

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ПРОВЕДЕНИЮ ШКОЛЬНОГО И МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПОВ  
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ  
В 2020/21 УЧЕБНОМ ГОДУ**

Москва

2020

Рекомендации для школьного и муниципального этапов Всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2020/2021 учебном году утверждены на заседании Центральной предметно-методической комиссии по астрономии (протокол № 1 от 09.07.2020 г.).

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения .....	4
2. Методические рекомендации по разработке заданий школьного и муниципального этапов, включая принципы составления олимпиадных заданий и формирования комплектов олимпиадных заданий для школьного и муниципального этапов, основанные на единстве подхода к их разработке для всех субъектов Российской Федерации .....	5
3. Описание необходимого материально-технического обеспечения для выполнения олимпиадных заданий .....	8
4. Перечень справочных материалов, средств связи и электронно-вычислительной техники, разрешённых к использованию во время проведения олимпиады .....	9
5. Методика оценивания выполненных олимпиадных заданий .....	9
6. Требования к организации и проведению школьного и муниципального этапов олимпиады с учётом актуальных документов, регламентирующих организацию и проведение олимпиады .....	11
6.1. Процедура проведения тура .....	11
6.2. Процедура показа работ и рассмотрения апелляций .....	12
6.3. Процедура подведения итогов олимпиады .....	13
7. Список литературы.....	14
8. Контактная информация .....	14
Приложение 1. Методическая программа олимпиады .....	15
Приложение 2. Справочная информация, разрешённая к использованию на олимпиаде ..	32
Приложение 3. Примеры олимпиадных заданий .....	37

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящие методические рекомендации направляются Центральной предметно-методической комиссией по астрономии для разъяснения общих принципов составления заданий и проведения школьного и муниципального этапов всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2020/21 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, условиях проведения этих этапов, материально-техническому обеспечении, а также о системе оценивания и процедуре определения победителей и призёров школьного и муниципального этапов.

Школьный и муниципальный этапы проводятся в соответствии с Порядком проведения всероссийской олимпиады школьников, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 1252 от 18 ноября 2013 г., с изменениями, утверждёнными 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. и приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 96 от 17 марта 2020 г. С актуальной версией Порядка можно ознакомиться на веб-странице по адресу: <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, контакты которого указаны в разделе «Контактная информация».

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ ЗАДАНИЙ ШКОЛЬНОГО И МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПОВ, ВКЛЮЧАЯ ПРИНЦИПЫ СОСТАВЛЕНИЯ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ И ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКТОВ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ШКОЛЬНОГО И МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПОВ, ОСНОВАННЫЕ НА ЕДИНСТВЕ ПОДХОДА К ИХ РАЗРАБОТКЕ ДЛЯ ВСЕХ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Цель школьного и муниципального этапов состоит в популяризации астрономических знаний среди широкого круга учащихся, укреплении 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.

Школьный этап всероссийской олимпиады по астрономии проводится в период с 1 сентября по 1 ноября в один тур. К участию допускаются все желающие **обучающиеся 4—11 классов**. Ограничение списка участников по любому основанию или взимание платы за участие в олимпиаде является нарушением Порядка проведения всероссийской олимпиады и категорически запрещается.

В соответствии с Порядком проведения олимпиады участники (в том числе младше 4 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.

Муниципальный этап олимпиады проводится не позднее 25 декабря в один 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 призёры 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.

Задания школьного и муниципального этапов основываются на тематической программе, составленной Центральной предметно-методической комиссией всероссийской олимпиады школьников по астрономии (приложение 1).

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, т. е. соответствовать различным вопросам тематической программы олимпиады. Задания не должны образовывать цепочки: необходимо, чтобы каждое задание решалось независимо от остальных.

Задания должны иметь теоретический характер, т. е. не требовать для решения использования каких-либо астрономических приборов и электронно-вычислительных средств, за исключением непрограммируемого калькулятора, и выполняться 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 применением к математическим вычислениям. Оставшаяся часть заданий относится к категории 2, в рамках которой фактически задаётся несколько вопросов, нахождение последовательных ответов на которые приводит в конечном итоге к решению всего задания. Соотношение количества заданий категорий 1 и 2 может изменяться в разных возрастных параллелях с учётом специфики конкретной ситуации и уровня подготовки участников.

Для каждого из заданий, включённых 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 её проведения, свободно предоставляются участникам олимпиады.

Олимпиада не должна носить характер контрольной работы: желательно, чтобы задания выявляли не объём 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 этапов 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.

### **3. ОПИСАНИЕ НЕОБХОДИМОГО МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ**

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 должны быть предоставлены листы формата А4 для выполнения олимпиадных заданий. 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, разрешаются для использования на любых этапах олимпиады. Желательно иметь в аудитории несколько запасных ручек синего или чёрного 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 отсчётом времени до завершения тура.

В соответствии с Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 16 от 30.06.2020 г. в случае большого числа участников школьного или муниципального этапа всероссийской олимпиады по астрономии возможно проведение этих этапов с использованием информационно-коммуникационных технологий. Для обеспечения равных условий участия в олимпиаде данная система проведения должна устанавливаться для всех школ одного муниципального образования (школьный этап) и для всех муниципальных образований одного субъекта Российской Федерации (муниципальный этап).

Для полноценной работы жюри должно быть предоставлено отдельное помещение, оснащённое техническими средствами: компьютером, принтером и копировальным аппаратом с достаточным количеством бумаги; канцелярскими принадлежностями: ручками (по числу членов жюри), ножницами и степлером. Возможна организация работы жюри с использованием информационно-коммуникационных технологий.



#### **4. ПЕРЕЧЕНЬ СПРАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СРЕДСТВ СВЯЗИ И ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ, РАЗРЕШЁННЫХ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОЛИМПИАДЫ**

Участнику олимпиады перед её началом выдаются:

- лист с условиями заданий, напечатанными крупным (не менее 14 pt) шрифтом;
- лист со справочной информацией, разрешённой к использованию на олимпиаде. Полный перечень информации представлен в приложении 2, должны быть приведены все данные из этого перечня, которые могут использоваться при решении заданий текущего комплекта;
- листы для выполнения заданий (лицевая сторона – чистовик, обратная сторона – черновик, не подлежащий проверке).

Использование любых средств связи на олимпиаде **категорически запрещается**.

Участники могут использовать непрограммируемые калькуляторы (см. выше).

#### **5. МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ВЫПОЛНЕННЫХ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ**

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 учтённые 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 выставленное за каждый этап количество 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.), всё 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 нём 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 недочётами;

**8 баллов** — задание решено полностью;

выставление премиальных баллов сверх максимальной оценки за задание не допускается.

## **6. ТРЕБОВАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЮ ШКОЛЬНОГО И МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭТАПОВ ОЛИМПИАДЫ С УЧЁТОМ АКТУАЛЬНЫХ ДОКУМЕНТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИЮ И ПРОВЕДЕНИЕ ОЛИМПИАДЫ**

### **6.1. Процедура проведения тура**

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 и обязанностях участника) и выдают листы с заданиями, соответствующими их параллели, а также справочные материалы, составленные предметно-методической комиссией с учётом специфики заданий.

Отсчёт времени, отведённого 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 предметно-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.

В случае проведения школьного или муниципального этапа с использованием информационно-коммуникационных технологий длительность этапа, количество заданий и общие принципы их составления не изменяются.

## **6.2. Процедура показа работ и рассмотрения 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. Допускается проведение показа работ и апелляций с использованием информационно-коммуникационных технологий.

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 даётся возможность представить свою позицию по спорным вопросам. 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 проводятся в спокойной и доброжелательной обстановке. Апелляционная процедура призвана восстановить справедливость или убедиться в том, что она не нарушена.

### 6.3. Процедура подведения итогов олимпиады

Жюри определяет победителей и призёров 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 призёров муниципального этапа олимпиады согласно таблице:

Количество участников	Квота победителей	Квота победителей и призёров
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 общий для всех параллелей пороговый балл, лишь по преодолению которого участник может быть признан победителем или призёром.

При определении победителей и призёров 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 присуждённых 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 призёров) передаются 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 призёров 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.*

## 7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Засов А. В., Сурдин В. Г. *Астрономия. 10—11 классы.* — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019.
2. Кононович Э. В., Мороз В. И. *Общий курс астрономии.* — М.: URSS, 2017.
3. Куликовский П. Г. *Справочник любителя астрономии.* — М.: Либроком, 2016.
4. *Энциклопедия для детей. Т. 8. Астрономия.* — М.: Аванта+, 2011.
5. Сурдин В. Г. *Астрономические олимпиады. Задачи с решениями.* — М.: Ленанд, 2018.
6. Сурдин В. Г. *Астрономические задачи с решениями.* — М.: Либроком, 2014.
7. Иванов В. В., Кривов А. В., Денисенков П. А. *Парадоксальная Вселенная. 250 задач по астрономии.* — СПбГУ, 2010. Электронная версия: <http://school.astro.spbu.ru/staff/viva/Book/titL.html>
8. Угольников О. С. *Всероссийская олимпиада школьников по астрономии: содержание олимпиады и подготовка конкурсантов.* — М.: АПКИППРО, 2007.
9. Угольников О. С. *Астрономия. 10—11 классы: задачник.* — М.: Просвещение, 2018.

## 8. КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Дополнительную информацию по вопросам организации и проведения школьного и муниципального этапов всероссийской олимпиады школьников по астрономии можно получить по электронной почте, обратившись в Центральную предметно-методическую комиссию:

**Угольников Олег Станиславович** (председатель комиссии)

Е-mail: [ougolnikov@gmail.com](mailto:ougolnikov@gmail.com)

Тел.: +7-916-391-73-00

# 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 переработана Центральной предметно-методической комиссией в 2019 г. и вступила в действие с 2019/20 учебного года.

Основным принципом построения программы является последовательное и непрерывное прохождение школьником её 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 трёх циклах — начальном, базовом и углублённом, 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 определёнными 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.

Определённые вопросы данного перечня требуют углублённой 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.

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

<b>Этап олимпиады</b>	<b>Школьный</b>	<b>Муниципальный</b>	<b>Региональный</b>	<b>Заключительный</b>
4—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 углублённого цикла (разделы 13–15), приводятся только на заключительном этапе в 10 и 11 классах.

## ТЕМАТИЧЕСКИЙ СПИСОК ВОПРОСОВ

### УРОВЕНЬ I

(4—6 классы, школьный этап)

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

##### **§ 1.1. Звёздное небо**

Объекты, наблюдаемые на дневном и ночном небе: Солнце, Луна, звёзды, планеты, искусственные спутники Земли, метеоры, кометы, Млечный Путь, туманности, галактики. Созвездия, наиболее яркие звёзды и характерные объекты неба Земли, характерные условия их видимости в России и других странах мира. Ориентирование по Полярной звезде. Некоторые яркие звёзды и другие объекты, видимые из Северного и Южного полушарий Земли.



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

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

## **§ 1.3. Луна, её 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 звёзд. Крупнейшие спутники планет. Искусственные объекты космоса: спутники, зонды, автоматические межпланетные станции. Исследование ближнего космоса.

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

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

### **§ 2.3. Объекты далёкого 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. Объём 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 звёздного неба в течение суток и в течение года. Подвижная карта звёздного 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, её 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 звёзд. 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 звёздное время. Соотношение звёздных 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, её 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)**

Упрощённая запись III закона Кеплера для круговой орбиты (как эмпирический факт). Угловая и линейная скорости 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 обобщённой 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 отсчёта. 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 приёмниках излучения (глаз, ПЗС-матрица и т. д.). Некоторые виды монтировок (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. Звёздная астрономия (базовый цикл)

#### § 8.1. Энергия излучения

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

#### § 8.2. Шкала звёздных величин

Видимая звёздная величина. Формула Погсона. Видимые звёздные величины наиболее ярких звёзд и планет. Поверхностная яркость, её независимость от расстояния, звёздная величина фона ночного неба.

#### § 8.3. Зависимость звёздной величины от расстояния

Зависимость звёздной величины от расстояния до объекта в отсутствие поглощения. Модуль расстояния. Изменение видимой яркости планет при их движении вокруг Солнца (без учёта фазы, случай круговых орбит). Абсолютная звёздная величина звезды, абсолютная звёздная 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 чёрного тела

Закон Стефана—Больцмана. Эффективная температура и радиус звезды. Светимость звезды и освещённость от неё, связь с абсолютной и видимой звёздной 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 звёзд

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

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

Движение двух тел сопоставимой массы для случая круговых орбит. Центр масс. Обобщённый III закон Кеплера для кругового движения. Затменные переменные звёзды, 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 звёзд для случая круговых орбит. Транзиты экзопланет, их временные и фотометрические свойства, условия наблюдения.

### **§ 8.10. Звёздные скопления**

Характеристики и наблюдаемые свойства рассеянных и шаровых звёздных скоплений и входящих в них звёзд. 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. Приближённые вычисления. Правила округления, число значащих цифр. Степенная запись и приближённые вычисления с большими и малыми числами. Анализ графиков.

#### **Смежные вопросы физики**

Общее понятие энергии, мощности, потока энергии, плотности потока энергии, яркости, освещённости. Понятие об электромагнитных волнах, длина волны, период и частота, скорость распространения, диапазоны электромагнитных волн. Понятие об абсолютно чёрном 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 протяжённых источников при наблюдении в телескоп. Представление об ограничениях на проникающую способность телескопа (фон ночного неба).

### **§ 9.3. Основные приёмники 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.

## **УРОВЕНЬ VII**

**(9 класс, заключительный этап; 10 класс, региональный этап; 11 класс, муниципальный этап)**

### **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 перелёты по траектории Цандера—Гомана. Великие противостояния Марса. Фаза произвольного освещённого шара, равенство линейной и площадной фаз. Изменение видимой яркости планет и комет по ходу их движения для случая эллиптических орбит с учётом 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 звёзд и планет, условия их наблюдений. Либрации Луны.

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

Распространение законов Кеплера на случай произвольных масс. Обобщённый III закон Кеплера для эллиптического движения. Приведённая масса. Доплеровский метод открытия и анализа двойных систем и экзопланет. Элементы орбит двойных звёзд и экзопланет (элементарные случаи). Восстановление характеристик орбит двойных звёзд



из наблюдений (элементарные случаи). Движение звёзд в поле центрально-симметричных масс (звёздных 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 приближённого 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 звёзд на разных эклиптических широтах. Поправки к гелиоцентрическим координатам и лучевым скоростям звёзд.

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

Предварение равноденствий, звёздный (сидерический) и тропический годы, их соотношение. Изменение экваториальных и эклиптических координат звёзд 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 звёзд

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

#### § 12.4. Классификация звёзд

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

#### § 12.5. Ядерная физика и механизмы энерговыделения звёзд

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 звёзд, протон-протонный цикл. Нейтрино.

#### § 12.6. Эволюция нормальных звёзд

Звёздообразование, его области в Галактике. Масса Джинса. Типы звёздного населения в галактиках. Стадия главной последовательности. Стадия красного гиганта, синтез тяжёлых элементов в ядре. Равновесие и перенос энергии в звёздах. Эволюционные треки маломассивных и массивных звёзд на диаграмме Герцшпрунга—Рассела, вид этой

диаграммы для звёздных скоплений, определение их возраста по положению «точки поворота». Звёздные ассоциации.

### **§ 12.7. Пульсирующие переменные звёзды**

Цефеиды, их характеристики. Зависимость период—светимость, определение расстояний. Представление о полосе неустойчивости на диаграмме Герцшпрунга—Рассела. Звёзды типа RR Лиры, долгопериодические переменные звёзды.

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

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

### **§ 12.9. Межзвёздная среда**

Плотность, температура и химический состав межзвёздной 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 звёздного населения. Сверхмассивные чёрные 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 (углублённый 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 апсид 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 звёзд 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). Учёт 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 её коэффициентов.

## УРОВЕНЬ X

(11 класс, заключительный этап)

### Раздел 14. Небесная механика (углублённый 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 звёзд 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 манёвры. 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 звёзд с сильным звёздным ветром. Эволюция тесных двойных систем. Понятие о гравитационных волнах.

#### Смежные вопросы математики

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

### Раздел 15. Астрофизика и космология (углублённый цикл)

#### § 15.1. Формула Планка

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

#### § 15.2. Гидростатическое равновесие звёзд

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

#### § 15.3. Основы спектроскопии

Интерференция и дифракция. Дисперсия света, спектральные приборы (призма, дифракционная решётка). 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, «зелёный 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. Межзвёздное поглощение света, его зависимость от длины волны. Избыток цвета, трёхцветные диаграммы, звёздная величина объекта на заданном расстоянии при наличии поглощения. Метод фотометрического параллакса определения расстояний до звёзд.

#### **§ 15.5. Всеволновая астрономия**

Приёмники излучения в гамма-астрономии, 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, тёмная материя. Функции светимости звёзд, начальная функция масс, отношение масса—светимость. Соотношения Талли—Фишера и Фабера—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, тёмная материя и тёмная 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.**  
**СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ, РАЗРЕШЁННАЯ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ**  
**НА ОЛИМПИАДЕ**

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

Парсек 1 пк = 206 265 а.е. =  $3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

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

**Данные о Солнце**

Радиус 697 000 км

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

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

Спектральный класс G2

Видимая звёздная величина  $-26,78^m$

Абсолютная болометрическая звёздная величина  $+4,72^m$

Показатель цвета (B–V)  $+0,67^m$

Эффективная температура 5800 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  $5,52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$   
Объёмный состав атмосферы:  $\text{N}_2$  (78%),  $\text{O}_2$  (21%), Ar (~1%).

### **Данные о Луне**

Среднее расстояние от Земли 384 400 км  
Минимальное расстояние от Земли 356 410 км  
Максимальное расстояние от Земли 406 700 км  
Средний эксцентриситет орбиты 0,055  
Наклон плоскости орбиты к эклиптике  $5^{\circ}09'$   
Сидерический (звёздный) период обращения 27,321 662 суток  
Синодический период обращения 29,530 589 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 звёздная величина в полнолуние  $-12,7^{\text{m}}$   
Видимая звёздная величина в первой/последней четверти  $-10,5^{\text{m}}$

## ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЦА И ПЛАНЕТ

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Географическая широта	Вид. звездная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	1,989·10 <sup>30</sup>	332946	697000	109,3	1,41	25,380 сут.	7,25	–	–26,8
Меркурий	3,302·10 <sup>23</sup>	0,05271	2439,7	0,3825	5,42	58,646 сут.	0,00	0,10	–0,1
Венера	4,869·10 <sup>24</sup>	0,81476	6051,8	0,9488	5,20	243,019 сут.**	177,36	0,65	–4,4
Земля	5,974·10 <sup>24</sup>	1,00000	6378,1	1,0000	5,52	23,934 час	23,45	0,37	–
Марс	6,419·10 <sup>23</sup>	0,10745	3397,2	0,5326	3,93	24,623 час	25,19	0,15	–2,0
Юпитер	1,899·10 <sup>27</sup>	317,94	71492	11,209	1,33	9,924 час	3,13	0,52	–2,7
Сатурн	5,685·10 <sup>26</sup>	95,181	60268	9,4494	0,69	10,656 час	26,73	0,47	0,4
Уран	8,683·10 <sup>25</sup>	14,535	25559	4,0073	1,32	17,24 час**	97,86	0,51	5,7
Нептун	1,024·10 <sup>26</sup>	17,135	24746	3,8799	1,64	16,11 час	28,31	0,41	7,8

\* – 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 звёздная величина*
	<i>кг</i>	<i>км</i>	<i>г/см<sup>3</sup></i>	<i>км</i>	<i>сут.</i>		<i>m</i>
<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 ПРИБЛИЖЁННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ

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

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

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

$$\operatorname{tg}(\alpha + x) \approx \operatorname{tg} \alpha + \quad ;$$

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

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

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ПРИМЕРЫ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ

**№ 1** (пункт программы — 1.3, категория сложности — 1, школьный этап, 4—8 классы)

**Условие.** Луна повернута к Земле одной стороной. Вращается ли Луна вокруг своей оси?

**Решение.** Если бы Луна не вращалась, то в двух противоположных точках своей орбиты она была бы повернута к Земле разными сторонами. В реальности Луна вращается вокруг своей оси с тем же периодом, что и вокруг Земли.

**№ 2** (пункт программы — 2.2, категория сложности — 1, муниципальный этап, 7—8 классы)

**Условие.** В момент пролёта автоматической станции «Новые горизонты» вблизи Плутона в 2015 г. он был удалён от Земли на 32 а.е. Сколько времени шёл сигнал от «Новых горизонтов» к Земле?

**Решение.** 1 астрономическая единица (среднее расстояние от Земли до Солнца) равна 150 млн км, и свет проходит её за 500 с. Расстояние от «Новых горизонтов» до Земли сигнал пройдёт за  $500 \cdot 32 = 16\,000$  с, или около 4,5 ч.

**№ 3** (пункт программы — 3.1, категория сложности — 2, муниципальный этап, 7—8 классы)

**Условие.** С какой линейной скоростью движется Санкт-Петербург (широта  $60^\circ$ ) за счёт вращения Земли вокруг своей оси?

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

**Решение.** Точка на экваторе Земли за счёт 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.

**№ 4** (пункт программы — 4.2, категория сложности — 1, школьный этап, 8—10 классы)

**Условие.** Земляне отправили послание к обитаемой планете, обращающейся вокруг звезды  $\tau$  Кита (расстояние 3,65 пк). Сколько лет придётся ожидать ответа, если предположить, что жители далёкой планеты отправят его сразу по получении сигнала?

**Решение.** Расстояние до планетной системы равно 3,65 пк, или  $3,65 \cdot 3,26 = 11,9$  световых лет. Сигнал должен пройти это расстояние дважды, т. е. пройти 23,8 световых года. То есть землянам придётся ждать ответа 23,8 года.

**№ 5** (пункт программы — 4.3, категория сложности — 2, муниципальный этап, 7—9 классы)

**Условие.** Комета NEOWISE (обозначение C/2020 F3) достигла первой звёздной величины в начале июля 2020 г. и была видна в созвездии Возничего. На каких широтах её можно было наблюдать в России, если для этого Солнце должно было быть глубже  $6^\circ$  под горизонтом?

**Решение.** Возничий — северное созвездие, которое видно над горизонтом под утро на всей территории России, где в начале июля наступает ночь. Поэтому возможность её наблюдения определяется только наступлением тёмной ночи. Склонение Солнца в начале июля равно  $\delta = +23^\circ$ . Чтобы в нижней кульминации в Северном полушарии оно оказалось на высоте не больше  $h = -6^\circ$ , должно выполняться условие:

$$h \leq -90^\circ + \varphi + \delta.$$

Здесь  $\varphi$  — широта места, равная таким образом:

$$\varphi \leq 90^\circ + h - \delta = 61^\circ.$$

То есть комету можно было наблюдать южнее 61-й параллели.

**№ 6** (пункт программы — 4.5, категория сложности — 1, школьный этап, 8—10 классы)

**Условие.** 21 декабря 2020 г. планеты Юпитер и Сатурн вступят в тесное соединение, располагаясь в созвездии Козерога. Можно ли будет их наблюдать в этот день и в какое время суток?

**Решение.** 21 декабря — вблизи зимнего солнцестояния — Солнце располагается в созвездии Стрельца, западнее Козерога. Юпитер и Сатурн располагаются к востоку от Солнца и могут недолго наблюдаться вечером, после наступления темноты.

**№ 7** (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 её поверхности не видны. В итоге ярче всего Земля может выглядеть с поверхности Меркурия.

**№ 8** (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. То есть Марс пройдёт большее расстояние за 1 год, чем Юпитер.

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

**№ 9** (пункт программы — 7.1, категория сложности — 1, школьный этап, 10—11 класс)

**Условие.** Телескоп имеет диаметр объектива 32 см. Имеет ли смысл проводить с ним визуальные наблюдения с увеличением 30х? 50х?

**Решение.** Равнозрачковое увеличение для этого телескопа равно  $M = D/d \sim 40$ . Здесь  $D$  — диаметр объектива телескопа, а  $d$  — диаметр зрачка глаза, который мы берём равным

8 мм. Если увеличение меньше равнозрачкового, часть света, собранного объективом, не будет попадать в глаз наблюдателя. Поэтому увеличение 30х использовать бессмысленно. А вот увеличение 50х немного больше равнозрачкового, и с ним хорошо проводить наблюдения объектов далёкого космоса (звёздных скоплений, туманностей, галактик).

**№ 10** (пункт программы — 2.2, 4.1, 8 — математика, категория сложности — 2, школьный этап, 11 класс)

**Условие.** Масса галактики М87 равна  $3 \cdot 10^{12}$  масс Солнца, угловой диаметр  $7'$ , расстояние до неё 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 млн световых лет  $\cdot \sin 7/2 = 55$  тыс. световых лет, или  $5 \cdot 10^{20}$  м. Средняя плотность галактики равна:

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

**№ 11** (пункт программы — 8.1, категория сложности — 1, муниципальный этап, 10—11 классы)

**Условие.** Некоторая звезда вчетверо больше и вдвое холоднее Солнца. Во сколько раз её светимость превышает солнечную?

**Решение.** По закону Стефана—Больцмана светимость звезды пропорциональна квадрату её радиуса и четвёртой степени температуры. Поэтому светимость данной звезды по отношению к Солнцу составит  $4^2 \cdot (1/2)^4 = 1$ . Звезда сравнится с Солнцем по светимости.

**№ 12** (пункт программы — 8.2, категория сложности — 1, школьный этап, 11 класс)

**Условие.** Телескопу доступны звёзды 18-й звёздной величины. Видна ли в него тесная двойная звезда, каждая компонента которой имеет 19-ю звёздную величину? Ответ обоснуйте.

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



**№ 13** (пункт программы — 8.3, категория сложности — 2, муниципальный этап, 10—11 классы)

**Условие.** Ярчайшая звезда ночного неба Земли — Сириус имеет блеск  $-1,47^m$  и параллакс  $0,38''$ . Какую звёздную величину имел Сириус, если бы он занял 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  $\pi$  — её параллакс. Для Сириуса это расстояние получается равным 2,6 пк, или  $(2,6 \cdot 206\,265) \sim 540\,000$  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 звёздных величинах в  $2,5 \lg(2,9 \cdot 10^{11}) = 2,6$ . В итоге Сириус светил бы в небе как звезда  $-30^m$ .

**№ 14** (пункт программы — 10.1, категория сложности — 2, муниципальный этап, 11 класс)

**Условие.** Искусственный спутник проходит точку перигея на высоте 300 км над поверхностью Земли в 12 ч по московскому времени каждое воскресенье. Найдите расстояние от центра Земли до спутника, когда он находится в апогее.

**Решение.** Орбитальный период спутника  $T$  равен в точности 7 суткам. Сравнивая его с орбитальным периодом Луны  $T_L$  (27,32 суток), определяем большую полуось орбиты спутника из III закона Кеплера:

$$a = L (T/T_L)^{2/3} = 155,1 \text{ тыс. км.}$$

Расстояние в перигее равно сумме высоты и радиуса Земли,  $r_p = (R+h) = 6670$  км. Таким образом, расстояние в апогее:

$$r_A = 2a - r_p = 303,5 \text{ тыс. км.}$$