципальный этап, Класс: 8-11 , тема: 3.1 – небесная сфера, категория – 2)

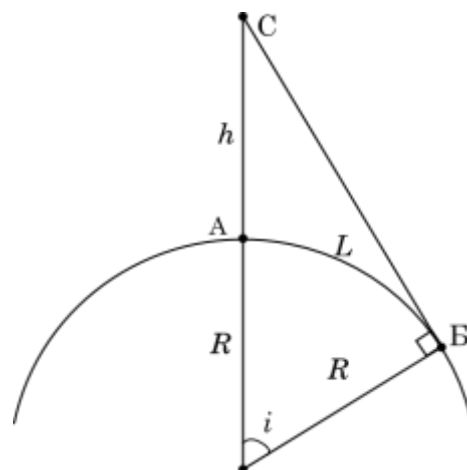
Условие: Искусственный спутник движется по круговой орбите на высоте 6400 км над поверхностью Земли. Вы находитесь в Москве и видите спутник прямо над головой. На каком максимальном расстоянии от Вас (по поверхности Земли) может находиться Ваш приятель, чтобы он мог видеть этот спутник одновременно с Вами?

Решение: В момент наблюдения вы находитесь в точке А, Ваш приятель – в точке Б, а спутник в точке С. Необходимо найти дугу окружности Земли L.

$$L = (i / 180) \cdot \pi R$$

Из прямоугольного треугольника $\cos i = R/(R+h)$.

В данном случае $h = R = 6400$ км, поэтому $\cos i = 0.5$, следовательно, $i = 60^\circ$. Отсюда, $L = 6700$ км.



№ 21. (Муниципальный этап, класс: 8-11, тема: 3.1 – небесная сфера, категория – 2)

Условие: С какой линейной скоростью движется Санкт-Петербург (широта 60°) за счет вращения Земли вокруг своей оси?

Справочные данные: радиус Земли $R_3 = 6400$ км.

Решение: Точка на экваторе Земли за счет суточного вращения движется со скоростью $2\pi R_3 / (24 \cdot 3600) = 0.5$ км/с. Радиус параллели на широте φ меньше радиуса экватора в $(\cos \varphi)$ раз. Таким образом, длина параллели 60° в 2 раза меньше, чем длина экватора. Следовательно, линейная скорость движения Петербурга в 2 раза меньше, чем скорость точки на экваторе, т.е. 0.25 км/с.

№ 22. (Класс: 8-11, тема: 3.2 – шкалы времени в астрономии, категория – 1)

Условие: Известно, что продолжительность суток увеличивается на 0.02 секунды за 1000 лет. Когда (приблизительно) в сутках станет 25 часов?

Решение: Нужно, чтобы продолжительность суток увеличилась на 1 час, т.е. на 3600 секунд. Для этого должно пройти примерно $3600 / (0.02) = 180 \cdot 10^3$ раз по 1000 лет, т.е. 180 млн. лет.

№ 23. (Класс: 8-11, тема: 3.2 – шкалы времени в астрономии, категория – 1)

Условие: Представим, что Земля перестала вращаться вокруг своей оси. Чему тогда будут равны сутки (в часах)?

Решение: Солнечные сутки – это промежуток времени между двумя последовательными восходами или заходами Солнца. Если Земля перестанет вращаться, то время между двумя последовательными восходами Солнца на Земле будет равно одному году (время, за которое Земля совершит один оборот вокруг Солнца). Т.к. в году 365 дней, а в каждом дне 24 часа, то продолжительность суток на Земле будет равна $365 \cdot 24 = 8760$ часов.

№ 24. (Класс: 8-11 , тема: 3.2 – шкалы времени в астрономии, категория – 1)

Условие. Штирлиц ждал сигнала... Сигнал должны были подать из окна напротив, поэтому Штирлиц сидел в кресле и смотрел в окно, иногда нервно поглядывая на часы. Он заметил, что за время ожидания Солнце по небу успело пройти дугу в 5° . Сколько времени прождал Штирлиц? Ответ подтвердите расчетами.

Решение: Солнце движется по небу за счет вращения Земли вокруг своей оси. Так как Земля совершает полный оборот в 360° за 24 часа, то и Солнце проходит 360° за 24 часа. Следовательно, дугу в 5° Солнце пройдёт за $(5/360) \cdot 24 \cdot 60 = 20$ минут.

№ 25. (Класс: 8-11 , тема: 3.2 – шкалы времени в астрономии, категория – 1)

Условие: Время в Санкт-Петербурге (30° в.д.) и Хабаровске различается на 7 часов. Какова долгота Хабаровска, если известно, что оба города находятся приблизительно в центре своих часовых поясов, и солнечный полдень наступает там в одно и то же поясное время?

Решение: На Земле 24 часовых пояса соответствуют 360° , т.е. на 1 час приходится 15° . Т.к. разница во времени составляет 7 часов, то это соответствует $7 \cdot 15^\circ = 105^\circ$. Прибавляем 105° к 30° и получаем долготу Хабаровска: 135° .

№ 26. (Муниципальный этап, Класс: 8-11 , темы 2.2 – основы сферической астрономии, 3.2 – шкалы времени в астрономии, категория – 2)

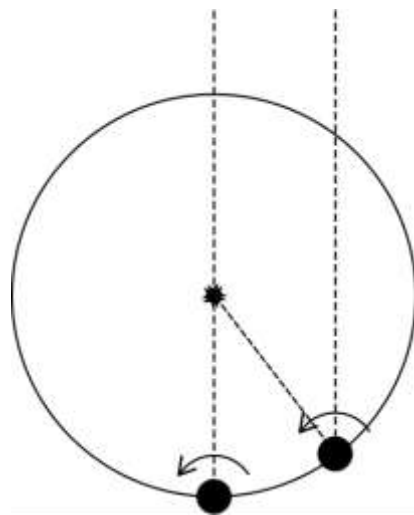
Условие: 22 сентября в некотором городе России Солнце взошло на 6 часов 40 минут раньше, чем в Твери (36° в.д.). Оцените географическую долготу этого города.

Решение: Восход 22 сентября происходит в окрестности момента весеннего равноденствия, поэтому интервал времени между восходом и заходом Солнца не зависит от широты и составляет 12 часов. Поэтому данный город находится восточнее Твери на 6 часов 40 минут (если измерять долготу в часовой мере). Учитывая, что 360° соответствуют 24 часам, получаем, что один градус соответствует 4 минутам времени, поэтому город находится на $(6 \cdot 60 + 40) / 4 = 100^\circ$ восточнее Твери, и его долгота – 136° в.д.

№ 27. (Класс: 9-11 для школьного этапа, 8-11 для муниципального этапа , тема: 3.2 – шкалы времени в астрономии, категория – 1).

Условие: Звездное время определяется вращением Земли относительно звезд, солнечное (по которому мы живем) – относительно Солнца. Астрономы пользуются как часами, идущими по звездному времени, так и часами, идущими по солнечному времени, однако эти часы ходят по-разному. Какие часы идут быстрее, насколько быстрее и почему?

Решение: Звезды неподвижны на земном небе, а Солнце смещается за счет годичного движения Земли вокруг Солнца. За то время, пока Земля делает один оборот вокруг своей оси, она успевает немного сместиться по своей орбите. Направление на далекие «неподвижные» звезды при этом не меняется, а направление на Солнце меняется. Чтобы направление на Солнце из той же точки Земли стало таким же, как и «оборот назад», т. е. чтобы завершить оборот вокруг своей оси относительно Солнца, Земле необходимо «довернуться» ещё на небольшой угол, около 1° (т. к. полный оборот 360° вокруг Солнца



Земля совершает примерно за 365 дней). Следовательно, звездные часы идут быстрее (т. к. полный оборот относительно звёзд, т. е. звездные сутки, заканчивается раньше). 1° соответствует примерно 4 минутам времени (полный оборот 360° вокруг оси совершается за 24 часа). Таким образом звёздные часы «спешат» относительно солнечных примерно на 4 минуты в сутки.

№ 28. (Класс: 8-11 , тема: 3.3 - основы небесной механики, категория – 1)

Условие: Астероид обращается вокруг Солнца по круговой орбите за 8 лет. Чему равен радиус его орбиты?

Решение: По третьему закону Кеплера радиус орбиты тела вокруг Солнца r в астрономических единицах и период обращения по ней P в годах связаны следующим образом: $r^3 = P^2$. Следовательно, радиус орбиты астероида равен 4 а.е. или $6 \cdot 10^8$ км.

Примечание: альтернативные способы нахождения радиуса орбиты (через обобщенный III закон Кеплера, решение задачи о равномерном движении по окружности и т.п.) при отсутствии ошибок также оцениваются в полной мере.

№ 29. (Муниципальный этап, Класс: 8-11 , тема: 3.3 - основы небесной механики, категория – 2)

Условие: Какая планета проходит большее расстояние по орбите за 1 год – Марс или Юпитер? Орбиты считать круговыми. Обоснуйте свой ответ.

Решение: По III закону Кеплера ($T^2/a^3 = \text{const}$). Скорость планеты равна

$$V = 2\pi a/T = 2\pi a / (\text{const} \cdot a^3)^{1/2} = (2\pi/\text{const}) / a^{1/2}$$

Значит, чем больше значение большой полуоси планеты (радиуса орбиты планеты), тем меньше должна быть скорость планеты. Таким образом, чем дальше планета от Солнца, тем меньшее расстояние она проходит за единицу времени. Т.е. Юпитер пройдет меньшее расстояние за 1 год, чем Марс.

Примечание: альтернативные способы нахождения зависимости скорости от радиуса орбиты (через обобщенный III закон Кеплера, решение задачи о равномерном движении по окружности, первую космическую скорость и т.п.) при отсутствии ошибок также оцениваются в полной мере.

№ 30. (Класс: 9-11 для школьного этапа, 8-11 для муниципального этапа, тема: 3.3 - основы небесной механики, категория – 1)

Условие: Спутник Нептуна Тритон имеет радиус орбиты, равный радиусу орбиты Луны вокруг Земли, но делает один оборот вокруг Нептуна за 6 суток. Во сколько раз отличаются массы Нептуна и масса Земли? Какая из них больше?

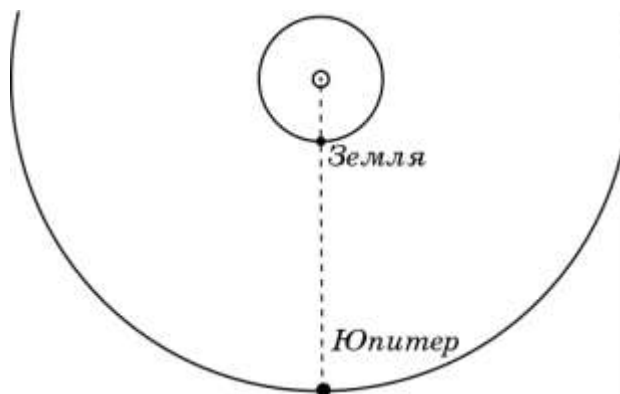
Решение: Из закона всемирного тяготения и второго закона Ньютона следует, что центростремительное ускорение при движении по круговой орбите радиуса R вокруг тела массы M равно $a = GM/R^2$. С другой стороны, оно равно $a = v^2/R$, где v – орбитальная скорость. Отсюда следует, что, если радиусы орбит одинаковы, масса M пропорциональна v^2 . Луна делает оборот по своей орбите примерно за месяц. Так как длины орбит одинаковы, то орбитальная скорость Тритона примерно в 5 раз больше, чем орбитальная скорость Луны. Следовательно, масса Нептуна в $5^2 = 25$ раз больше массы Земли.

Примечание: альтернативные способы решения (через III закон Кеплера, первую космическую скорость и т.п.) при отсутствии ошибок также оцениваются в полной мере.

№ 31. (Муниципальный этап, класс: – 8-11, тема: 2.6 - электромагнитное излучение, 3.4 – Солнечная система, категория – 2)

Условие: Известно, что Юпитер расположен от Солнца в 5 раз дальше, чем Земля. Однажды во Владивостоке в полночь юный астроном, наблюдая в телескоп Юпитер в южной части неба, заметил внезапное изменение в его атмосфере. Насколько раньше это изменение произошло на самом Юпитере?

Решение: Если Юпитер наблюдался на юге в полночь (когда Солнце на севере), то в этот момент он находился ближе всего к Земле (см. рис.). Это значит, что в этот момент расстояние между Юпитером и Землей было в $5 - 1 = 4$ раза больше, чем расстояние от Земли до Солнца. Известно, что свет от Солнца до Земли идёт 500 с.



Следовательно, изменение в атмосфере Юпитера юный астроном заметил через $4 \cdot 500 = 2000$ с (т. е. чуть более получаса) после того, как оно произошло.

№ 32. (Класс: школьный этап - 9-11 , муниципальный этап – 8-11, тема: 3.4 - объекты Солнечной системы, категория – 1)

Условие: Сразу после захода Солнца Штирлиц вышел на улицу и увидел яркую планету на востоке. Какая это планета: Венера или Юпитер? Ответ обоснуйте.

Решение: Так как Солнце только что зашло, а Штирлиц смотрит на восток, угловое расстояние от Солнца до планеты в данный момент около 180° . Венера, как внутренняя планета, не может отходить на небе далеко от Солнца (максимум примерно на 47°). Следовательно, Штирлиц увидел Юпитер.

№ 33. (Класс: 7-11 , тема: 1.3 – Солнечная система, 3.7 – общие сведения по математике, категория – 1)

Условие. На Землю выпадает 10^7 кг метеоритного вещества в год. За сколько лет масса Земли увеличится на 0.001%, если сейчас она равна $6 \cdot 10^{24}$ кг?

Решение: 0.001% от массы Земли – это $10^{-3} \cdot 10^{-2} \cdot 6 \cdot 10^{24} = 6 \cdot 10^{19}$ кг. При выпадении за год 10^7 кг такая масса накопится за $6 \cdot 10^{19} / 10^7 = 6 \cdot 10^{12}$ лет. Это очень большое время, превышающее время стабильного существования Солнечной системы.

№ 34. (Класс: 10-11 , тема: 4.3 - небесная механика, категория – 1)

Условие: На какой высоте и над какими точками над поверхностью Земли летают геостационарные спутники? Напомним, что геостационарный спутник постоянно «висит» над какой-то одной точкой земной поверхности.

Справочные данные: радиус орбиты Луны - 384 тыс. км, период обращения Луны вокруг Земли - 27.3 сут.

Решение: Спутник, плоскость орбиты которого не совпадает с плоскостью экватора, не может постоянно находиться над одной и той же точкой земной поверхности. Следовательно, все геостационарные спутники находятся над экватором, при этом период обращения такого спутника вокруг Земли должен совпадать с периодом обращения Земли вокруг своей оси (т. е. равняться примерно 24 часам).

По III закону Кеплера:

$$(T_L / T_C)^2 = (a_L / a_C)^3$$
$$a_C = a_L \cdot (T_C / T_L)^{2/3} = 384 \cdot 10^3 \cdot (1 / 27.3)^{2/3} = 42.4 \cdot 10^3 \text{ км}$$

Высота спутника над поверхностью Земли равна разности радиуса орбиты спутника и радиуса Земли, т.е. $42.4 - 6.4 = 36$ тыс. км.

Примечание: альтернативные способы нахождения радиуса орбиты спутника (через обобщенный III закон Кеплера, решение задачи о равномерном движении по окружности и т.п.) при отсутствии ошибок также оцениваются полным баллом.

№ 35. (Класс: 10-11, тема: 4.4 – движение Луны, категория – 1)

Условие: Можно ли в Новосибирске наблюдать покрытие Полярной звезды Луной? Почему?

Решение: Нет, нельзя. Луна может закрывать только те звезды, которые находятся в плоскости орбиты Луны, которая почти совпадает с плоскостью орбиты Земли (т.е. с плоскостью эклиптики). Таким образом, Луна не может отходить далеко от зодиакальных созвездий. А так как Полярная звезда находится далеко от эклиптики, Луна никогда не сможет ее закрыть.

№ 36. (Класс – школьный этап – 10-11, муниципальный этап – 9-11, тема: 4.5 – шкала звездных величин)

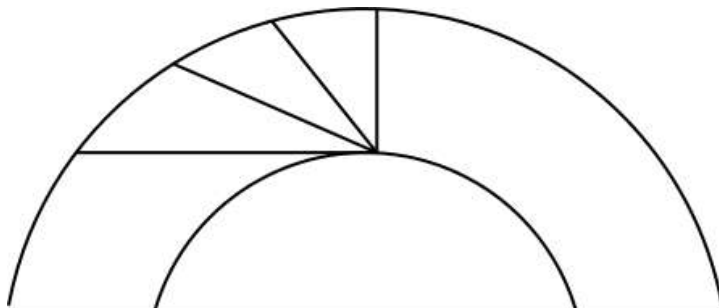
Условие: Телескопу доступны звезды 18 звездной величины. Видна ли в него двойная звезда, каждая компонента которой имеет 19 звездную величину? Ответ обоснуйте.

Решение: По определению звездной величины звезда n -й величины ярче звезды $(n+1)$ -й величины в $100^{1/5} \approx 2.5$ раза. Две звезды 19 величины ярче одной звезды 19 же величины только в 2 раза. Следовательно, такая двойная слабее, чем звезда 18 величины, и телескопу недоступна.

№ 37 . (Класс: 11 , тема: 5.4 – влияние земной атмосферы на наблюдаемые характеристики звезд, категория – 1)

Условие: Почему звезда становится ярче по мере того, как поднимается над горизонтом?

Решение:



Атмосфера Земли поглощает свет звезд. Поглощение тем больше, чем более «толстый» слой атмосферы проходит свет. Чем выше поднимается звезда над горизонтом, тем меньший путь в атмосфере проходит ее свет (см. рис.), следовательно, тем меньше света поглощается и звезда кажется более яркой.

№ 38. (Класс: 11 , тема: 3.3 – основы небесной механики, 5.8 - общая физика, категория – 1)

Условие: Меркурий и Титан, спутник Сатурна, имеют примерно одинаковые массы и размеры, но у Титана есть довольно плотная атмосфера, а у Меркурия – нет. Как Вы думаете, почему?

Решение: То, что Титан и Меркурий имеют одинаковые размеры и массы, означает, что вторая космическая скорость, т. е. скорость, позволяющая телу улететь от поверхности навсегда, для них одинакова. Но в атмосфере Титана молекулы двигаются медленно, т. к. Титан расположен далеко от Солнца и температура его атмосферы мала, поэтому достаточно тяжелые молекулы в ней удерживаются. А в атмосфере Меркурия, если бы она была, молекулы двигались бы с намного большими скоростями, т. к. они сильнее бы разгонялись из-за нагрева близко расположенным Солнцем, поэтому Меркурий не способен удержать возле поверхности даже тяжелые молекулы.

7. ОПИСАНИЕ НЕОБХОДИМОГО МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ШКОЛЬНОГО И МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПОВ ОЛИМПИАДЫ ПО АСТРОНОМИИ

Школьный и муниципальный этапы Всероссийской олимпиады школьников по астрономии проводятся в один аудиторный тур каждый. Эти этапы *не предусматривают* постановку каких-либо практических (в том числе внеурочных, выполняемых вне школы или в темное время суток) задач по астрономии, и их проведение *не требует* специфического оборудования (телескопов и других астрономических приборов). Школьный и муниципальный этап олимпиады по астрономии проводятся в аудиторном формате, и материальные требования для их проведения не выходят за рамки организации стандартного аудиторного режима.

Для проведения школьного и муниципального этапа организатор должен предоставить аудитории в достаточном количестве – каждый участник олимпиады должен выполнять задание за отдельным столом (партой).

Каждому участнику олимпиады Оргкомитет должен предоставить ручку, карандаш, линейку, резинку для стирания и пустую тетрадь со штампом Организационного комитета, а также листы со справочной информацией, разрешенной к использованию на олимпиаде. Полный перечень справочной информации, приведенный в разделе 12, используется на региональном и заключительном этапе. Для школьного и муниципального этапа допускается сокращение перечня, оставляя в нем те данные, которые необходимы для решения заданий конкретного этапа.

В каждой аудитории должны быть также запасные канцелярские принадлежности и калькулятор. На время работы над решениями муниципального этапа участнику должны быть предоставлены продукты питания (сок, печенье).

8. ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕНИЯ ШКОЛЬНОГО И МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПА

Школьный и муниципальный этапы Всероссийской олимпиады школьников по астрономии проводятся в один тур каждый. Участники олимпиады должны быть предупреждены о необходимости прибыть к месту проведения не менее чем за 15 минут до его начала. Они приглашаются на предварительное собрание, на котором оглашаются правила проведения олимпиады, представляется состав оргкомитета и жюри. После этого участники олимпиады распределяются по аудиториям.

Для проведения этапа олимпиады Организационный комитет предоставляет аудитории в количестве, определяемом числом участников олимпиады. В течение всего тура олимпиады в каждой аудитории находится наблюдатель, назначаемый Организационным комитетом. Перед началом работы участники олимпиады пишут на обложке тетради свою фамилию, имя и отчество, номер класса и школы, район и населенный пункт.

По окончании организационной части участникам выдаются листы с заданиями, соответствующими их возрастной параллели, и листы со справочной информацией, необходимой для решения заданий. Наблюдатель отмечает время выдачи заданий. На решение заданий школьного этапа олимпиады по астрономии школьникам отводится 1 час для участников из 5-8 классов и 2 часа для участников 9-11 классов. На решение заданий муниципального этапа олимпиады по астрономии школьникам отводится 2 часа для участников из 7-8 классов и 3 часа для участников 9-11 классов. Участники начинают выполнять задания со второй страницы тетради, оставляя первую страницу чистой. По желанию участника он может использовать несколько последних страниц тетради под черновик, сделав на них соответствующую пометку. При нехватке места в тетради наблюдатель выдает участнику дополнительную тетрадь. По окончании работы вторая тетрадь вкладывается в первую.

Во время работы над заданиями участник олимпиады имеет право:

1. Пользоваться листами со справочной информацией, выдаваемой участникам вместе с условиями заданий.
2. Пользоваться любыми своими канцелярскими принадлежностями наряду с выданными оргкомитетом.
3. Пользоваться собственным непрограммируемым калькулятором, а также просить наблюдателя временно предоставить ему калькулятор.
4. Обращаться с вопросами по поводу условий задач, приглашая к себе наблюдателя поднятием руки.
5. Принимать продукты питания.
6. Временно покидать аудиторию, оставляя у наблюдателя свою тетрадь.

Во время работы над заданиями участнику запрещается:

1. Пользоваться мобильным телефоном (в любой его функции).
2. Пользоваться любой другой вычислительной техникой, кроме непрограммируемого калькулятора (карманным компьютером, планшетом и т.д.).
3. Пользоваться какими-либо источниками информации, за исключением листов со справочной информацией, раздаваемых Оргкомитетом перед туром.

4. Обращаться с вопросами к кому-либо, кроме наблюдателя, членов Оргкомитета и жюри.

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

По окончании работы все участники покидают аудиторию, оставляя в ней тетради с решениями. После тура перед ними может выступить член оргкомитета и жюри с кратким разбором заданий.

Отдельное помещение для жюри должно быть предоставлено Оргкомитетом на весь день проведения олимпиады. Члены жюри должны прибыть на место проведения олимпиады за 1 час до окончания работы участников. Председатель жюри (или его заместитель) и 1-2 члена жюри должны прибыть к началу этапа и периодически обходить аудитории, отвечая на вопросы участников по условию задач.

9. МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ВЫПОЛНЕННЫХ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ

Для проверки решений участников школьного и муниципального этапа формируется жюри, состоящее из учителей, работающих в области астрономии и смежных дисциплин (физики, математики). Перед началом этапа жюри проводит собрание, на котором выбирает председателя, знакомится с условиями и решениями заданий и распределяет задания для проверки между собой.

Для обеспечения объективности проверки решение каждого конкретного задания в той или иной возрастной параллели должно проверяться одним и тем же членом жюри. При достаточном составе жюри рекомендуется проводить независимую проверку решения каждого задания двумя (одними и теми же) членами жюри с усреднением оценки и проведением обсуждения, если оценки двух членов жюри существенно различаются (при необходимости с последующей коррекцией оценок).

Решение каждого задания оценивается по 8-балльной системе в соответствии с рекомендациями, разработанными составителями для каждой отдельной задачи. Альтернативные способы решения задачи, не учтенные составителями задач в рекомендациях, при условии их правильности и корректности также оцениваются в полной мере. Ниже представлена общая схема оценивания решений.

- 0 баллов – решение отсутствует или абсолютно некорректно;
- 1 балл – правильно угаданный бинарный ответ (да/нет) без обоснования;
- 1-2 балл – сделана попытка решения, не давшая результата;
- 2-3 балла – правильно угадан сложный ответ, но его обоснование отсутствует или ошибочно;

- 4-6 баллов – частично решенная задача;
- 6-7 баллов – полностью решенная задача с более или менее значительными недочетами;
- 8 баллов – полностью решенная задача.

Выставление премиальных баллов (оценка за задание более 8 баллов) на школьном и муниципальном этапе не допускается. Общая оценка за весь этап получается суммированием оценок по каждому из заданий. Таким образом, максимальная оценка за весь школьный или муниципальный этап составляет 32 балла (до 8 класса включительно) и 48 баллов (9-11 классы).

10. ПРОЦЕДУРА ПОДВЕДЕНИЯ ИТОГОВ

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

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

11. ПРОЦЕДУРА ОТБОРА УЧАСТНИКОВ НА СЛЕДУЮЩИЙ ЭТАП

По окончании школьного этапа протоколы с результатами передаются в орган местного самоуправления, осуществляющий управление в сфере образования. На основе данных протоколов организатор следующего (муниципального) этапа для каждой возрастной параллели определяет минимальное количество баллов, необходимое для участия в муниципальном этапе. **Категорически запрещается** допуск к участию в муниципальном этапе только победителей или только победителей и призеров школьного этапа. **Категорически запрещается** введение на муниципальном этапе квот, ограничивающих численность участников от одного образовательного учреждения.

По окончании муниципального этапа протоколы с результатами передаются в орган государственной власти субъекта Российской Федерации, осуществляющий государственное управление в сфере образования. На основе данных протоколов организатор следующего (регионального) этапа для каждой возрастной параллели определяет минимальное количество баллов, необходимое для участия в региональном этапе. **Категорически запрещается** допуск к участию в региональном этапе только победителей или только победителей и призеров муниципального этапа. **Категорически запрещается** введение на региональном этапе квот, ограничивающих численность участников от одного муниципального образования.

12. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Э.В. Кононович, В.И. Мороз. Общий курс астрономии. Москва, URSS, 2017.
2. П.Г. Куликовский. Справочник любителя астрономии. Москва, Либроком, 2016.
3. Энциклопедия для детей. Том 8. Астрономия. Москва, «Аванта+», 2011.
4. В.Г. Сурдин. Астрономические олимпиады. Задачи с решениями. Москва, МГУ, 1995.
5. В.Г. Сурдин. Астрономические задачи с решениями. Москва, Либроком, 2014.
6. В.В. Иванов, А.В. Кривов, П.А. Денисенков. Парадоксальная Вселенная. 250 задач по астрономии. Санкт-Петербург, СПбГУ, 2010. Электронная версия: <http://www.astro.spbu.ru/staff/viva/Book/Book.html>
7. М.Г. Гаврилов. Звездный мир. Сборник задач по астрономии и космической физике. Черноголовка-Москва, 1998.
8. Задачи Московской астрономической олимпиады. 1997-2002. Под редакцией О.С. Угольников и В.В. Чичмаря. Москва, МИОО, 2002.
9. Задачи Московской астрономической олимпиады. 2003-2005. Под редакцией О.С. Угольников и В.В. Чичмаря. Москва, МИОО, 2005.
10. Задачи Московской астрономической олимпиады. 2006-2015. Сборник под редакцией М.В. Кузнецова, Н.Ю. Подорванюка и О.С. Угольникова, 2015.
11. О.С. Угольников. Всероссийская олимпиада школьников по астрономии в 2006 году. Москва, АПК и ППРО, 2007.

13. ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОЛИМПИАДЕ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

1. Методический сайт Всероссийской олимпиады школьников – <http://olymp.apkpro.ru/>
2. Сайт Всероссийской олимпиады школьников по астрономии – <http://www.astroolymp.ru/>

Учебно-информационный портал астрономических олимпиад, проводимых в России и за рубежом – <https://vk.com/astroolympiads>

14. ПЕРЕЧЕНЬ СПРАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СРЕДСТВ СВЯЗИ И ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ, РАЗРЕШЕННЫХ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОЛИМПИАДЫ (СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ПОДЛЕЖАЩАЯ РАЗДАЧЕ ВМЕСТЕ С УСЛОВИЯМИ ЗАДАНИЙ)

Ниже приведен перечень справочных данных, которые считаются известными при решении заданий всех этапов Всероссийской олимпиады школьников по астрономии. Эти справочные данные подлежат раздаче участникам олимпиады в полном объеме на региональном и заключительном этапах олимпиады. На школьном и муниципальном этапе справочные данные могут раздаваться в частичном объеме. В этом случае выделяется та информация и численные параметры, которые оказываются необходимыми для решения тех задач, которые входят в комплект текущего этапа олимпиады (во всех возрастных параллелях). Исключение справочных данных, входящих в приводимый список и имеющих отношение хотя бы к одной из задач, предлагаемых в комплекте, недопустимо.

§1. Основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная $G = 6.672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$

Скорость света в вакууме $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Универсальная газовая постоянная $\mathcal{R} = 8.31 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$

Постоянная Стефана-Больцмана $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$

Масса протона $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Масса электрона $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

Астрономическая единица $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$

Парсек $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

Постоянная Хаббла $H = 68 \text{ (км/с)/Мпк}$

§2. Данные о Солнце

Радиус $695\,000 \text{ км}$

Масса $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$

Светимость $3.88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$

Спектральный класс $G2$

Видимая звездная величина -26.78^{m}

Абсолютная болометрическая звездная величина $+4.72^{\text{m}}$

Показатель цвета (B–V) $+0.67^m$

Эффективная температура 5800K

Средний горизонтальный параллакс $8.794''$

Интегральный поток энергии на расстоянии Земли 1360 Вт/м^2

Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли 600 Вт/м^2

Данные о Земле

Эксцентриситет орбиты 0.017

Тропический год 365.24219 суток

Средняя орбитальная скорость 29.8 км/с

Период вращения 23 часа 56 минут 04 секунды

Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000 года: $23^\circ 26' 21.45''$

Экваториальный радиус 6378.14 км

Полярный радиус 6356.77 км

Масса $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$

Средняя плотность 5.52 г·см^{-3}

Объемный состав атмосферы: N_2 (78%), O_2 (21%), Ar (~1%).

§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 $5^\circ 09'$

Сидерический (звездный) период обращения 27.321662 суток

Синодический период обращения 29.530589 суток

Радиус 1738 км

Масса $7.348 \cdot 10^{22} \text{ кг}$ или 1/81.3 массы Земли

Средняя плотность 3.34 г·см^{-3}

Визуальное геометрическое альbedo 0.12

Видимая звездная величина в полнолуние -12.7^m

§4. Физические характеристики Солнца и планет

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Гео-метр. аль-бедо	Вид. звезд-ная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли	г·см ⁻³		градусы		
Солнце	$1.989 \cdot 10^{30}$	332946	695000	108.97	1.41	25.380 сут	7.25	–	–26.8
Меркурий	$3.302 \cdot 10^{23}$	0.05271	2439.7	0.3825	5.42	58.646 сут	0.00	0.10	–0.1
Венера	$4.869 \cdot 10^{24}$	0.81476	6051.8	0.9488	5.20	243.019 сут**	177.36	0.65	–4.4
Земля	$5.974 \cdot 10^{24}$	1.00000	6378.1	1.0000	5.52	23.934 час	23.45	0.37	–
Марс	$6.419 \cdot 10^{23}$	0.10745	3397.2	0.5326	3.93	24.623 час	25.19	0.15	–2.0
Юпитер	$1.899 \cdot 10^{27}$	317.94	71492	11.209	1.33	9.924 час	3.13	0.52	–2.7
Сатурн	$5.685 \cdot 10^{26}$	95.181	60268	9.4494	0.69	10.656 час	25.33	0.47	0.4
Уран	$8.683 \cdot 10^{25}$	14.535	25559	4.0073	1.32	17.24 час**	97.86	0.51	5.7
Нептун	$1.024 \cdot 10^{26}$	17.135	24746	3.8799	1.64	16.11 час	28.31	0.41	7.8

* – для наибольшей элонгации внутренних планет и среднего противостояния внешних планет.

** – обратное вращение.

§5. 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

§6. Характеристики некоторых спутников планет

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрич. альbedo	Видимая звездная величина*
	кг	км	г/см ³	км	сут		m
Земля							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
Марс							
Фобос	$1.08 \cdot 10^{16}$	~10	2.0	9380	0.31910	0.06	11.3
Деймос	$1.8 \cdot 10^{15}$	~6	1.7	23460	1.26244	0.07	12.4
Юпитер							
Ио	$8.94 \cdot 10^{22}$	1815	3.55	421800	1.769138	0.61	5.0
Европа	$4.8 \cdot 10^{22}$	1569	3.01	671100	3.551181	0.64	5.3
Ганимед	$1.48 \cdot 10^{23}$	2631	1.94	1070400	7.154553	0.42	4.6
Каллисто	$1.08 \cdot 10^{23}$	2400	1.86	1882800	16.68902	0.20	5.7
Сатурн							
Тефия	$7.55 \cdot 10^{20}$	530	1.21	294660	1.887802	0.9	10.2
Диона	$1.05 \cdot 10^{21}$	560	1.43	377400	2.736915	0.7	10.4
Рея	$2.49 \cdot 10^{21}$	765	1.33	527040	4.517500	0.7	9.7
Титан	$1.35 \cdot 10^{23}$	2575	1.88	1221850	15.94542	0.21	8.2
Япет	$1.88 \cdot 10^{21}$	730	1.21	3560800	79.33018	0.2	~11.0
Уран							
Миранда	$6.33 \cdot 10^{19}$	235.8	1.15	129900	1.413479	0.27	16.3
Ариэль	$1.7 \cdot 10^{21}$	578.9	1.56	190900	2.520379	0.34	14.2
Умбриэль	$1.27 \cdot 10^{21}$	584.7	1.52	266000	4.144177	0.18	14.8
Титания	$3.49 \cdot 10^{21}$	788.9	1.70	436300	8.705872	0.27	13.7
Оберон	$3.03 \cdot 10^{21}$	761.4	1.64	583500	13.46324	0.24	13.9
Нептун							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	1350	2.07	354800	5.87685**	0.7	13.5

* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет.

** – обратное направление вращения.

§7. Формулы приближенного вычисления

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x;$$

$$\sin(\alpha + x) \approx \sin \alpha + x \cos \alpha;$$

$$\cos(\alpha + x) \approx \cos \alpha - x \sin \alpha;$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + x) \approx \operatorname{tg} \alpha + \frac{x}{\cos^2 \alpha};$$

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx;$$

($x \ll 1$, углы выражаются в радианах).