

Утверждены протоколом заседания  
центральной предметно-методической комиссии  
по астрономии всероссийской олимпиады  
школьников от 29 июля 2019 г. № 1

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**  
по разработке требований к организации  
и проведению школьного и муниципального этапа  
всероссийской олимпиады школьников по астрономии  
в 2019/2020 учебном году

Москва

2019

## **СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ	3
I. ХАРАКТЕРИСТИКА ШКОЛЬНОГО ЭТАПА	3
II. ХАРАКТЕРИСТИКА МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПА	4
III. РАЗРАБОТКА И ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКТА ЗАДАНИЙ	4
IV. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	6
V. ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕНИЯ ОЛИМПИАДЫ	7
VI. МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ РЕШЕНИЙ	8
VII. ПОКАЗ РАБОТ И РАССМОТРЕНИЕ АПЕЛЛЯЦИЙ	9
VIII. ПРОЦЕДУРА ПОДВЕДЕНИЯ ИТОГОВ	10
IX. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	11
X. ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ	11
Приложение 1. МЕТОДИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА ОЛИМПИАДЫ	12
Приложение 2. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ	30
Приложение 3. ПРИМЕРЫ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ	34

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящие методические рекомендации направляются центральной предметно-методической комиссией по астрономии для разъяснения общих принципов составления заданий и проведения школьного и муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2019/2020 учебном году организаторам, предметно-методическим комиссиям и жюри данных этапов олимпиады.

Данный материал содержит характеристики школьного и муниципального этапов всероссийской олимпиады школьников по астрономии, сведения о 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.

Школьный и муниципальный этапы проводятся в соответствии с Порядком проведения всероссийской олимпиады школьников, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 18 ноября 2013 г. № 1252, 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. (далее – Порядок). С актуальной версией Порядка можно ознакомиться на веб-странице по адресу [astroolymp.ru/statute.php](http://astroolymp.ru/statute.php).

Методическая комиссия по астрономии желает организаторам успехов в проведении школьного и муниципального этапов олимпиады. По любым вопросам, связанным с данными этапами, можно обратиться к председателю центральной предметно-методической комиссии Угольникову Олегу Станиславовичу по адресу электронной почты [ougolnikov@gmail.com](mailto:ougolnikov@gmail.com) или по телефону +7 916 391 73 00.

## **I. ХАРАКТЕРИСТИКА ШКОЛЬНОГО ЭТАПА**

Школьный этап олимпиады проводится в период с 1 сентября по 1 ноября в один тур. К участию допускаются **все желающие обучающиеся 5–11 классов**. Ограничение списка участников по любому основанию или взимание платы за участие в олимпиаде является нарушением Порядка и категорически запрещается.

В соответствии с Порядком проведения олимпиады участники (в том числе младше 5 класса) вправе выполнять задания за более старший класс. Однако они должны быть предупреждены, что в случае квалификации на последующие этапы олимпиады

(муниципальный, региональный, заключительный) они обязаны будут выступать в выбранной на школьном этапе параллели.

На школьном этапе олимпиады участникам предлагаются комплекты заданий, разработанные муниципальной предметно-методической комиссией. Оптимальное количество заданий - 3–4, рекомендуемая длительность этапа составляет 1–2 академических часа. Часть заданий может быть общей для нескольких параллелей, однако подведение итогов должно быть отдельным.

## **II. ХАРАКТЕРИСТИКА МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПА**

Муниципальный этап олимпиады проводится не позднее 25 декабря в один аудиторный тур. К участию в этапе допускаются обучающиеся, набравшие проходной балл, установленный организатором этапа, а также победители и призёры муниципального этапа всероссийской олимпиады по астрономии прошлого года.

Участники школьного этапа текущего учебного года, прошедшие на муниципальный этап, выполняют его в той же возрастной параллели (классе), в которой они выступали на школьном этапе. Победители и призеры муниципального этапа прошлого учебного года, не выступавшие на школьном этапе, вправе выполнять задания за более старший класс. Однако они должны быть предупреждены, что в случае квалификации на последующие этапы олимпиады (региональный, заключительный) они обязаны будут выступать в выбранной в текущем учебном году параллели.

На муниципальном этапе олимпиады участникам предлагаются комплекты заданий, разработанные региональной предметно-методической комиссией. Оптимальное количество заданий - 4–6, рекомендуемая длительность этапа составляет 2–4 астрономических часа и может быть различной для разных параллелей. Часть заданий может быть общей для нескольких возрастных параллелей, однако подведение итогов должно быть отдельным.

## **III. РАЗРАБОТКА И ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКТА ЗАДАНИЙ**

Цель школьного и муниципального этапов состоит в популяризации астрономических знаний среди широкого круга учащихся, укрепление системы астрономического образования. Помимо этого, муниципальный этап призван помочь выделить школьников, способных решать задачи по астрономии повышенного уровня, которые будут предложены на региональном и заключительном этапах олимпиады.

Задания школьного и муниципального этапа основываются на тематической программе, составленной центральной предметно-методической комиссией всероссийской олимпиады школьников по астрономии (приложение 1). Необходимо обратить внимание, что это обновленная программа, вводимая с 2019/2020 учебного года.

Участникам из каждой параллели должен быть предложен свой комплект заданий, при этом некоторые задания могут входить в комплекты нескольких возрастных параллелей (как в идентичной, так и в отличающейся формулировке). Комплекты заданий должны обладать тематической полнотой, то есть соответствовать различным вопросам тематической программы олимпиады. Задания не должны образовывать «цепочки»: необходимо, чтобы каждое задание решалось независимо от остальных.

Задания должны иметь теоретический характер, то есть не требовать для решения использования каких-либо астрономических приборов и электронно-вычислительных средств, за исключением непрограммируемого калькулятора, и выполняться в аудитории, без выхода на улицу.

Комплект заданий должен содержать задания различной сложности. Примерно две трети заданий школьного этапа и одна треть заданий муниципального этапа должны представлять категорию 1 - наиболее простые задания, доступные большинству участников этапа. Решение этих заданий должны предусматривать однократное применение какого-либо астрономического или физического закона с его возможным приложением к математическим вычислениям. Оставшаяся часть заданий относится к категории 2, в рамках которого фактически задаются несколько вопросов, нахождение последовательных ответов на которые приводит в конечном итоге к решению всего задания. Соотношение количества заданий категории 1 и 2 может изменяться в разных возрастных параллелях с учетом специфики конкретной ситуации и уровня подготовки участников.

Для каждого из заданий, включенных в комплект, предметно-методическая комиссия составляет подробное решение и рекомендации по оцениванию. Условия и решения олимпиадных заданий, критерии их оценивания публикуются на сайте организатора олимпиады после ее проведения, свободно предоставляются участникам олимпиады.

Олимпиада не должна носить характер контрольной работы: желательно, чтобы задания выявляли не объем знаний обучающихся, а умение ими пользоваться. Если задания разрабатываются на основе каких-либо общедоступных материалов, не рекомендуется использовать широко известные источники и копировать задания напрямую. Перерабатывать такие задания следует аккуратно, поскольку есть риск, что будут случайно исключены важные части условия или решения.

Необходимые справочные сведения для решения задания (значения физических и астрономических постоянных, физические характеристики планет и т. п.), которые заведомо не являются общеизвестными, приводятся в тексте условия или, если это предусмотрено соответствующей предметно-методической комиссией, выносятся на листы со справочными данными, которые выдаются участникам олимпиады вместе с условиями заданий. Полный список справочных материалов (который может быть полностью или частично использован предметно-методическими комиссиями) содержится в приложении 2 к настоящим рекомендациям.

В приложении 3 приводятся примеры олимпиадных заданий различной тематики и сложности, которые в целом характеризуют возможный уровень сложности комплектов школьного и муниципального этапа всероссийской олимпиады по астрономии. Для каждого задания указывается пункт методической программы, который это задание затрагивает, его категория сложности и примерная рекомендация, на каком этапе и в какой возрастной параллели можно использовать задание такого уровня. Сами задания непосредственно **не могут заимствоваться без изменений** при подготовке комплектов заданий. Также категорически недопустимо использовать комплекты заданий любых олимпиад по астрономии прошлых лет.

#### **IV. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Школьный и муниципальный этапы не предусматривают выполнение каких-либо практических и наблюдательных задач по астрономии, их проведение **не требует** специального оборудования (телескопов и других астрономических приборов), поэтому материальные требования для их проведения не выходят за рамки организации стандартного аудиторного режима.

Каждому участнику олимпиады должна быть предоставлена бумага для выполнения олимпиадных заданий: тетрадь в клетку или листы формата А4. Участники могут использовать свои письменные принадлежности (включая циркуль, транспортир, линейку и т. п.) и непрограммируемый инженерный калькулятор. В частности, калькуляторы, сертифицированные для использования на ЕГЭ, безусловно разрешаются для использования на любых этапах олимпиады. Желательно иметь в аудитории несколько запасных ручек синего или черного цвета.

Желательно, чтобы аудитории, в которых проходит тур олимпиады, были оборудованы часами, которые видны всем участникам. Если в аудитории

есть проектор, возможно включить демонстрацию таймера с отсчетом времени до завершения тура.

Для полноценной работы жюри должно быть предоставлено отдельное помещение, оснащенное техническими средствами: компьютером, принтером и копировальным аппаратом с достаточным количеством бумаги; канцелярскими принадлежностями: ручками (по числу членов жюри), ножницами и степлером.

## **V. ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕНИЯ ОЛИМПИАДЫ**

Для проведения этапа олимпиады оргкомитет предоставляет аудитории в количестве, определяемом числом участников олимпиады. В течение всего тура олимпиады в каждой аудитории находится дежурный, назначаемый оргкомитетом.

Перед началом тура дежурные напоминают участникам основные положения регламента (о продолжительности тура, порядке оформления работы, правах участника и установленных запретах) и выдают листы с заданиями, соответствующими их параллели, а также справочные материалы, составленные методической комиссией с учетом специфики заданий.

Отсчет времени, отведенного на выполнение олимпиадных заданий, начинается после выдачи условий заданий всем участникам в данной аудитории. При этом желательно выдавать листы лицевой стороной вниз — в таком случае участники будут иметь возможность начать ознакомление с текстом условий одновременно. В любом случае дежурный оповещает участников по прошествии каждого часа, а также за 30 минут, за 15 минут и за 5 минут до окончания тура.

На протяжении всего тура участник имеет право:

- пользоваться своими канцелярскими принадлежностями, непрограммируемым инженерным калькулятором и выданными справочными данными;
- задавать вопросы по условиям заданий в очном или письменном виде, во втором случае передавая их присутствующим членам жюри или методической комиссии через дежурных в аудиториях;
- употреблять пищу и безалкогольные напитки;
- временно покидать аудиторию, оставляя у наблюдателя условия заданий и свою работу.

Во время работы над заданиями участнику запрещается:

- пользоваться средствами связи, вычислительной техникой (кроме непрограммируемого инженерного калькулятора), шпаргалками и справочной литературой (за исключением выданных справочных материалов);

- обращаться с вопросами или просьбами к кому-либо, кроме дежурного, членов жюри и оргкомитета (в пределах их компетенции);
- преднамеренно указывать в работе какие-либо идентификационные данные или отметки, прямо или косвенно указывающие на авторство работы;

Участник вправе завершить и сдать работу досрочно, после чего незамедлительно покидает аудиторию, в которой проводится тур.

## VI. МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ РЕШЕНИЙ

Для проверки решений участников формируется жюри, состоящее из числа педагогических, научно-педагогических и научных работников, аспирантов, студентов и иных специалистов в области астрономии и физики.

Для обеспечения объективной и единообразной проверки решение каждого задания должно проверяться одним и тем же членом жюри у всех участников, а при достаточном количестве членов жюри — независимо двумя членами жюри с последующей коррекцией существенного различия в их оценках одной и той же работы.

Решение каждого задания оценивается в соответствии с рекомендациями, разработанными предметно-методической комиссией. Альтернативные способы решения, не учтенные составителями заданий, также оцениваются в полной мере при условии их корректности. Во многих заданиях этапы решения можно выполнять в произвольном порядке; это не влияет на оценку за выполнение каждого этапа и за задание в целом.

При частичном выполнении задания оценка зависит от степени и правильности выполнения каждого этапа решения, при этом частичное выполнение этапа **оценивается пропорциональной** частью баллов за этот этап. При проверке решения необходимо отмечать степень выполнения его этапов и выставленные за каждый этап количества баллов.

Если тот или иной этап решения можно выполнить отдельно от остальных, он оценивается независимо. Если ошибка, сделанная на предыдущих этапах, не нарушает логику выполнения последующего и не приводит к абсурдным результатам, то последующий этап при условии правильного выполнения оценивается полностью.

Жюри не учитывает решения или части решений заданий, изложенные в черновике, даже при наличии ссылки на черновик в чистовом решении. Об этом необходимо отдельно предупредить участников перед началом олимпиады.

Жюри должно придерживаться принципа соразмерности: так, если в решении допущена грубая астрономическая или физическая ошибка с абсурдным выводом (например, скорость больше скорости света, масса звезды, существенно меньшая реальной массы Земли



и т.д.), все решение оценивается в 0 баллов, тогда как незначительная математическая ошибка должна снижать итоговую оценку не более чем на 2 балла.

Ниже представлена примерная схема оценивания решений по традиционной 8-балльной системе:

- 0 баллов — решение отсутствует, абсолютно некорректно, или в нем допущена грубая астрономическая или физическая ошибка;
- 1 балл — правильно угадан бинарный ответ («да-нет») без обоснования;
- 1–2 балла — попытка решения не принесла существенных продвижений, однако приведены содержательные астрономические или физические соображения, которые можно использовать при решении данного задания;
- 2–3 балла — правильно угадан сложный ответ без обоснования или с неверным обоснованием;
- 3–6 баллов — задание частично решено;
- 5–7 баллов — задание решено полностью с некоторыми недочетами;
- 8 баллов — задание решено полностью.
- Выставление премиальных баллов сверх максимальной оценки за задание не допускается.

## **VII. ПОКАЗ РАБОТ И РАССМОТРЕНИЕ АПЕЛЛЯЦИЙ**

По завершении проверки работ предварительные результаты (оценки жюри, выставленные за каждое задание), условия и решения олимпиадных заданий, критерии их оценивания доводятся до сведения участников.

Процедура показа работ проводится в установленные сроки в очной или заочной форме. В ходе показа олимпиадной работы участнику предоставляется возможность ознакомиться с собственным решением, а также разъясняются выставленные за каждое задание оценки жюри. Участники имеют право убедиться в том, что их работы проверены в соответствии с критериями и методикой оценивания.

В случае несогласия участника олимпиады с результатами проверки он вправе подать в жюри апелляционное заявление в бумажном или электронном виде. Участник извещается о времени и месте рассмотрения заявления.

Апелляция проводится членами жюри в присутствии участника, при этом участнику дается возможность представить свою позицию по спорным вопросам. Неявка участника на заседание жюри, в котором рассматривается его апелляционное заявление, **не является препятствием к его рассмотрению.** Результатом рассмотрения

апелляционного заявления может быть отклонение апелляции либо удовлетворение апелляции с изменением баллов. По завершении процедуры апелляции в протокол олимпиады вносятся соответствующие изменения.

Показ работ и рассмотрение апелляционных заявлений проводится в спокойной и доброжелательной обстановке. Апелляционная процедура призвана восстановить справедливость или убедиться в том, что она не нарушена.

## **VIII. ПРОЦЕДУРА ПОДВЕДЕНИЯ ИТОГОВ**

Жюри определяет победителей и призеров этапа олимпиады независимо в каждой параллели **на основании итогового рейтинга участников** и в соответствии с квотой, установленной организатором этапа (как правило, в процентах от общего фактического количества участников этапа) **после завершения апелляционной процедуры.**

Организатору этапа при определении квоты следует исходить из ожидаемого количества участников олимпиады. Рекомендуется установить квоту победителей и призеров муниципального этапа олимпиады согласно таблице:

Количество участников	Квота победителей	Квота победителей и призеров
менее 30	на усмотрение жюри	на усмотрение жюри (вплоть до 100 %)
от 30 до 100	на усмотрение жюри	50–70 %
более 100	15–25 %	40–50 %

Крайне нежелательно дополнительно устанавливать пороговый балл, лишь по преодолению которого участник может быть признан победителем или призером.

При определении победителей и призеров жюри должно принимать во внимание особенности распределения результатов, показанных участниками. Для повышения объективности в рамках этой процедуры желательно рассматривать «слепой» протокол олимпиады (без указания персональных данных участников). **Недопустимо** присуждать разный статус участникам одной параллели, показавшим одинаковый результат. **Нежелательно** присуждать разный статус участникам одной параллели, чей результат различается на 1-2 балла.

После подведения итогов олимпиады итоговый рейтинг участников с указанием показанных ими результатов и присужденных им дипломов публикуется на сайте организатора олимпиады, информация о результатах доводится до сведения участников.

Полные протоколы олимпиады с указанием результатов всех участников (не только победителей и призеров) передается организатору следующего этапа. На их основе независимо для каждой параллели им устанавливается единый проходной балл на следующий этап олимпиады и формируется список участников этого этапа, который включает в себя всех участников, набравших проходной балл, а не только победителей и призеров предыдущего этапа. Введение квот на количество участников следующего этапа от одного образовательного учреждения или муниципального образования, является нарушением Порядка проведения Всероссийской олимпиады школьников и *категорически запрещается*.

## **IX. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. А.В. Засов, В.Г. Сурдин. Астрономия. 10-11 классы. Москва, БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019.
2. Э. В. Кононович, В. И. Мороз. Общий курс астрономии. Москва, URSS, 2017.
3. П. Г. Куликовский. Справочник любителя астрономии. Москва, Либроком, 2016.
4. Энциклопедия для детей. Том 8. Астрономия. Москва, «Аванта+», 2011.
5. В. Г. Сурдин. Астрономические олимпиады. Задачи с решениями. Ленанд, 2018.
6. В. Г. Сурдин. Астрономические задачи с решениями. Москва, Либроком, 2014.
7. В. В. Иванов, А. В. Кривов, П. А. Денисенков. Парадоксальная Вселенная. 250 задач по астрономии. СПбГУ, 2010. Электронная версия: [astro.spbu.ru/staff/viva/Book/Book.html](http://astro.spbu.ru/staff/viva/Book/Book.html)
8. О. С. Угольников. Всероссийская олимпиада школьников по астрономии: содержание олимпиады и подготовка конкурсантов. Москва, АПКИППРО, 2007. Электронная версия: [astroolymp.ru/books/book2006\\_net.pdf](http://astroolymp.ru/books/book2006_net.pdf)

## **X. ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ**

1. Сайт всероссийской олимпиады школьников по астрономии [astroolymp.ru](http://astroolymp.ru)
2. Учебно-информационный портал астрономических олимпиад [vk.com/astroolympiads](https://vk.com/astroolympiads)
3. Портал «Астрономическое образование» [astroedu.ru](http://astroedu.ru)

## **Приложение 1.**

# **МЕТОДИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА ОЛИМПИАДЫ**

## **ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОГРАММЫ**

Методическая программа, определяющая темы курса астрономии, которые могут быть затронуты в заданиях того или иного этапа олимпиады в той или иной возрастной параллели, была существенно переработана центральной предметно-методической комиссией в 2019 году и вступает в действие с 2019/20 учебного года. Для обеспечения эффективной подготовки участников она публикуется здесь в полном виде.

Основным принципом построения программы является последовательное и непрерывное прохождение школьником ее разделов в рамках подготовки, вне зависимости от его результатов на всероссийской олимпиаде в том или ином учебном году. Каждый переход к последующему этапу предусматривает глубокое освоение одного или двух новых разделов, выстроенных в соответствии с логикой изучения курса астрономии на трех циклах - начальном, базовом и углубленном, с минимизацией частоты смены тем. Таким образом, подготовка будет наилучшим образом способствовать не только практике решений олимпиадных заданий, но и общему астрономическому образованию школьника.

Имея непрерывную структуру прохождения разделов и уровней, естественную для изучения предмета, программа характеризуется "диагональным" соответствием с определенными этапами всероссийской олимпиады, описанным в следующем разделе. В связи с этим, на ранних этапах олимпиады не встречаются трудные вопросы поздних этапов олимпиады предыдущих лет обучения. При переходе обучающегося в следующий класс вопросы смещаются в раннюю сторону на один этап.

Определенные вопросы данного перечня требуют углубленной подготовки по физике и математике. В этом случае соответствующие аспекты смежных дисциплин указываются в конце раздела.

В комплект заданий, предлагаемых участникам на том или ином этапе, могут входить как задания текущего уровня, соответствующие указанным разделам программы,

так и связанные с ранее изученными разделами. Возможно также включение заданий, охватывающих несколько таких тем.

*Таблица.* Уровни (римские цифры) и разделы (арабские цифры) тематического списка вопросов, соответствующие разным этапам Всероссийской олимпиады в разных возрастных параллелях.

Этап олимпиады	Школьный	Муниципальный	Региональный	Заключительный
5-6 классы	I (1, 2)			
7 класс	II (3)	III (4)		
8 класс	III (4)	IV (5)		
9 класс	IV (5)	V (6, 7)	VI (8, 9)	VII (10, 11)
10 класс	V (6, 7)	VI (8, 9)	VII (10, 11)	VIII(12), IX (13)
11 класс	VI (8, 9)	VII (10, 11)	VIII (12)	X (14, 15)

*Обоснование распределения.* Приведенная "диагональная" структура распределения позволяет сохранить последовательность освещения тем участником вне зависимости от результатов его выступления на олимпиаде в том или ином учебном году. Это важно для прохождения всех этапов, в том числе заключительного. На региональном и заключительном этапах рассматриваются темы не ниже базового цикла, При этом задания, связанные с темами углубленного цикла (разделы 13-15), приводятся только на заключительном этапе в 10 и 11 классах.

## **ТЕМАТИЧЕСКИЙ СПИСОК ВОПРОСОВ**

### **УРОВЕНЬ I (5-6 класс, школьный этап)**

#### **Раздел 1. Классическая астрономия (начальный цикл)**

##### **§1.1. Звездное небо**

Объекты, наблюдаемые на дневном и ночном небе: Солнце, Луна, звезды, планеты, искусственные спутники Земли, метеоры, кометы, Млечный путь, туманности, галактики. Созвездия, наиболее яркие звезды и характерные объекты неба Земли, характерные условия

их видимости в России и других странах мира. Ориентирование по Полярной звезде. Некоторые яркие звезды и другие объекты, видимые из Северного и Южного полушария Земли.

### **§1.2. Земля, ее свойства и движение**

Три базовых факта о Земле: шарообразная форма, вращение вокруг своей оси и вокруг Солнца. Форма и размеры Земли. Смена времен года, равноденствия и солнцестояния. Основные единицы времени: солнечные сутки и тропический год. Видимый путь Солнца по небу, зодиакальные созвездия.

### **§1.3. Луна, ее свойства и движение**

Движение Луны вокруг Земли и осевое вращение Луны. Смена фаз Луны. Синодический месяц. Основные типы солнечных и лунных затмений, условия их наступления.

## **Раздел 2. Строение Вселенной (начальный цикл)**

### **§2.1. Солнце и планеты**

Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы мира. Строение Солнечной системы: Солнце; планеты и их спутники; карликовые планеты; астероиды, кометы и другие малые тела. Астрономическая единица. Расстояние от Солнца, строение и (качественно) физические характеристики планет. Наблюдение планет, их видимое отличие от звезд. Крупнейшие спутники планет. Искусственные объекты космоса: спутники, зонды, автоматические межпланетные станции. Исследование ближнего космоса.

### **§2.2. Звезды и расстояния до них**

Характерные расстояния до ближайших звезд в сравнении с масштабами Солнечной системы, принципы измерения расстояния. Скорость света, световой год, его связь с астрономической единицей. Характеристики звезд: масса, радиус, температура. Представление о двойных звездах и экзопланетах. Звездные скопления, их основные свойства.

### **§2.3. Объекты далекого космоса**

Каталог Мессье, его самые известные объекты. Туманности. Галактики, их основные свойства и типы. Представление о расстояниях до галактик и масштабах Вселенной.

### **Смежные вопросы физики**

Понятия массы и плотности. Объем и плотность шарообразного тела. Прямолинейное распространение света, понятие о преломлении света.

## **УРОВЕНЬ II (7 класс, школьный этап)**

### **Раздел 3. Небесная сфера (начальный цикл, часть 1)**

#### **§3.1. Географические координаты**

Градусная и часовая мера угла. Широта и долгота на поверхности Земли. Полюса, экватор, параллели и меридианы. Географическое положение континентов и крупнейших стран мира (качественно). Фигура Земли. Экваториальный и полярный радиусы. Длина окружности экватора, меридиана.

#### **§3.2. Горизонтальные координаты на небесной сфере**

Понятие небесной сферы. Основные точки на небесной сфере: зенит, надир, полюсы мира. Стороны горизонта, небесный меридиан. Изменение вида звездного неба в течение суток и в течение года. Подвижная карта звездного неба. Суточное движение небесных светил, восход, заход, кульминация. Высота и астрономический азимут светила. Полюс мира, его высота над горизонтом. Истинный и математический горизонт. Представление об атмосферной рефракции, ее величина у горизонта.

### **Смежные вопросы математики**

Градусная и часовая мера угла. Понятие сферы, большие и малые круги. Формула для длины окружности. Теорема о равенстве углов со взаимно перпендикулярными сторонами.

## **УРОВЕНЬ III (7 класс, муниципальный этап; 8 класс, школьный этап)**

### **Раздел 4. Небесная сфера (начальный цикл, часть 2)**

#### **§4.1. Угловые измерения на небе**

Угловые расстояния между небесными объектами. Угловые размеры объекта, их связь с линейными размерами (при известном расстоянии; малые углы).

#### **§4.2. Параллакс и геометрические способы измерений расстояний**

Определение радиуса Земли из астрономических наблюдений. Зависимость расстояния до видимого горизонта и его положения от высоты наблюдения на Земле. Общее понятие параллакса. Геометрический метод определения расстояния до астрономических объектов. Горизонтальный и годичный параллакс. Парсек, его связь с астрономической единицей и световым годом. Характерные значения суточного параллакса близких объектов (Солнца, Луны, искусственных спутников Земли) и годичного параллакса ближайших звезд. Влияние суточного параллакса близких светил на их высоту над горизонтом.

#### **§4.3. Экваториальные координаты на небесной сфере**

Большие и малые круги небесной сферы, принципы построения систем сферических координат. Склонение и часовой угол. Высоты светил в верхней и нижней кульминации для любой точки Земли, незаходящие и невосходящие светила. Угол между линиями небесного экватора и горизонтом в точке их пересечения в зависимости от широты места. Выражения для углового расстояния между двумя точками неба для элементарных случаев (близкие точки, точки на горизонте или экваторе, на одном азимуте, меридиане или круге склонения). Стереографическая проекция.

#### **§4.4. Экваториальные координаты и время**

Прямое восхождение светила и звездное время. Соотношение звездных и солнечных суток. Местное солнечное время. Всемирное время, поясное и декретное время. Часовые пояса и зоны, гражданское (административное) время, линия перемены дат. Сезонный перевод часов. Юлианские дни.

#### **§4.5. Видимое движение Солнца и эклиптические координаты**

Эклиптика, ее положение в экваториальной системе координат. Полюса эклиптики, их положение на небе. Гелиоцентрическая система координат в Солнечной системе. Тропики



и полярные круги на Земле. Изменение склонения Солнца в течение года, полярный день, полярная ночь. Климатические и астрономические пояса Земли. Гелиоцентрическая система координат в Солнечной системе.

#### **§4.6. Основы летоисчисления и измерения времени**

Календарные год, месяц и сутки, их соотношение с тропическим годом, синодическим месяцем и солнечными сутками. Системы различных календарей. Високосный год, юлианский и григорианский календарь. Солнечные часы.

#### **Смежные вопросы математики**

Радианная и часовая мера угла. Угловой размер тела. Прямоугольный треугольник. Теорема Пифагора. Элементы тригонометрии. Стандартная запись числа. Математические операции со степенями. Пользование непрограммируемым инженерным калькулятором.

### **УРОВЕНЬ IV (8 класс, муниципальный этап; 9 класс, школьный этап)**

#### **Раздел 5. Кинематика Солнечной системы (начальный цикл)**

##### **§5.1. Кинематика планет в Солнечной системе (приближение круговых орбит)**

Упрощенная запись III закона Кеплера для круговой орбиты (как эмпирический факт). Угловая и линейная скорость планеты относительно Солнца. Синодический и сидерический период планеты. Внутренние и внешние планеты. Конфигурации и условия видимости планет.

##### **§5.2. Малые тела Солнечной системы (приближение круговых орбит)**

Движение карликовых и малых планет (в предположение круговой орбиты). Представление о движении комет и метеорных потоках. Внешние области Солнечной системы. Пояс Койпера, облако Оорта.

##### **§5.3. Движение Луны и спутников планет (приближение круговых орбит)**

Синодический и сидерический периоды Луны, их связь. Солнечные и лунные затмения. Величина фазы, продолжительность, стадии затмения. Характерные расстояния и периоды обращения спутников планет. Определение скорости света на основе анализа движения спутников планет.

**Смежные вопросы математики.** Подобие треугольников. Возведение в степень, квадратные и кубические корни.

**Смежные вопросы физики.** Понятие периода движения по окружности, угловой скорости равномерного кругового движения. Прямолинейное распространение света.

## **УРОВЕНЬ V (9 класс, муниципальный этап; 10 класс, школьный этап)**

### **Раздел 6. Небесная механика (начальный цикл)**

#### **§6.1. Закон всемирного тяготения, движение по круговой орбите**

Закон всемирного тяготения. Ускорение свободного падения и сила тяжести на различных небесных телах. Круговая (первая космическая) и угловая скорость. Вес и невесомость. Связь атмосферного давления на поверхности планеты и силы тяжести, оценка массы атмосферы.

#### **§6.2. Механика планет в Солнечной системе (приближение круговых орбит)**

Период обращения, выражение III закона Кеплера в обобщенной формулировке для круговых орбит. Линейная скорость планеты относительно Земли. Петлеобразное движение планет, геоцентрическая угловая скорость планеты на небе в момент основных конфигураций.

#### **§6.3. Движение искусственных спутников и Луны вокруг Земли (приближение круговой орбиты). Движение спутников планет**

Приливы, их периодичность. Искусственные спутники Земли на низких орбитах, их видимое движение на небе. Торможение спутников в атмосферах планет. Геостационарные спутники.

#### **Смежные вопросы математики**

Сложение и вычитание векторов.

#### **Смежные вопросы физики**

Закон всемирного тяготения, законы Ньютона. Сила тяжести, вес тела. Величина ускорения свободного падения, центростремительного ускорения. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета. Законы Ньютона. Первая космическая (круговая) скорость.

## **Раздел 7. Астрономическая оптика (начальный цикл)**

### **§7.1. Схемы и принципы работы телескопов**

Линзы и зеркала, простейшие оптические схемы телескопов – рефракторов и рефлекторов. Построение изображений, фокусное расстояние. Угловое увеличение, масштаб изображения, разрешающая способность телескопа. Выходной зрачок, равнозрачковое увеличение. Представление об ограничении разрешающей способности телескопа (качественно), атмосферное ограничение разрешающей способности. Вид различных небесных объектов в телескоп. Представление о приемниках излучения (глаз, ПЗС-матрица и т.д.). Некоторые виды монтаровок (альт-азимутальная, экваториальная).

### **Смежные вопросы физики**

Законы геометрической оптики. Отражение и преломление света на границе двух сред. Плоские и сферические зеркала, линзы. Построение изображений.

## **УРОВЕНЬ VI (9 класс, региональный этап; 10 класс, муниципальный этап; 11 класс, школьный этап)**

## **Раздел 8. Звездная астрономия (базовый цикл)**

### **§8.1. Энергия излучения**

Понятия мощности излучения (светимости), энергетического потока излучения, плотности потока излучения, освещенности, яркости. Убывание плотности потока излучения обратно пропорционально квадрату расстояния (без учета поглощения).

### **§8.2. Шкала звездных величин**

Видимая звездная величина. Формула Погсона. Видимые звездные величины наиболее ярких звезд и планет. Поверхностная яркость, ее независимость от расстояния, звездная величина фона ночного неба.

### **§8.3. Зависимость звездной величины от расстояния**

Зависимость звездной величины от расстояния до объекта в отсутствие поглощения. Модуль расстояния. Изменение видимой яркости планет при их движении вокруг Солнца (без учета фазы, случай круговых орбит). Абсолютная звездная величина звезды, абсолютная звездная величина тел Солнечной системы.

#### **§8.4. Электромагнитные волны**

Длина волны, период и частота, скорость распространения в вакууме и в среде, показатель преломления. Диапазоны электромагнитных волн. Видимый свет, длины волн и цвета. Прозрачность земной атмосферы для различных диапазонов электромагнитных волн.

#### **§8.5. Излучение абсолютно черного тела**

Закон Стефана-Больцмана. Эффективная температура и радиус звезды. Светимость звезды и освещенность от нее, связь с абсолютной и видимой звездной величиной.

#### **§8.6. Солнце**

Строение и химический состав. Поверхность Солнца, пятна, их температура и время жизни. Циклы солнечной активности. Вращение Солнца. Солнечная постоянная.

#### **§8.7. Движение звезд**

Эффект Доплера. Лучевая и трансверсальная скорость звезды. Собственное движение и параллакс звезды.

#### **§8.8. Двойные и затменные переменные звезды**

Движение двух тел сопоставимой массы для случая круговых орбит. Центр масс. Обобщенный III закон Кеплера для кругового движения. Затменные переменные звезды, главный и вторичный минимум, их глубина и длительность.

#### **§8.9. Планеты и экзопланеты**

Сферическое и геометрическое альbedo. Зона обитаемости. Качественное понятие о парниковом эффекте. Движение экзопланет вокруг звезд для случая круговых орбит. Транзиты экзопланет, их временные и фотометрические свойства, условия наблюдения.

#### **§8.10. Звездные скопления**

Характеристики и наблюдаемые свойства рассеянных и шаровых звездных скоплений и входящих в них звезд. Расположение скоплений на небе. Метод группового параллакса определения расстояний до скоплений.

#### **§8.11. Основы галактической астрономии**

Представление о строении нашей Галактики. Движение Солнца в Галактике.

### **Смежные вопросы математики**

Логарифмическое исчисление. Площадь поверхности сферы. Телесный угол. Приближенные вычисления. Правила округления, число значащих цифр. Степенная запись и приближенные вычисления с большими и малыми числами. Анализ графиков.

### **Смежные вопросы физики.**

Общее понятие энергии, мощности, потока энергии, плотности потока энергии, яркости, освещенности. Понятие об электромагнитных волнах, длина волны, период и частота, скорость распространения, диапазоны электромагнитных волн. Понятие об абсолютно черном теле. Виды теплопередачи. Эффект Доплера. Понятие центра масс.

## **Раздел 9. Астрономическая оптика (базовый цикл)**

### **§9.1. Ограничение разрешающей способности телескопа**

Понятие о дифракции. Дифракционное ограничение разрешающей способности телескопа.

### **§9.2. Светосила и проникающая способность телескопа**

Относительное отверстие телескопа, его проникающая способность. Видимый блеск точечных и протяженных источников при наблюдении в телескоп. Представление об ограничениях на проникающую способность телескопа (фон ночного неба).

### **§9.3. Основные приемники излучения**

Свойства и строение человеческого глаза. Дневное и ночное зрение. Равнозрачковое увеличение телескопа. Фотоаппараты. Диафрагма, время экспозиции. ПЗС-матрицы, строение и принципы работы. Отношение сигнал/шум. Аберрации оптики. Виньетирование, глубина резкости.

### **Смежные вопросы физики**

Понятие об интерференции и дифракции. Пределы применимости геометрической оптики. Понятие о дифракции света. Свойства и строение человеческого глаза. Аберрации оптики.

## **Раздел 10. Небесная механика (базовый цикл)**

### **§10.1. Законы Кеплера, движение по эллипсу**

Эллипс, его характеристики – большая и малая оси, эксцентриситет. Три закона Кеплера для случая большой центральной массы. Потенциальная энергия взаимодействия точечных масс. Импульс и момент импульса. Перигей и апогей, скорость движения в этих точках. Параболическая (вторая космическая) скорость. Эксцентриситет и скорости в перигее параболы и гиперболы.

### **§10.2. Небесная механика в Солнечной системе**

Характеристики орбит планет, карликовых планет и астероидов. Кометы, их движение в Солнечной системе. Геоцентрическая и гелиоцентрическая скорость. Метеорные потоки, радианты. Межпланетные перелеты по траектории Цандера-Гомана. Великие противостояния Марса. Фаза произвольного освещенного шара, равенство линейной и площадной фазы. Изменение видимой яркости планет и комет по ходу их движения для случая эллиптических орбит с учетом фазы. Движение спутников планет. Третья космическая скорость, гравитационная связанность системы.

### **§10.3. Система Солнце – Земля – Луна**

Характеристики орбиты Луны, перигей и апогей. Солнечные и лунные затмения для случая произвольных расстояний до Солнца и Луны. Кольцеобразно-полные затмения Солнца. Покрытия Луной звезд и планет, условия их наблюдений. Либрации Луны.

### **§10.4. Задача двух тел и звездная динамика**

Распространение законов Кеплера на случай произвольных масс. Обобщенный III закон Кеплера для эллиптического движения. Приведенная масса. Доплеровский метод открытия и анализа двойных систем и экзопланет. Элементы орбит двойных звезд и экзопланет (элементарные случаи). Восстановление характеристик орбит двойных звезд из наблюдений (элементарные случаи). Движение звезд в поле центрально-симметричных масс (звездных скоплений, центров галактик).

### **Смежные вопросы математики**

Эллипс, связь различных характеристик эллипса. Площадь эллипса. Понятие о параболе и гиперболе. Теоремы синусов и косинусов. Сложение и вычитание векторов. Формулы приближенного вычисления для малых параметров.

### **Смежные вопросы физики**

Импульс, момент инерции, момент импульса. Потенциальная энергия взаимодействия точечных масс. Законы сохранения энергии, импульса и момента импульса для случая точечных масс. Космические скорости. Движение в поле сферически-симметричной массы.

## **Раздел 11. Небесная сфера (базовый цикл)**

### **§11.1. Уравнение времени**

Истинное и среднее Солнце. Истинное и среднее солнечное время, уравнение времени, его характерные значения на протяжении года. Аналемма.

### **§11.2. Аберрация света и поправки к координатам светил**

Топоцентрические и геоцентрические координаты. Изменение видимых положений светил вследствие движения Земли. Параллактический и аберрационный эллипсы звезд на разных эклиптических широтах. Поправки к гелиоцентрическим координатам и лучевым скоростям звезд.

### **§11.3. Прецессия оси вращения Земли**

Предварение равноденствий, звездный (сидерический) и тропический год, их соотношение. Изменение экваториальных и эклиптических координат звезд вследствие прецессии. Нутация (качественно).

### **Смежные вопросы математики**

Работа с графиками и таблицами. Линейная аппроксимация, определение коэффициентов линейной зависимости. Оценка погрешностей прямых и косвенных измерений. Понятие о среднеквадратическом отклонении.

### **Смежные вопросы физики**

Момент силы, момент импульса, импульс момента силы. Основное уравнение динамики вращательного движения.

## **УРОВЕНЬ VIII (10 класс, заключительный этап; 11 класс, региональный этап)**

### **Раздел 12. Элементы астрофизики (базовый уровень)**

#### **§12.1. Квантовая природа света**

Квантово-механическая модель атома. Понятие об энергетических уровнях электронов. Квантовые и волновые свойства света. Фотоны, фотоэффект. Энергия и импульс квантов, связь с частотой и длиной волны. Давление света. Эффект Пойнтинга-Робертсона.

#### **§12.2. Основы спектрального анализа**

Спектр излучения. Понятие спектральной линии излучения и поглощения, линейчатый и непрерывный спектр. Спектр атома водорода и водородоподобных ионов. Виды задания спектра (как функции частоты или длины волны).

#### **§12.3. Спектр излучения звезд**

Характерный вид спектра излучения абсолютно черного тела. Закон смещения Вина. Фотометрические системы UBVR<sub>I</sub>, показатели цвета. Цветовая температура. Боллометрическая звездная величина, боллометрическая поправка. Потемнение дисков звезд к краю.

#### **§12.4. Классификация звезд**

Спектральные классы звезд, их связь с эффективной температурой. Классы светимости звезд (сверхгиганты, гиганты, карлики). Диаграммы «спектр-светимость» и «цвет-светимость» (Герцшпрунга-Рассела), главная последовательность. Соотношение «масса-светимость» для звезд главной последовательности.

#### **§12.5. Ядерная физика и механизмы энерговыделения звезд**

Динамическая, тепловая и ядерная шкалы, их характерные времена. Связь массы и энергии покоя. Дефект массы, энергия связи и зависимость удельной энергии связи от числа нуклонов. Синтез и распад, выделение энергии (качественно). Законы сохранения заряда и энергии в ядерных реакциях. Свойства элементарных частиц. Условия протекания термоядерных реакций в недрах звезд, протон-протонный цикл. Нейтрино.



### **§12.6. Эволюция нормальных звезд**

Звездообразование, его области в Галактике. Масса Джинса. Типы звездного населения в галактиках. Стадия главной последовательности. Стадия красного гиганта, синтез тяжелых элементов в ядре. Равновесие и перенос энергии в звездах. Эволюционные треки маломассивных и массивных звезд на диаграмме Герцшпрунга-Рассела, вид этой диаграммы для звездных скоплений, определение их возраста по положению "точки поворота". Звездные ассоциации.

### **§12.7. Пульсирующие переменные звезды**

Цефеиды, их характеристики. Зависимость «период-светимость», определение расстояний. Представление о полосе нестабильности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела. Звезды типа RR Лиры, долгопериодические переменные звезды.

### **§12.8. Поздние стадии эволюции звезд**

Белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры. Пределы Чандрасекара, Оппенгеймера-Волкова. Гравитационный радиус. Новые звезды. Сверхновые звезды, их классификация и основные свойства. Планетарные туманности и остатки вспышек сверхновых. Пульсары.

### **§12.9. Межзвездная среда**

Плотность, температура и химический состав межзвездной среды. Пылевые облака. Области H I и H II. Молекулярные облака. Линия 21 см. Газовые и диффузные туманности.

### **§12.10. Галактики и основы космологии**

Классификация и наблюдательные свойства галактик. Местная группа галактик. Типы звездного населения. Сверхмассивные черные дыры в галактиках, активные ядра галактик, квазары. Закон Хаббла, красное смещение.

### **Смежные вопросы математики**

Производная функции. Исследование функций на основе производной, геометрический смысл производной.

### **Смежные вопросы физики**

Квантовые и волновые свойства света. Фотоны. Энергия и импульс фотонов. Внешний фотоэффект. Давление света. Квантово-механическая модель атома. Постулаты

Бора. Стационарные состояния атома. Понятие об энергетических уровнях электронов в атоме. Виды спектров. Спектральный анализ. Спектр атома водорода и водородоподобных ионов. Связь массы и энергии. Дефект массы, энергия связи и удельная энергия связи. Законы сохранения в ядерной физике. Синтез и распад ядер. Термоядерные реакции. Основные свойства элементарных частиц (электрон, протон, нейтрон, фотон, нейтрино). Свойства идеального газа. Понятие о температуре, давлении газа, концентрации частиц.

## **УРОВЕНЬ IX (10 класс, заключительный этап)**

### **Раздел 13. Небесная сфера (углубленный уровень)**

#### **§13.1. Суточные пути светил (общий случай)**

Основы сферической тригонометрии. Параллактический треугольник. Преобразования горизонтальных, экваториальных и эклиптических координат. Вычисление углового расстояния между точками небесной сферы для произвольного случая. Азимуты и часовые углы восхода и захода светил для произвольного склонения и широты.

#### **§13.2. Система Солнце-Земля-Луна (общий случай)**

Вращение линии узлов и линии аписид лунной орбиты, тропический, аномалистический и драконический месяцы. Наклон лунной орбиты к эклиптике, условия для наступления солнечных и лунных затмений различных типов. Циклы затмений, сарос. Серии покрытий Луной звезд и планет. Предельная эклиптическая широта и расстояние от узла для наступления затмений различных типов, покрытия звезды или планеты.

#### **§13.3. Движение близких тел в небе Земли (общий случай)**

Видимый путь Луны и искусственных спутников в небе Земли. Триангуляция близких объектов (спутников, метеоров). Учет несферичности Земли. Основы современных систем спутниковой навигации.

#### **§13.4. Галактическая система координат**

Основные точки и большие круги, преобразования в другие системы небесных координат. Положение центра Галактики и галактических полюсов в небе Земли. Характерные положения различных типов небесных объектов в галактической системе координат.

### **Смежные вопросы математики**

Основы сферической тригонометрии, сферические теоремы синусов и косинусов. Площадь шарового слоя, участка сферы. Линейная аппроксимация, определение ее коэффициентов.

## **УРОВЕНЬ X (11 класс, заключительный этап)**

### **Раздел 14. Небесная механика (углубленный цикл)**

#### **§14.1. Элементы орбит**

Пространственное положение орбиты, кеплеровы элементы, основные точки и направления. Элементы параболической и гиперболической орбиты. Эксцентриситет, прицельный параметр и угол между асимптотами гиперболы. Орбиты двойных звезд и экзопланет в проекции на небесную сферу (общий случай).

#### **§14.2. Движение в поле тяжести двух и более тел**

Точки Лагранжа. Приливное ускорение. Сфера Хилла, полость Роша. Представление об устойчивости систем. Изменение орбит малых планет и комет при сближении с большими планетами, активные и пассивные гравитационные маневры. Высота приливов (элементарная теория). Приливное разрушение спутников (элементарная теория). Приливное трение (качественное представление).

#### **§14.3. Движение систем с переменной массой и энергией**

Уравнения Циолковского и Мещерского. Теорема о вириале для гравитационно-связанных систем. Движение спутников в атмосферах планет, движение тел около звезд с сильным звездным ветром. Эволюция тесных двойных систем. Понятие о гравитационных волнах.

### **Смежные вопросы математики**

Парабола и гипербола, их геометрические свойства и характеристики. Понятие производной функции, ее геометрический и физический смысл.

## **Раздел 15. Астрофизика и космология (углубленный цикл)**

### **§15.1. Формула Планка**

Спектральная мощность излучения единицы поверхности. Формула Планка, приближения Релея-Джинса и Вина, область их применимости. Яркостная температура. Закон Кирхгофа.

### **§15.2. Гидростатическое равновесие звезд.**

Взаимодействие излучения с зарядами. Гидростатическое равновесие звезд, предел светимости Эддингтона.

### **§15.3. Основы спектроскопии**

Интерференция и дифракция. Дисперсия света, спектральные приборы (призма, дифракционная решетка). Спектральное разрешение. Спектры различных астрономических объектов. Влияние температуры среды на ширину спектральной линии.

### **§15.4. Перенос излучения в среде**

Преломление света и атмосферная рефракция для произвольного положения объекта. Спектральная зависимость преломления, "зеленый луч". Влияние преломления на яркостные характеристики объектов. Оптическая толщина. Поглощение и рассеяние света в атмосферах Земли и планет, закон Бугера. Отражение света различными поверхностями, закон Ламберта. Межзвездное поглощение света, его зависимость от длины волны. Избыток цвета, трехцветные диаграммы, звездная величина объекта на заданном расстоянии при наличии поглощения. Метод фотометрического параллакса определения расстояний до звезд.

### **§15.5. Всеволновая астрономия**

Приемники излучения в гамма-, рентгеновской, ультрафиолетовой, инфракрасной и радиоастрономии. Янский. Угловое разрешение радиотелескопов и радиоинтерферометров.

### **§15.6. Физика атмосфер планет**

Тепловой баланс планет и парниковый эффект. Озоновый слой в атмосфере Земли, его оптические свойства. Серебристые облака. Строение атмосфер планет Солнечной системы, представления об атмосферах экзопланет.

### **§15.7. Магнетизм во Вселенной.**

Дипольное магнитное поле. Магнитное поле токового слоя. Магнитное давление. Магнитосферы небесных тел. Энергия магнитного поля и его переход в другие формы энергии.

### **§15.8. Галактика и галактики**

Строение и морфология галактик различных типов. Кривые вращения, темная материя. Функции светимости звезд, начальная функция масс, отношение "масса/светимость". Соотношения Талли-Фишера и Фабер-Джексона.

### **§15.9. Основы теории относительности**

Принцип относительности, принцип инвариантности скорости света. Преобразования Лоренца, релятивистское сложение скоростей. Сокращение длины и замедление времени. Эффект "светового эхо". Релятивистский эффект Доплера. Гравитационное красное смещение (в слабых полях). Представление о гравитационном линзировании.

### **§15.10. Космология**

Крупномасштабная структура Вселенной. Прошлое и будущее Вселенной. Расширение Вселенной. Масштабный фактор. Модель однородной изотропной Вселенной. Уравнение Фридмана (качественное понимание), эволюция масштабного фактора в рамках ньютоновской физики. Критическая плотность Вселенной. Барионное вещество, темная материя и темная энергия. Реликтовое излучение, его свойства.

### **Смежные вопросы математики**

Интегрирование простейших функций и его геометрический смысл. Приложение дифференциальных уравнений в задачах по физике и астрономии.

### **Смежные вопросы физики**

Волновые свойства света. Понятие об интерференции, дифракции, дисперсии света. Магнитное поле. Магнитная индукция. Сила Ампера. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Основы специальной теории относительности. Постулаты Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Релятивистский закон сложения скоростей. Релятивистское сокращение длины и замедление времени.

## Приложение 2. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Приводимые в настоящем приложении справочные данные подлежат раздаче участникам олимпиады в полном объеме **на региональном и заключительном этапах** олимпиады. На школьном и муниципальном этапах в лист для раздачи включаются все данные из этого списка, которые могут потребоваться при решении тех конкретных задач, которые составлены для данного этапа в данной возрастной параллели.

### 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  $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Постоянная Больцмана  $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$

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

Постоянная Планка  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$

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

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

Элементарный заряд  $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

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

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

Постоянная Хаббла  $H = 72 \text{ (км/с)/Мпк}$

### Данные о Солнце

Радиус  $697\,000 \text{ км}$

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

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

Спектральный класс G2

Видимая звездная величина  $-26.78^{\text{m}}$

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

Показатель цвета (B-V)  $+0.67^{\text{m}}$

Эффективная температура  $5800 \text{ К}$

Средний горизонтальный параллакс  $8.794''$

Интегральный поток энергии на расстоянии Земли  $1360 \text{ Вт/м}^2$

Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли  $600 \text{ Вт/м}^2$

### Данные о Земле

Эксцентриситет орбиты 0.0167

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  $5.974 \cdot 10^{24}$  кг

Средняя плотность  $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$

Объемный состав атмосферы:  $\text{N}_2$  (78%),  $\text{O}_2$  (21%), Ar (~1%).

### Данные о Луне

Среднее расстояние от Земли 384400 км

Минимальное расстояние от Земли 356410 км

Максимальное расстояние от Земли 406700 км

Средний 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

Период прецессии узлов орбиты 18.6 лет

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  $-12.7^m$

Видимая звездная величина в первой/последней четверти  $-10.5^m$

## ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЦА И ПЛАНЕТ

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Геометр. альбедо	Вид. звездная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1.989 \cdot 10^{30}$	332946	697000	109.3	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	26.73	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.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРБИТ ПЛАНЕТ

Планета	Большая полуось		Эксцентриситет	Наклон к плоскости эклиптики	Период обращения	Синодический период
	млн.км	а.е.				
Меркурий	57.9	0.3871	0.2056	7.004	87.97 сут	115.9
Венера	108.2	0.7233	0.0068	3.394	224.70 сут	583.9
Земля	149.6	1.0000	0.0167	0.000	365.26 сут	—
Марс	227.9	1.5237	0.0934	1.850	686.98 сут	780.0
Юпитер	778.3	5.2028	0.0483	1.308	11.862 лет	398.9
Сатурн	1429.4	9.5388	0.0560	2.488	29.458 лет	378.1
Уран	2871.0	19.1914	0.0461	0.774	84.01 лет	369.7
Нептун	4504.3	30.0611	0.0097	1.774	164.79 лет	367.5



## ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ СПУТНИКОВ ПЛАНЕТ

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

\* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет.

\*\* – обратное направление вращения.

### ФОРМУЛЫ ПРИБЛИЖЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ

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

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

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

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

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

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

### Приложение 3. ПРИМЕРЫ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ

**№ 1** (Пункт программы - 1.1, категория сложности - 1, школьный этап, 5-8 классы)

**Условие:** Перечислите все небесные объекты, видимые глазом на дневном небе Земли.

**Решение:** Днем на Земле видна наша главная звезда - Солнца, также может быть заметна Луна. Зоркие люди при особенно хорошей погоде могут увидеть днем ярчайшую из планет - Венеру.

**№ 2** (Пункт программы - 1.2, категория сложности - 1, школьный этап, 5-8 классы)

**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.

**№ 3** (Пункт программы - 1.2, категория сложности - 1, муниципальный этап, 7-8 классы)

**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».

**№ 4** (Пункт программы - 1.2, категория сложности - 1, муниципальный этап, 5-8 классы)

**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 на несколько порядков больше

возраста Вселенной, поэтому можно сделать вывод, что выпадение метеоритного вещества не успеет сколь угодно заметно изменить массу Земли.

**№ 5** (Пункт программы - 1.3, категория сложности - 1, школьный этап, 5-8 классы)

**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.

**№ 6** (Пункт программы - 1.3, категория сложности - 1, школьный этап, 5-8 классы)

**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 ровно. 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.

**№ 7** (Пункт программы - 2.1, категория сложности - 1, школьный этап, 5-8 классы)

**Условие:** Среднее расстояние от Юпитера до Солнца равно 778.5 млн км. Чему равно среднее 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  $L = 778.5/150 = 5.19$  а.е.

**№ 8** (Пункт программы - 2.2, категория сложности - 1, школьный этап, 5-8 классы)

**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.

**№ 9** (Пункт программы - 3.1, категория сложности - 2, муниципальный этап, 7-8 классы)

**Условие:** С какой линейной скоростью движется Санкт-Петербург (широта  $60^\circ$ ) 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  $\varphi$  меньше радиуса экватора в  $(\cos \varphi)$  раз. Таким образом, длина параллели  $60^\circ$  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.

**№ 10** (Пункт программы - 3.2, категория сложности - 1, школьный этап, 7-8 классы)

**Условие:** Вы смотрите в окно и видите низко над северным горизонтом Полярную звезду. Как Вам нужно одеться, чтобы выйти на улицу?

**Решение:** Полярная звезда находится рядом с Северным полюсом мира. А его высота равна широте пункта наблюдения. Следовательно, эта самая широта невелика, и дело происходит в тропической зоне Земли. Для выхода на улицу достаточно легкой летней одежды.

**№11** (Пункт программы - 4.1, категория сложности - 2, муниципальный этап, 7-8 классы)

**Условие:** Координаты звезд равны  $a=3\text{ч}, d=0$ ;  $a=7\text{ч}, d=0$ . Найдите угловое расстояние между звездами на небе.

**Решение:** Угловое расстояние между звездами определяется как длина дуги большого круга небесной сферы, идущая от одной звезды к другой. В нашем случае, большой круг - это небесный экватор, все точки которого имеют склонение  $\delta=0$ . Поэтому угловое расстояние есть разность прямых восхождений, которая равна 4ч или  $60^\circ$ .

**№ 12** (Пункт программы - 4.2, категория сложности - 2, муниципальный этап, 7-9 классы)

**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.

**№ 13** (Пункт программы - 4.4, категория сложности - 2, школьный этап, 8-9 классы)

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

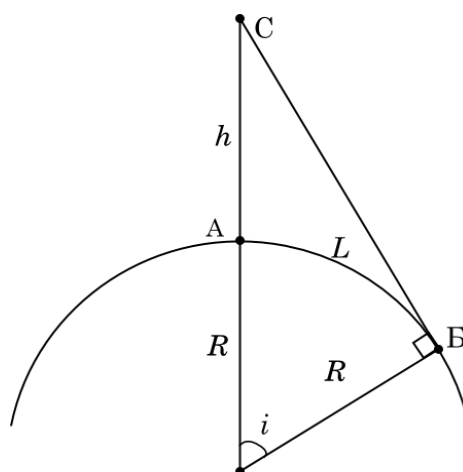
**Решение:** Восход 22 сентября происходит в окрестности момента весеннего равноденствия, поэтому интервал времени между восходом и заходом Солнца не зависит от широты и составляет 12 часов. Поэтому данный город находится восточнее Твери на 6 часов 40 минут (если измерять долготу в часовой мере). Учитывая, что  $360^\circ$  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 —  $136^\circ$  в.д.

**№ 14** (Пункт программы - 4.4, категория сложности - 2, муниципальный этап, 8-10 классы)

**Условие:** В какое время года звездное время совпадает с солнечным временем? Уравнением времени (разницей между истинным и средним солнечным временем) пренебречь.

**Решение:** Если условие задачи выполняется, то в солнечную полночь звездное время должно составлять 0ч, т.е. в верхней кульминации должна оказаться точка весеннего равноденствия. Это так в день осеннего равноденствия - 23 сентября.

**№ 15** (Пункт программы - 4.5, категория сложности - 1, школьный этап, 8-9 классы)



**Условие:** На некоторой планете тропик совпал с полярным кругом. Под каким углом ось вращения этой планеты наклонена к плоскости орбиты? Угловыми размерами центральной звезды и атмосферными эффектами пренебречь.

**Решение:** Обозначим угол наклона плоскости экватора планеты к плоскости ее орбиты как  $\varepsilon$ . Тогда в день летнего солнцестояния центральная звезда будет иметь склонение  $\varepsilon$  и попадет в зенит на такой же широте, это и будет северным тропиком. А на широте  $(90^\circ - \varepsilon)$  нижняя кульминация звезды будет на северном горизонте, это будет полярный круг. Коль он совпадает с тропиком, получаем  $\varepsilon = 45^\circ$ .

**№ 16** (Пункт программы - 4.6, категория сложности - 1, школьный этап, 7-8 классы)

**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.

**№ 17** (Пункт программы - 5.1, категория сложности - 1, школьный этап, 9-10 классы)

**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 полным баллом.

**№ 18** (Пункт программы - 5.1, категория сложности - 2, школьный этап, 9-10 классы)

**Условие:** С поверхности какой планеты Солнечной системы Земля будет выглядеть ярче всего? Почему?

**Решение:** Очевидно, это должна быть какая-то из близких к Земле планет – планета земной группы. При наблюдении с Марса Земля является внутренней планетой, и в момент сближения с Марсом повернута к нему ночной стороной. Земля могла бы быть очень яркой

при наблюдении с поверхности Венеры, но эта планета окутана плотным слоем облаков, никакие небесные светила с ее поверхности не видны. В итоге, ярче всего Земля может выглядеть с поверхности Меркурия.

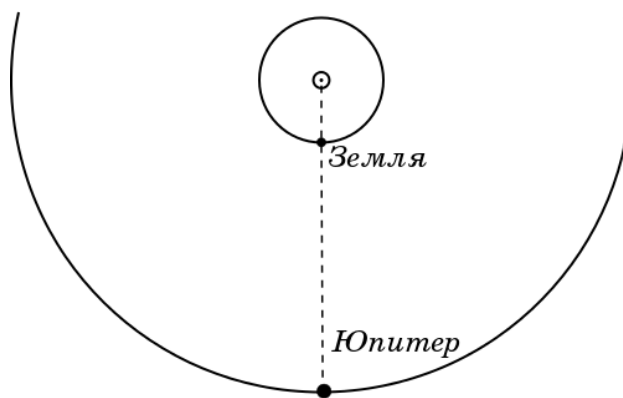
**№ 19** (Пункт программы - 5.1, категория сложности - 2, школьный этап, 9-10 классы)

**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.



**№ 20** (Пункт программы - 4.5, 5.3, категория сложности - 1, школьный этап, 9-10 классы)

**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.

**№ 21** (Пункт программы - 6.1, категория сложности - 1, школьный этап, 10-11 классы)

**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. Марс пройдет большее расстояние за 1 год, чем Юпитер.

*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 полным баллом.

**№ 22** (Пункт программы - 6.3, категория сложности - 2, школьный этап, 10-11 классы)

**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 полным баллом.

**№ 23** (Пункт программы - 6.3, категория сложности - 2, муниципальный этап, 9-10 классы)

**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:

$$(T_{\text{Л}} / T_{\text{С}})^2 = (a_{\text{Л}} / a_{\text{С}})^3$$
$$a_{\text{С}} = a_{\text{Л}} \cdot (T_{\text{С}} / T_{\text{Л}})^{2/3} = 384 \cdot 10^3 \cdot (1 / 27.3)^{2/3} = 42.4 \cdot 10^3 \text{ км}$$

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.

**№ 24** (Пункт программы - 7.1, категория сложности - 1, школьный этап, 10-11 класс).

**Условие:** Телескоп имеет диаметр объектива 20 см. Имеет ли смысл проводить с ним визуальные наблюдения с увеличением 15х? 30х?

**Решение:** Равнозрачковое увеличение для этого телескопа равно  $M=D/d \sim 25$ . Здесь  $D$  - диаметр объектива телескопа, а  $d$  - диаметр зрачка глаза, который мы берем равным 8 мм. Если увеличение меньше равнозрачкового, часть света, собранного объективом, не будет попадать в глаз наблюдателя. Поэтому увеличение 15х использовать бессмысленно. А вот увеличение 30х чуть больше равнозрачкового, и с ним хорошо проводить наблюдения объектов далекого космоса (звездных скоплений, туманностей, галактик).

**№ 25** (Пункт программы - 2.2, 4.1, 8 - математика, категория сложности - 2, школьный этап, 11 класс)

**Условие:** Масса галактики M87 равна  $3 \cdot 10^{12}$  масс Солнца, угловой диаметр  $7'$ , расстояние до нее 55 миллионов световых лет. Найдите среднюю плотность галактики.

**Решение:** Выражая массу Солнца в килограммах, получаем  $6 \cdot 10^{42}$  кг. Радиус галактики  $R$  равен  $55 \text{ млн св.лет} \cdot \sin 7/2 = 55 \text{ тыс. св.лет}$  или  $5 \cdot 10^{20}$  м. Средняя плотность галактики равна

$$\rho = (3M/4\pi R^3) \sim 10^{-20} \text{ кг/м}^3.$$

**№ 26** (Пункт программы - 8.1, категория сложности - 1, муниципальный этап, 10-11 классы).

**Условие:** Некоторая звезда вдвое больше и вдвое горячее Солнца. Во сколько раз ее светимость превышает солнечную?

**Решение:** По закону Стефана-Больцмана, светимость звезды пропорциональна квадрату ее радиуса и четвертой степени температуры. Поэтому данная звезда будет излучать сильнее Солнца в  $2^2 \cdot 2^4 = 64$  раза.

**№ 27** (Пункт программы - 8.2, категория сложности - 1, школьный этап, 11 класс)

**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.

**№ 28** (Пункт программы - 8.2, категория сложности - 1, муниципальный этап, 10-11 класс)

**Условие:** Телескопу доступны звезды 18 звездной величины. Сколько звезд 22 звездной величины должны входить в компактное звездное скопление, чтобы его можно было на пределе увидеть в этот телескоп? 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. Одна звезда 18-й величины примерно в 40 раз ярче звезды 22-й величины. Следовательно, скопление должно состоять хотя бы из 40 звезд.

**№ 29** (Пункт программы - 8.3, категория сложности - 2, муниципальный этап, 10-11 классы).

**Условие:** Ярчайшая звезда ночного неба Земли Сириус имеет блеск  $-1.47m$  и параллакс  $0.38''$ . Какую звездную величину имел бы Сириус, займи он место Солнца в центре нашей планетной системы? Считать, что радиус орбиты Земли при этом бы не изменился.

**Решение:** Расстояние до звезды  $r$ , выраженное в парсеках, есть  $(1/\pi)$ , где  $\pi$  - ее параллакс. Для Сириуса это расстояние получается равным 2.6 пк или  $(2.6 \cdot 206265) \sim 540\,000$  а.е. Если бы Сириус оказался на месте Солнца, он стал бы в 540 000 раз ближе и в  $(540\,000)^2$

=  $2.9 \cdot 10^{11}$  раз ярче. Это соответствует разнице в звездных величинах в  $2.5 \lg(2.9 \cdot 10^{11}) = 28.6$ . В итоге, Сириус светил бы в небе как звезда  $-30^m$ .

**№ 30** (Пункт программы - 8.10, категория сложности - 2, муниципальный этап, 10-11 классы)

**Условие:** Предположим, Солнце вместе со своей планетной системой влетело в шаровое звездное скопление радиусом 20 пк, состоящем из 500 000 звезд. Сколько звезд в небе Земли будут иметь годичный параллакс больше  $0.5''$ ?

**Решение:** Определим концентрацию звезд в скоплении:

$$n = N_0/V = 3N_0 / 4\pi R^3 = 15 \text{ пк}^{-3}.$$

Здесь  $N_0$  - число звезд,  $R$  и  $V$  - радиус и объем скопления. Чтобы параллакс звезды был больше  $0.5''$ , расстояние до нее  $l$  не должно превышать  $(1/0.5) = 2$  пк. Количество таких звезд есть произведение концентрации и объема шара с радиусом 2 пк:

$$N = n (4\pi l^3/3) = N_0 l^3/R^3 = 500.$$

**№ 31** (Пункт программы - 9.1, категория сложности - 1, школьный этап, 11 класс)

**Условие:** Карликовая планета Плутон имеет 14-ю звездную величину. Телескоп с каким диаметром объектива необходим для его визуальных наблюдений?

**Решение:** Проницающая способность телескопа составляет  $m = 6 + 5 \lg(D/d)$ , где  $D$  и  $d$  - диаметры телескопа и невооруженного глаза. Принимая величину  $d$  равной 8 мм, мы получаем, что для наблюдения объекта с  $m=14$  необходим телескоп с диаметром объектива 32 см.

**№ 32** (Пункт программы - 10.1, категория сложности - 2, муниципальный этап, 11 класс)

**Условие:** Некоторое тело движется в перигелии своей орбиты в четыре раза быстрее, чем в афелии. Найдите эксцентриситет его орбиты.

**Решение:** Самый простой способ решения этой задачи - вспомнить, что по II закону Кеплера тело в ходе своего движения вокруг центральной массы (в данном случае - Солнца) за равные промежутки времени описывает равные площади. В перигелии и афелии скорость тела перпендикулярна направлению на центр, поэтому мы можем сразу получить, что в перигелии тело вчетверо ближе к Солнцу, чем в афелии. Эксцентриситет орбиты равен:  $e = (4 - 1) / (4 + 1) = 0.6$ .

**№ 33** (Пункт программы - 10.2, категория сложности - 2, муниципальный этап, 11 класс).

**Условие:** Хороший футболист может придать мячу скорость 30 м/с. На астероидах какого размера можно играть в футбол? Плотность астероидов считать равной плотности Земли.

**Решение:** Вторая космическая скорость на поверхности тела равна

$$v = (2GM/r)^{1/2} = (8\pi G\rho/3)^{1/2} \cdot r.$$

Здесь  $M$ ,  $r$  и  $\rho$  - масса, радиус и плотность тела. Получается, что при постоянной плотности вторая космическая скорость прямо пропорциональна радиусу. Скорость полета мяча в 370 раз меньше второй космической скорости для Земли, поэтому она совпадет со второй космической скоростью для тела, с радиусом в 370 раз меньшим радиуса Земли - 17 км.