

Е. Б. ГУСЕВ, В. Г. СУРДИН

# РАСШИРЯЯ ГРАНИЦЫ ВСЕЛЕННОЙ:



ИСТОРИЯ  
АСТРОНОМИИ  
В ЗАДАЧАХ

*Учебно-методическое пособие  
для учителей астрономии, физики  
и студентов физико-математических  
факультетов вузов*



ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО ЦЕНТРА НЕПРЕРЫВНОГО  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

МОСКВА — 2003

УДК 52 (07)  
ББК 22.6  
Г96

**Е. Б. Гусев, В. Г. Сурдин.**

Г96      **Расширяя границы Вселенной: история астрономии в задачах: Учебно-методическое пособие для учителей астрономии и физики и студентов физико-математических факультетов вузов. — М.: МЦНМО, 2003. — 176 с.: ил. — ISBN 5-94057-119-0.**

В учебном пособии представлено 426 задач по истории астрономии. Задачам предшествует краткое историческое введение. Издание призвано помочь в преподавании астрономии в высших учебных заведениях и в школах. Оно содержит оригинальные задачи, связанные с развитием астрономии как науки. Многие задачи носят астрофизический характер, поэтому пособие может быть также использовано на занятиях по физике.

ББК 22.6

ISBN 5-94057-119-0

© Е. Б. Гусев, В. Г. Сурдин, 2003.  
© МЦНМО, 2003.

---

---

Учебно-методическое пособие

*Евгений Борисович Гусев,  
Владимир Георгиевич Сурдин.*

Расширяя границы Вселенной: история астрономии в задачах.

Редактор *Р. О. Алексеев.*

Техн. редактор *М. Ю. Панов.*

---

Лицензия ИД № 01335 от 24/III 2000 года. Подписано в печать 17/XI 2003 года. Формат 60×88 1/16. Объем 11,00 физ. печ. л. = 10,76 усл. печ. л. = 13,42 уч.-изд. л. Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Гарн. обыкн. нов. Тираж 2000 экз. Заказ 4445.

---

Книга соответствует гигиеническим требованиям к учебным изданиям для общего и начального профессионального образования (заключение государственной санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации № 77.99.02.953.Д.002797.04.03 от 18/IV 2003 года).

---

Издательство Московского центра непрерывного математического образования.  
119002, Москва, Г-2, Бол. Власьевский пер., 11. Тел. 241 05 00, 241 72 85.

---

Отпечатано с готовых диапозитивов  
в ФГУП «Производственно-издательский комбинат ВИНТИ».  
140010, г. Люберцы Московской обл., Октябрьский пр-т, 403. Тел. 554 21 86.



# ПРЕДИСЛОВИЕ

История развития любой науки интересна и поучительна: она показывает эволюцию человеческой мысли, её последовательное проникновение в тайны природы и человеческого бытия. В этом отношении особый интерес представляет астрономия — древнейшая естественная наука. Познание структуры и законов Вселенной происходило фантастическими темпами. От совершенно примитивных попыток объяснения небесных явлений до современного уровня понимания мироустройства прошло всего лишь несколько тысячелетий. За этот период наши представления о Вселенной изменились гораздо сильнее, чем, к примеру, представления о строении материи. Наиболее интенсивно астрономия развивалась в XIX и XX веках. Но даже ещё 100 лет назад люди не догадывались об истинных источниках энергии звёзд, не осознавали огромную роль электромагнитных явлений в космосе, не были уверены в существовании других галактик и не подозревали о глобальном расширении нашего мира.

Невиданные изменения претерпели за последние столетия инструменты и методы астрономии. Однако отнюдь не при помощи гигантских телескопов были получены основные сведения о строении Солнечной системы, о законах, управляющих движением планет и их спутников, астероидов и комет. Главным инструментом любого учёного был и остаётся интеллект. Человеческий ум, используя результаты наблюдений, иногда очень оригинальных, часто ошибаясь, неуклонно продвигается по пути истины.

Знакомство с историей познания Вселенной даёт удивительную возможность приобщиться к процессу научного исследования, оценить потрясающую мощь человеческого интеллекта и его способность создавать методы исследований, разрабатывать технологии, позволяющие изучать загадочные небесные явления и недоступные объекты.

Для изучения истории астрономии имеются фундаментальные курсы А. И. Еремеевой и Ф. А. Цицина (1989), А. Паннекука (1966), А. Берри (1946), А. Кларк (1913), О. Струве и В. Зебергс (1968), книги

Б. Ван-дер-Вардена (1991), А. А. Гурштейна (1991), Ю. Г. Переля (1951), И. А. Климишина (1987), многочисленные статьи и сборники «Историко-астрономические исследования» (М.: Наука), «История астрономии в России и СССР» под ред. ак. В. В. Соболева. Вопросы истории астрономии затрагиваются в курсах астрономии вузов и средней школы. Для усвоения любого учебного курса полезно закреплять теорию практическими упражнениями и решением задач, однако авторам неизвестны задачки по истории астрономии. Таким образом, данная книга представляет собой первую попытку в этом направлении.

Представленные задачи, если следовать терминологии, принятой в преподавании астрономии и физики, в большинстве своём являются качественными задачами. Они имеют ряд преимуществ по сравнению с количественными задачами, поскольку обычно не требуют математических выкладок и позволяют сосредоточиться на сути изучаемого явления. Их роль существенна для закрепления и углубления знаний. Для повышения эффективности обучения условия задач содержат сопоставления и противопоставления; некоторые задачи могут быть отнесены к парадоксальным, занимательным, экспериментальным или провокационным. Отдельные задачи носят познавательный характер. Наличие подробных ответов повышает информационную ценность задач. Большинство задач посвящено двум фундаментальным эпохам в развитии астрономии — периодам становления гелиоцентрической системы мира и формирования астрофизической картины мира. Задачи последнего раздела сборника основаны на цитатах из трудов и высказываний учёных разных эпох; в определённой степени они дополняют материал предшествующих разделов. Использование подобных задач может сделать более познавательными и интересными учебные занятия и внеаудиторные мероприятия по астрономии.

Для решения задач необходимо хорошее знание учащимися не только астрономии, но и физики. Не все задачи легки. Часто для успешного решения необходима эрудиция, применение неординарных подходов, знакомство с научно-популярными книгами, статьями, дополнительными учебными пособиями. В сборнике нет разделения на задачи для учащихся вузов и задачи для школьников. В астрономии, как и в других науках (но в астрономии — особенно!), уровень знаний и интереса к предмету не имеет резкой образовательной или возрастной зависимости.

Данный труд является продолжением работы авторов по созданию сборников задач по астрономии и астрофизике. Мы благодарим сотрудников Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (МГУ) А. И. Еремееву и Ф. А. Цицина за внимательное прочтение рукописи и дискуссию. Мы также признательны сотрудникам издательства МЦНМО Р. О. Алексею и М. Ю. Панову за большой труд по подготовке книги.



# ЧЕЛОВЕК СТОИТ НА БЕРЕГУ ВСЕЛЕННОЙ

(немного об истории астрономии)

Берег Вселенной — это наша планета Земля, родина человечества. Мы пристально всматриваемся в космическую бездну. Что там? Обитель богов? Или пространство, заполненное звёздами и планетами, на которых живут разумные существа?

Есть мнение, что наш предок стал человеком не в тот момент, когда он взял в руки палку и замахнулся на дикое животное или иноплеменника, а лишь когда он впервые поднял голову к небу. Человек не может не размышлять. Наряду с привычными заботами о выживании, о еде, о семье у него часто возникает вопрос о своём месте в обществе и мире. Человек разумный во все времена хотел понять и систематизировать картину окружающего мира.

Науки зарождались в связи с практическими потребностями человека. Астрономия — наука о космических телах и всей Вселенной, — возникла прежде всего из необходимости ориентироваться на поверхности Земли. В этом древнему человеку помогли небесные светила: в начале люди определяли по ним направления сторон света, а в более поздние времена научились находить географические координаты на земле и на море. Кстати, эта задача не потеряла своего практического значения и для современного человека: если вам кажется, что теперь мы решаем её при помощи технических средств, то не заблуждайтесь — в основе их работы по сей день лежат небесные светила. Задача определения времени также была решена путём наблюдения небесных тел. Но что бы человек ни делал, помимо конкретных практических целей, в основном определяемых социальной жизнью, он преследует и весьма отвлечённые; человек обладает удивительным свойством — любознательностью. Мы рассматриваем окружающие тела и пытаемся понять их внутреннее строение, их предназначение, их связь с другими телами и с нами самими.

Интерес человека к небесным объектам — Солнцу, Луне, звёздам и планетам — это не исключительное, а закономерное явление. Часть земной поверхности, доступная для изучения, всегда была ограничена линией горизонта или возможностью нашего перемещения; в конце концов — конечным размером планеты. Небо же, напротив, предоставляет нам уникальную возможность проникновения: днём мы можем видеть яркие, а значит, близкие космические тела, ночью же наш взор проникает в глубины Вселенной. Изобретение телескопа и его дальнейшее совершенствование позволило увидеть очень далёкие объекты и приблизиться к пониманию структуры и физики космоса.

Наука — это деятельность, направленная на получение объективных знаний о мире и создание на их основе картины мира, т. е. упорядоченного представления о строении мира и царящих в нём взаимосвязях. Каждая наука изучает определённый аспект окружающей действительности и как бы создаёт свою модель мира; можно говорить о физической, биологической и прочих моделях мира. Изучение важнейших объектов Вселенной ведёт нас к построению астрономической картины мира.

Любая наука эволюционирует, т. е. рождается, развивается, дифференцируется, сливается с другими науками. Среди точных наук особенно большой интерес представляет развитие астрономии. В масштабе эволюции нашей планеты все науки очень молоды. Земля как космическое тело существует 4,6 млрд лет. Жизнь на планете зародилась неизвестным путём более трёх миллиардов лет назад. Человек современного типа живёт на Земле около 300 тыс. лет. Цивилизации, частью социальной жизни которых стала наука, существуют около 10 тыс. лет. Однако большинство современных научных дисциплин существуют всего несколько столетий. Астрономия в этом смысле занимает особую позицию: согласно письменным источникам, она непрерывно развивается около 5000 тыс. лет, начиная с эпохи Древнего Шумера, Египта, Китая. А косвенные данные, такие, как названия созвездий, первые попытки изображения звёздного неба, счёт времени по лунным фазам, космологические мифы разных народов свидетельствуют о гораздо более раннем зарождении астрономии. К настоящему времени человек смог в основном понять устройство Вселенной, хотя существует ещё много трудных задач, решить которые, возможно, удастся в текущем веке. Итак, проследим основные этапы развития астрономии.

### Мифологическая астрономия

В древности мир небесный, идеальный противопоставлялся земному, грешному миру. По примитивным представлениям тех времён в идеальном мире могли жить только боги, герои, сверхестественные существа. В группах звёзд, будущих созвездиях, люди видели особых существ. О них слагались мифы. Так, заметная конфигурация звёзд

Большой Медведицы представлялась нашим предкам ковшом из семи звёзд, а вот древние греки видели в этой области неба медведя: в южных широтах на ночном небе отчётливо выделяются слабые звёзды, а они вместе со звёздами Ковша действительно образуют фигуру, напоминающую силуэт медведя. Для объяснения длинного хвоста (как известно, у медведей короткий хвост) возникла дополнительная легенда. Римляне же видели в ярких звёздах Большой Медведицы семью волков. Подобные мифы охватывают всё звёздное небо.

Наиболее подробная мифология, касающаяся космических объектов, дошла до нас от древних греков, но похожие мифы, указывающие на интерес даже первобытных людей к звёздному небу, Солнцу, Луне имелись у многих народов мира. В более близкие к нам эпохи активными наблюдателями звёздного неба были средневековые арабы. Перемещаясь с караванами по пустыням и полупустыням Аравии преимущественно в прохладное время суток, т. е. ночью, они наблюдали и поэтому хорошо знали звёздное небо. В то время как названия созвездий уходят в глубокое доисторическое прошлое, большинство названий звёзд даны в исторический период; об этом свидетельствует то, что большинство звёзд носит арабские имена. Так, *Вега* ( $\alpha$  Лиры) — от арабского слова «ваки», что означает *коршун*. Пристальный взгляд на небо позволил арабским наблюдателям обнаружить и первую переменную звезду —  $\beta$  Персея. По мнению средневековых арабов, все звёзды, дающие постоянный свет, — это глаза ангелов. А вот  $\beta$  Персея, являющаяся затменно-переменной, раз в трое суток уменьшает свой блеск на 1,5 звёздной величины за 3,5 часа и за такое же время увеличивает его до прежнего уровня. Наблюдателям того времени «подмигивающая» звезда представлялась оком дьявола. Бедуины называли её *Эл-Гуль* (Алголь), что и означает *Дьявол*.

Наличие на небе не только звёзд, но и Солнца, Луны, блуждающих звёзд (планет), движущихся особым образом относительно друг друга, привело древних мыслителей к представлению о многослойности мироздания. По воззрениям вавилонян, весь мир находится внутри безбрежного космического океана. Кроме него существует земной океан, в центре которого находится Земля в виде горы с семью уступами, населённая людьми. Над Землёй простираются небеса, имеющие вид свода, состоящего из трёх, а по некоторым мифам — из семи слоёв. Подземный мир, по аналогии с небесным миром, также представлялся многоярусным. Идея о многоэтажности мироздания сохранилась и даже развилась в воззрениях древних китайцев и индийцев, в иудейской, буддийской и мусульманской религиях.

### Античная астрономия

Античный период в астрономии продолжался примерно с VII в. до н. э. по V в. н. э. В это время возникают зачатки наук. Общие представления

о мире ещё довольно примитивны, но возникают гениальные догадки. Попытки познать Вселенную уже основываются на научном подходе, хотя учёные ещё не освободились полностью от пут мифологии. Представления этой эпохи послужили основой для истинно научных теорий следующего этапа развития человечества. Эта же эпоха характеризуется появлением и совершенствованием астрономических угломерных инструментов.

Согласно учению древнегреческого философа Платона (427—347 гг. до н. э.), бог сотворил Солнце, Луну и пять планет (до изобретения телескопа самой дальней планетой Солнечной системы считался Сатурн) и поместил их на семь «кругов». Движение небесных тел философ объяснял сложением суточного движения сферы звёзд вокруг оси мира и самостоятельного движения других сфер в противоположном направлении вокруг оси эклиптики. В центре всей этой системы небесных тел помещалась Земля. По представлениям Платона, упомянутые семь небесных светил располагались по удалённости от нашей планеты в следующем порядке: Луна, Солнце, Венера, Меркурий, Марс, Юпитер, Сатурн. Идеи Платона, с одной стороны, были в русле мифологических представлений того времени о многослойности космоса. С другой стороны, это была серьёзная попытка определить реальную структуру Солнечной системы и объяснить видимое движение небесных тел. Евдокс Книдский (ок. 408 — ок. 355 гг. до н. э.) впервые попытался создать математическую теорию движения планет. С Гиппарха (II в. до н. э.) начинается развитие количественной теории движения небесных тел — расчёт движения Луны, прогноз солнечных и лунных затмений. Движения небесных тел в ту эпоху считались исключительно круговыми, ибо философы полагали, что в небесах должны происходить только совершенные движения.

Первой научной моделью мира можно считать систему, предложенную древнегреческим астрономом Клавдием Птолемеем (ок. 87 — 165 гг. н. э.), проведшим детальную математическую разработку идей своих научных предшественников. Как и Платон, Птолемей поместил в центре мира Землю. Модель мира Птолемея была достаточно сложной: каждая планета двигалась по особой окружности — *эпициклу*, центр которой двигался по большей окружности — *деференту*. Размеры эпициклов и деферентов и их наклона были выбраны таким образом, что модель позволяла довольно точно рассчитывать положения планет на небесной сфере. Звёзды считались неподвижными и располагались на самой удалённой от Земли сфере.

Птолемей оставил после себя фундаментальный научный труд в 13 книгах, в котором не только изложил и обосновал свою модель мира, но также собрал и систематизировал все астрономические знания того времени. Через арабских учёных этот труд под названием «Альмагест» дошёл до нас. Модель мира, предложенная Птолемеем, оставалась общепризнанной около полутора тысяч лет.

## Средневековая астрономия

Прогресс в изготовлении приборов для астрономических измерений не вооружённым оптикой глазом позволил точнее фиксировать движения планет, а развитие математики позволило точнее вычислять теоретические значения. При этом выяснилось, что согласие между теорией Птолемея и наблюдениями оставляет желать лучшего. Было немало предложений и споров о том, как выйти из этого положения. Но основная схема Птолемея, представляющая движение планет вокруг Земли комбинацией равномерно вращающихся окружностей, применялась вплоть до Возрождения.

В Римской империи астрономия не развивалась. Римляне внесли много нового в политику, юриспруденцию и технику, но астрономию они почти не продвинули. Во времена распада империи и нашествия варваров, т. е. в эпоху поздней античности и раннего средневековья, астрономия на Западе стала угасать. Она ещё существовала в нетворческом виде, переходя в форме текстов из одного сборника в другой, но механическое переписывание древних работ сопровождалось множеством ошибок. Составление календаря стало большой проблемой, и даже на такое рутинное дело, как определение основанных на лунном календаре дат религиозных праздников (например, Пасхи), были способны лишь немногие образованные люди. Каталоги и рассчитанные Птолемеем таблицы сохранились, но всё меньше людей понимало их и могло использовать. Те немногие энтузиасты, которые ещё проводили наблюдения и фиксировали астрономические события, пользовались солнечными часами и простейшими приборами.

В период после падения Рима, когда астрономия угасала в Европе, эта эллинистическая наука прижилась и пустила мощные корни в соседних культурах Среднего Востока и Азии, а также Индии. Были построены многочисленные обсерватории, крупнейшей из которых стала обсерватория Улугбека в Самарканде. Учёные Востока овладели всеми астрономическими знаниями предшествовавших эпох, они исправляли и дополняли методы Птолемея.

Даже после так называемого *возрождения XII века*, когда некоторые работы Аристотеля были переоткрыты, и на Запад пришли интеллектуально наполненные времена *схоластики*, астрономия оставалась в упадке. Правда, стали популярными космологические диспуты, касающиеся общего строения Вселенной. Теологи и учёные написали к сочинениям Аристотеля множество комментариев. Вместе с Библией и трудами отцов церкви работы Аристотеля стали основой обучения. Предметом пылких дискуссий было устройство небесных сфер и принципы их движения, возможная множественность миров и даже природа Луны.

Эти дискуссии подготовили образованный Запад к интеллектуальному взлёту XIV века, когда сохранившиеся в арабских странах

античные знания хлынули в Европу. Только тогда европейские астрономы смогли прочесть Птолемея, Аристотеля и других классиков в полном объёме и, что ещё важнее, увидеть развитие античной астрономии.

### Возрождение

К XVI веку стало ясно, что геоцентрическая модель мира Птолемея далека от совершенства настолько, что уже не удовлетворяет возросшей точности астрономических наблюдений. Попытки её модернизации путём усложнения системы эпициклов и деферентов не решали главной задачи и делали эту систему малоправдоподобной.

На смену модели Птолемея пришла гелиоцентрическая модель мира, предложенная польским учёным Николаем Коперником (1473—1543). Идея гелиоцентризма была не нова. Ещё Аристарх Самосский (ок. 310—230 до н. э.) полагал, что Солнце неподвижно и находится в центре мира, а Земля обращается вокруг него. Но взгляды Аристарха опередили своё время и были забыты.

Коперник совершил коренной переворот в астрономии. На смену умозрительным построениям древних учёных пришло новое понимание строения Солнечной системы. Теория Коперника вполне отвечала философскому принципу «бритвы Оккама»: *не умножай сущностей без необходимости*. Модель мира Коперника не только оказалась проще системы Птолемея, но и правильно отразила физическую картину: в центр мира Коперник поместил Солнце, как позднее выяснилось, — наиболее массивное тело Солнечной системы. Кроме того, он установил верный порядок расположения планет по их удалённости от Солнца и правильно определил их относительные расстояния.

Однако теория Коперника, несмотря на её революционный характер, не смогла до конца порвать со старыми представлениями об устройстве мира. Так, в теории Коперника сохранились эпициклы, хотя их число было меньшим, чем у Птолемея. Но эпициклы были необходимы, ибо орбиты планет по-прежнему полагались круговыми, а не эллиптическими. Сохранялась и сфера неподвижных звёзд; таким образом, Солнце оказывалось центром не только Солнечной системы, но и всей Вселенной. Точность расчёта положений планет по Копернику была примерно такой же, как и по модели Птолемея.

Идеи Коперника долго ждали научного и, тем более, общественного признания. Этому препятствовало не только психологическое недоверие обывателей, каждый день видящих движение Солнца и звёзд вокруг неподвижной Земли, но и вполне резонные возражения образованных людей. Движение Земли вокруг Солнца должно приводить к параллактическому смещению ближних звёзд в течение года, которое (хотя и были попытки его наблюдать) не отмечалось, да и не могло быть замечено в XVI веке по причине своей малости. Параллаксы звёзд были обнаружены только в первой половине XIX столетия.

Важные свидетельства в пользу гелиоцентрической системы Коперника дали первые телескопические наблюдения неба, сделанные Галилео Галилеем (1564—1642). Он увидел в свои ещё несовершенные зрительные трубы рельеф Луны, пятна на Солнце, звёзды в Млечном Пути. Он обнаружил также изменение фаз Венеры, что однозначно свидетельствовало о её движении вокруг Солнца. Открытие им спутников Юпитера и изучение их движения показало, что одно из основных свойств мира — его иерархическая структура.

Следующим этапом в создании научной картины мира стали труды Иоганна Кеплера (1571—1630), открывшего принципиально важные для астрономии законы планетных движений. Впервые было доказано, что планеты движутся не по круговым, а по эллиптическим орбитам; что скорость движения планеты закономерно зависит от её расстояния от Солнца; была найдена связь между периодами обращения планет и большими полуосями их орбит. Законы Кеплера носили кинематический характер: они устанавливали закономерности движения планет, но не вскрывали их причину. Открытие законов планетных движений оказалось возможным благодаря использованию Кеплером многолетних астрометрических наблюдений Марса, проведённых знаменитым датским астрономом Тихо Браге (1546—1601).

Выдающийся английский физик, астроном и математик Исаак Ньютон (1643—1727) завершил создание классической астрономии, подвёл теоретическую основу под эмпирические закономерности, найденные его предшественниками. Ньютон из открытого им закона всемирного тяготения не только вывел законы планетных движений, но и смог обобщить и уточнить их. Первый обобщённый закон Кеплера утверждает, что одно космическое тело может двигаться в поле тяготения другого космического тела по одному из пяти конических сечений: окружности, эллипсу, параболе, гиперболе и прямой линии. Второй закон, как показал Ньютон, является следствием закона сохранения момента импульса. В математическое выражение третьего обобщённого закона вошли массы обоих гравитационно взаимодействующих тел, что позволило использовать этот закон для определения масс космических объектов.

Полученные Ньютоном обобщения законов планетных движений превратили эти законы в динамические, поэтому Ньютона по праву считают основоположником небесной механики. Но он был не только выдающимся теоретиком, но и незаурядным экспериментатором. Открытие им дисперсии света положило начало чрезвычайно плодотворному методу спектрального анализа, позволившему измерять температуру звёзд, изучать физические условия и химический состав небесных объектов. Ньютон изобрёл телескоп-рефлектор, свободный от хроматической аберрации. Ныне все крупные телескопы — рефлекторы.

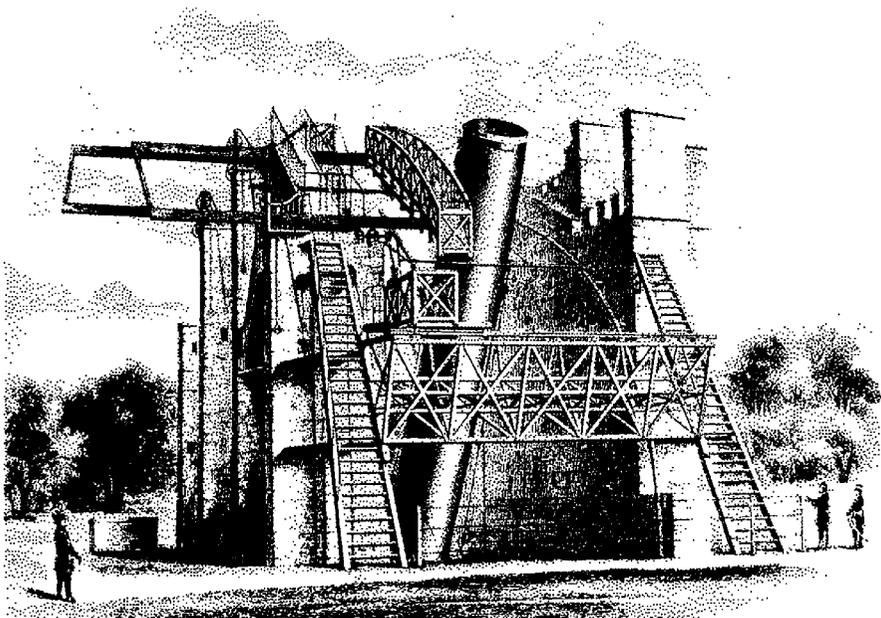
## Звёздная астрономия и астрофизика

Задачей *звёздной астрономии* является изучение пространственного расположения и движения отдельных звёзд и звёздных ансамблей — скоплений, галактик и т. п. Первый шаг в этом направлении сделал Галилей, открыв с помощью телескопа звёздную структуру Млечного Пути.

В конце XVIII века существенный вклад в изучение звёздных систем внёс Вильям Гершель (1738—1822), впервые применив статистический метод к изучению Галактики. Он установил, что наша Галактика имеет конечные размеры, и даже довольно точно определил степень сплюснутости её формы (1:5). Он также первым выдвинул предположение о существовании крупномасштабной структуры мира галактик, заметив неоднородность их распределения на небе.

Важным событием в звёздной астрономии стали первые измерения звёздных параллаксов (В. Струве —  $\alpha$  Лиры, Т. Гендерсон —  $\alpha$  Кентавра, Ф. В. Бессель —  $\beta$  Лебеда). В середине XIX века ирландский астроном У. Парсонс при помощи сконструированного им рефлектора открыл спиральную структуру некоторых внегалактических туманностей.

*Астрофизика* изучает физические свойства космических тел. Методы астрофизики основаны на достижениях экспериментальной и теоретической физики. Появление этой новой астрономической науки



Гигантский телескоп-рефлектор Уильяма Парсонса, сооружённый в 1845 г. Металлическое главное зеркало диаметром 182 см имело фокусное расстояние 17 м.

относят к середине XIX века, когда при исследовании космических тел стали использовать фотографию и спектроскопию. Следует отметить, однако, что физический подход для изучения природы космических тел стал применяться гораздо раньше. Так, ещё в 1761 г. русский учёный-энциклопедист М. В. Ломоносов первым обнаружил преломление солнечного света у поверхности Венеры и дал правильное качественное толкование наблюдаемому явлению, предположив наличие у планеты плотной атмосферы. Он же в образной форме дал близкое к действительности описание физических процессов, происходящих в атмосфере Солнца.

Естественно, что первым объектом исследования для астрофизиков стало наше светило, дающее мощный поток излучения. Немецкий физик Г. Р. Кирхгоф (1824—1887), применив изобретённый им и Р. Бунзеном метод спектрального анализа, доказал, что у Солнца есть атмосфера, более холодная, чем видимая поверхность светила — фотосфера. По линиям поглощения в спектре Солнца оказалось возможным определить химический состав его атмосферы. Один из основоположников астроспектроскопии У. Хёггинс (1824—1910) доказал единую природу Солнца и звёзд. Французский астроном П. Жансен (1824—1907) начал изучать методом спектрального анализа химический состав атмосфер планет. П. Жансен и английский астроном Дж. Н. Локьер (1836—1920) независимо друг от друга открыли спектроскопический способ наблюдения хромосферы и протуберанцев на Солнце вне солнечного затмения.

### Астрономия XX века

Бурное развитие астрономии в XX столетии основывалось на двух «китах» — новых крупных телескопах и чувствительных приёмниках излучения во всех диапазонах волн, а также на достижениях теоретической физики. В начале столетия датский астроном Эйнар Герцшпрунг (1873—1967) и американский астроном Г. Н. Рассел (в некоторых книгах — Рессел; 1877—1957) установили важную закономерность: светимость большинства звёзд определяется их спектральным типом, отражающим температуру поверхности. Построенная ими диаграмма «спектр—светимость» позволила установить существование звёзд-гигантов и звёзд-карликов. Диаграмма Герцшпрунга—Рассела имеет большое космогоническое значение: положение на ней звезды в первую очередь определяется её массой и возрастом.

Теоретический подход в астрофизике позволил по данным наблюдений изучать физические условия в звёздных атмосферах и строить модели внутреннего строения звёзд (К. Шварцшильд, А. С. Эддингтон, Дж. Джинс). Вторая четверть XX столетия была отмечена решением проблемы источника энергии звёзд. Обсуждавшиеся ранее метеоритная, контракционная и аннигиляционная гипотезы, а также гипотеза

радиоактивного распада были отвергнуты. Успехи ядерной физики и накопленные астрономами данные о звёздах позволили убедительно показать, что источником энергии звёзд в течение большей части их жизни служит термоядерный синтез гелия из водорода (подробнее см.: Сурдин, 1999).

XX век характеризуется рождением новой симбиотической науки — *космонавтики*, открывшей небывалые возможности для исследования Вселенной космическими аппаратами. Общеизвестным основателем этого направления человеческой деятельности, много сделавшим для его развития, был гениальный русский учёный К. Э. Циолковский; его научное наследие насчитывает около 600 работ. Вся вторая половина столетия прошла под знаком интенсивного развития практической космонавтики. 4 октября 1957 г. в нашей стране был запущен первый в мире искусственный спутник Земли. 12 апреля 1961 г. состоялся первый пилотируемый космический полёт Ю. А. Гагарина.

Методы космонавтики оказались чрезвычайно плодотворными для астрономических исследований. Вне земной атмосферы возможно изучение небесных тел во всех диапазонах электромагнитного излучения. Искусственные спутники и межпланетные станции подробно исследовали атмосферу и поверхность планет, что было невозможно осуществить столь детально с Земли. На Луну, Венеру и Марс опускались исследовательские лаборатории, передавшие на Землю уникальные данные. Планеты-гиганты, Меркурий, спутники планет, астероиды исследовались с пролётных траекторий автоматическими межпланетными станциями. Выдающуюся роль в этих работах сыграли отечественные учёные и инженеры. Благодаря наблюдениям с Земли и из космоса были открыты удивительные по своим физическим свойствам космические объекты: квазары, нейтронные звёзды (в том числе и особые — пульсары и магнетары), космические мазеры, реликтовое излучение, чёрные дыры, рентгеновские источники, гравитационные линзы.

XX век характеризуется появлением ещё одной новой, очень важной астрономической науки — *релятивистской космологии*, которая изучает нестационарную Вселенную как единое целое. Большой вклад в становление космологии внесли А. Эйнштейн (1916 г.), А. А. Фридман (работы 1922—1924 гг.), Ж. Леметр (1927 г.), Г. А. Гамов (1946 г.). Современная космология базируется на двух фундаментальных наблюдательных фактах: *красном смещении* линий в спектрах галактик, которое, согласно принципу Доплера—Физо, интерпретируется как всеобщее взаимное удаление галактик (Э. П. Хаббл, 1929 г.); а также на существовании *фонового микроволнового излучения* с  $T=2,7$  К, свидетельствующего о сверхплотном и горячем состоянии Вселенной в момент Большого взрыва. В начале 1980-х годов была создана инфляционная модель эволюции Вселенной (А. Гус и А. Д. Линде), согласно которой её расширение в первые  $10^{-35}$  секунды шло несравненно быстрее, чем в соответствии с фридмановской моделью.

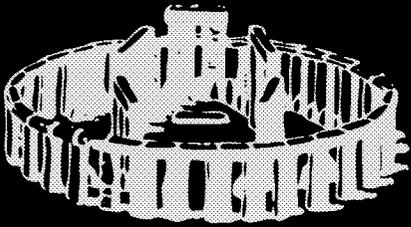
### А что дальше?

Дальнейшее развитие астрономии требует немалых материальных затрат, а потому будет в значительной мере определяться тем, насколько велик интерес общества к этой сфере научных исследований. При благоприятных условиях развития перспективы астрономии выглядят захватывающими. Новые технологии позволяют создавать мощные телескопы с невиданным ранее качеством изображения. Уже действуют оптические телескопы с диаметром зеркала 8—10 метров и проектируются инструменты диаметром 25—100 метров. Недавно начали работать подземные нейтринные телескопы нового поколения; заканчивается сооружение гравитационно-волновых детекторов сверхвысокой чувствительности. Планируется создание обсерватории на Луне и научных лабораторий на поверхности Марса и астероидах.

Новая мощная наблюдательная техника требуется астрономам для решения уже существующих проблем, таких как происхождение космических лучей сверхвысокой энергии и физические механизмы гамма-всплесков, для разгадки природы тёмной материи, составляющей периферию галактик: что это — коричневые карлики, чёрные дыры или ещё неоткрытые слабо взаимодействующие с электромагнитным излучением элементарные частицы большой массы? Но ясно, что работая над этими проблемами, астрономы непременно встретятся с новыми загадками космоса; это и делает научный поиск таким захватывающим.

Для учёных понять природное явление означает умение предвидеть его развитие. Основная задача космологии — понять будущее нашей расширяющейся Вселенной. Это невозможно без правильного представления о барионной материи, источниках скрытой массы и неизвестных свойствах вакуума, возможно, наиболее сильно влияющего на динамику расширения Вселенной. Успехи космологии в значительной степени зависят от прогресса в изучении элементарных частиц и от создания долгожданной единой теории физических взаимодействий. В то же время, новые открытия в астрономии, как правило, способствуют прогрессу физики, которая всё сильнее влияет на нашу жизнь. Проследивая шаги учёных в познании Вселенной, узнавая историю астрономии, мы реконструируем важную часть истории человечества.

# ЗАРОЖДЕНИЕ АСТРОНОМИИ



*Древняя астрономическая обсерватория  
(Стоунхендж, Англия, II тыс. до н. э.).*

**1.1.** В чём причина того, что именно астрономия является древнейшей из современных наук?

**1.2.** Почему происходила дифференциация астрономии?

**1.3.** Предположим, что наш современник решил разрушить представления древних людей о хрустальных сферах, к каждой из которых якобы прикреплена планета (модель Евдокса). Существование каких космических тел могло бы послужить главным аргументом против этой модели?

**1.4.** Зачем и когда были введены точки и линии небесной сферы?

**1.5.** Почему древние греки, ориентируясь по звёздному небу, основной осью считали восток—запад, а не север—юг, как наши современники?

**1.6.** Почему астрономический знак точки весеннего равноденствия совпадает со знаком созвездия Овен и обозначается символом рогов ♈?

**1.7.** Почему в Древнем Риме в 60-х годах до н. э. был принят закон, запрещающий высшим должностным лицам государства в определённые периоды времени наблюдать за небесными явлениями?

**1.8.** Во II в. до н. э. Гиппарх создал свой знаменитый каталог, содержащий положения и звёздные величины 850 звёзд. Сравнив свои данные с наблюдениями Аристилла и Тимохариса (ок. 280 г. до н. э.), он обнаружил, что эклиптические долготы всех звёзд ежегодно увеличиваются на 36'' (по современным данным на 50,3''). Что за явление открыл Гиппарх?

**1.9.** В древнем Египте первое появление Сириуса в лучах утренней зари после периода невидимости (гелиакический восход) совпало с поднятием вод Нила. Совпадают ли эти два явления так же хорошо и в настоящее время?

**1.10.** Каким образом древние египтяне, наблюдая гелиакический восход Сириуса, смогли довольно точно определить продолжительность тропического года?

**1.11.** В Древнем Китае обнаружили, что длина тени от гномона в полдень календарного дня зимнего солнцестояния (по древнему 365-дневному календарю) не равна длине тени, измеренной годом раньше. Через какой интервал времени длины теней от гномона совпадают? Какой вывод о продолжительности года был сделан в Древнем Китае на основании этих наблюдений?

**1.12.** До 1492 г. календарный год в России начинался с 1 марта, с 1492 г. по 1700 г. — с 1 сентября, а с 1700 г. — с 1 января. С какими астрономическими явлениями могут быть связаны эти даты начала года?

**1.13.** Какова астрономическая основа шестидесятеричной системы счисления, принятой у некоторых древних цивилизаций?

**1.14.** Какова астрономическая основа деления окружности на  $360^\circ$ ?

**1.15.** Какую астрономическую основу имеют единицы времени *неделя* и *месяц*?

**1.16.** Почему десятый месяц в году — *октябрь*, название которого в переводе означает «восьмой», а двенадцатый — *декабрь*, что означает «десятый»?

**1.17.** Какая система счисления использовалась древними астрономами, установившими продолжительность суток в 24 часа?

**1.18.** Почему поясное время было предложено и стало использоваться только с конца XIX века?

**1.19.** В знаменитой «Одиссее» Гомера упоминается созвездие Большой Медведицы. Поэт определяет его как «созвездие, которое никогда не погружает своих звёзд в волны моря». Точность описаний Гомера известна; его поэмы служат для нас одним из основных источников знаний о древнейшей Греции. Но на родине Гомера вы увидели бы неожиданное зрелище: Большая Медведица будет на ваших глазах регулярно «окутать свои звёзды» в волны Ионического и Эгейского морей. И это не удивительно: Греция — южная страна; на её широте высота северного полюса мира мала, и Медведица является созвездием «заходящим». В чём же дело?

**1.20.** Каково основное достоинство системы мира Птолемея?

**1.21.** Каков основной недостаток системы мира Птолемея?

**1.22.** Какие два основных постулата были приняты в системе мира Птолемея?

**1.23.** Какие выводы теории Птолемея оказались правильными?

**1.24.** Как получилось, что геоцентрическая модель мира длительное время удовлетворяла практическим потребностям астрономии?

**1.25.** Какие недостатки имела гелиоцентрическая система мира Николая Коперника?

**1.26.** Какие два принципиальных недостатка были присущи обоим моделям мира — Птолемея и Коперника?

**1.27.** В кинематике земных и небесных тел важную роль играют кривые, называемые циклоидами и эпициклоидами. Что это за кривые и чем они отличаются друг от друга?

**1.28.** Какой смысл имело понятие *эпицикл* в древней науке и применяется ли оно в современной астрономии?

**1.29.** В основе геоцентрической модели мира лежат ложные физические принципы:

1) все небесные тела равномерно движутся по идеальным (круговым) орбитам;

2) все небесные тела движутся вокруг неподвижной Земли, являющейся центром мира.

Почему такая неверная модель могла с достаточной для своего времени точностью описывать сложное движение небесных тел?

**1.30.** Почему античные астрономы считали круговое движение единственной формой движения космических тел?

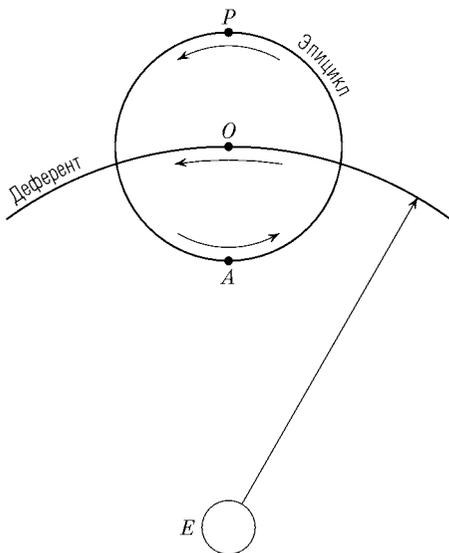
**1.31.** Почему периоды движения верхних планет по первым (главным) эпициклам и периоды движения нижних планет по деферентам равнялись одному году? Почему размеры главных эпициклов по отношению к своим деферентам уменьшались от Марса к Сатурну?

**1.32.** Видимое движение планеты на звёздном небе в системе Птолемея описывалось круговыми движениями планеты по эпициклу и деференту. Была ли угловая скорость планеты по эпициклу и центра эпицикла по деференту постоянной?

**1.33.** Каким образом, исходя из существовавших тогда представлений о движении светил как равномерном и круговом, древнегреческие учёные объяснили неравномерность движения Солнца по эклиптике в течение года?

**1.34.** На рисунке изображён элемент модели Птолемея: эпицикл верхней планеты и дуга деферента. Показано направление движения центра  $O$  эпицикла по деференту и планеты по эпициклу в точках  $P$  и  $A$ . В каких положениях планеты на эпицикле она будет иметь самое быстрое прямое движение, попятное движение, стояния? В каком месте эпицикла планета находится в противостоянии?

**1.35.** Почему система мира древних египтян, предшествовавшая системе Птолемея, предусматривала обращение Меркурия и Венеры вокруг Солнца, а Солнца и верхних планет—вокруг Земли?



К задаче 1.34.

Фрагмент модели мира Птолемея.

**1.36.** Какая модель мира получила название *геогелиоцентрической*, и кто является её автором?

**1.37.** Движение каких небесных тел и в настоящее время описывается при помощи геоцентрической модели?

**1.38.** По какой траектории движутся планеты в системе отсчёта, связанной с Землёй?

**1.39.** По какой траектории движется Луна в системе отсчёта, связанной с Солнцем?

**1.40.** По какой траектории движутся спутники планет-гигантов в системе отсчёта, связанной с Солнцем?

**1.41.** Нарушила ли гелиоцентрическая модель мира Коперника принцип геоцентризма?

**1.42.** Почему теория Коперника, описывающая строение и кинематику только части планетной системы, называется *системой мира*?

**1.43.** Был ли Коперник первым, кто выдвинул идею о подвижности Земли в пространстве?

**1.44.** Аристотель (384—322 гг. до н. э.) утверждал, что если бы Земля перемещалась в пространстве, то наблюдатель на Земле мог бы заметить вызванное этим изменение положения звёзд на небесной сфере. Верно ли это? Почему во времена Аристотеля не было обнаружено параллактическое смещение звёзд?

**1.45.** Почему параллактическое смещение звёзд вплоть до XIX века не использовалось в качестве доказательства обращения Земли вокруг Солнца?

**1.46.** Коперник сам пытался обнаружить параллактическое смещение звёзд, которое следовало из его модели мира. Почему он потерпел неудачу?

**1.47.** В 1725 г. английский астроном и математик Джеймс Брайдлей (Брэдли) начал работу по обнаружению параллактического смещения звёзд, чтобы подтвердить теорию Коперника. После трёх лет наблюдений Брайдлей обнаружил периодическое «покачивание» звёзд по эллипсам. Но, как оказалось, при этом он открыл явление абберрации света, которое, однако, также подтвердило движение Земли вокруг Солнца. Чем отличаются абберационные эллипсы звёзд от их параллактических эллипсов?

**1.48.** Явление абберации света Брайдлей открыл, пользуясь данными точных астрометрических наблюдений звезды  $\gamma$  Дракона, проведённых при помощи направленного вертикально вверх и жёстко закреплённого телескопа. Почему учёный выбрал столь оригинальный метод наблюдения?

**1.49.** В каком разделе физики могла бы изучаться система Коперника, если бы не было астрономии?

**1.50.** Какие телескопические открытия Галилея свидетельствовали в пользу правильности системы мира Коперника?

**1.51.** Внимательно прочитайте шуточное стихотворение М. В. Ломоносова (1761 г.):

*Случились вместе два Астронома в пиру  
И спорили весьма между собой в жару.  
Один твердил: Земля, вертясь, круг Солнца ходит,  
Другой, — что Солнце все с собой планеты водит:  
Один Коперник был, другой слыл Птоломей.  
Тут повар спор решил усмешкою своей.  
Хозяин спрашивал: Ты звёзд теченье знаешь?  
Скажи, как ты о сём сомненье рассуждаешь?  
Он дал такой ответ: Что в том Коперник прав,  
Я правду докажу, на Солнце не бывав.  
Кто видел простака из поваров такова,  
Который бы вертел очаг кругом жаркова?*  
(Цит. по: Куликовский, 1986, с. 55.)

Кому в действительности принадлежит система мира, приписанная в этом стихотворении Птолемею?

**1.52.** Почему, когда Галилей обнаружил в телескоп, что фазы Венеры подобны фазам Луны, это послужило одним из доказательств того, что Венера обращается не вокруг Земли, как до тех пор думали, а вокруг Солнца?

**1.53.** Почему явление фаз планет было открыто Галилеем именно у Венеры, а не у других планет?

**1.54.** Известна поговорка:

*Месяц зимой ходит, как Солнце летом.*

Верна ли эта «народная астрономия»?

**1.55.** Космологический принцип Николая Кузанского утверждает, что наше положение во Вселенной ничем не выделено в пространстве. Подтверждается ли этот принцип экспериментально?

**1.56.** Какой важный вывод о структуре Вселенной следует из космологического принципа Кузанского?

**1.57.** Некоторые космологи пытались расширить принцип Кузанского. Справедлив ли идеальный космологический принцип, согласно которому Вселенная выглядит совершенно одинаково из любой точки пространства и в любой момент времени?

**1.58.** Какой космологический принцип, не отрицая космологического принципа Кузанского, утверждает, что мы наблюдаем Вселенную в «привилегированный» момент времени?

**1.59.** Какие наблюдательные факты, легли в основу антропоцентрического подхода в изучении Вселенной?

**1.60.** Какое важное астрономическое открытие XX века на первых порах, казалось, подтвердило центральное положение человека во Вселенной?

**1.61.** Какое открытие опровергло антропоцентрическое толкование факта, упомянутого в предыдущей задаче?

**1.62.** Открытие какого закона физики впервые показало единство законов природы для земных и космических тел?

**1.63.** Какие исследования впервые подтвердили единство вещества Земли и тел Солнечной системы?

**1.64.** Известно, что моряки из экспедиции Магеллана, вернувшиеся из кругосветного путешествия, потеряли в счёте дней один день. Чем это объясняется? Как избегают этой неприятности в настоящее время?

**1.65.** Датой открытия Америки считается 12 октября 1492 г. Какая это дата по новому стилю?

**1.66.** Когда разница между юлианским и григорианским календарями составит ровно две недели?

**1.67.** Последнее сближение знаменитой кометы Галлея с Солнцем произошло в 1986 г. Его ожидали с нетерпением, поскольку впервые предполагалось исследовать ядро кометы с помощью межпланетных зондов. Поэтому требовалось как можно раньше и точнее определить орбиту кометы. Предварительные данные о ней были получены по наблюдениям предыдущего сближения 1910 года. Теоретики с небывалой точностью вычислили дальнейшую траекторию кометы, и наблюдатели начали охоту за ней. В те годы в мире было два крупнейших телескопа: американский 5-метровый им. Хейла в калифорнийской обсерватории Маунт-Паломар и советский 6-метровый БТА (Большой телескоп альт-азимутальный) в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР на Кавказе.

Комету обнаружили 16 октября 1982 г. в созвездии Малого Пса. Она оказалась именно там, где и должна была быть согласно рассчитанной эфемериде. Отклонение от расчётной точки составляло всего несколько угловых секунд — такая точность ранее никогда не достигалась. Обнаружили комету на Паломарской обсерватории в США Д. Дживитт и Э. Даниельсон из Калифорнийского технологического института. Хотя американский телескоп уступал в размере объектива советскому, он был оборудован более совершенной светоприёмной аппаратурой и поэтому оказался более зорким. В момент первого обнаружения комета Галлея имела блеск  $24^m$  и находилась на расстоянии 11 а. е. от Земли и от Солнца. Используя эти данные, оцените размер ядра кометы.

**1.68.** 12 апреля 1961 г. первый космонавт Ю. А. Гагарин стартовал с космодрома Байконур на корабле *Восток*. Корабль двигался по орбите ИСЗ с периодом 1,5 часа и, совершив один оборот, приземлился. В каком месте он совершил посадку по отношению к Байконуру?

# РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Тихо Браге проводит астрометрические наблюдения.*



- 2.1. Назовите древнейший астрономический инструмент.
- 2.2. Какой астрономический прибор держит в руках античный астроном (см. рис.)?
- 2.3. У древних греков это слово означало *дневники событий*. У современных астрономов оно означает *целеуказания* для наблюдений небесных тел. Назовите термин.
- 2.4. Солнечные часы, как правило, имеют плоский циферблат, расположенный в экваториальной, горизонтальной или вертикальной плоскостях. Однако древние астрономы широко использовали солнечные часы с циферблатами в форме чаши — *скафис* (см. рис.).



*К задаче 2.2.*

Какие преимущества имеют солнечные часы с такой формой циферблата?

- 2.5. Древнегреческие учёные Аристилл и Тимохарис (III в. до н. э.) при наблюдениях Солнца использовали прибор, называемый экваториальным кольцом. Он представлял собой полый невысокий цилиндр, верхний и нижний края которого ориентировались точно в плоскости небесного экватора. Тень от южной половины цилиндра на внутренней стороне северной половины оставляла узкую полоску света в верхней или нижней части цилиндра. Для каких целей использовался этот прибор?

**2.6.** Профессор С. П. Глазенап (1848—1937) изобрёл так называемое солнечное кольцо. Прибор представляет собой цилиндрическое кольцо, расположенное в вертикальной плоскости. На угловом сечении  $45^\circ$  от вершины кольца сделано небольшое отверстие, через которое проходит луч Солнца. На внутренней поверхности кольца, куда падает луч, наклеена градусная шкала. Для какой цели предназначен этот широко использовавшийся в своё время прибор?

**2.7.** Как древние наблюдатели могли догадаться, что за голубым маревом дневного неба находятся ночные светила?

**2.8.** В астрономии с древних времён используются звёздные карты и глобусы. В чём состоит принципиальное различие между изображениями звёздного неба на глобусах и картах, а также их отличие от реального неба?

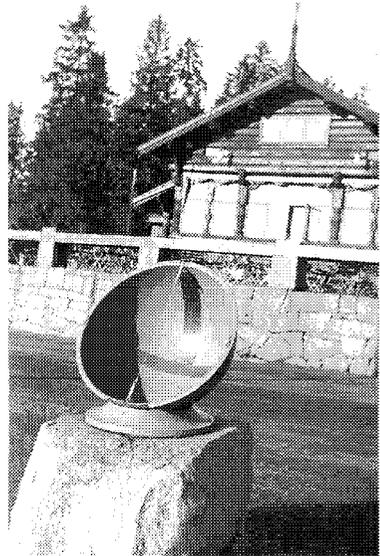
**2.9.** Каково принципиальное отличие изображения звёздного неба в планетарии от реального звёздного неба?

**2.10.** Место, где регулярно проводятся наблюдения за небесными светилами, называется астрономической обсерваторией. Всегда ли астрономические обсерватории имели традиционные башни с куполами и соблюдается ли неуклонно этот «архитектурный стиль» сейчас?

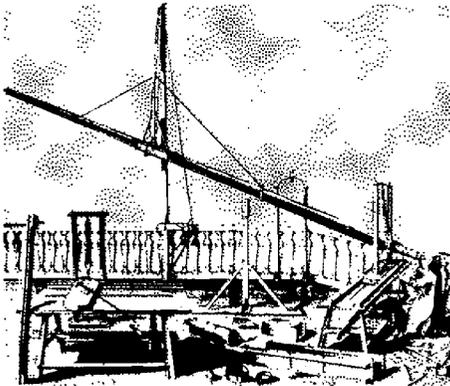
**2.11.** Как известно, Галилей с помощью телескопа одним из первых открыл пятна на Солнце. Объясните, каким образом он мог наблюдать поверхность Солнца в свой телескоп, имевший в качестве окуляра отрицательную линзу. Существует версия, что к старости Галилей ослеп оттого, что смотрел на Солнце глазом в окуляр. Согласны ли вы, что для него это был единственный способ наблюдать солнечные пятна?

**2.12.** Основы теории простых оптических инструментов, применяемых в астрономии, разработал Кеплер. Однако в своих исследованиях он использовал закон преломления в приближённой форме  $\alpha/\beta = n$ , где  $\alpha$  — угол падения,  $\beta$  — угол преломления,  $n$  — относительный показатель преломления. Почему, несмотря на то, что Кеплер пользовался приближённым законом для диоптрических систем, он получил правильные результаты?

**2.13.** Какой принципиальный оптический недостаток объективов телескопов-рефракторов подтолкнул Исаака Ньютона к исследованиям, приведшим его в 1672 г. к открытию дисперсии света?



*К задаче 2.4. Солнечные часы в г. Осло (фото П. Г. Куликовского, 1953 г.).*



К задаче 2.14. Телескоп-рефрактор Яна Гевелия (конец XVII века).

2.14. Почему телескопы-рефракторы конца XVII века имели огромную длину, достигавшую 64 метров?

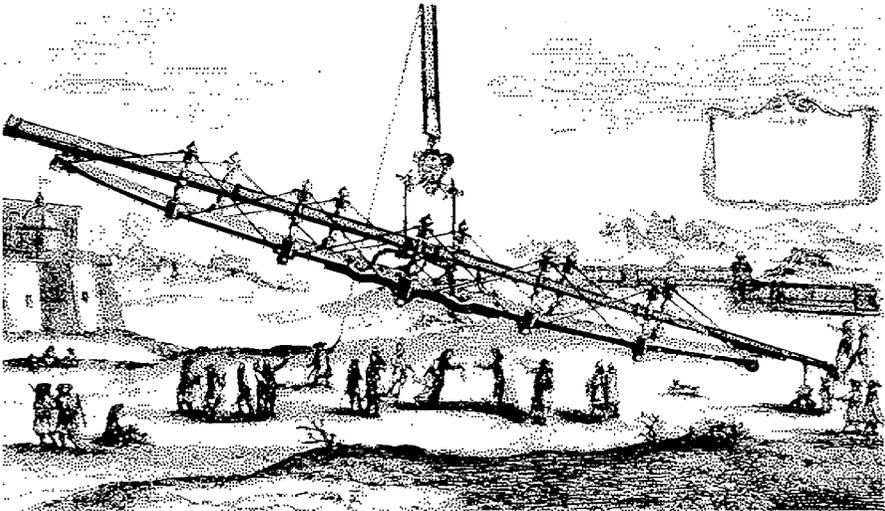
2.15. Почему «мода» на телескопы-рефракторы, продержавшаяся три столетия, сменилась в XX веке «модой» на телескопы-рефлекторы?

2.16. Борьба за размеры и качество телескопов-рефракторов и рефлекторов привела не только к победе рефлекторов, но и к специализации обоих видов телескопов для различных астрономических наблюдений.

Для каких видов наблюдений предпочтительны рефракторы, а для каких — рефлекторы?

2.17. Какое преимущество имеет труба Кеплера по сравнению с трубой Галилея при астрометрических измерениях?

2.18. Тихо Браге был основоположником точной астрометрии. Свои наблюдения он преимущественно проводил при помощи прибора, изображённого на рисунке в заголовке этого раздела. Как называется этот прибор? Как называется современный астрометрический прибор, выполняющий те же функции, что и прибор Тихо Браге?



К задаче 2.14. Телескоп-рефрактор конца XVII века.

**2.19.** Измерения положений небесных тел, сделанные Тихо Браге и Улугбеком, имели точность 1—2'. Примерно такую же точность дают современные компактные оптические угломерные инструменты — теодолиты. Каким образом астрономы той эпохи достигали относительно высокой точности угломерных измерений, не имея оптических приборов?

**2.20.** Все телескопы XVII—XVIII вв. и многие крупные телескопы первой половины XIX в. имели альт-азимутальную монтировку, т. е. могли поворачиваться вокруг вертикальной и горизонтальной осей, причём их подвижность вокруг горизонтальной оси была весьма ограниченной: области неба вблизи горизонта и зенита были им, как правило, недоступны (вспомните, как выглядят телескопы Гевелия, Ньютона, Гершеля, Росса). Изобретение фотографии и начало её применения в астрономии потребовало длительного и точного ведения телескопа за избранным участком неба. Повсеместное распространение получила экваториальная монтировка, на которой телескоп может следить за звездой, вращаясь лишь вокруг одной, полярной оси. Различные модификации этой монтировки — немецкая, английская, вилочная, подковообразная — полностью вытеснили к концу XIX в. альт-азимутальную, которая сохранилась лишь у астрометрических пассажных инструментов. Однако в последние десятилетия XX в. альт-азимутальная монтировка неожиданно стала вновь широко использоваться. Почему?

**2.21.** Какое техническое приспособление, предложенное в первой половине XVII века, позволило существенно повысить точность астрометрических измерений без изменения параметров самого телескопа?

**2.22.** Наблюдатели, работавшие в XIX веке на крупных телескопах-рефракторах Ликской и Йерксской обсерваторий испытывали большие трудности при наблюдениях планетарных туманностей. Почему при фотографических наблюдениях нужно было заметно сдвигать пластинку для получения резкого изображения либо ядра, либо самой туманности?

**2.23.** Какие функции выполнял телескоп в XVII и XVIII веках и какую новую функцию он стал выполнять в XIX веке?

**2.24.** Почему Бернар Лио, изобретатель коронографа (инструмента, позволяющего наблюдать солнечную корону вне затмений), использовал для своего прибора в качестве объектива простую линзу, а не сложный ахроматический объектив? Как при этом была решена проблема хроматической аберрации?

**2.25.** Определить географическую долготу точки на Земле значительно сложнее, чем широту. Чтобы найти широту, достаточно измерить высоту полюса мира или высоту Солнца в момент его полуденной кульминации. А для определения долготы из астрономических наблюдений необходимы точные часы, хранящие время нулевого меридиана. Определив по таким часам, например, момент кульминации

Солнца в точке наблюдения, мы узнаём, на сколько часов в точке наблюдения полдень наступает раньше или позже, чем на нулевом меридиане, а значит, определим свою долготу.

Для определения долготы наземных пунктов пригодны часы не очень высокого качества, которые были созданы уже к концу XVII в. С ними можно было неоднократно путешествовать между пунктами наблюдения, определяя поправку часов и таким образом постепенно уточняя разницу долгот. Но гораздо большие трудности испытывали моряки, которым, чтобы не пройти мимо цели, например, небольшого острова или порта, требовалось определять долготу «с первого захода». Чтобы создать точные часы, выдерживающие правильный ход в течение нескольких месяцев, а то и лет, в условиях морской качки и смены температуры, потребовалось большое искусство механиков: хорошие морские хронометры были созданы лишь к концу XVIII века. Но до этого момента предлагались и другие способы определения долготы без использования часов на корабле.

Один из таких методов — «координатную службу» — предложили английские математики Уильям Уистон (1667—1752) и Хемфри Диттон (1675—1714). Для экономии средств предполагалось создать её не по всей акватории Мирового океана, а лишь вдоль важнейших торговых путей (Хауз, 1983, с. 61):

«В известных пунктах, расположенных на торговых путях, следовало поставить на якорь суда, оснащённые мортирами; каждую полночь по местному времени о. Тенерифе (через который, по мнению Уистона и Диттона, проходил нулевой меридиан) каждое судно должно было производить выстрел вертикально вверх трассирующим снарядом (или ракетой), видимым издали, причём так, чтобы снаряд взрывался точно на высоте 6440 футов (около 2000 м). Чтобы установить своё местоположение, корабли должны в полночь следить за этими сигналами, а затем по компасу определять направление на сигнальное судно. Расстояние корабля от сигнального судна можно было определить, измерив время между моментом вспышки взорвавшегося снаряда и звуком орудийного выстрела или измерив высоту наивысшей точки траектории снаряда».

Заметьте, что в этом проекте есть немало общего с современной системой глобального позиционирования GPS, реализованной с помощью искусственных спутников Земли. Однако в то время такая система выглядела утопически. Убедитесь в этом сами: оцените количество закоренных кораблей, которые могли бы обеспечить такую систему на трассе Лондон—Калькутта в обход Африки протяжённостью около 20 тыс. км.

**2.26.** Почему оптики в середине XIX в. (Штейгейль, 1856 г.; Фуко, 1857 г.) при изготовлении телескопов-рефлекторов перешли от металлических зеркал к стеклянным с тонким серебряным покрытием?

**2.27.** Для какого рода наблюдений во второй половине XIX века использовались рефлекторы с зеркалами без отражательного покрытия и рефракторы с посеребрённой (в то время ещё не применялось алюминирование) передней поверхностью объектива?

**2.28.** Почему в XX веке отказались от серебрения зеркал телескопов-рефлекторов в пользу алюминирования?

**2.29.** В конце XX века у некоторых солнечных телескопов из трубы стали выкачивать воздух. В чём преимущество такого вакуумного телескопа?

**2.30.** Помешивая ложечкой *five-o'clock-tea*, Исаак Ньютон заметил, что при равномерном вращении поверхность жидкости приобретает форму параболоида. Поскольку в это время великий физик был занят полировкой металлического зеркала для первого в мире телескопа-рефлектора, он подумал, что центробежную силу можно было бы использовать для изготовления больших параболических зеркал, например, остужая жидкую бронзу во вращающейся форме или просто заливая в такую форму ртуть, которая, оставаясь жидкой при комнатной температуре, прекрасно отражает свет.

Прошло 300 лет прежде чем в конце XIX в. учёные занялись практическим изготовлением жидких зеркал. Одним из первых, кому удалось воплотить эту идею в жизнь, был знаменитый американский оптик Роберт Вуд: в 1909 г. он построил вращающееся жидкое зеркало диаметром 51 см и с его помощью даже фотографировал звёзды. Почему же телескопы-рефлекторы с жидкими зеркалами не получили распространения?

**2.31.** М. В. Ломоносов в 1762 г. изобрёл телескоп-рефлектор без вторичного зеркала. Через 27 лет аналогичная оптическая схема телескопа была предложена В. Гершелем. Каковы особенности оптической схемы телескопа Ломоносова—Гершеля и качество создаваемого им изображения? Используется ли данный тип телескопа в настоящее время?

**2.32.** В первые десятилетия развития радиоастрономии (с середины XX века до 1970-х годов), до того, как были созданы системы апертурного синтеза и радиоинтерферометры, угловая разрешающая способность радиотелескопов была очень низкой. Для её увеличения астрономы иногда использовали метод покрытия источников космического радиоизлучения Луной: замечая моменты времени изменения радиопотока и зная положение края Луны, можно восстановить распределение яркости источника. Этот же метод использовался и в эпоху развития рентгеновской астрономии (1960-е и 1970-е годы). Оцените, какая часть небесной сферы доступна для наблюдений этим методом с поверхности Земли.

**2.33.** В 1880-х годах в Парижской обсерватории был сконструирован телескоп с ломаной трубой. В чём преимущество такой оптической схемы телескопа?

**2.34.** Дифракционные решётки в астрофизике прошли путь от плоских решёток из проволочек (Фраунгофер) до вогнутых стеклянных отражательных решёток (Роуланд). В чём причина такой эволюции?

**2.35.** Звёзды находятся так далеко, что их видимый угловой диаметр определяется только шириной интерференционного максимума нулевого порядка, одинаковым для всех звёзд, наблюдаемых на данном телескопе. Почему же, тем не менее, на фотографиях звёзды имеют вид кружков разного диаметра? Похожее явление фиксируется и при визуальных наблюдениях.

**2.36.** Почему на фотографиях небесных тел, полученных при помощи космических аппаратов, цвета ярче и насыщеннее, чем на снимках, сделанных с поверхности Земли?

**2.37.** В 1842 г. австрийский физик Христиан Доплер (1803—1853) сформулировал принцип, согласно которому цвет светящегося тела изменяется при перемещении тела от наблюдателя или к наблюдателю. Прав ли был Доплер? Как дополнил его принцип Физо, чтобы это заключение можно было использовать для определения скорости движения звёзд?

**2.38.** Как Аристарх Аполлонович Белопольский в 1895 г. смог при помощи спектроскопа установить метеоритное строение кольца Сатурна?

**2.39.** По спектру некоторой звезды, находящейся вблизи точки летнего солнцестояния, в двадцатых числах марта была измерена её лучевая скорость в 70 км/с. Через полгода лучевая скорость этой же звезды оказалась 130 км/с. Каким образом на основании этого факта академик А. А. Белопольский предложил вычислить расстояние от Земли до Солнца?

**2.40.** Согласно теории Эйнштейна, лучи света звёзд должны отклоняться в гравитационном поле Солнца. Как удаётся обнаружить это явление?

**2.41.** Американская орбитальная станция *Скайлэб* (1973 г.) была первой внеатмосферной универсальной солнечной обсерваторией. Для поддержания своей физической формы её экипаж занимался бегом по внутренней поверхности станции, представлявшей цилиндр диаметром около 6 м. С какой скоростью нужно бежать в таких условиях, чтобы ощутить земную силу тяжести? Как при этом должна быть ориентирована станция в пространстве?

# ИЗУЧЕНИЕ ЗВЁЗДНОГО МИРА

*Созвездие Лебедь. Фрагмент астрономической карты из звёздного атласа Яна Гевелия (XVII век).*

3.1. Почему 80% ярких звёзд носят арабские имена?

3.2. Почему в Древнем Китае  $\beta$  Малой Медведицы называлась «царственной звездой»?

3.3. Какую звезду называют «соперником Марса»?

3.4. Первые подробные каталоги звёзд, видимых невооружённым глазом, начали составляться более двух тысячелетий назад (Гиппарх, Птолемей). Почему же до сих пор в учебниках астрономии не указывают точно число таких звёзд?

3.5. В августе 1596 г. немецкий астроном-любитель Давид Фабриций заметил в созвездии Кита звезду, которой раньше не было видно. Так была открыта первая физическая переменная звезда. В первом звёздном атласе «Уранометрия», вышедшем в свет в 1603 году, И. Байер обозначил её греческой буквой  $\omicron$  (омикрон). Позднее польский астроном Я. Гевелий назвал её Мирой (*удивительной*). А как называл и указывал на небе эту звезду сам Фабриций?

3.6. В созвездии Стрельца есть переменная звезда под номером V335. Существует ли в этом созвездии переменная звезда под номером V334?

3.7. Название рассеянного звёздного скопления Плеяды происходит от греческого слова «множество». Русское название этого скопления — Стожары, по одной из этимологий — *Сто Звёзд*. Однако невооружённым глазом в Плеядах видно всего 6–7 звёзд. Даже обладавший великолепным зрением Михаэль Мёстлин, друг и учитель Кеплера, видел только 11. Остальные же звёзды, а их заметно больше сотни, видны лишь в телескоп. Каким же образом наши предки, давая название этому скоплению, угадали многочисленность его населения?

3.8. Почему многочисленная группа физических переменных звёзд называется *цефеидами*?

**3.9.** В 1908—1912 гг. американский астроном Хенриетта Ливитт (1868—1921), изучая звёзды в Малом Магеллановом Облаке, обнаружила зависимость между светимостью переменных звёзд-цефеид и периодом изменения их блеска, давшую возможность определять расстояния до звёзд и галактик. Почему эта важнейшая закономерность была открыта по наблюдениям звёзд в Магеллановых Облаках, а не в нашей Галактике?

**3.10.** Эдмунд Галлей в 1718 г. сравнил координаты звёзд в современном ему каталоге с измерениями Гиппарха (II в. до н. э.), а также Аристилла и Тимохариса (III в. до н. э.), и обнаружил при этом три вида смещения звёзд:

- 1) смещение всех звёзд по эклиптической долготе, подтверждающее явление, обнаруженное Гиппархом;
- 2) незначительное смещение звёзд по эклиптической широте;
- 3) изменение широты Альдебарана, Сириуса и Арктура на десятки угловых минут.

Объясните произошедшие за два тысячелетия изменения координат звёзд, обнаруженные Галлеем.

**3.11.** Годичный параллакс — это максимальный угол, под которым со звезды виден радиус земной орбиты. Как определить эту величину, не покидая Земли?

**3.12.** Первые надёжные измерения звёздных параллаксов проделали В. Струве ( $\alpha$  Лиры), Ф. В. Бессель (61 Лебеда) и Т. Гендерсон ( $\alpha$  Кентавра). Какими критериями они пользовались при выборе для своих наблюдений именно этих звёзд?

**3.13.** Для определения расстояний до звёзд методом тригонометрического параллакса в качестве базиса используется диаметр земной орбиты. Возможно ли, находясь на Земле, использовать для этой цели большой базис?

**3.14.** В. Гершель в 1817 г. предложил метод предельных отверстий для приближённого определения расстояний до звёзд, который он считал правильным до конца жизни. Суть метода: два совершенно одинаковых телескопа наводятся на две разные звёзды; затем, закрывая постепенно объектив того телескопа, который наведён на более яркую звезду, легко «уравнять» видимый блеск обоих объектов. Гершель полагал, что квадраты расстояний до этих звёзд обратно пропорциональны площадям незакрытых частей объективов. В чём он ошибался?

**3.15.** Какой физический смысл имело понятие «звёздная величина» во времена Гиппарха (II в. до н. э.)?

**3.16.** В шкале звёздных величин, введённой древнегреческим астрономом Гиппархом (180—110 гг. до н. э.), освещённость, создаваемая на поверхности Земли звездой  $m$ -й звёздной величины примерно в 2,5 раза больше освещённости, создаваемой звездой  $(m+1)$ -й величины. Английский астроном Норман Погсон предложил в 1856 г.

считать указанный коэффициент равным 2,512..., и это предложение было одобрено астрономическим сообществом. Почему было выбрано именно это число?

**3.17.** В. Гершель предположил, что если наблюдается тесная пара звёзд, то более яркая звезда из этой пары должна быть ближе к нам и, следовательно, иметь больший параллакс. Исходя из этого, он полагал, что угловое расстояние между компонентами такой звёздной пары будет изменяться с периодом, равным одному году. Но ожидаемый эффект не был найден. Какая неверная предпосылка лежала в основе рассуждений Гершеля?

**3.18.** В 1803 г. Вильям Гершель обнаружил орбитальное движение звёзд в двойных системах. Универсальность какого физического закона он доказал своим открытием?

**3.19.** В ночь с 20 на 21 августа 1885 г. в центре Туманности Андромеды появилась яркая оранжевая точка. Астрономы сначала приняли это за возгорание новорождённой звезды в недрах газовой туманности, каковой считалась тогда Туманность Андромеды. Известно даже, что Э. Хартвиг из обсерватории Дерптского университета (ныне г. Тарту, Эстония), первым обнаруживший эту вспышку, воскликнул: «В этой туманности уже есть центральное солнце!». У исследователей переменных звёзд объект получил обозначение S And. Значительно позже стало известно, что это была вспышка сверхновой. Учитывая, что расстояние до этой галактики 690 кпк, оцените, когда взорвалась звезда.

**3.20.** На спектрограммах яркого компонента звезды  $\zeta$  Большой Медведицы (Мицар-А), полученных в 1887 и 1889 гг. в Гарварде, было замечено, что все спектральные линии периодически раздвигаются и вновь сливаются, возвращаясь к исходному состоянию через каждые 20,5 суток. Как было интерпретировано это явление?

**3.21.** В 1890 г. немецкий астроном Г. К. Фогель (1841—1907) открыл в спектре Спики ( $\alpha$  Девы) периодическое смещение одиночных линий с периодом  $4^d$ . В 1896 г. подобное явление было открыто русским астрономом А. А. Белопольским (1854—1934) у Кастора ( $\alpha$  Близнецов), период составил  $3^d$ . Чем объясняется это явление?

**3.22.** После открытия затменно-переменных и спектрально-двойных звёзд была высказана мысль, что могут существовать звёзды, у которых наблюдается оба признака переменности. Удалось ли обнаружить такие звёзды?

**3.23.** Исследуя спектр звезды  $\delta$  Цефея, А. А. Белопольский обнаружил, что изменение лучевых скоростей происходит с периодом, равным периоду изменения блеска этой звезды. Прав ли был учёный, причислив на этом основании указанное светило к двойным звёздам?

**3.24.** В 1874 г. английский астроном Уильям Хёггинс впервые определил лучевые скорости газовых туманностей. По его измерениям, туманность Ориона удаляется от нас со скоростью 18 км/с.

Каково происхождение данной скорости в системе отсчёта, связанной с ближайшими к нам звёздами: отражение движения Солнца или движения самой туманности Ориона?

**3.25.** В середине XIX в. Г. Гельмгольц и У. Томсон предположили, что излучение звёзд происходит за счёт их гравитационного сжатия. Признана ли эта *контракционная гипотеза* в настоящее время?

**3.26.** Продолжительность импульса первого пульсара, открытого в Кембридже группой Э. Хьюиша, составляет всего 0,016 с, а период пульсаций, остающийся постоянным, — 1,3373011017 с. Как из этих данных был сделан вывод о том, что объект не является искусственным?

**3.27.** В 1796 г. французский учёный П. С. Лаплас (1749—1827), опираясь на закон всемирного тяготения Ньютона, сделал вывод, что во Вселенной могут существовать тёмные массивные объекты, которые не способны испускать свет из-за своего очень сильного притяжения. Действительно ли возможно существование таких объектов и обнаружены ли они в настоящее время?

**3.28.** Как рассуждал В. Гершель, доказывая, что скопления звёзд не вызваны их случайной проекцией на определённые участки неба, а действительно являются областями повышенной плотности звёзд в пространстве?

**3.29.** Кто первым высказал предположение о том, что Млечный Путь представляет собой гигантское скопление звёзд, неразрешимое невооружённым глазом, и какой учёный первым доказал это путём телескопических наблюдений?

**3.30.** Древние китайцы называли Млечный Путь «Серебряной рекой». Почему излучение звёзд Млечного Пути сравнивалось ими с цветом серебра?

**3.31.** В. Гершель, используя предложенный им метод «звёздных черпков» — подсчёт звёзд в избранных площадках неба, — не только установил ограниченность Галактики в пространстве, но и сумел определить степень её сплюснутости. Какие свойства звёздного мира он постулировал, приступая к этому исследованию?

**3.32.** В первой половине XX в. наша Галактика, размеры которой были определены по расстоянию до далёких шаровых скоплений, считалась самой большой среди всех галактик. Однако в начале 1960-х она уже считалась «рядовой» по размеру галактикой. Что привело к такой переоценке взглядов астрономов?

**3.33.** В 1987 г. на Земле наблюдалась вспышка сверхновой звезды в галактике Большое Магелланово Облако, удалённой от нас на 55 кпк. Когда в действительности произошёл взрыв этой звезды?

**3.34.** Иммануил Кант выдвинул гипотезу, что Солнечная система и звёздная система Млечного Пути не только аналогичны, но и гомологичны. Что имел в виду великий философ?

**3.35.** В середине прошлого столетия было обнаружено, что движение вещества в Галактике не подчиняется законам динамики самогравитирующего тела, если считать, что Галактика содержит только наблюдаемые звёзды и межзвёздный газ. В чём причина столь странного движения вещества Галактики?

**3.36.** Что навело на подозрение о звёздной природе многочисленных внегалактических туманностей в то время, когда их ещё не удавалось разрешать на отдельные звёзды?

**3.37.** В. Гершель открыл, что галактики («млечные туманности») концентрируются к галактическим полюсам. Это было истолковано последователями Гершеля, в том числе и его сыном — астрономом Джоном Гершелем, как физическая связь этих туманностей с Млечным Путём. А как современная астрономия объясняет это явление?

**3.38.** Эдвин Хаббл обнаружил, что все галактики, кроме трёх ближайших, удаляются от нашей звёздной системы. Почему приближаются эти три галактики?

**3.39.** Кто и каким образом впервые установил наличие во Вселенной систем разного порядка?

**3.40.** Кто в античные времена высказывал идеи, созвучные гипотезе Большого взрыва?

**3.41.** Какое открытие полностью опровергло гипотезу о стационарности Вселенной?

**3.42.** Учёный И. Г. Ламберт в книге, вышедшей в 1761 г., высказал идею, что Вселенная представляет собой бесконечную «иерархическую лестницу» космических систем. Согласны ли с этой идеей современные учёные?

**3.43.** В 1908—1922 гг. шведский астроном К. В. Шарлье (1862—1934) развивал теорию иерархической Вселенной. Он считал, что открыл систему более высокого порядка, чем наша Галактика, и назвал её *Метагалактикой*. Термин сохранился до нашего времени. Является ли Метагалактика системой?

**3.44.** В астрономии широко известен *фотометрический парадокс*, сформулированный швейцарским астрономом Ж. Шезо в 1744 г. и немецким астрономом Г. В. Ольберсом в 1826 г. Этот парадокс состоит в том, что в бесконечной однородной стационарной Вселенной, заполненной звёздами, вся поверхность неба должна представляться примерно такой же яркой, как и поверхность Солнца. Попытка Ольберса объяснить парадокс поглощением света в межзвёздной среде не дала ожидаемого результата. Неужели Вселенная конечна?

**3.45.** Почему для объяснения фотометрического парадокса не могла быть принята идея о наличии в межзвёздном пространстве тёмного поглощающего вещества?

**3.46.** Как Л. Больцман опроверг вывод Р. Клаузиуса и У. Томсона о неизбежности тепловой смерти Вселенной?

**3.47.** В древнем Китае (I—II вв. н. э.) астрономы считали Землю центральным телом бесконечной Вселенной. Найдите логическое противоречие в этой идее.

**3.48.** Какой довод приводил Н. Кузанский (1401—1464) в пользу неограниченности Вселенной?

**3.49.** Как обосновывал И. Ньютон идею бесконечной Вселенной?

**3.50.** Как при помощи астрономических наблюдений была опровергнута теория о «космическом эфире» — вещественной среде, якобы заполняющей мировое пространство? Считалось, что свет есть колебательное движение частиц «эфира», а явление поляризации света даже свидетельствует об упругости «эфира».

**3.51.** Подчёркивая грандиозность Вселенной, Коперник утверждал, что отношение расстояния от Земли до Солнца к расстоянию до неподвижных звёзд меньше, чем отношение радиуса Земли к расстоянию от Земли до Солнца. По мнению Кеплера, «радиус Вселенной» во столько раз больше радиуса Солнечной системы, ограниченной по тогдашним воззрениям орбитой Сатурна, во сколько раз радиус орбиты Сатурна больше радиуса Солнца. Кто из учёных — Коперник или Кеплер — был ближе к истине?

**3.52.** В книге Ю. М. Чернова «Земля и звёзды. Повесть о Павле Штернберге» (М.: Политиздат, 1975) описан эпизод первого знакомства московского астронома Павла Карловича Штернберга с известной книгой Карла Маркса. Дело было осенью...

*Когда оторвался от «Капитала», за окном стояла ночь. В лампе нервно прыгало пламя: кончался керосин. Над крышей соседнего дома висела луна, а дальше, левее, пролегла широкая светлая полоса — Млечный Путь.*

Насколько правдиво это описание с точки зрения астрономии?

**3.53.** В 1960-х годах в советской астрономии происходила активная борьба двух космогонических концепций:

1) образование космических тел из диффузного вещества (московская школа);

2) возникновение космических тел из сверхплотного состояния, так называемых D-тел (бюраканская школа).

В отношении формирования звёзд и планет победила первая концепция. Однако нельзя ли указать космические объекты, похожие на D-тела?

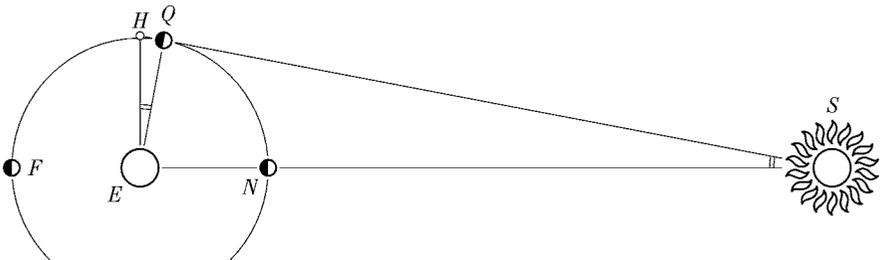
**3.54.** Какие астрономические явления приводил В. А. Амбарцумян в подтверждение своей космогонической гипотезы?

# ПОЗНАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

*Тонкая структура колец Сатурна по визуальным наблюдениям, проведённым в XIX веке.*

4.1. Аристарх Самосский (310—230 гг. до н. э.) придумал остроумный способ определения расстояния от Земли до Солнца. Он предложил сравнить интервалы времени между новолунием и первой четвертью, а также между первой четвертью и полнолунием. Чем ближе расположено Солнце к Земле, тем больше должна быть разница между этими интервалами времени.

На рисунке показаны Солнце ( $S$ ), Земля ( $E$ ) и орбита Луны. Положение Луны в точках  $N$ ,  $Q$  и  $F$  соответствует новолунию, первой четверти и полнолунию. Из простых геометрических соображений следует, что  $\angle HEQ = \angle ESQ$ , следовательно,  $\frac{HQ}{HE} = \frac{QE}{ES}$ . Аристарх из наблюдений определил, что первая четверть синодического месяца (от новолуния до первой четверти) почти на 12 часов короче второй. Отсюда он получил, что расстояние Солнце—Земля приблизительно в 19 раз больше расстояния Земля—Луна. Это значение признавалось астрономами на протяжении более чем полутора тысяч лет.



*К задаче 4.1. Метод Аристарха Самосского определения расстояния до Солнца.*

Почему теоретически безупречный метод Аристарха дал такую большую погрешность при определении отношения расстояний до Луны и до Солнца?

4.2. Почему солнечный параллакс не определяют путём наблюдения самого Солнца, как это делается с планетами и звёздами? Какие наблюдения проводят для определения параллакса Солнца?

4.3. В начале XVIII в. Эдмонд Галлей предложил простой способ определения суточного параллакса Солнца: предлагалось наблюдать прохождение Венеры по диску Солнца из двух точек на земной поверхности, удалённых одна от другой по широте. У каждого наблюдателя видимая траектория Венеры на фоне солнечного диска изобразится отрезком прямой, но из-за параллактического смещения эти отрезки будут иметь разную длину. Определив интервалы времени между вступлением и сходом планеты с диска Солнца, можно легко найти длины хорд в угловом измерении и по ним вычислить расстояние между хордами, которое будет равно разности параллаксов Венеры и Солнца. Отношение параллаксов известно и равно обратному отношению расстояний Солнце—Земля и Солнце—Венера. Из этих двух соотношений простое вычисление позволяет найти истинное значение параллаксов Солнца и Венеры, первый из которых очень важен для определения всех расстояний в Солнечной системе. Почему метод Галлея, несмотря на принципиальную простоту и несложность в практическом плане, давал большую погрешность и был заменён другими, более точными методами?

4.4. Метод определения параллакса Солнца по наблюдениям Марса во время его противостояния был предложен французскими учёными Д. Кассини и Ш. Рише. Он даёт точность в 2—3 раза более высокую, чем наблюдения прохождения Венеры по диску Солнца. Суть метода заключается в измерении параллактического смещения планеты при наблюдении её из различных точек Земли. Для вычисления солнечного параллакса по этим данным используется известное значение отношения больших полуосей орбит Земли и Марса. Почему и этот метод определения солнечного параллакса был отвергнут? Позиционные наблюдения каких объектов дают самую высокую точность определения солнечного параллакса?

4.5. Наблюдения какой малой планеты позволили определить параллакс Солнца с высокой точностью?

4.6. Как измерить расстояние от Земли до Солнца, производя в течение года спектральные наблюдения звёзд, расположенных близ эклиптики?

4.7. На основе жизненного опыта сделайте качественные заключения о расстоянии до Солнца, а также о форме, температуре поверхности, спектре и фазовом состоянии вещества светила.

4.8. Почему некоторое время существовала гипотеза о том, что Солнце — твёрдое, холодное тело, окружённое светящейся оболочкой?

4.9. Известны наблюдения солнечных пятен до изобретения телескопа или без его использования. Каким образом они проводились?

4.10. Какие наблюдения солнечных пятен подтвердили их принадлежность к светилу?

4.11. Каким образом было обнаружено вращение Солнца?

4.12. Почему наблюдатели XVII—XIX веков давали весьма противоречивые данные о периоде вращения Солнца? Галилей — примерно лунный месяц, Шейнер — 27<sup>d</sup>, Кассини — 25,58<sup>d</sup>, Делаамбр — 25<sup>d</sup>, Ложье — 25,34<sup>d</sup>, Бем — 25,52<sup>d</sup>, Кизеус — 25,09<sup>d</sup>. Данные Галилея и Шейнера относятся к синодическому периоду вращения Солнца.

4.13. В учебных изданиях часто указывается, что сидерический период вращения экваториального пояса Солнца составляет 25 суток. Так ли это?

4.14. Вращение Солнца происходит с востока на запад, т. е. восточный край приближается к нам, а западный удаляется. Земля же вращается с запада на восток. Параллельны или антипараллельны векторы угловых скоростей Солнца и Земли?

4.15. Английский астроном Р. К. Кэррингтон (1826—1875) обнаружил, что в начале июня и начале декабря каждого года движение солнечных пятен по диску светила происходит по прямым линиям; с июня по декабрь пятна движутся по кривым, выгнутым к северу, а с декабря по июнь — выгнутым к югу. С чем связаны такие вариации траекторий солнечных пятен?

4.16. Как отличить солнечное пятно от планеты, оказавшейся между наблюдателем и Солнцем?

4.17. Немецкий астроном-любитель Генрих Швабе (1789—1875) многие годы неутомимо и терпеливо пытался обнаружить гипотетическую планету внутри орбиты Меркурия во время её прохождения по диску Солнца. Для этого он систематически, начиная с 1826 года, в течение 43 лет зарисовывал расположение пятен на солнечной поверхности. Новую планету он не нашёл. Однако, потерпев в своих поисках неудачу, он всё же сделал важное открытие, касающееся самого Солнца. Что обнаружил Швабе?

4.18. Швейцарский астроном профессор Рудольф Вольф (1816—1893) интенсивно занимаясь в течение полустолетия наблюдениями и статистикой солнечных пятен, ввёл в астрономическую практику относительное число для измерения их количества на видимом диске Солнца, которое сейчас называют *числом Вольфа* ( $W$ ). Его вычисляют по формуле  $W = k(10g + f)$ , где  $g$  — количество групп пятен, включая одиночные пятна;  $f$  — общее количество пятен;  $k$  — индивидуальный коэффициент наблюдателя, в основном зависящий от его инструмента и условий наблюдения. Почему более удобной характеристикой пятнообразовательной деятельности Солнца оказалось число Вольфа, а не просто общее число пятен? Почему число Вольфа до настоящего времени широко используется в астрономии? Почему критерием

активности Солнца также являются числа Вольфа? Какой физический смысл имеет это число? Как определяется коэффициент  $k$ ?

4.19. Известный американский исследователь Солнца Чарльз Юнг (1834—1908) отметил, что тень солнечного пятна кажется не чёрной, а тёмно-пурпурной. Возможной причиной этого явления предполагалась хроматическая аберрация объектива, но выяснилось, что это настоящий цвет тени. Почему солнечные пятна имеют тёмно-красный цвет?

4.20. Появление пар солнечных пятен, имеющих, как известно, разную магнитную полярность, объясняется выходом на поверхность Солнца магнитной силовой трубки. Какую структуру имеет локальное магнитное поле, если на данном участке солнечной поверхности существует только одиночное пятно? Кто впервые выяснил это?

4.21. Любой земной базис недостаточен для получения объёмного изображения Солнца или деталей его поверхности. Каким образом английский астроном Уоррен Де ла Рю в 1861 г. получил первый стереоскопический снимок солнечного пятна?

4.22. Можно ли использовать метод Де ла Рю для получения стереоскопического изображения всего диска Солнца?

4.23. Как Г. Р. Кирхгоф (1824—1887) опроверг бытовавшее в его время мнение, что Солнце — холодное твёрдое тело, окружённое раскалённой оболочкой?

4.24. В середине XIX в. вопрос об источнике энергии Солнца Дж. Гершель называл «великой тайной». Среди первых научных гипотез на этот счёт было предположение, что наше дневное светило является раскалённым остывающим телом или представляет собой химически горящее тело. Юлиус Роберт Майер (1814—1878) показал, что даже если Солнце состояло бы из чистого каменного угля, оно сторе-ло бы за исторически короткий промежуток времени. Сделайте оценку этого времени.

4.25. Ю. Р. Майер был автором *метеоритной гипотезы* происхождения энергии Солнца. Какие наблюдения и теоретические соображения опровергли эту гипотезу?

4.26. Известный физик Гельмгольц в 1854 г. выдвинул идею об излучении Солнца за счёт его гравитационного сжатия. Опровергнута ли в настоящее время эта гипотеза?

4.27. Для определения температуры поверхности Солнца профессор В. К. Цераский использовал вогнутое зеркало диаметром 1 м. Измерения температуры изображения диска Солнца по плавлению разных металлов, помещённых в фокусе зеркала, давали различные значения — вплоть до  $3500^\circ$ , что почти в два раза меньше температуры, определённой современными исследованиями. Какова причина неточности результатов, полученных В. К. Цераским — ошибка метода или ошибка измерений?

4.28. В 1870-х годах выдвигались принципиально разные предположения о температуре поверхности Солнца: Ватерстон и Секки

полагали, что температура Солнца достигает нескольких миллионов градусов, а Пуйе и другие учёные считали, что она меньше 2000 градусов. В чём была причина столь резкого различия в оценке температуры Солнца?

**4.29.** Французский учёный Этьен Малюс (1775—1812) исследовал двойное лучепреломление, рассматривая отражённое в стекле изображение Солнца, прошедшее через кристалл исландского шпата. При некоторых положениях стекла и кристалла были видны два изображения Солнца, а при определённом положении только одно изображение. Почему в качестве источника света учёный использовал Солнце? Почему в опыте были использованы два оптических предмета: стекло (а не зеркало) и кристалл? Каков астрофизический аспект опыта?

**4.30.** Один из старых способов телескопического наблюдения фотосферы Солнца состоял в применении обычного окуляра, снабжённого тёмным светофильтром. Этот способ был опасен для глаз, поскольку светофильтр иногда лопался от перегрева. Для уменьшения нагрева светофильтра на объектив телескопа надевали крышку с небольшим центральным отверстием. Почему этот способ практически вышел из употребления даже у астрономов-любителей?

**4.31.** Фотографирование Солнца с помощью обычного телескопа вызывает большие затруднения из-за огромной яркости объекта: требуются чрезвычайно короткие экспозиции, а при установке затвора рядом с фотопластинкой, близ фокуса телескопа, затвор сильно страдает от нагрева. Как астрономы решили эту задачу в середине XIX века?

**4.32.** В 1802 г. известный физик-оптик Уильям Волластон впервые со времён Ньютона заменил в спектроскопе круглое отверстие узкой щелью и тем самым увеличил разрешающую способность спектрографа. В спектре Солнца учёный обнаружил семь тёмных линий, которые он принял за естественные границы различных цветов спектра. Что за линии были обнаружены им в спектре Солнца?

**4.33.** Изучая абсорбционные линии в спектре Солнца, шотландский физик Дэвид Брюстер (1781—1868) обнаружил, что существуют особого сорта линии, почти незаметные, когда Солнце находится высоко над горизонтом, но становящиеся темнее и шире, когда Солнце приближается к горизонту. Как объяснить это явление?

**4.34.** Астроном Бауэр обнаружил, что изменение наблюдаемого глобального магнитного поля Солнца происходит с периодом в  $33^d$ . Почему магнитное поле Солнца изменяется именно с таким периодом?

**4.35.** С поверхности Земли солнечные протуберанцы невидимы по той же причине, что и звёзды днём: увидеть их мешает рассеянный в земной атмосфере свет Солнца. Если бы удалось уменьшить яркость дневного неба, не ослабляя яркости протуберанцев, то протуберанцы можно было бы изучать не только в краткие моменты солнечных затмений, но и вообще в любой день. Как эта задача была решена астрономами XIX века?

4.36. Почему древние египтяне изображали Солнце в виде диска с крыльями?

4.37. До 1860-х годов происхождение солнечной короны приписывали лунной атмосфере, а после того, как было доказано её отсутствие — земной атмосфере. Как и когда доказали, что корона принадлежит Солнцу?

4.38. Внутренняя корона Солнца значительно ярче полной Луны. Почему же Луна видна днём, а солнечная корона — нет?

4.39. Солнце вращается, а вращается ли его корона?

4.40. В годы максимума активности Солнца на его диске наблюдается больше пятен. Уменьшается ли при этом светимость Солнца?

4.41. Известный французский физик, один из основоположников фотометрии, Пьер Бугер в 1725 г. сравнил потоки света от Солнца и Луны, используя для этого рассеивающую линзу и свет свечи. Он нашёл, что средняя освещённость от Солнца в 300 тыс. раз превышает освещённость от полной Луны. Согласуется ли это с современными измерениями?

4.42. Каким образом В. Гершель в 1800 г. впервые обнаружил инфракрасное излучение Солнца?

4.43. Широко известен метод определения гелиоцентрического расстояния нижней планеты по отношению к расстоянию Солнце—Земля путём измерения угла наибольшей элонгации планеты. Однако со времён Гиппарха существует также подобный способ определения относительного расстояния верхней планеты от Солнца. Какие угловые измерения и вычисления необходимо произвести, чтобы найти искомое расстояние?

4.44. В 1674 г. известный учёный сформулировал принципы движения планет:

1) все небесные тела обладают собственным центром притяжения и, вообще говоря, притягивают не только собственные части;

2) все тела, начав однажды двигаться равномерно и прямолинейно, продолжают двигаться прямолинейно, пока действие другой силы не заставит их отклониться от своего пути, и тогда они будут вынуждены описывать окружность, эллипс или какую-либо другую кривую;

3) силы притяжения действуют тем активнее, чем ближе находится к центру притяжения тело, на которое они действуют.

Кому принадлежат эти абсолютно верные заключения?

4.45. Коперник утверждал, что *характер движения* всех планет, включая Землю, одинаков. А какой учёный выдвинул предположение об *одинаковой природе* Земли и планет?

4.46. Кто и как впервые доказал, что движение планет связано с силовым воздействием Солнца?

4.47. Какой известный физический механизм был предложен Кеплером для объяснения динамического действия Солнца на планеты? (Всеобщее действие гравитации в то время ещё не было осознано.)

4.48. В первой четверти XX века некоторое время была популярна катастрофическая гипотеза образования Солнечной системы, предложенная Дж. Джинсом. Согласно ей, планеты возникли в результате приливных явлений при близком прохождении около Солнца другой звезды. Почему эта гипотеза позже была отвергнута?

4.49. Французский астроном, математик и физик П. С. Лаплас (1749—1827) обратил внимание на поразительные совпадения в Солнечной системе: движение всех планет, вращение Солнца, Земли, Марса, обращение спутников около своих светил — всё это совершается в одном направлении; все планетные орбиты мало отличаются от окружностей. Со всеми ли выводами Лапласа можно согласиться? Каков космогонический аспект заключения учёного?

4.50. Каким образом В. Гершель в 1783 г. установил, что Солнечная система движется в направлении созвездия Геркулеса?

4.51. Известно, что максимальная высота Солнца над горизонтом меняется при перемещении наблюдателя вдоль меридиана. Какое толкование этому явлению дал древнегреческий астроном Анаксагор, исходивший из представлений о плоской Земле?

4.52. Какие убедительные свидетельства выпуклости земной поверхности и шарообразности Земли, основанные на наблюдениях, выполненных из разных точек планеты, привёл в своей книге «О вращении небесных сфер» Николай Коперник?

4.53. Наблюдатели ещё две тысячи лет назад отмечали, что земная тень на диске Луны всегда имеет форму круга. Какой вывод о форме Земли сделали античные учёные на основании этого факта?

4.54. Путём измерений на поверхности Земли в античные времена и в средние века были достаточно точно определены размеры земного шара. Какие методы при этом использовали учёные?

4.55. Как по измерениям на поверхности Земли было доказано её сжатие у полюсов?

4.56. Какие физические эксперименты позволили установить сжатие Земли вдоль её оси вращения?

4.57. Какие физические доводы приводились в античное время и в средние века против идеи о вращении Земли?

4.58. Кто из учёных впервые показал, что вращающаяся планета не может иметь сферическую форму? Качественно поясните доказательство сплюснутости Земли у полюсов.

4.59. В сентябре 1852 г. французский физик-экспериментатор Леон Фуко изобрёл удобный и компактный прибор для доказательства вращения Земли. Прибор представлял собой массивное быстровращающееся тело, ось вращения которого имела возможность свободно поворачиваться в пространстве. Для этого система помещалась в карданов подвес. Как Фуко назвал этот прибор? Каким образом с его помощью можно было доказать вращение Земли? На каком физическом принципе основано его действие?

4.60. Известный физик Уильям Томсон в 1862 году указал, что существование морских приливов свидетельствует о наличии у Земли толстой твёрдой коры. Какие рассуждения привели учёного к этому выводу?

4.61. Современные справочники указывают, что гражданские сумерки продолжаются, пока Солнце не опустится под горизонт на  $6^\circ$ , навигационные — на  $12^\circ$ , астрономические — на  $18^\circ$ . Являются ли указанные значения условными или они имеют физическое обоснование?

4.62. Расчёт физика Бенедикта Прево в 1816 г. показал, что в течение столетия земная атмосфера за счёт химических и биологических процессов теряет  $1/7200$  часть всего кислорода, содержащегося в воздухе. Корректна ли оценка Прево, по которой через несколько миллионов лет атмосфера Земли не будет содержать этого жизненно важного газа?

4.63. Впервые цвет Земли, какой она представляется наблюдателю из космоса, астрономы определили путём наземных наблюдений другого космического тела. Как и кем это было сделано?

4.64. Известный советский учёный Отто Юльевич Шмидт (1891—1956) выдвинул в 1943 г. космогоническую гипотезу, согласно которой современный рост массы Земли является продолжением процесса аккумуляции вещества, начавшегося несколько миллиардов лет назад и приведшего к образованию планеты. Прав ли был учёный?

4.65. Какой сосуд дал имя наиболее распространённой детали рельефа на поверхности многих тел Солнечной системы?

4.66. Какое важное для человека свойство Луны отражено в её славянском названии?

4.67. Какое другое важное свойство Луны отражено в её современном общепринятом названии?

4.68. Мог ли астроном до изобретения телескопа составить карту Луны?

4.69. На чём основывалась убеждённость античных учёных, что Луна — ближайшее к Земле космическое тело, а Марс, Юпитер и Сатурн — более удалённые, причём по удалению от Земли они располагаются именно в таком порядке?

4.70. Какие данные о движении Луны помогли И. Ньютону открыть закон всемирного тяготения?

4.71. Какую работу немецкого астронома Иоганна Мюллера (1436—1476), прозванного Региомontanом, использовал Христофор Колумб, чтобы поразить воображение туземцев Ямайки угрозой «отобрать у них Луну с неба»?

4.72. Немецкий астроном Иоганн Вернер (1468—1522) предложил в 1514 г. метод определения долготы пункта на поверхности Земли из астрометрических наблюдений Луны, так называемый *метод лунных расстояний*. В чём суть этого метода? Кто разработал точную теорию движения Луны, позволившую практически использовать метод лунных расстояний?

**4.73.** В 1693 г. Эдмонд Галлей, сравнивая обстоятельства лунных затмений, наблюдавшихся античными и современными ему астрономами, открыл, что Луна движется ускоренно, т. е. приходит в предвычисленную точку неба с некоторым опережением по времени. Какова причина этого *векового ускорения Луны*?

**4.74.** Наблюдения Авенира Александровича Яковкина (1887—1974), проведённые в 1915—1931 гг. на Энгельгардтовской обсерватории под Казанью, позволили с высокой точностью определить характер физической либрации Луны. Сущность этого явления заключается в неравномерном осевом вращении Луны, вследствие чего происходит небольшое, в несколько угловых минут, периодическое смещение видимого центра лунного диска. Периодические изменения угловой скорости вращения известны и у Земли, но их причина — сезонные перемещения воздушных и водных масс, и, как следствие, изменение момента инерции Земли. Таких процессов на Луне быть не может. Какова причина физической либрации Луны?

**4.75.** Луна представляется глазу плоским диском. Какой общеизвестный факт был приведён Аристотелем в пользу шарообразности Луны?

**4.76.** Ещё Галилей отметил, что края и середина диска Луны имеют одинаковую яркость. Какой вывод он сделал относительно свойств поверхности нашего спутника?

**4.77.** Астрономы В. Бер (1797—1850) и И. Г. Мёдлер (1794—1874), наблюдавшие вместе Луну, отмечали, что Море Кризисов, Море Ясности и Море Влажности имеют зелёный цвет. Некоторые наблюдатели того времени истолковывали этот факт как наличие в лунных морях растительности. Почему французский учёный Франсуа Араго (1786—1853) подверг сомнению зелёный цвет морей?

**4.78.** На Луне, особенно при боковом освещении, отчётливо видны неровности рельефа, однако край лунного диска почти всегда кажется ровным. Как объяснял этот факт Галилей?

**4.79.** С XIX века в астрономии не утихала дискуссия между сторонниками вулканической и метеоритной гипотез происхождения лунных кратеров. Одним из возражений против метеоритной гипотезы долгое время считалась круглая форма практически всех кратеров: казалось, что это невозможно при разнообразных углах падения метеоритов. Почему метеоритная гипотеза всё таки победила?

**4.80.** Известные исследователи планетной системы Н. П. Барабашов и А. В. Марков ещё в 1920-е годы показали, что любой объект на Луне имеет максимальную яркость не во время наибольшей высоты Солнца над горизонтом Луны, а в полнолуние (эффект Барабашова—Маркова). С чем связан этот эффект?

**4.81.** В научно-фантастическом произведении И. Кеплера «Сон, или Лунная астрономия» описаны астрономические явления, якобы наблюдавшиеся с поверхности Луны. В современных терминах один

из отрывков звучит так: *«Луна состоит из двух полушарий: одно обращено к Земле, другое — в противоположную сторону. С первого всегда видна Земля, со второго Землю увидеть невозможно. Наблюдателям первого полушария кажется, что Земля на их небе неподвижна, но они легко могут заметить её суточное вращение. На Луне происходит смена дня и ночи, однако, в отличие от Земли, день на Луне всегда равен ночи, их продолжительность не меняется в течение года»* (Кеплер, 1982). Верны ли сведения о Луне, приведённые Кеплером?

4.82. Иоганн Кеплер в своём произведении «Сон, или Лунная астрономия» утверждал: *«Луна в Исландии часто бывает не видна в то самое время, когда другие народы наблюдают полнолуние»*. Верен ли расчёт Кеплера? Ведь сам он никогда в Исландии не был, да и вообще не покидал пределов Центральной Европы. К какому времени года относится замечание Кеплера о невидимости полной Луны в Исландии, которая расположена на широтах от 63° до 66°?

4.83. Галилей в книге «Пробирных дел мастер» пишет: *«На вопрос о том, почему Луна не гладкая и не скользкая, я отвечу, что Луна и все другие планеты внутри темны и сверкают, только когда их освещает Солнце. Следовательно, их поверхность должна быть шероховатой, ибо если бы она была гладкой и скользкой, как зеркало, то отражённый от них свет не достигал бы нас, и они остались бы невидимы»* (Галилей, 1987, с. 178). Согласны ли вы с рассуждениями Галилея?

4.84. В 1928 г. советские учёные Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси высказали идею о возможности радиолокации Луны, которая была реализована в 1946 г. в Венгрии и США. Радиолокация выявила, что Луна отражает радиоволны как гладкий зеркальный шар. Почему в оптическом диапазоне Луна представляется шероховатой, а в радиодиапазоне — гладкой?

4.85. С давних пор названия краёв лунного диска, наблюдаемого невооружённым глазом, астрономы определяли по сторонам земного горизонта: левый (для наблюдателей Северного полушария) край, обращённый к восточной стороне горизонта, считался *восточным*, а правый край — *западным*. Почему же после начала исследования Луны космическими аппаратами учёные решили правый край лунного диска называть *восточным*, а левый — *западным*?

4.86. Кеплер был уверен, что на Земле нет кольцеобразных гор, подобных лунным кратерам. По его мнению, кольцеобразные горы на Луне созданы не природой — это работа обитателей Луны: углубления вырыты ими, чтобы укрываться в тени от палящих лучей Солнца. Найдите слабое место в предположении Кеплера.

4.87. Французский астроном Бернар Лио на основании поляризационных измерений, проведённых в 1921—1929 гг., пришёл к заключению о том, что Луна покрыта слоем пористого материала, похожего на вулканический пепел. Найдены ли вулканический пепел на Луне?

**4.88.** Многочисленные попытки обнаружить лунную атмосферу по рефракционным эффектам во время покрытия звёзд Луной дали отрицательный результат. Однако весьма незначительная ( $13''$ ) рефракция всё же была обнаружена на длине волны 3,7 см английским астрономом Ильсмуром 24 января 1956 г. во время покрытия Луной Крабовидной туманности. Доказывает ли это наблюдение наличие у Луны атмосферы?

**4.89.** Некоторые наблюдатели в XIX веке отмечали, что во время полной фазы солнечного затмения Луна приобретает вид чёрного шарообразного тела. С чем может быть связано это явление?

**4.90.** Почему в середине полной фазы лунного затмения Луна кажется объёмной, в то время как вне земной тени она представляется плоским диском?

**4.91.** Почему при полной фазе солнечного затмения, как отмечают наблюдатели, человеческие лица приобретают оливковый или зеленоватый оттенок?

**4.92.** По свидетельству очевидца кольцеобразного затмения 1737 г. в Эдинбурге, без закопчённого стекла невозможно было различить тёмную Луну на диске Солнца. На такой же эффект обратил внимание астроном Бейли во время затмения 1836 года. По его мнению, ослабление дневного света было едва ли заметнее, чем при «набежавшем на Солнце облачке». Почему яркость Солнца во время кольцеобразного затмения остаётся очень высокой?

**4.93.** Во время полного солнечного затмения 8 июля 1842 г. в Липецке Отто Струве, сын В. Я. Струве, обратил внимание, что «многие образованные зрители не хотели верить, что затмение было на самом деле полным». Почему Солнце продолжало ярко светить, несмотря на то, что его диск был закрыт Луной?

**4.94.** Ещё древние астрономы отмечали, что во время полного лунного затмения диск Луны почти никогда не исчезает из виду совершенно. В чём причина этого явления?

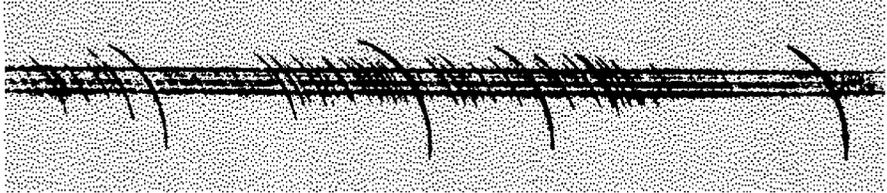
**4.95.** По расчётам Вильяма Гершеля, для того, чтобы Луна оставалась видимой, находясь в тени Земли во время полной фазы лунного затмения 22 октября 1790 г., преломление солнечных лучей в земной атмосфере должно было превосходить  $54'$ , что казалось Гершелю невозможным. Он предпочёл допустить, вслед за некоторыми древними учёными, что Луна имеет собственное слабое свечение. Опровергните это мнение.

**4.96.** В каком случае яркость Луны больше во время полной фазы теневого затмения: когда Луна в перигее или в апогее?

**4.97.** Астрономы XIX столетия отмечали, что во время лунных затмений размеры теневого конуса Земли оказывались больше, чем это давали вычисления. Относительное увеличение радиуса тени отмечалось Майером, Мёдлером, Бером в пределах от  $1/28$  до  $1/60$ . Как могут давать тень прозрачные слои земной атмосферы?

**4.98.** Во время лунных затмений 16 июня 1666 г. в Тоскане и 26 мая 1668 г. в Париже было отмечено, что Луна восходила уже затмившейся, в то время как Солнце ещё находилось в западной части неба около горизонта. Подобное явление замечали и древнегреческие наблюдатели. В чём причина столь странного поведения Луны?

**4.99.** Почему спектр вспышки, зафиксированный бесщелевым спектрографом в момент касания диском Луны края солнечной фотосферы, имеет вид набора дуг разной длины?



*К задаче 4.99. Негативное изображение спектра вспышки, полученное во время солнечного затмения при помощи призматической камеры без щели.*

**4.100.** Участник английской экспедиции на Новую Землю Э. Г. Шеклтон (1874—1922) во время солнечного затмения 1896 г. получил снимок спектра короны при помощи призматической камеры и обнаружил, что линии водорода, гелия и кальция, хорошо заметные в изображениях протуберанцев, совершенно не наблюдаются во внутренней короне. Действительно ли данные химические элементы отсутствуют в короне Солнца?

**4.101.** Какую гипотетическую планету хотели назвать Вулканом?

**4.102.** Французский астроном Урбен Ж. Ж. Леверье (1811—1877), блестяще предсказавший существование планеты Нептун, после длительных исследований движения Меркурия обнаружил «избыточное» смещение перигелия планеты на  $38''$  в столетие. Для объяснения этого явления он в 1859 г. предположил существование в Солнечной системе неизвестной планеты, находящейся вдвое ближе к Солнцу, чем Меркурий, и по массе сравнимой с ним. Обнаружена ли интрамеркуриальная планета, предсказанная Леверье?

**4.103.** В 1882 г. Джованни Скиапарелли предпринял систематическое исследование поверхности Меркурия. В отличие от других астрономов, свои наблюдения он проводил днём. В чём состоит преимущество дневных наблюдений Меркурия?

**4.104.** Каким образом в 1874 г. посредством фотометрических наблюдений было доказано, что поверхность Меркурия по рельефу и цвету очень похожа на лунную? Это открытие было подтверждено только через 100 лет при помощи изображений, переданных космическим аппаратом.

**4.105.** Почему у древних греков для Венеры существовало не одно, а два имени: Фосфорос и Гесперис?

**4.106.** С помощью каких наблюдений М. В. Ломоносов смог доказать существование у Венеры плотной атмосферы?

**4.107.** Свечение ночной стороны Венеры впервые было замечено в 1645 г. А в 1873 г. было высказано предположение, что происхождение «пепельного света» Венеры то же, что и пепельного света Луны — освещение тёмной стороны планеты полной Землёй. Опровергните эту гипотезу.

**4.108.** Астрономы XIX века настойчиво пытались исследовать поверхность Венеры. Неровности на линии терминатора, вызванные, как мы теперь понимаем, неоднородностью облачного покрова планеты, они принимали за горы. Немецкий астроном Иоганн Шрётер (1745—1816) даже предполагал существование на Венере гигантского горного массива высотой 43 км. Могут ли быть на Венере столь высокие горы?

**4.109.** Может ли на поверхности Венеры существовать жидкая вода?

**4.110.** Почему происходят и как проявляются сезонные изменения на поверхности Марса, впервые обнаруженные В. Гершелем и подтверждённые известными исследователями Марса — Фламарионом, Скиапарелли и Ловеллом?

**4.111.** В 1830 г. Джон Гершель первый пришёл к правильному выводу, что цвет Марса обусловлен цветом его почвы, сходной с земными песчаниками. Однако в то время существовала и альтернативная гипотеза, объясняющая красный цвет Марса поглощением в его атмосфере голубой части спектра Солнца. Какие наблюдения позволили отвергнуть эту гипотезу?

**4.112.** Во второй половине XIX века предполагалось, что климат на Марсе довольно мягкий. Основывалась эта гипотеза на том, что зимой полярные шапки занимают сравнительно малую часть поверхности, тогда как, учитывая удалённость планеты от Солнца, снег должен покрывать всё зимнее полушарие Марса. Как было доказано, что климат на Марсе суровый?

**4.113.** «Каналы» на Марсе и спутники Марса были открыты в 1877 г. соответственно итальянским астрономом Дж. Скиапарелли и американским — А. Холлом. Случайно ли то, что оба открытия, вызвавшие широкий резонанс среди учёных и в обществе, были сделаны в одно время?

**4.114.** В первой половине XX столетия известный русский астроном Гавриил Адрианович Тихов (1875—1960) пытался доказать существование растительности на Марсе, сравнивая спектры марсианских морей и зелёных растений Земли. Однако в спектре марсианских морей не был обнаружен избыток инфракрасных лучей, свойственный земным растениям. Какую остроумную интерпретацию этого факта предложил Г. А. Тихов, чтобы согласовать его со своей гипотезой, которая позже всё же была отвергнута?

**4.115.** В книге Камиля Фламмарiona (1842—1925) «Живописная астрономия» обсуждаются условия видимости Марса в эпоху великого противостояния: *«Так как середина лета в южном полушарии Марса случается в эпоху прохождения его через перигелий, то именно это полушарие лучше всего бывает видно для нас, и его-то мы и наблюдаем в то время, когда планета находится в наименьшем расстоянии от нас. Отсюда понятно, что южное полушарие планеты мы знаем гораздо лучше, чем северное. Пройдут многие тысячелетия, прежде чем северный полюс Марса можно будет увидеть с Земли даже на таком расстоянии, как половина расстояния Земли от Солнца, т. е. 75 млн. км»* (Фламмарин, 1897, с. 383). Что имел в виду Фламмарин, утверждая, что через тысячи лет земным астрономам станет удобнее наблюдать северное полушарие Марса?

**4.116.** В 1610 г., наблюдая в телескоп одну из ярких планет, Галилей заметил, что она как бы состоит из трёх соприкасающихся «звёзд». В соответствии с традицией той эпохи, он сообщил о своём открытии в виде анаграммы — набора букв, которые после правильной перестановки давали фразу: *Высочайшую планету тройною наблюдал*. Через два года крайние «звёздочки» исчезли, и у планеты остался виден лишь центральный диск. Кто завершил открытие Галилея и в чём оно состояло?

**4.117.** Кто и когда открыл структуру колец Сатурна? Когда была впервые обнаружена их тонкая структура?

**4.118.** Уже античным астрономам были известны пять ближайших планет, включая Сатурн. Почему же остальные планеты Солнечной системы начали открывать только на исходе XVIII века?

**4.119.** Почему В. Гершель, открыв в 1781 г. планету Уран, вначале принял её за комету?

**4.120.** До наблюдения В. Гершелем планеты Уран в 1781 г. её положение 17 раз измеряли другие наблюдатели. Почему же честь открытия планеты принадлежит именно Гершелю?

**4.121.** Каким образом, несмотря на очень медленное перемещение Урана по небу, его орбита была вычислена всего через несколько месяцев после открытия Гершеля?

**4.122.** Какая планета и каким образом была открыта спустя более чем две сотни лет после её первого наблюдения?

**4.123.** Каким образом Клайд Томбо в феврале 1930 г. открыл планету Плутон, имевшую в это время пятнадцатую звёздную величину? Как была выбрана область неба, где удалось обнаружить столь неяркую планету?

**4.124.** Планета Плутон, удалённая от Солнца на 40 а. е., получила своё название по имени древнеримского бога подземного царства. Мотивом для такого названия послужила скудность освещения планеты Солнцем. Но так ли уж темно на Плуtone на самом деле?

**4.125.** В связи с катастрофой американского космического корабля «Челленджер», случившейся в начале 1986 г., намеченные

на май 1986 г. запуски автоматических станций «Галилео» к Юпитеру и «Улисс» к полярным областям Солнца были отложены на 13 месяцев. Почему именно на 13?

**4.126.** Кто первым предсказал существование планеты между Марсом и Юпитером? На чём основывалось это предположение?

**4.127.** Первую малую планету — Цереру — открыл 1 января 1801 г. Джузеппе Пиацци (1746—1826) по её видимому перемещению относительно звёзд в течение шести недель января и февраля 1801 г. и по наличию у неё прямого и попятного движений. Затем, прервав из-за болезни свои наблюдения, учёный уже не смог найти эту планету на небе. Какое расположение Цереры относительно Земли способствовало её открытию? Кто из учёных своими теоретическими трудами облегчил повторное обнаружение Цереры на звёздном небе?

**4.128.** Какие космические объекты Пиацци предложил называть (в переводе на русский язык) *планетоподобными*, а Гершель — *звездopodobными*? Какие термины используются для этих тел в настоящее время?

**4.129.** Названия спутников Марса — Фобос и Деймос — в переводе на русский язык означают, соответственно, «страх» и «ужас». Почему эти спутники получили столь мрачные названия?

**4.130.** Каким образом в 1877 г., проводя визуальные телескопические наблюдения, Асаф Холл открыл очень слабые спутники Марса?

**4.131.** Луна посредством приливов замедляет вращение Земли и увеличивает свой период обращения вокруг Земли. Оказывает ли такое же действие Фобос на Марс?

**4.132.** Как Галилей доказал, что четыре маленькие звёздочки, обнаруженные им вблизи Юпитера, являются спутниками этой планеты?

**4.133.** Датский астроном Оле Рёмер (1644—1710) обнаружил в 1675 г., что затмение спутников Юпитера наступает раньше предвычисленных моментов при меньших расстояниях между Землёй и Юпитером и позже — при больших расстояниях между ними. Какой чрезвычайно важный физический вывод сделал Рёмер из этих наблюдений, и какую фундаментальную физическую константу он при этом впервые определил?

**4.134.** Каким образом в XVII—XVIII вв. моряки использовали для целей навигации наблюдения за спутниками Юпитера?

**4.135.** Наблюдатели XIX века обнаружили, что при прохождении спутников Юпитера по диску планеты на краю диска они выглядят светлыми точками на тёмном фоне, но чем сильнее приближаются к центру диска, тем меньшей кажется их яркость; наконец, близ середины диска они представляются тёмными точками. С чем связано это явление? Почему при прохождении Меркурия по диску Солнца он всегда выглядит чёрным кружком?

**4.136.** Наблюдатели отмечали, что в 1901 г. видимое движение спутников Урана вокруг планеты происходило против часовой стрелки, а в 1944 г., наоборот, по часовой стрелке. Чем объясняется это явление?

**4.137.** Уже через 17 суток после открытия Нептуна (1846 г.) английский астроном и оптик Уильям Ласселл при помощи изготовленного им 61-см рефлектора открыл первый спутник Нептуна — Тритон. Почему этот спутник, находящийся почти на таком же расстоянии от своей планеты, что и Луна, обращается вокруг Нептуна всего за  $5^d 21^h$ ?

**4.138.** Сто лет назад русский инженер Янковский предсказал небесномеханический эффект, о котором вспомнили лишь недавно. Сущность эффекта Янковского состоит в том, что освещённая Солнцем поверхность небесного тела нагревается, а когда вращение тела уносит её в тень, поверхность излучает накопленное ей тепло в инфракрасном диапазоне. Поток теплового излучения действует как реактивный двигатель и немного изменяет орбиту тела.

Эффект Янковского очень слаб; он может заметно повлиять лишь на движение небольших тел, размером от долей метра до нескольких километров. Расчёты показывают, что едва заметная сила, вызванная эффектом Янковского, может постепенно изменить орбиту небольшого астероида, в результате чего он выйдет из Главного пояса астероидов, попадёт в гравитационный резонанс с Марсом и его притяжением может быть отброшен к Земле. Таким образом, почти забытое открытие русского учёного может оказаться важным фактором в пополнении семейства малых планет, сближающихся с Землёй и, следовательно, потенциально опасных для нашей цивилизации.

Ответьте на следующие вопросы:

— как влияет направление вращения астероида вокруг собственной оси на его перемещение в Главном поясе под действием эффекта Янковского?

— какие из астероидов приближаются к Марсу, а какие — к Юпитеру?

— что можно сказать о влиянии этого эффекта на спутники планет?

**4.139.** Докажите, опираясь на наблюдения метеорных потоков, что траектории метеоров в земной атмосфере представляют собой отрезки прямых линий.

**4.140.** Какую форму имеют орбиты метеорных тел в космическом пространстве?

**4.141.** Джованни Скиапарелли (1835—1910) впервые оценил среднюю скорость метеоров — по его расчётам она в 1,4 раза больше орбитальной скорости Земли. Его способ был основан на подсчёте числа встречных и догоняющих метеоров. В чём заключается сущность его метода определения скоростей метеоров? Каковы орбиты метеороидов?

**4.142.** Если бы метеориты всегда только догоняли Землю в её движении по орбите, то наблюдалось ли бы явление метеоров во второй половине ночи?

**4.143.** Каким образом было впервые доказано, что метеорные тела приходят в земную атмосферу из космоса?

4.144. В начале XIX в. годовая периодичность метеорных потоков расценивалась как наличие у метеорных роев такого же орбитального периода, как и у Земли. Какая теория, опровергающая данную гипотезу, была предложена в 1839 г.?

4.145. Метеорный поток Леонид наблюдается каждый год, а вот метеорный дождь Леонид происходит только раз в 33 года. Какой вывод о структуре метеорного роя Леонид сделал французский учёный Франсуа Араго (1786—1835)?

4.146. В первой четверти XIX в. предполагали, что метеориты — это лунные вулканические бомбы. Достаточно ли обоснована эта гипотеза?

4.147. Какие важные свидетельства космического происхождения метеоритов обнаружил Эрнст Хладни (1756—1827)?

4.148. Кеплер сравнивал метеоры с «миниатюрными кометами». Имеет ли какой-то научный смысл это сравнение?

4.149. Ещё римский учёный Луций Анней Сенека (ок. 4—65 н. э.) обратил внимание, что кометы участвуют в суточном движении звёзд. Какой вывод он сделал о происхождении комет?

4.150. Первую попытку определения высоты метеоров предприняли в 1801 г. два студента гёттингенского университета, Г. В. Бранденс и И. Ф. Бенценберг; они доказали прямыми измерениями, что явление метеоров происходит на высоте от 50 до 200 км над поверхностью Земли. Как эти юные учёные определили высоту метеоров?

4.151. Каким образом Тихо Браге в 1577 г. доказал, что кометы — это космические тела, а не атмосферное явление, как считалось ранее?

4.152. Какие доводы были приведены в XIX веке для доказательства генетической связи между кометами и метеорными телами?

4.153. Как Э. Галлей открыл комету, названную впоследствии его именем?

4.154. Хвост кометы похож на конус светящегося вещества. Полный ли конус кометы или он заполнен веществом?

4.155. Через неделю после открытия большой кометы 1882 года произошло весьма редкое событие — прохождение кометы по диску Солнца. В это время комета полностью исчезла для наблюдателей. Почему она не была видна, ведь перед этим было отмечено, что голова кометы выглядит заметно более тёмной, чем поверхность Солнца?

4.156. После прохождения кометы 1882 года вблизи Солнца её яркость увеличилась настолько, что она в течение трёх дней была хорошо видна на дневном небе. Почему это произошло? Всегда ли после прохождения перигелия комета становится ярче, чем до перигелия?

4.157. В сентябре 1835 г. В. Я. Струве наблюдал очень редкое явление — покрытие центральной частью головы кометы Галлея далёкой звезды. Какие открытия были сделаны им на основе этого наблюдения?

4.158. Кто открыл комету Энке?

**4.159.** В 1864 г. известный исследователь Джованни Донати впервые получил спектр кометы (а именно — кометы Темпеля), в котором он обнаружил яркие полосы. Как это наблюдение повлияло на представления о физической природе комет? Какие химические элементы были выявлены в веществе кометы?

**4.160.** В 1854 г. ряд наблюдателей обратил внимание на явление, которое первоначально назвали «отблеском» зодиакального света. В 1862 г. Скиапарелли отмечал, что он видел зодиакальный свет в виде блестящего моста, который тянулся через всё видимое полушарие неба; наибольшим блеском этот мост отличался близ Солнца и затем в другом месте, прямо противоположном. Оно представлялось как бледное мерцание, расположенное в стороне, противоположной Солнцу. Что за явление было обнаружено?

**4.161.** Какие химические элементы получили свои названия в честь объектов Солнечной системы?

**4.162.** На каких телах Солнечной системы с помощью межпланетных зондов была обнаружена вулканическая деятельность?

**4.163.** В приведённой ниже таблице указаны средние плотности планет и Солнца по данным конца XIX столетия и по современным данным.

Планета	Средняя плотность (г/см <sup>3</sup> )		Планета	Средняя плотность (г/см <sup>3</sup> )	
	конец XIX в.	конец XX в.		конец XIX в.	конец XX в.
Солнце	1,39	1,41	Юпитер	1,33	1,33
Меркурий	6,45	5,43	Сатурн	0,71	0,70
Венера	4,45	5,24	Уран	1,10	1,29
Земля	5,50	5,52	Нептун	1,65	1,76
Марс	3,91	3,94			

Почему в отношении некоторых планет астрономы XIX века почти не ошиблись, а в отношении других — ошиблись весьма заметно? Что позволило учёным конца XX столетия очень точно определить плотность всех указанных планет?

# ЗАБЛУЖДЕНИЯ И ОЗАРЕНИЯ УЧЁНЫХ



*Клавдий Птолемей — знаменитый учёный древности (условный портрет).*

5.1. Аристотель (384—322 до н. э.) утверждал: «Наиболее физические из математических наук — оптика, учение о гармонии и астрономия». А Клавдий Птолемей (ок. 87—165 н. э.) так определил небесную науку: «Астрономия — математическое изучение неба». Почему древние учёные считали астрономию математической наукой?

5.2. Древнегреческий учёный Ксенофан (VI—V вв. до н. э.) полагал, что:

- солнце идёт по прямой в бесконечность, а из-за расстояния кажется, что оно кружит;
- существует бесконечное число солнц и лун;
- солнце ежедневно рождается из скопления маленьких огоньков, сгущающихся из влажного испарения;
- имеется много солнц и лун по [разным] широтам, районам и поясам Земли.

Что могло привести его к такому мнению?

5.3. Клавдий Птолемей указывал:

*Самый удобный способ доказательства падения тел к центру основывается на одном единственном факте, что ... во всех без исключения точках направление падения тел, обладающих весом, ... всегда ... перпендикулярно к касательной плоскости, проходящей через точку падения, а отсюда становится ясно, что эти тела, если бы на земной поверхности они не встретили непреодолимого препятствия, должны были бы достигнуть центра.*

Где, по мнению Птолемея, находится центр Мира?

5.4. Древнегреческий философ Анаксимен (VI в. до н. э.) утверждал: *Наружное небо твёрдое, кристалловидное ... Звёзды вбиты в его сферическую поверхность, как гвозди.*

Можно ли рассматривать суждение Анаксимена как мнение учёного?

5.5. Вот что пишут о взглядах древнегреческого философа Анаксагора (ок. 500—428 до н. э.) некоторые античные авторы:

1) Диоген Лаэртий свидетельствует, что Анаксагор утверждал: *«Солнце — раскалённая глыба, по величине больше Пелопоннеса, а на Луне есть поселения, равно как холмы и овраги».*

2) В древнем сборнике «Мнения философов»: *«О сущности Луны Анаксагор и Демокрит говорят, что это раскалённая твердь, на которой есть равнины, горы и ущелья».*

3) Платон: *«Анаксагор говорил недавно, что Луна получает свет от Солнца».*

4) Аристотель в «Метеорологии»: *«Анаксагор и Демокрит с их последователями считают Млечный Путь светом неких звёзд...».*

5) Плутарх: *«Говорят, будто Анаксагор предсказал, что одно из прикрепённых к небу тел в случае колебания или сотрясения может оборваться и рухнуть вниз. Ни одна из звёзд, утверждал он далее, не находится теперь на искони присущем ей месте: каменистые по составу и тяжёлые, светящиеся вследствие сопротивления и разрыва эфира, они удерживаются в вышине, увлекаемые огромной силой вихревого круговорота».*

В чём можно согласиться с Анаксагором?

5.6. Сообщения разных старинных авторов касательно представления древнегреческого учёного Эмпедокла (ок. 490 — ок. 430 до н. э.) об устройстве мира:

— *По Эмпедоклу небо твёрдое, состоящее из воздуха, замёрзшего под действием огня, ледаобразное.*

— *Одни полагали субстанцию небес огненной, Эмпедокл — замёрзшей водой и как бы ледяной оболочкой, иные — смесью четырёх элементов, иные — из пятого элемента.*

— *«С какого элемента начал творить космос бог?». По Эмпедоклу первым выделился [из смеси] эфир, вторым — огонь, затем — земля; из неё — в результате сильного сжатия ... — брызнула вода; из воды испарился воздух и возникли: небо — из эфира, Солнце — из огня, а из остальных [элементов] сгустилось ... всё земное.*

Какую идею Эмпедокла может принять современный учёный?

5.7. Великий русский физик и химик Д. И. Менделеев (1834—1907) утверждал: *«Наши атомы — такие же индивидуумы невидимого мира, как планеты, спутники и кометы астрономов; а наши частицы сходны с такими же системами, как солнечная или как системы двойных и отдельных звёзд».* Как вы понимаете основную мысль этого высказывания?

5.8. Э. Ламп в книге «Законы и силы природы» (1897 г.) писал:

*Вселенная представляет в больших размерах состояние разреженного газа; только частицы его измеряются не миллионными долями миллиметра, а являются нам в образе бесчисленных солнц ... Наша система Млечного Пути должна представлять совершенно такую же*

*картину, какую изображает пред нами новейшая теория газов для системы газовых частиц.*

Можно ли согласиться с таким мнением?

**5.9.** Астрономический фрагмент из научно-фантастического рассказа известного учёного и писателя И. А. Ефремова «Нур-и-Дешт» (1944 г.):

*Вот там, низко над горизонтом, светит красный Антарес, а правее едва обозначается тусклый Стрелец. Там лежит центр чудовищного звёздного колеса Галактики — центральное «солнце» нашей Вселенной. Мы никогда не увидим его — гигантская завеса чёрного вещества скрывает ось Галактики.*

Существует ли центральное «Солнце» в нашей Галактике? Каким образом учёным удалось получить изображение центральной части Галактики?

**5.10.** Христиан Гюйгенс в 1656 г. описал одно из своих открытий в созвездии Ориона как «отверстие в небесном своде, дающее возможность бросить взгляд в другую лучезарную область пространства» (Кларк, 1913, с. 37). Что же нашёл на небе Гюйгенс?

**5.11.** Французский учёный Мопертюи в своём труде «Речь о форме звёзд» (Париж, 1742 г.) писал: «На тёмном небесном своде встречаются небольшие слабосветящиеся пятна, несколько более освещённые, чем тёмные пространства пустого неба, и общее у них всех то, что они представляют собой более или менее открытые эллипсы, свет которых, однако, гораздо слабее всякого иного света, наблюдаемого на небе». О каких объектах Вселенной идёт речь?

**5.12.** К удивительному открытию привело в конце XVIII века строительство первых крупных телескопов, создателем которых был Вильям Гершель. Его сестра Каролина в письме к сыну великого астронома — Джону Гершелю, тоже известному астроному, — рассказывала: «Однажды вечером, когда ваш отец изучал небо в созвездии Скорпиона, он после долгого напряжённого разглядывания вдруг воскликнул: «Здесь, вероятно, дыра в небе!». В XIX веке астрономы всё чаще стали обнаруживать «тёмные пятна» на звёздном небе. По словам Германа Клейна, американский астроном Шербёрн Уэсли Бёрнхем (1838—1921) так описывал одно из таких мест в созвездии Стрельца:

*Здесь есть чёрное, почти круглое отверстие в Млечном Пути; величина его около одной трети лунного диаметра. Звёзды по краям сильно скучены, но в самом круге видны только две звезды: одна из них 10-й величины, другая же — очень слаба.*

Подобное же отверстие, — продолжает сам Клейн, — находится на 2 градуса к северу от звезды  $\gamma$  в Стрельце; оно было найдено и зарисовано Трувелло в 1876 году. Это настоящее чёрное пятно в Млечном Пути и оно производит приблизительно такое впечатление, как будто там перед блестящим звёздным фоном стоит какой-то

неправильно круговой формы, на краях размытый, чёрный предмет. Четыре довольно ярких звезды, из которых самая яркая оранжевого цвета, стоят у северо-западного края чёрного пятна, три другие более слабые — у восточного. Вокруг сияет Млечный Путь. Очень близко находится серповидное чёрное пятно, далеко не так выдающееся, как предыдущее, но всё же ясно выделяющееся на светлом фоне. Эти чёрные беззвёздные пространства весьма замечательны и непонятны.



К задаче 5.12. Чёрное место в созвездии Стрельца (иллюстрация из книги Г. Клейна, 1897, с. 299).

В ту эпоху существовало два мнения по поводу этих чёрных пятен, окружённых звёздными облаками. Вильям Гершель называл их «дырами в небесах» и воспринимал как признак распада Галактики на части в результате гравитационного скучивания звёзд. Вслед за ним многие астрономы придерживались этой мысли до конца XIX в. Но в те же годы некоторые известные учёные полагали, что в отдалённом космическом пространстве существует тёмная материя, которая закрывает от нас некоторые части Млечного Пути. Чей взгляд на эту проблему победил? Какова природа данных образований?

**5.13.** Русский учёный-энциклопедист М. В. Ломоносов своё «Вечернее размышление о Божьем Величестве при случае великого

северного сияния» (1743 г.) начинает замечательными строками:

*Лицо своё скрывает день;  
Поля покрыла мрачна ночь,  
Взошла на горы черна тень;  
Лучи от нас склонились прочь.  
Открылась бездна звёзд полна;  
Звёздам числа нет, бездне дна.*

Может ли современный астроном буквально принять космологические представления Ломоносова, выраженные им в последней строке этого поэтического фрагмента?

**5.14.** М. В. Ломоносов писал: «Я нашёл, что они [телескопы] должны испытывать от излишества зеркал не мало недостатка; именно, что малое зеркало должно быть оставлено». 13 мая 1762 года он продемонстрировал академикам телескоп-рефлектор с одним зеркалом. Как был устроен телескоп Ломоносова и применяется ли данная оптическая схема в современных телескопах?

**5.15.** Гераклит Эфесский (V—IV вв. до н. э.) утверждал: «Этот космос, один и тот же для всех, не создал никто из богов, никто из людей, но он всегда был, есть и будет вечно живой огонь, мерно возгорающийся, мерно угасающий». Близка ли процитированная мысль древнего учёного к современным научным представлениям?

**5.16.** Известно высказывание знаменитого учёного:

*Небо можно сравнить с роскошным садом, в котором на отдельных грядках размещено множество растений на разных степенях развития. Для нас это выгодно: мы получаем возможность обнять своей мыслью громаднейшие промежутки времени... Допустим, что перед нашими глазами — одно только растение. Придётся изучать его развитие последовательно; понадобится много времени, чтобы познакомиться с прорастанием, появлением листьев, цветением, плодоношением, увяданием, высыханием и разложением растения. Иное дело, когда перед нами — масса экземпляров разных возрастов. Тогда мы получаем возможность созерцать все моменты развития одновременно.*

Кому принадлежит эта плодотворная мысль, позволившая по наблюдениям отдельных космических объектов изучать их эволюцию?

**5.17.** Иммануил Кант в 1755 году в предисловии к своей книге «Всеобщая естественная история и теория неба» написал, что он ставит целью «открыть устройство, которое соединяет великие элементы творения во всё своё протяжении вплоть до бесконечности, и вывети из первоначального состояния природы, с помощью механических законов, образование небесных тел и происхождение их движений». Решил ли Кант поставленные им задачи?

**5.18.** Иммануил Кант в книге «Всеобщая естественная история и теория неба» отметил:

*Легче выяснить образование светил, причины их движений, словом, происхождение всего строя вселенной, чем свести к ясным механическим причинам историю развития одного только листа, одной только гусеницы.*

Что представляется более сложным: устройство и эволюция биологических объектов или объектов мегамира?

**5.19.** Из стихов Джордано Бруно (1548—1600):

*Кристалл небес мне не преграда боле,  
Но, вскрывши их, подъежюсь в бесконечность.*

О каком кристалле небес упоминает Бруно? Почему за этой преградой находится бесконечность?

**5.20.** Известно высказывание Дж. Бруно:

*Итак, я провозглашаю существование бесчисленных отдельных миров, подобных миру этой Земли. Вместе с Пифагором я считаю её светилом, подобным Луне, другим планетам, другим звёздам, число которых бесконечно. Все эти небесные тела составляют бесчисленные миры. Они образуют бесконечную Вселенную в бесконечном пространстве. Это называется бесконечностью Вселенной, в которой находятся бесчисленные миры.*

С каких позиций — материалистических или идеалистических — обосновывал Бруно бесконечность Вселенной?

**5.21.** Джордано Бруно так излагал собственные воззрения:

*Земля — маленький шар, сплюснутый у полюсов; вместе с другими планетами она кружится в пространстве около Солнца. Это исполненное огненное светило медленно поворачивается около оси и также сплюснуто у полюсов. Но весь солнечный мир — не более как атом, затерянный в пустынях пространства. Оно наполнено миллионами миллионов миров. Каждая звезда — солнце. Около этих солнц плавно носятся по кругам и эллипсам стаи серебряных планет. На них обитают существа выше и совершеннее, чем мы. Миры имеют свою историю развития: одни возникают, другие погибают; вечной остаётся только творческая энергия, лежащая в их основе. Вселенная бесконечна. Мирам нет числа. Сознание, жизнь и красота разлиты всюду... (Клейн, 1898).*

Со всеми ли представлениями Дж. Бруно о строении Вселенной вы согласны?

**5.22.** И. Кеплер утверждал: *«Если... проткнуть в стене булавочное отверстие так, чтобы через него проникал солнечный свет, то яркость луча всё равно будет превосходить яркость свечения всех звёзд на безоблачном небе».* По мнению Кеплера, этот эксперимент подтверждает положение Солнца «в центре Мира», и тем самым — справедливость гелиоцентрической системы мира Коперника. Найдите методическую ошибку в рассуждениях Кеплера.

**5.23.** Галилей писал в «Звёздном вестнике»:

*Достойно удивления то, что звёзды, как неподвижные, так и блуждающие, при рассмотрении в зрительную трубу никак не кажутся увеличившими свои размеры в той же пропорции, в какой получают приращения у других предметов и даже у Луны. На звёздах такое увеличение оказывается гораздо меньшим, так что зрительная труба, которая остальные предметы увеличивает, скажем, во сто раз, может сделать большими звёзды лишь в четырёх- или пятикратном отношении, чему елe поверишь.*

Объясните это явление, верно подмеченное Галилеем.

**5.24.** Вечером 11 ноября 1572 г., возвращаясь из своей алхимической лаборатории, где он в который уже раз безуспешно пытался получить золото, знаменитый астроном Тихо Браге по давней привычке обвёл взглядом небосвод и, поражённый, замер: знакомые очертания Кассиопеи изменились! Вместо легко узнаваемой фигуры, похожей на букву W, Тихо увидел совсем иное: левее знакомого зигзага из ярких звёзд, в это время года скорее напоминающего букву M, рядом со слабой звездой  $\chi$  Кассиопеи, расположенной как раз между ножек M, на небе сияло новое яркое светило! Откуда оно взялось? Тихо прекрасно знал, что Кассиопея — незодиакальное созвездие, а значит, в нём не бывает ярких планет.

Вот как сам Тихо позже вспоминал это событие:

*Вечером, после захода Солнца, когда в соответствии с моим обычаем я созерцал звёзды в ясном небе, я заметил, что почти прямо над моей головой сияла новая и необыкновенная звезда, превосходившая по блеску все другие звёзды; и так как я почти с детства знал в совершенстве все звёзды небосвода (очень нетрудно достичь этого знания), мне было совершенно очевидно, что никогда в прошлом никакой звезды на этом месте неба, даже и маленькой, не было, не говоря уже о звезде, столь бросающейся в глаза своей яркостью, как эта. Я был настолько поражён этим зрелищем, что не постыдился подвергнуть сомнению то, что видели мои собственные глаза. Но когда я убедился, что и другие могли видеть на указываемом им месте звезду, у меня больше не оставалось сомнений. Не было ли это величайшим из чудес, которые случались когда-либо со времён начала мира?*

Тихо тотчас же измерил и записал угловые расстояния новой звезды от девяти звёзд Кассиопеи и от Полярной звезды, а также своё впечатление о цвете и яркости новой звезды. Как отметил сам Тихо и другие наблюдатели, она была намного ярче Сириуса и даже ярче Венеры. В последующие дни звезду можно было наблюдать и при дневном освещении. Однако, начиная с декабря 1572 г., блеск её стал уменьшаться, и вскоре новая звезда исчезла, проблистав семнадцать месяцев и не оставив никакого следа, видимого невооружённым глазом.

Имея в виду, что в то время Тихо жил в Дании, приблизительно на широте Москвы, и используя звёздную карту или электронную

программу-планетарий, ответьте на следующие вопросы. Что за удивительную звезду наблюдал Тихо Браге? Какова была высота Новой Тихо над горизонтом в тёмное и светлое время суток? Был ли в ночное время виден Сириус и была ли видна в тот период Венера?

5.25. В произведениях русских писателей нередко описываются небесные явления. Так, у И. А. Бунина есть строки:

*Сириус — дерзкий сапфир, синим горящий огнём,  
Альдебарана рубин, алмазная цепь Ориона  
И уходящий на юг призрак сребристый — Арго!*

Какую астрономическую информацию несёт этот стихотворный отрывок?

5.26. В научно-фантастической повести К. Э. Циолковского «Вне Земли» (1916 г.) описывается наблюдение звёздного неба с борта космического корабля, обращающегося на околоземной орбите:

*Открыли ставни. Более смелые подлетели к окнам.*

*Послышались восклицания:*

*— Небо-то совершенно чёрное!..*

*— Никогда и сажа не бывает такой черноты!..*

*— Звёзд какое множество!*

*— Какие разноцветные!..*

*— Я вижу совершенно те же созвездия, но как много звёзд!.. И почему они так мертвенны? В них нет жизни; они как бы не испускают лучей, не мигают; это просто точки... Как ясно они видны!*

Таким ли видят небо космонавты?

5.27. Известный французский философ Огюст Конт в 1842 г. писал: *Возможно, что мы сумеем определить форму, расстояние и величину небесных светил, что мы исследуем их движения; но никогда и ни в каком случае не удастся нам изучить их химический состав или минералогическое строение.*

В 1856 г. Конт снова утверждал, что химический состав звёзд навсегда останется невыясненным. Когда были проведены первые спектральные наблюдения, доказавшие, что Солнце и звёзды состоят из тех же химических элементов, которые известны на Земле?

5.28. Агнесса Кларк — английский историк астрономии (конец XIX в. — начало XX в.) писала:

*Ещё не далее, как в середине XIX столетия, астрономия, гордая тесным союзом с математикой, смотрела с равнодушием на остальные науки; ей довольно было телескопа и вычислений. Теперь же материал для её выводов даёт и химик, и специалист по электричеству, и исследователь самых глубоких тайн теории света или молекулярного строения вещества. Астрономия озабочена тем, что скажет геолог, что откроет метеоролог или даже биолог; она должна прислушиваться ко всякой новой истине, взвешивать и стараться использовать всякое открытие в естественных науках. Её величавое одинокое по-*

ложение сменилось на полное общение, на постоянную взаимопомощь с другими науками. Астроном стал физиком в широчайшем значении этого слова; а физик принуждён быть теперь немного и астрономом... Едва ли будет преувеличением сказать, что родилась новая наука.

Какая же?

**5.29.** Фридрих Вильгельм Бессель в 1844 году писал Гумбольдту:

*Я держусь того мнения, что Процион и Сириус составляют каждый настоящую систему двойных звёзд, куда входят по одной видимой и одной невидимой звезде. Нет никакого основания предполагать, что способность испускать собственный свет представляет коренное, неприменное свойство мировых тел. Тот факт, что мы видим бесчисленное множество ярко блистающих звёзд, не может ещё само по себе служить доводом для того, чтобы отрицать возможность существования бесчисленного множества тёмных, невидимых звёзд.*

Подтвердилось ли предположение Бесселя, основанное на его наблюдениях собственного движения звёзд? Надо ли понимать под невидимыми звёздами чёрные дыры?

**5.30.** В «Истории математики» Монтюклá сказано:

*Аристотель говорит, что Эмпедокл считал свет за непрерывное истечение из светящихся тел... [Оппоненты] говорили, что если свет Солнца состоит из истечения частичек из этого светила, то мы бы никогда не видели его на его истинном месте, потому что оно бы переместилось в промежуток времени, нужный частичке света для достижения до нашего глаза. Эмпедокл, не прибегая к мгновенности распространения света или к его необычайной скорости, говорил, что упомянутое возражение было бы справедливо, если бы самоё Солнце было бы в движении; но Земля, вертясь на своей оси, идёт навстречу лучу и видит светило в его продолжении.*

О каком физическом эффекте интуитивно рассуждают здесь древние учёные? На какой угол смещается изображение Солнца в результате этого эффекта для земного наблюдателя?

**5.31.** Уильям Томсон (лорд Кельвин) (1824–1907), английский физик, один из основоположников термодинамики, так рассуждал о природе Солнца:

*Либо признайте, что Солнце — тело чудесное, специально созданное для того, чтобы изливать свет и тепло вечно; либо нужно принять, что оно, как и всё другое, подчинено законам природы... Гораздо проще принять, что Солнце не может представлять исключение из общих законов природы; тогда для него, как и для всякого другого предмета природы, существует начало и конец того состояния, в каком мы видим его в настоящее время.*

На какие принципы опирается У. Томсон в данном рассуждении?

**5.32.** Клавдий Птолемей писал в своей книге «Альмагест»:

*Так как мы поставили себе цель объяснить для пяти блуждающих звёзд все наблюдаемые у них неравенства, как для Луны и Солнца,*

*при помощи круговых равномерных движений, которые по природе свойственны божественному, чуждому беспорядка и неравномерности, то хотя и следует высоко ценить окончательное и правильное достижение этого как истинную цель математической теории в философии, но всё-таки эта задача представляет очень большие трудности и как следует ещё не была решена никем из предшествующих.*

О каких блуждающих звёздах говорит Птолемей? О каких неравенствах в их движении идёт речь? Почему движение небесных тел, по Птолемею, может быть только круговым и равномерным? Почему построение теории наблюдаемых движений планет многие рассматривают как научный подвиг Птолемея?

**5.33.** *Меркурий движется при помощи всего семи кругов, Венера — при помощи пяти, Земля — при помощи трёх, Луна вокруг них — при помощи четырёх, наконец, Марс, Юпитер и Сатурн — при помощи пяти кругов каждый. Таким образом, для Вселенной будет достаточно 34 кругов, при помощи которых можно объяснить весь механизм мира...*

Кому из выдающихся астрономов принадлежит это высказывание?

**5.34.** Римский политик, философ и писатель Сенека (3 до н. э. — 65 н. э.) писал:

*Важно было исследовать, мир ли вращается вокруг Земли, которая остаётся неподвижной, или Земля вертится, тогда как мир стоит... Эта задача достойна наших размышлений, ибо мы должны знать, в каком состоянии мы находимся: обрекла ли судьба нашу Землю на вечный покой или же, наоборот, она одарила Землю быстрым движением; заставили ли боги все небесные тела двигаться вокруг нас или же мы сами около них вращаемся?*

Почему вопросы, сформулированные Сенекой, представлялись ему столь важными?

**5.35.** Французский астроном и физик Ф. Араго (1786—1853) описывает опыты с маятником:

*... его можно вывести из вертикального положения, им занимаемого, ... вправо или влево, вперёд или назад, и потом предоставить самому себе. Такой прибор, будучи приведён в движение, качается около вертикала и, первоначально, в плоскости, в которой он был выведен из отвесного положения. Но должен ли он оставаться в этой первоначальной плоскости? Члены флорентийской академии *del Cimento* сделали над маятником множество наблюдений, из которых дознали, что упомянутая плоскость качаний изменяется. Директор флорентийского естественно-исторического музея нашёл в рукописях Вивияни, что все маятники ... отклоняются от первоначальной вертикальной плоскости постоянно в одном направлении... [Из приведённого в книге Араго рисунка видно, что плоскость качания маятника поворачивается по часовой стрелке при наблюдении сверху]*

*Если его выписки и доказывают, что члены академии del Cimento и знали перемещение плоскости качаний маятника, то они отнюдь не убеждают, что упомянутые академики обратили внимание на зависимость таких перемещений от вращательного движения Земли.*

Какой учёный провёл подробные наблюдения за изменением плоскости колебаний маятника и дал им качественное объяснение? В чём оно состоит? Какой учёный показал зависимость этого явления от географической широты места проведения опыта?

**5.36.** Древнегреческий писатель Плутарх (ок. 46 — ок. 127) утверждал:

*Земля не обладает неподвижностью и не занимает средины круговращения. Она сама обращается около огня. Её нельзя считать ни первой, ни самой важной частью вселенной.*

Можно ли полностью согласиться с мнением древнего мыслителя?

**5.37.** В сочинении одного знаменитого учёного описана гипотеза другого известного учёного о строении Вселенной:

*Он предположил, что звёзды и Солнце неподвижны; что Земля вращается вокруг Солнца по окружности, с Солнцем в центре, и что сфера неподвижных звёзд, расположенная вокруг того же самого центра, так велика, что окружность, по которой обращается Земля, находится в таком отношении к расстоянию неподвижных звёзд, как центр сферы относится к её поверхности.*

Кому принадлежит изложенная идея? Из какого научного труда взята эта цитата?

**5.38.** В XIII веке испанский король Альфонс X, знаток и покровитель астрономии, произнёс слова, за которые он был обвинён в ереси: «Если бы при сотворении мира создатель спросил моего совета, то я предложил бы ему более простой план устройства Вселенной». Про какую модель мира так резко высказался король Альфонс?

**5.39.** Георг Лихтенберг (1742—1799) — немецкий физик-экспериментатор, изобретатель ксерокопирования, известный также как литератор, особенно своими афоризмами. Вот один из них:

*Пока Земля тихо стояла,  
безмолвствовала и астрономия...  
Но как только появился человек,  
приказавший стоять Солнцу,  
Астрономия быстро сдвинулась с места.*

О чём идёт речь в аллегорическом высказывании Лихтенберга?

**5.40.** Коперник в своём труде «Малый комментарий» (ок. 1512 г.) писал:

*Я взялся за задачу, которая выглядела весьма трудной и едва ли разрешимой, но оказалось, в конце концов, что её можно решить совершенно иными путями, чем можно было предполагать заранее. Нужно было только... взять за основу несколько принципов.*

Вот принципы, положенные Коперником в основу своей теории:

- 1) круги, по которым движутся небесные тела, не являются концентрическими;
- 2) центр Земли не есть центр мира, а только центр лунной орбиты;
- 3) траектории всех небесных тел огибают Солнце;
- 4) сфера неподвижных звёзд находится так далеко, что размеры планетной системы по сравнению с ней пренебрежимо малы;
- 5) не Солнце движется вокруг Земли, а напротив — Земля вращается вокруг своей оси и обращается вокруг Солнца;
- 6) не сфера неподвижных звёзд обращается за 24 часа вокруг Земли, а Земля за это время совершает оборот вокруг своей оси;
- 7) планеты движутся не вокруг Земли, а вокруг Солнца; наблюдаемые движения планет есть результат их истинного движения вокруг Солнца, равно как и движения Земли вокруг Солнца.

Какие положения теории Коперника вполне справедливы, а какие являются лишь приближением к истине?

#### 5.41. Николай Коперник писал:

*Если кто-либо сочтёт Землю движущейся, то он, конечно, скажет, что её движение естественное, а не вынужденное. Всё, что соответствует природе, производит противоположный эффект по сравнению с тем, что достигается вынужденно. Предметы, к которым приложена сила или вынуждающее действие, с необходимостью должны быть разрушены и не могут длительно существовать, в то время как созданные природой пребывают в согласии с ней и находятся в наилучшем расположении. Птолемей не имел оснований опасаться, что Земля и земные тела будут разрушены вращением, произведённым действием природы, весьма отличающимся от действий, вызванных искусством или промышленностью. Почему он не боялся ещё более быстрого движения мира, ведь небеса гораздо больше Земли?*

Какое свойство физических систем здесь подмечено?

#### 5.42. Н. Коперник писал:

*... наконец, после многочисленных и продолжительных наблюдений обнаружил, что если с круговым движением Земли сравнить движения и остальных блуждающих светил и вычислить эти движения для периода обращения каждого светила, то получатся наблюдаемые у этих светил явления.*

О каких наблюдаемых явлениях идёт речь? Какие кинематические особенности в движении планет, указанные Коперником, опровергаются современной наукой?

5.43. В анонимном предисловии к книге Коперника «О вращении небесных сфер» её редактор, протестантский богослов Андреас Осандер (1498—1552) пишет:

*Всякому астроному свойственно на основании тщательных и искусных наблюдений составлять повествование о небесных движениях. Затем, поскольку он никаким образом не в состоянии исследовать*

*истинные их причины или гипотезы, то может изобрести и разработать хоть какие-нибудь гипотезы, при помощи которых можно было бы на основании принципов геометрии правильно вычислять эти движения как для будущего, так и для прошедшего времени. И то и другое же этот искусный автор выполнил в совершенстве. Ведь нет необходимости, чтобы эти гипотезы были верными, ни даже вероятными, но достаточно того одного, если бы они давали сходящийся с наблюдениями расчёт.*

Согласны ли вы с такой оценкой труда Коперника?

**5.44.** В 1866 г. в развалинах древнего храма в дельте Нила была найдена плита, на которой египетскими иероглифами и по-гречески написано:

*Чтобы времена года неизменно приходились, как должно по теперешнему порядку мира, и не случилось то, что некоторые из общественных праздников, которые приходятся на зиму, когда-нибудь пришли на лето, — так как звезда [Сириус] за каждые четыре года уходит на один день вперёд, — а другие, празднуемые летом, в будущее время не пришли на зиму, как это бывало и как будет случаться, если год будет и впредь состоять из 360 и пяти добавочных дней, то отныне предписывается через каждые четыре года праздновать праздник богов Евергета после пяти добавочных дней перед Новым годом, чтобы всякий знал, что прежние недостатки в счислении времён года отныне счастливо исправлены царём Евергетом.*

С какой известной календарной системой можно отождествить этот календарь, который пытались ввести в 238 году до н. э.? Под каким именем известен этот царь в истории? Почему данная календарная система не носит имени этого царя?

**5.45.** Обычно учёный, приступая к исследованию нового для себя предмета, изучает труды других учёных, работавших в этом же направлении. Известны ли свидетельства, что Н. Коперник знакомился с работами своих предшественников, стоявших на позициях гелиоцентризма?

**5.46.** М. В. Ломоносов писал о Н. Копернике в стихотворном произведении «Письмо о пользе стекла»:

*Астроном весь свой век в бесплодном был труде,  
Запутан циклами; пока восстал Коперник,  
Презритель зависти и варварству соперник.  
В средине всех планет он солнце положил,  
Сугубое земли движение открыл.  
Одним круг центра путь вседневный совершает,  
Другим круг солнца год теченьем составляет,  
Он циклы истинной Системой растерзал  
И правду точностью явлений доказал.*

Действительно ли кинематика Солнечной системы по Копернику оказалась более простой по сравнению с системой Птолемея?

**5.47.** Противники Коперника и Галилея утверждали:

*Если бы это светило [Венера] действительно обращалось вокруг Солнца и блистало отражённым светом, оно постоянно меняло бы свой вид. При одном положении мы видели бы всё освещённое полушарие, при другом — только часть. Иногда Венера казалась бы светлым кругом, иногда — полукругом, иногда — серпом; словом, мы наблюдали бы ту же смену фаз, как и у Луны. Отчего же мы не видим этих фаз Венеры?*

Что ответил на это Галилей?

**5.48.** В 1616 г. собрание богословов — «подготовителей судебных дел святой инквизиции» — приняло решение об осуждении учения Н. Коперника и запрещении его труда «О вращениях небесных сфер»:

*Учение, что Солнце находится в центре мира и неподвижно, ложно и нелепо, еретично и противно священному писанию. Учение же, будто Земля не находится в центре мира и движется, обладая к тому же суточным вращением, ложно и нелепо с философской точки зрения, с богословской же по меньшей мере ошибочно.*

Почему церковь отрицательно отреагировала на идеи Коперника только через семь десятилетий после выхода в свет его книги?

**5.49.** Отречение Галилея, произнесённое им в 1633 г. под угрозой пытки перед судилищем, организованным католической церковью:

*Я, Галилео Галилей, сын покойного Винченцо Галилея из Флоренции, 70-ти лет, самолично поставленный перед судом, преклонив колена пред их эминенциями, досточтимыми генерал-инквизиторами против еретической злобы во всём христианском мире, имея перед глазами святое евангелие, коего касаюсь собственными руками, клянусь, что всегда веровал, ныне верую и с помощью божьей впредь веровать буду во всё, что святая католическая и апостольская римская церковь за истинное приемлет, что проповедует и чему учит. Но так как я — после того, как мне от сего судилища сообщено было повеление, чтобы совсем оставил ложное мнение, будто солнце есть центр мира и неподвижно, земля же не центр и движется [Прим.: здесь и далее выделено авторами книги.], и чтобы не смел держаться такого ложного мнения, не защищал его и не преподавал каким-либо способом или писанием, и после того, как мне указано было, что учение то противно священному писанию, — написал и напечатал книгу, в которой излагаю это осуждённое уже учение и привожу с настойчивостью аргументы в его пользу, не давая опровержения оных, то подвергся посему суду, как сильно заподозренный в ереси, а именно, что держусь мнения и верю, будто солнце — центр мира и неподвижно, земля же движется. Желая изъять из умов наших*

*змненций и всякого христианина-католика сие сильное, справедливо возникшее против меня подозрение, я с чистым сердцем и верою не ложною отрекаюсь от упомянутых заблуждений и ересей, проклинаю их и отверааюсь от них и вообще от всяких заблуждений и сект, противных сказанной святой церкви. Клянусь, что в будущем ни устно, ни письменно не выскажу чего-либо способного возбудить против меня подобное подозрение. И если узнаю какого-либо еретика или внушающего подозрение в ереси, не премину донести о нём священному судилищу или инквизитору и ординарию того места, где буду находиться.*

*Клянусь, кроме того, и обещаю все епитимьи, наложенные на меня, или кои будут наложены, с точностью исполнять и соблюдать. А если, сохрани боже, совершу что-либо противное сим моим обещаниям, протестациям и клятвам, то подлежу всем наказаниям и казням, кои священными канонами и другими общими и частными постановлениями постановлены и обнародованы против такого рода нарушителей. Да поможет мне бог и святое его евангелие, коего касаюсь руками.*

*В удостоверение того, что я, Галилео Галилей, как выше приведено, отрёкся, обещал и обязал себя, я собственноручно подписал сей акт и от слова до слова прочёл его в Риме, в монастыре Минервы сего 22 июня 1633 года.*

Можно ли, ознакомившись с вышеприведённым текстом «Отречения», считать, что Галилей действительно отказался от своих научных взглядов?

**5.50.** Иоганн Кеплер в письме своему учителю Михаэлю Мёстлину (1550—1631) от 16 февраля (по старому стилю) 1599 г. делится впечатлением о работах Тихо Браге:

*Моё мнение о Тихо таково: он обладает несметными сокровищами, но он не знает, как их следует употреблять... Позже Кеплер продолжает эту тему в письме от 12 июля 1600 г. к своему покровителю, баварскому канцлеру Герваргу фон Гогенбургу: Тихо владеет лучшими данными наблюдений, а значит, как будто и материалом для возведения нового здания, он имеет также рабочих и вообще всё, чего может пожелать для этого. Недостаёт ему лишь архитектора, который использовал бы всё это в соответствии с его же, Тихо, замыслом. Ибо, сколь ни счастливо предрасположение Тихо, и сколь ни искусен он в архитектонике, всё же разносторонность задач и то обстоятельство, что истина подчас бывает запрятана довольно глубоко, препятствует его успехам.*

Что понимал Кеплер под «архитектоникой», и кто стал тем «архитектором», который успешно использовал материалы Тихо Браге?

**5.51.** Иоганн Кеплер писал:

*Моё первое заблуждение было то, что орбита планеты есть совершенный круг, — вредное мнение, которое тем больше отняло у меня*

времени, что оно поддерживалось авторитетом всех философов, и как очевидное было приятно метафизикам.

Какие другие формы орбит рассматривались Кеплером в процессе работы над теорией движения планет?

**5.52.** Кеплер, как известно, составлял гороскопы. Но вот как он выразил своё отношение к классической астрологии:

*Тот астролог, который предсказывает что-нибудь исключительно по небу и не основывается на характере, душе, разуме, силе и внешности того человека, которому он предсказывает, идёт ложной дорогой и даёт совет наудачу.*

Можно ли считать Кеплера астрологом?

**5.53.** В 1766 г. в переводе на немецкий язык книги известного французского естествоиспытателя Шарля Бонне (1720—1793) «Созерцание природы» был впервые сформулирован закон планетных расстояний:

*Обратите внимание на расстояния между соседними планетами и вы увидите, что почти все они возрастают пропорционально радиусам самих орбит. Примите расстояние от Солнца до Сатурна за 100 единиц, тогда Меркурий окажется удалённым от Солнца на 4 таких единицы; Венера — на  $4+3=7$  таких единиц; Земля — на  $4+6=10$ ; Марс — на  $4+12=16$ . Но смотрите, между Марсом и Юпитером происходит отклонение от этой, такой точной прогрессии. После Марса должно идти расстояние  $4+24=28$  единиц, на котором мы сейчас не видим ни планеты, ни спутника... После этого неизвестного нам расстояния получается орбита Юпитера на расстоянии  $4+48=52$  единиц, а дальше расстояние самого Сатурна  $4+96=100$  таких единиц. Какое удивительное соотношение!*

Почему закон планетных расстояний был назван не именем автора процитированной книги, а в честь двух немецких учёных — Тициуса и Боде? Орбиты каких неизвестных объектов, по мнению Тициуса и Боде, располагались между орбитами Марса и Юпитера?

**5.54.** За полстолетия до Ньютона был учёный, близко подошедший к пониманию роли силы тяготения во Вселенной. Он утверждал, что «два отдельных тела стремятся друг к другу, как два магнита» и что «если бы Земля и Луна не удерживались в пространстве какой-то силой, они упали бы одна на другую», а если бы «Земля перестала притягивать воду океана, то вся вода устремилась бы к Луне». Кто этот учёный?

**5.55.** Свою деятельность он характеризовал весьма скромно:

*Не знаю, чем кажусь я миру. Но себе я представляюсь ребёнком, который играет на берегу моря и собирает гладкие камни и красивые раковины, меж тем как великий океан глубоко скрывает истину от глаз его...*

Однако на его могильной плите современники написали:

*... Впервые объяснил  
Помощью своего математического метода  
Движение и формы планет,  
Пути комет, приливы и отливы океана.  
Он первый исследовал разнообразие световых лучей.  
И простирающиеся отсюда особенности цветов,  
Которых до того времени никто даже не подозревал  
Прилежный, проницательный и верный истолкователь  
Природы...*

Кто был этот учёный, и какой вклад в астрономию он внёс?

**5.56.** Прочитайте внимательно отрывок из произведения известного учёного:

*Во-первых, все небесные тела производят притяжение к их центрам, притягивая не только свои части, как мы это наблюдали на Земле, но и другие небесные тела, находящиеся в сфере их действия. Таким образом, не только Солнце и Луна оказывает влияние на форму и движение Земли, а Земля — на Луну и Солнце, но также Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн влияют на движение Земли; в свою очередь притяжение Земли действует на движение каждой планеты. Второе предположение состоит в том, что всякое тело, получившее однажды простое прямолинейное движение, продолжает двигаться по прямой до тех пор, пока не отклонится в своём движении другой действующей силой и не будет вынуждено описывать круг, эллипс или иную сложную линию. Третье предположение заключается в том, что притягивающие силы действуют тем больше, чем ближе тело, на которое они действуют, к центру притяжения. Что касается степени этой силы, то я не мог ещё определить её на опыте; но во всяком случае, как только эта степень станет известной, она чрезвычайно облегчит астрономам задачу нахождения закона небесных движений, без неё же это невозможно...*

Кому из учёных прошлого принадлежат эти догадки о гравитационном взаимодействии космических тел — Галилею, Гуку, Кеплеру, Копернику или Ньютону?

**5.57.** Известно высказывание французского математика, механика и астронома Жозефа Лагранжа (1736—1813) по поводу книги Галилея «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых наук», в которой было дано обоснование динамики:

*Открытие спутников Юпитера, фаз Венеры, солнечных пятен, и т. д., потребовали лишь наличия телескопа и известного трудолюбия, но нужен был необыкновенный гений, чтобы открыть законы природы в таких явлениях, которые всегда пребывали перед глазами, но объяснение которых тем не менее всегда ускользало от изысканий философов.*

Согласны ли Вы с мнением Лагранжа по поводу открытий Галилея?

**5.58.** В учебнике астрономии И. Ф. Полака так сказано о задаче трёх тел: *«Определение движения планеты под действием Солнца и только одной «возмущающей» планеты составляет математическую задачу необыкновенной трудности. Это так называемая задача трёх тел до сих пор ещё не решена в форме, пригодной для практических вычислений... Знаменитый математик Лагранж показал, что задача «трёх тел» может быть решена, если три притягивающие точки в начальный момент составляют равносторонний треугольник и имеют определённые скорости. Тогда они всё время будут сохранять одинаковое взаимное расположение; треугольник не изменит свою форму, он будет только поворачиваться»* (Полак, 1934, с. 154 и 225).

Имеет ли решение Лагранжа какое-либо практическое значение?

**5.59.** *«Наилучшее время для изучения Меркурия наступает тогда, когда в астрономических альманахах указано: Меркурий невидим.»*

Как следует понимать это утверждение Персиваля Ловелла?

**5.60.** Вот наблюдение, сделанное Никола Лакайлем во время путешествия на мыс Доброй Надежды:

*16 и 17 апреля 1751 года, находясь на море во время штиля, при чрезвычайно ясном небе, позволившем видеть Венеру на горизонте моря в виде звезды второй величины, я наблюдал свет сумерек, ограниченный дугой круга, совершенно правильной. Поверив свои часы по истинному времени при закате Солнца, я видел замкнутую дугу слитую с горизонтом и, по часу наблюдений, я вычислил, что Солнце находилось 16 числа на  $16^{\circ} 38'$ , а 17 числа на  $17^{\circ} 13'$  под горизонтом.*

Пользуясь наблюдениями Лакайля оцените высоту земной атмосферы способом, впервые предложенным Кеплером. Можно считать атмосферу однородной. Насколько полученный результат соответствует современным данным?

**5.61.** Вильям Гершель в 1783 г. утверждал: *«Сходство между Марсом и Землёй, быть может, наибольшее сравнительно со всеми другими членами Солнечной системы».* Придерживаются ли такого же взгляда современные астрономы?

**5.62.** Джованни Скиапарелли (1835—1910) писал:

*Многие уже из самых ранних наблюдателей Марса замечали на краю его диска два светлых пятна белого цвета, кругловатой формы и переменной величины. В то время как тёмные пятна на диске Марса, вследствие вращения этой планеты вокруг её оси, быстро меняют своё место, упомянутые белые пятна остаются почти неподвижными...*

Что представляют собой белые пятна на диске планеты? Почему они видны на краю диска? Из чего они состоят?

**5.63.** Иоганн Мёдлер (середина XIX века) заключил:

*Наблюдения сделали в высшей степени вероятным, можно сказать даже, несомненным, что тёмные пятна, видимые на диске Марса, представляют собой пространства, более или менее залитые водою, тогда как светлые части диска — это массы материков или острова.*

Докажите, что тёмные пятна на Марсе не могут быть водными пространствами.

**5.64.** Джованни Скиапарелли в конце XIX века писал:

*Мы уже говорили о необыкновенных периодических наводнениях, которым подвергается северная полярная область Марса. Они повторяются при каждом новом обороте планеты около Солнца и вызываются таянием снегов. Наводнение захватывает значительное пространство, распространяясь по целой сети каналов.*

В чём был не прав учёный?

**5.65.** Фред Уиппл, известный американский исследователь планет, в своей книге, изданной в 1941 году, пишет:

*Мы не в состоянии обнаружить признаков разумной жизни на Марсе. Читатель может составить своё собственное мнение. Если он считает, что... разумные существа могли когда-то развиться на Марсе, то ему остаётся только вообразить, что они продолжали существовать в течение бесчётного числа поколений в разреженной атмосфере, почти лишённой кислорода и воды, на планете, где ночи значительно холоднее наших арктических зим. Наличие разумной жизни на Марсе не невозможно, но совершенно не доказано (Уиппл, 1948, с. 228).*

Изменилось ли мнение учёных относительно существования разумной жизни на Марсе за прошедшие более чем полвека?

**5.66.** В 1781 году В. Гершель наблюдал интересный небесный объект:

*Во вторник 13 марта между 10 и 11 часами вечера, когда я изучал слабые звёзды в соседстве с  $\eta$  Близнецов, я заметил одну, которая выглядела большей, чем остальные. Удивлённый её необычным размером, я сравнил её с  $\eta$  Близнецов и небольшой звездой в квадрате между созвездиями Возничего и Близнецов и обнаружил, что она значительно больше любой из них. Я заподозрил, что это комета.*

Угловой размер диска объекта в течение следующих недель возрастал, поэтому Гершель сделал вывод, что объект приближается к Земле. Какое астрономическое тело открыл Гершель? Почему он принял его за комету?

**5.67.** В одном из произведений Кеплера есть такие строки:

*Хотя в Левании видны те же самые неподвижные звёзды, что и у нас, тем не менее, движения и размеры планет, там совершенно иные, и значит вся система астрономии должна быть отлична от нашей... Левания состоит из двух полушарий: одно обращено к Земле, другое — в противоположную сторону. С первого всегда видна Земля, со второго Землю увидеть невозможно... В Левании, как и у нас, происходит смена дней и ночей... Жителям Левании кажется, что она неподвижна, а звёзды вращаются вокруг неё, точно так Земля кажется нам неподвижной. Ночь и день вместе равны одному нашему месяцу.*

О вымышленном или реальном космическом теле идёт речь в данном отрывке?

**5.68.** *Проницательность есть способность путём догадки уловить существенные связи вещей в течение неощутимо малого времени... Наблюдая, что Луна всегда повернута освещённой стороной к Солнцу, вы вдруг осознаёте причину этого, догадываясь, что Луна светит отражённым солнечным светом.* (Аристотель).

Согласны ли вы, что научные, в том числе и астрономические, открытия делают только проницательные люди?

**5.69.** Леонардо да Винчи (1452—1519) утверждал в книге «Дневники и зарисовки»:

*И если бы кто-либо был на Луне, ему наша Земля... казалась бы столь далёкой Луной, как Луна и Солнце кажутся нам, и действовала бы на него так же, как Луна действует на нас.*

Какой модели мира придерживался Леонардо: гео- или гелиоцентрической?

**5.70.** Какие доводы в пользу шарообразности Луны привёл Галилей в своей книге «Диалог о двух системах мира»?

**5.71.** Карл В. Гаусс (1777—1855), немецкий математик и астроном, так рассуждал о жизни на Луне:

*Обитатели Луны, если они только существуют, должны быть совершенно иначе организованы, чем обитатели Земли; но отвергать в силу этого присутствие живых существ на Луне было бы необдуманно: у природы больше средств, чем воображает слабое человечество.*

Какие научные идеи содержатся в приведённой цитате?

**5.72.** Джон Гершель, обсуждая отражательную способность лунной поверхности, отмечал (Гершель, 1861, с. 294):

*Освещение Луны не ярче освещения скал из песчаника полным солнечным светом. Я часто сравнивал на мысе Доброй Надежды Луну при её захождении за отвесную Столовую гору, которую освещало Солнце, всходившее на противоположной стороне горизонта, и едва можно было заметить разницу в блеске между нею и скалою, казавшуюся с нею в соприкосновении.*

Каково должно быть положение на небе Луны и Солнца, чтобы проведённое Гершелем сравнение давало точный результат?

**5.73.** Галилей писал в своём «Звёздном вестнике»:

*Из наблюдений, неоднократно повторённых, мы пришли к заключению, что поверхность Луны не гладкая и не ровная и не в совершенстве сферическая, как полагал в отношении её великий легион философов, а напротив того, неровная, шероховатая, испещрённая углублениями и возвышенностями, наподобие поверхности Земли.*

Почему Галилей опровергает мнение именно философов, а не астрономов? В какие фазы Луны скорее всего проводил наблюдения Галилей, учитывая, что он пришёл к приведённым выше выводам относительно поверхности Луны?

**5.74.** Александр Гумбольдт (1769—1859), немецкий естествоиспытатель, в своей знаменитой книге «Космос» высказал такое мнение:

*Сравнивая, относительно их размеров, явления Луны с хорошо известными явлениями земными, нужно заметить, что большая часть валов и кольцеобразных гор Луны должны быть рассматриваемы как кратеры... извержений... но несравненно обширнее земных.*

Действительно ли лунные кратеры есть результат вулканических извержений?

**5.75.** Астроном и известный популяризатор науки Камиль Фламма-рион (1842—1925) в своей книге «Популярная астрономия» утверждал:

*Обитатели обращённого к нам лунного полушария могут наслаждаться созерцанием величественного небесного светила, которого нельзя видеть с Земли. Диаметр его почти в четыре раза больше лунного диаметра, как он виден с Земли, поверхность же в 14 раз превышает величину лунного диска. Это светило — наша Земля, представляющая «луну для Луны». Оно обладает замечательной особенностью оставаться неподвижным на небе, когда все другие светила движутся... Обитатели средины обращённого к нам полушария постоянно видят нашу планету в их зените; по мере удаления от центра высота её уменьшается, и на самых краях этого полушария наш земной шар представляется в виде огромного диска, лежащего на высоких горах. А по ту сторону ограничивающего это полушарие круга нас не видно бывает никогда.*

*Наша Земля, это громадное светило на лунном небе, представляет селенитам такие же фазы, какие мы замечаем на нашей Луне, но только в обратном порядке... Независимо от фаз наш земной шар представляет Луне явления своего вращения около собственной оси в 24 часа или, лучше сказать, в 24 часа 48 минут...*

Есть ли на Луне разумные существа? Только ли большие угловые размеры Земли на небе Луны определяют её яркость? Почему Земля, там, где она видна на небе Луны, имеет приблизительно постоянные горизонтальные координаты? Почему период вращения Земли для лунного наблюдателя составляет  $24^{\text{h}} 48^{\text{m}}$  (а точнее,  $24^{\text{h}} 50^{\text{m}}$ )?

**5.76.** Галилей в книге «Диалог о двух системах мира» так писал о природе Луны:

*... я считаю её вещество чрезвычайно плотным и прочным, не меньше, чем земное; очень ясным доказательством этого является для меня то, что её поверхность по большей части неровна и состоит из многих возвышенностей и впадин, обнаруживаемых благодаря телескопу; их этих возвышенностей многие совершенно похожи на наши особенно крутые и скалистые горы; можно заметить, что некоторые из них расположены там в длинные хребты и тянутся на многие сотни миль; другие образуют более тесные группы, есть там также много отдельных и одиноких утёсов, очень крутых и обрывистых, но особенно часто наблюдаются там какие-то очень высокие плотины (я пользуюсь этим словом, потому что не могу найти другого, более для этого подходящего); они замыкают и окружают равнины разной величины и образуют различные фигуры, по большей части круглые; большинство*

из них имеют посередине довольно высокую гору, и лишь немногие наполнены темноватым веществом, т. е. похожи на вещество больших пятен, которые видны невооружённым глазом; число же меньших и совсем маленьких чрезвычайно велико, и почти все они круглые.

Согласны ли вы с представлениями Галилея о природе Луны, полученными им на основании первых телескопических наблюдений?

**5.77.** Астронавт Нейл Армстронг, участник первой экспедиции на поверхность Луны (1969 г.), вспоминал:

*В последние секунды спуска наш двигатель поднял значительное количество лунной пыли, которая с очень большой скоростью разлеталась радиально, почти параллельно поверхности Луны. На Земле пыль обычно висит в воздухе и оседает очень медленно. Поскольку на Луне нет атмосферы, лунная пыль летит по плоской и низкой траектории, оставляя позади себя чистое пространство.*

Почему на Земле поднятая пыль висит в воздухе? Почему поднятая струями газа от работающего двигателя пыль на Луне разлеталась с очень большой скоростью? Почему частицы пыли летели почти параллельно поверхности Луны?

**5.78.** Нейл Армстронг рассказывал о передвижении американских астронавтов по поверхности Луны:

*Были использованы три способа движения вперёд: хождение, подскоки при ходьбе и бег вприпрыжку. Хождение использовалось для обычных операций около лунной кабины и для переноски грузов. Скорость хождения не превышала полуметра в секунду. При больших скоростях космонавт, делая шаг, как бы взлетал вверх. При беге вприпрыжку он обеими ногами одновременно отталкивался от поверхности. Последний способ оказался наиболее эффективным при передвижении на большие расстояния, так как достигалась скорость 1—1,5 метра в секунду, а на отдельных участках до 2,0 метра в секунду.*

Почему передвижение по Луне посредством обычной ходьбы оказывалось столь медленным? Почему передвижение путём прыжков дало наибольшую скорость?

**5.79.** За 150 лет до открытия в 1877 г. Асафом Холлом спутников Марса в одной знаменитой книге было написано, что с помощью небольших, но весьма совершенных телескопов астрономы «открыли две маленькие звезды или спутника, обращающихся вокруг Марса, из которых ближайший к Марсу удалён от центра этой планеты на расстояние, равное трём её диаметрам, а более удалённый — находится на расстоянии пяти таких же диаметров. Первый совершает своё обращение в течение десяти часов, а второй — в течение двадцати одного с половиной часа...». Движение этих спутников удовлетворяет третьему закону Кеплера.

В каком произведении содержатся сведения о спутниках Марса, опубликованные задолго до их открытия, и какова точность этого прогноза?

**5.80.** Кеплер в письме Галилею признавался:

*Я настолько далёк от сомнений по поводу открытия четырёх окружающих Юпитер планет, что страстно желаю иметь телескоп, чтобы по возможности опередить вас в открытии двух обращающихся вокруг Марса..., шести или восьми вокруг Сатурна и, вероятно, по одному возле Меркурия и Венеры.*

На чём основывались прогнозы Кеплера о существовании такого количества спутников у планет?

**5.81.** Известный популяризатор астрономии конца XIX века Агнесса Кларк утверждала:

*Наблюдателю, помещённому на Марсе, ближайший спутник представляет странное зрелище: он как будто изъят из общего суточного движения небосклона, встаёт на западе, заходит на востоке, кульмирует на юге два, иногда три раза в сутки.*

Покажется ли странным современному наблюдателю на Земле видимое движение небесного объекта, имитирующее поведение Фобоса на небе Марса?

**5.82.** На глинописных табличках Ассирийской царской библиотеки (VII в. до н. э.) была обнаружена следующая запись астрономического характера:

*Если Луна затмится, вам следует точно отметить месяц, день, час ночи, ветер, движение и расположение звёзд, среди которых произойдёт затмение.*

Умели ли в Ассирии предсказывать лунные затмения? Зачем наблюдателю нужно было фиксировать такое количество астрономических и даже метеорологических параметров?

**5.83.** В китайских государственных летописях упоминается о солнечном затмении 22 октября 2137 года до нашей эры, которое не было предсказано придворными астрономами:

*Господа Хи и Хо забыли о добродетели, предались непомерному пьянству, нарушили свои обязанности и оказались ниже своего ранга. Они впервые нарушили счёт времени по светилам. В последний осенний месяц, в первый его день Солнце и Луна, вопреки вычислениям, сошлись в созвездии «Фанг». Слепых известил барабан; бережливые люди были охвачены смятением; народ бежал. А господа Хи и Хо находились при своей должности; они ничего не слышали и ничего не знали.*

Эта история закончилась тем, что за халатное отношение к своим обязанностям астрономы Хи и Хо были казнены. Только ли из-за своей нерадивости китайские астрономы в то далёкое время не смогли предсказать солнечное затмение?

**5.84.** Рассуждения Э. Галлея о наблюдавшемся им полным солнечном затмении 3 мая 1715 года:

*За несколько секунд до совершенного исчезновения Солнца, увидели вокруг Луны светлое кольцо, имевшее ширину в  $1/12$  и может быть даже в  $1/10$  лунного диаметра. Цвет кольца был бледно-белый или*

жемчужный и показался мне слегка отливающим радужными цветами. Центр кольца, казалось мне, совпадал с центром Луны, из чего я заключил, что этим кольцом была лунная атмосфера. Но так как высота этой атмосферы значительно превосходила бы высоту земной, и к тому же некоторые наблюдатели заметили, что ширина кольца увеличивалась к западу от Луны, по мере приближения момента выступления; то я представляю мой вывод с неполным доверием. Я даже должен признаться, что не обратил на этот вопрос всего нужного внимания.

Что же на самом деле обнаружил Галлей?

**5.85.** Для наблюдения солнечных затмений астрономы часто выезжают в экспедиции, которые не всегда бывают успешными по причине плохой погоды. Тем не менее, даже в таких условиях астрономы стараются сделать полезные для науки наблюдения. Американский астрофизик Чарлз Юнг (1834—1908) пишет в своей книге «Солнце»:

*В августе 1887 года автор имел несчастье занимать станцию в 190 км к северо-востоку от Москвы. Небо было сплошь покрыто облаками, а дождь шёл в течение большей части затмения. В середине затмения мрак был едва ли больше, нежели при тяжёлой дождевой туче. Момент, когда началась полная фаза, не мог быть вообще определён сколько-нибудь точно. А её конец был отмечен с неточностью в несколько секунд. Всё время можно было читать мелкий шрифт (Юнг, 1914, с. 235).*

Почему освещённость на Земле даже во время полной фазы солнечного затмения оставалась достаточно высокой?

**5.86.** Во время полного солнечного затмения 1870 года основоположнику солнечной спектроскопии Ч. Юнгу удалось сделать замечательное наблюдение:

*Если установить спектроскоп таким образом, чтобы его цель была касательно к изображению солнца в точке соприкосновения [с лунным диском], то можно наблюдать очень красивое явление. По мере того, как Луна подвигается вперёд, остающийся серп солнечного диска становится всё уже и уже. В то же время тёмные линии спектра по большей части не обнаруживают чувствительного изменения, хотя и становятся несколько более напряжёнными. Между тем немногие линии начинают блекнуть. А некоторые за одну или две минуты до полной фазы затмения становятся даже слабо блестящими. Но вот солнце скрылось. Тот час же по всей длине спектра, в красном, зелёном, фиолетовом, почти внезапно сверкнули сотни и тысячи ярких линий. Они появляются так же мгновенно, как искры взорвавшейся ракеты, и так же быстро исчезают, так как всё явление заканчивается в какие-нибудь две или три секунды (Юнг, 1914, с. 72).*

Объясните наблюдение Юнга.

**5.87.** Во время кольцеобразного затмения Солнца 15 мая 1836 года английский астроном наблюдал и впервые описал интересное явление:

*Когда между острями серпа Солнца оставалось не более 40°, внезапно, кругом того края Луны, который вот-вот должен был*

*вступить и вырисоваться на диске Солнца, появился ряд светящихся точек, похожих на нитку ярких бус или чётков, неравных между собой по величине и насаженных на неравных расстояниях. Появление этих чётков было так быстро, что получилось впечатление, точно они вспыхнули, были подоожжены какой-то пороховой ниткой. Между тем Луна понемногу передвигалась далее по диску Солнца, и вот, тёмные промежутки между чётками вытянулись в длинные чёрные, широкие линии, которые соединяли края дисков Солнца и Луны. В начале, при своём образовании, эти тёмные промежутки имели совершенно вид высоких гор на Луне, а потом эти горы точно не могли оторваться от края Солнца. Вдруг чёрные нити лопнули все разом, края дисков Солнца и Луны в этом месте сделались такими же вполне гладкими и круглыми, как и по всему ободку, а Луна оказалась уже значительно подвинувшейся на диске Солнца.*

Как называется описанное явление? Кто автор открытия? Какова причина этого явления?

**5.88.** Чарлз Юнг приводит свидетельства наблюдателей солнечных затмений:

*Капитан Станниан в отчёте о затмении 1706 года, которое он наблюдал в Берне, замечает, что до выхода Солнца из тени в течение шести или семи секунд на западном крае была видна светящаяся полоса кроваво-красного цвета. Галлей и Лувилье наблюдали то же самое в 1715 году. Галлей говорит, что за две или за три секунды до выхода Солнца из тени длинная и очень узкая полоса мрачного, резко красного цвета... окрасила тёмный западный край Луны в том месте, где начинало показываться Солнце. (Юнг, 1914, с. 185.)*

Какое явление описывают эти наблюдатели? Почему цвет полосы красный?

**5.89.** В книге Ч. Юнга «Солнце» описано первое зафиксированное наблюдение «выступов» над краем солнечного диска, сделанное шведским астрономом Вассениусом:

*Во время полного затмения 1733 года он заметил три или четыре небольших розоватых облака. Они были совершенно отделены от лунного края и, как предполагал Вассениус, плавали в лунной атмосфере. В то время это было самым естественным объяснением явления. Ведь тогда не было ещё доказано отсутствие атмосферы на Луне.*

Далее Юнг пишет:

*Испанский адмирал Дон Уллоа в своём отчёте о затмении 1778 года описывает блестящую красным светом точку, которая появилась на западном краю Луны за  $1\frac{1}{4}$  минуты до появления Солнца. Первоначально небольшая и слабая, точка эта делалась всё ярче и ярче. Наконец, она погасла, когда вновь появился солнечный свет. Дон Уллоа предположил, что причиной этого явления послужило отверстие или щель в луне.*

Что в действительности видели упомянутые наблюдатели?

**5.90.** Популяризатор астрономии начала XX века Герман Клейн красочно описывает начало полного лунного затмения:

*На краю серебристого диска появляется тёмная закруглённая выемка. Она растёт, надвигается... и, наконец, в виде густой тени затягивает всю поверхность Луны. Затмение может продолжаться около двух часов. Сначала тень кажется серовато-чёрной, но когда она распространится по всему диску, появляется красноватый оттенок.*

Поясните последнюю фразу в приведённой цитате.

**5.91.** *Им суждено раствориться и рассеяться по всей Вселенной.* Каким небесным объектам И. Ньютон предсказал такую судьбу?

**5.92.** Много веков большинство астрономов вслед за Аристотелем считали кометы атмосферными испарениями, воспламеняющимися в виде огненных факелов. Однако другой крупный учёный древности отстаивал представление о кометах как космических телах:

*Комета имеет собственное место между небесными телами..., она описывает свой путь и не гаснет, а только удаляется. Не будем удивляться, что законы движения комет ещё не разгаданы; ... придёт время, когда упорный труд откроет нам скрытую сейчас правду... Только после долгого ряда поколений постигнут то, что мы не знаем. Придёт время, когда потомки будут удивляться нашему незнанию простых, ясных и естественных истин.*

Кто был этот учёный, и в какую эпоху были сказаны его мудрые слова?

**5.93.** Поэт писал:

*Нет, природа их создала вместе с теми звёздами,  
Что сияют для нас вечным светом с тверди небесной.  
Только их [кометы] привлекает к себе мощный Гелиос знойный:  
То погружает он в море лучей своих эти светила,  
То отпускает их вновь, как Меркурия или Венеру.*

В какие исторические времена могли быть написаны эти стихи?

**5.94.** Исаак Ньютон, наблюдая за яркой кометой 1680 года, пришёл к следующему выводу об эволюции хвоста кометы при её приближении к Солнцу:

*Приближаясь к Солнцу, вещество головы кометы постепенно нагревается и начинает испаряться в эфирную среду, заполняющую межпланетное пространство, которая таким образом и сама нагревается. От нагревания межпланетный эфир становится разреженным и движется по направлению от Солнца, увлекая за собой кометные испарения, подобно тому как горящий воздух, поднимаясь из печных труб, увлекает за собой частицы топлива и пара. С механической точки зрения кометные испарения отталкиваются от Солнца и движутся, сохраняя орбитальную скорость кометы.*

С какими предположениями Ньютона нельзя согласиться? Что за силы отталкивания действуют на частицы хвоста кометы?

**5.95.** Популяризатор астрономии Агнесса Кларк так — весьма образно — написала о предсказании Э. Галлеем очередного появления кометы, носящей теперь его имя:

*Комета Галлея корректно появилась вновь на святках 1758 года, достигла перигелия 12 марта следующего года и тем бесповоротно доказала, что по крайней мере некоторые из этих кочующих светил приручены в нашей солнечной системе, и, если они не соблюдают строго всех неписанных обычаев и приличий, то всё же повинуются коренным законам системы. Словом, было доказано самым неопровержимым из всех доводов — доводом оправдавшегося вычисления, — что движение комет может быть определено и предсказано вперёд.*

Каким законам подчиняются кометы? Почему, по мнению автора цитаты, «приручены» не все кометы? Какие «вольности» наблюдаются в движении и облике комет?

**5.96.** Василий Яковлевич Струве в своей работе, посвящённой прохождению кометы Галлея в 1835 г., утверждал:

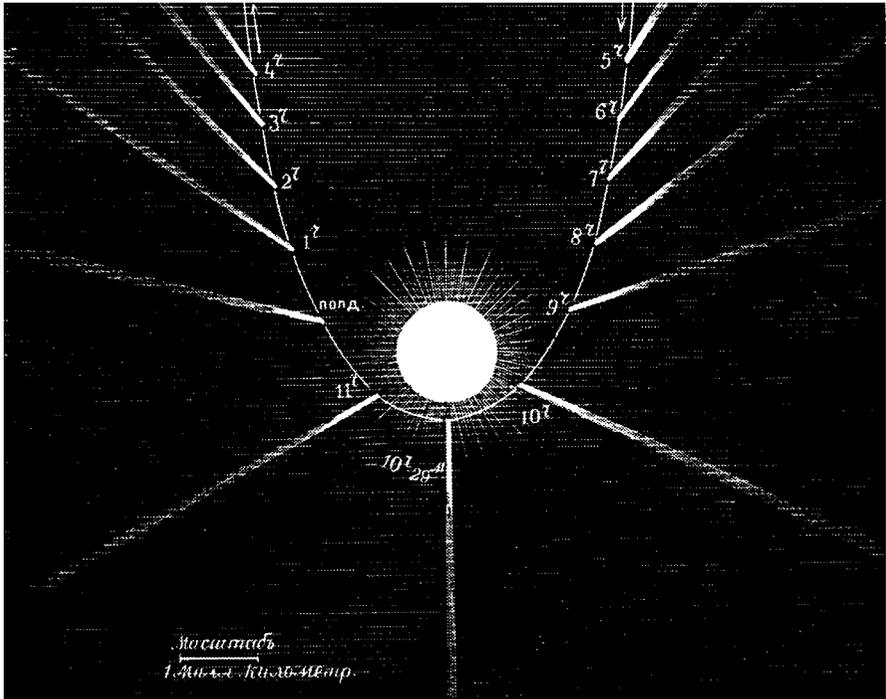
*По-видимому, самые блестящие [т. е. яркие] кометы суть те, которые возвращаются к Солнцу через огромные промежутки времени, или те, которые от времени до времени появляются совершенно неожиданно.*

Почему?

**5.97.** Фламмаринон в «Живописной астрономии» так описывает комету 1843 года:

*Комета прошла всего только в расстоянии 116 тысяч вёрст от раскалённой поверхности дневного светила, проникнув по всей вероятности чрез его водородную атмосферу, существование которой открыли нам полные солнечные затмения. От поверхности до поверхности было не более 50 тысяч вёрст. Но мы видели выше, что солнечный горн выбрасывает из себя такие огненные струи, многие из которых достигают 300 тысяч вёрст в высоту. Каким образом эта неосторожная небесная бабочка не обожглась, не сгорела дотла в этом пламени, невообразимый жар которого достигает многих сотен тысяч градусов и которое вместе со страшным могуществом солнечного притяжения должно было растерзать, испепелить, уничтожить эту несчастную искательницу приключений? ... А между тем эта странная посетительница наша вышла отсюда здоровой и невредимой, и в величественном движении её не произошло никакого расстройство...*

*При своём невообразимо быстром полёте комета употребила только два часа — от  $9\frac{1}{2}$  до  $11\frac{1}{2}$  — чтобы обогнуть всё солнечное полушарие, обращённое к её перигелию... Комета летела в это время с быстротой 516 вёрст в секунду (это самая большая скорость движущегося тела, которую до сих пор нам удалось измерить во всей вселенной). Сзади неё относительно Солнца тянулся громадный хвост в 300 миллионов вёрст длины, т. е. больше чем вдвое превышавший расстояние Земли от Солнца.*



К задаче 5.97. Прохождение кометы 1843 г. вблизи Солнца 27 февраля. Вдоль траектории указано среднее парижское время.

Наблюдались ли когда-либо другие подобные кометы, в перигелии проходящие близ поверхности Солнца?

**5.98.** Флетчер Ватсон в книге «Между планетами» пишет о первых фотометрических наблюдениях астероидов:

*Наблюдая Эрос в 1900 году, Оппольцер был удивлён, обнаружив, что его блеск сильно меняется. За 79 минут он ослаб на 1,5 звёздные величины. В течение следующего часа его блеск возрос до прежнего значения, но затем снова стал убывать. Полный период, охватывающий два максимума и два минимума, составил всего лишь 5 час. 16 мин. Это необычное поведение привлекло к себе особое внимание, причём удивление вскоре возросло, когда большие колебания постепенно начали замирать и через несколько месяцев вовсе исчезли.*

Объясните причину изменения блеска астероида Эрос.

**5.99.** И. Кеплер утверждал:

*Только Марс предоставляет нам возможность проникнуть в тайны астрономии, которые иначе оставались бы навсегда скрытыми от нас.*

Почему именно Марсу выпала такая важная роль?

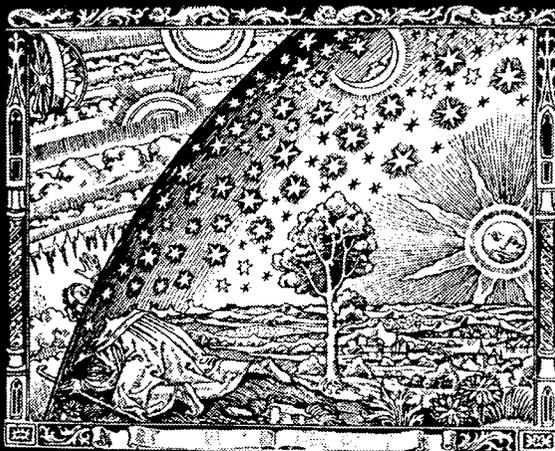
**5.100.** Альберт Эйнштейн поставил перед наукой великую задачу:

*Если говорить честно... мы хотим не только знать, как устроена природа (и как происходят природные явления), но по возможности достичь цели, может быть утопической и дерзкой на вид — узнать, почему природа является такой, а не иной.*

Решена ли задача, поставленная Эйнштейном?

### Примечания к разделу 5 (ссылки на источники цитат)

1. Аристотель, 1981, с. 85; Еремеева, Цицин, 1989, с. 23.
2. «Фрагменты ...», 1989, с. 165, 167.
3. Херрман, 1981, с. 43.
4. Фламарион, 1875, с. 169 (по переизданию 1994 г.).
5. «Фрагменты ...», 1989, с. 505.
6. «Фрагменты ...», 1989, с. 356, 358, 364.
7. Курбатов, 1950, с. 90.
12. Клейн, 1897, с. 298.
13. Куликовский, 1986, с. 52.
14. Жуков, Пронин, 1991, с. 92.
15. «Фрагменты ...», 1989, с. 217.
16. Клейн, 1898, с. 91; Еремеева, 1966, с. 225—226.
17. Перель, 1958, с. 138.
19. Вильвовская, 1994, с. 75.
21. Клейн, 1898, с. 28.
24. Белый, 1982, с. 43.
26. Циолковский, 1961.
30. Араго, 1861, с. 30—31.
32. Птолемей, 1998, с. 278 и 8 (в первой цитате *планеты* заменены на *блуждающие звёзды*); Идельсон, 1947, с. 19.
33. Мороз, 1894, с. 44.
35. Араго, 1861, с. 32—33.
38. Полак, 1934, с. 123.
39. Херрман, 1981, с. 47.
40. Коперник, 1964.
43. Коперник, 1986, с. 351. (Иной перевод: «Коперник», 1947, с. 188.)
44. Климишин, 1990, с. 224.
48. Гребеников, 1982, с. 37.
49. Вильвовская, 1994, с. 83.
50. Белый, 1971, с. 54, 71.
51. Еремеева, Цицин, 1989, с. 163.
52. Клейн, 1897, с. 10.
53. Симоненко, 1985, с. 14.
54. Полак, 1934, с. 137.
56. Боголюбов, 1984.
61. Кларк, 1913, с. 402.
65. Уиппл, 1948, с. 228.
67. Белый, 1971, с. 242.
68. Вознесенский, 1976, с. 27.
71. Клейн, 1897, с. 95—96.
72. Миннарт, 1969, с. 98.
74. Араго, 1861, с. 309.
75. Фламарион, 1897, с. 157—158.
79. Уиппл, 1948, с. 11; Полак, 1939.
81. Кларк, 1913, с. 415.
84. Араго, 1861, с. 413. (Иной вариант: Кларк, 1913, с. 106—107.)
87. Кларк, 1913, с. 100.
91. Кларк, 1913, с. 155.
92. Чурюмов, 1980, с. 6.
93. Мейер, 1902, с. 199.
94. Чурюмов, 1980, с. 51.
95. Кларк, 1913, с. 142.
97. Фламарион, 1897, с. 517.
98. Ватсон, 1947, с. 40.
99. Белый, 1971, с. 94.



# ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

## 1. Зарождение астрономии

**1.1.** Интерес к небу во все времена играл важную роль в духовной жизни человека, в том числе в мифологии, в религии и при формировании представлений об устройстве мира. Объекты астрономии — небесные светила — всегда были доступны для наблюдения. Строгая периодичность их движения позволила древним людям сформулировать простые правила для прогноза небесных явлений (первые теории!), нашедшие применение в повседневной жизни людей. Найти столь же простые законы для объяснения явлений земной природы, особенно живой, оказалось значительно сложнее. Поэтому физика и химия возникли позже астрономии, а биология, медицина, психология до сих пор находятся в стадии протонауки.

**1.2.** Развитие любой науки происходит вследствие практических потребностей человека, а также внутренних процессов в самой науке, внедрения в неё методов других наук и новых технических идей. Древнейшая часть астрономии — астрометрия — базировалась на визуальных угломерных измерениях положений светил на небесном своде. С изобретением телескопа родилась космография, изучающая внешний вид Солнца, Луны и планет. В основу небесной механики легли законы Ньютона. Эта наука позволила объяснить движение небесных тел. Астрофизика возникла в результате симбиоза астрономии и физических методов исследования. Звёздная астрономия изучает ансамбли космических тел, что стало возможным после разработки методов статистики. Вопросы происхождения и эволюции космических тел и их систем исследуют космогония и космология. Эти науки могли появиться только при наличии мощных инструментов и методов современной физики.

**1.3.** Кометы при движении должны были бы пересекать небесные сферы, которые, по представлениям древних учёных, являются прозрачными, но твёрдыми, сплошными образованиями. Правда, неясно, как бы нам удалось убедить древних философов в том, что кометы действительно приближаются к Солнцу и удаляются от него.

**1.4.** Точки и линии небесной сферы были введены древнегреческими учёными — Фалесом Милетским (VII—VI вв. до н. э.), Евклидом (III в. до н. э.) и др. Они были необходимы для построения систем сферических астрономических координат и для угломерных измерений.

**1.5.** Несколько тысячелетий назад в районе Северного полюса мира не было яркой звезды. Ориентация в ночное время проводилась по суточному вращению неба, которое надёжнее указывает направление восток—запад, чем север—юг.

**1.6.** В начале нашей эры точка пересечения небесного экватора и эклиптики находилась в созвездии Овна (Барана). Астрономический знак этого созвездия — стилизованное изображение рогов ( $\Upsilon$ ) и принят за знак точки весеннего равноденствия. Сейчас точка пересечения эклиптики и небесного экватора находится в созвездии Рыб, но историческое обозначение сохранилось, утратив первоначальную связь с созвездием.

**1.7.** Упомянутый закон носил чисто политический характер. До его принятия высшие магистраты имели право наблюдать за небесными явлениями накануне и во время народных собраний и, под предлогом того, что расположение светил неблагоприятно, могли распускать народные собрания. Данный исторический факт косвенно свидетельствует об интересе римлян к астрономическим явлениям.

**1.8.** Гиппарх открыл *прецессию* (предварение равноденствий) — смещение точки весеннего равноденствия по эклиптике навстречу годовому движению Солнца. Это происходит вследствие перемещения небесного экватора относительно эклиптики. Физический механизм годичной прецессии был понят только после создания механики.

**1.9.** Упомянутые явления совпадали в 3100 г. до н. э. В настоящее время из-за прецессии они разошлись на 43 дня.

**1.10.** Промежуток времени между сближениями Солнца с Сириусом на небесной сфере равен тропическому году, продолжительность которого была установлена древними египтянами в  $365,25^d$ . Высокая точность достигалась путём многолетних наблюдений: если одно сближение определялось с ошибкой в неделю, то через 300 лет наблюдений ошибка в определении периода этого явления составляла всего  $0,02^d$ .

**1.11.** Наблюдения показали, что одинаковые длины тени от гномона, измеренные в полдень дня зимнего солнцестояния, повторяются через 1461 сутки. За это время происходит четыре смены полных циклов природных сезонов. Отсюда древние китайцы поняли, что год не кратен суткам, и смогли достаточно точно определить продолжительность года в  $365,25$  суток.

**1.12.** Несомненно, начало календарного года имеет косвенную связь с астрономическими и погодными явлениями. В марте происходит переход Солнца из южного небесного полушария в северное, и день становится длиннее ночи. В сентябре происходит обратное явление, к тому же в это время заканчивается сельскохозяйственный год. В конце декабря наступает день зимнего солнцестояния, а 5—6 января Земля проходит перигелий своей орбиты.

**1.13.** В Древнем Китае с XXVI в. до н. э. существовал счёт времени по циклам, которые использовались вначале для счёта суток, а потом и лет. У древних китайцев исходными были представления о пяти первоэлементах (вода, огонь, металл, дерево, земля) и о 12-летнем цикле земных лет, носящих имена животных. Возможно, 12-летний цикл был как-то связан с цикличностью природных явлений, обусловленной активностью Солнца. Оба эти счёта составляли шестидесятилетний цикл. Шестидесятилетняя система счёта времени из Китая распространилась и в близлежащие азиатские страны. Существует также предположение, что в основе шестидесятилетней системы счисления лежит периодичность в движении Юпитера и Сатурна. За 60 лет Юпитер и Сатурн совершают почти целое число оборотов вокруг Солнца: Юпитер 5 раз ( $\times 11,86$  лет), Сатурн 2 раза ( $\times 29,457$  лет).

**1.14.** Самые первые измерения продолжительности земного года (Шумер и Древний Египет) дали результат 360 суток. Один градус, по мнению древних наблюдателей, — это путь, проходимый Солнцем по эклиптике за одни сутки.

**1.15.** Обычай измерять время семидневной неделей возник в Древнем Вавилоне. Неделя соответствует четверти синодического месяца и хорошо фиксируется по лунным фазам. Вавилонские астрономы обнаружили также, что число перемещающихся относительно звёзд ярких небесных объектов тоже семь: Солнце, Луна, Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн. Названия дней недели у некоторых европейских народов и в настоящее время основаны на именах упомянутых космических тел. Месяц как единица измерения времени первоначально связывался с периодом изменения лунных фаз (синодическим месяцем). Но следует заметить, что не у всех народов неделя содержала семь дней: например, у египтян она состояла из 10 дней, у майя и ацтеков — из 13.

**1.16.** Названия месяцев сохранились от старого римского календаря, в котором счёт месяцев начинался с марта. В этом календаре январь 11-й месяц, февраль — 12-й.

**1.17.** При установлении продолжительности суток в 24 часа использовалась десятичная система счисления, которая была изобретена в Египте раньше, чем в Индии. День делили на 10 часов и по одному часу добавляли на вечерние и утренние сумерки. Позднее на 12 часов была разделена и ночная часть суток, при этом ночные и дневные часы не были равными. Только с IV в. до н. э. был введён одинаковый час для любого времени суток.

**1.18.** С появлением железных дорог и телеграфно-телефонной связи возникла потребность в едином времени на больших территориях при сохранении преимуществ местного (среднего солнечного) времени. Такой вид счисления времени и получил название *поясного времени*.

**1.19.** Недоразумение с Гомером не имело бы места, если бы наша планета, перемещаясь в пространстве, выполняла только два рода движения — вокруг Солнца и вокруг собственной оси. Тогда на протяжении миллиардов лет над северным полюсом Земли красовалась бы одна и та же «Полярная звезда», например, привычная нам  $\alpha$  Малой Медведицы. Незаходящие звёзды для каждой данной широты земного шара всегда оставались бы незаходящими, а заходящие — вечно «купались бы в морских волнах».

Но это не так. Земля совершает не два, а значительно больше различных движений. В частности, она не только крутится вокруг оси, но и разворачивает свою ось, как запущенный на столе волчок. Существует два типа таких движений: небольшое раскачивание — нутация, — каждое колебание которого длится около 19 лет, и медленное широкое качание — прецессия, — заставляющее воображаемую ось Земли описывать довольно широкий конус: за 26 тыс. лет конец земной оси проходит на звёздном небе круг радиусом  $23,5^\circ$ .

Поэтому в разные времена земная ось бывает направлена на разные звёзды: сегодня роль «Полярной звезды» играет  $\alpha$  Малой Медведицы, а, скажем, 5000 лет назад эту роль исполняла  $\alpha$  Дракона, а через 12 000 лет Полярной звездой станет Вега —  $\alpha$  Лиры. При этом с течением времени одно и то же созвездие оказывается на разном удалении от полюса. Созвездие, которое раньше представлялось незаходящим для данной местности, удалившись от полюса, может перейти в разряд заходящих. Именно это произошло с Ковшом Большой Медведицы в Греции.

Вычисления показали, что 3000 лет назад, во времена Гомера, звёзды Ковша не приближались в Греции к горизонту ближе чем на  $11^\circ$ , так что действительно Медведица не «окунала своих звёзд в волны моря». Таким образом, стихи Гомера не только не дают права сомневаться в месте рождения великого поэта, но и, наоборот, подтверждают греческое происхождение поэмы.

**1.20.** Основное достоинство системы мира Птолемея — довольно точное описание видимых перемещений небесных тел.

**1.21.** Основной недостаток системы мира Птолемея — описание только видимых угловых перемещений небесных тел, что позволяло вычислять лишь направления на небесные тела. В модели Птолемея не делалось даже попыток определения структуры Солнечной системы.

**1.22.** Неподвижность Земли и круговой характер движения небесных тел.

**1.23.** Пространственное расположение небесных тел, признание их движения, обращение Луны вокруг Земли, возможность расчёта видимых положений светил.

**1.24.** Геоцентрическая модель мира постоянно усложнялась с таким расчётом, чтобы она наилучшим образом отвечала данным наблюдений видимого положения планет на небесной сфере.

**1.25.** Сохранена сфера неподвижных звёзд, ограничивающая мир; сохранено равномерное движение планет, эпициклы — отсюда недостаточная точность предсказания положения планет.

**1.26.** Круговая форма орбит и равномерность движения по ним космических тел.

**1.27.** Если центр вращающегося круга движется по прямой, то траекторией любой точки этого круга является циклоида. Если центр вращающегося круга сам движется по окружности, то точки круга выписывают эпициклоиды.

**1.28.** В модели мира Птолемея под *эпициклом* понимали дополнительную окружность, по которой движется планета, в то время как центр эпицикла движется по *деференту*, в центре которого находится Земля. Сочетание этих двух движений — по эпициклу и деференту — позволило не только качественно, но и количественно описать видимое движение планет. В современной астрономии также используют понятие *эпицикл*, когда говорят о траектории движения Солнца (или другой звезды) относительно точки, движущейся с таким же периодом по круговой орбите вокруг центра Галактики.

**1.29.** Периодическое движение планет представлялось в виде комбинаций равномерных круговых движений по деферентам и эпициклам. Этот подход аналогичен современному разложению периодической функции в ряд Фурье.

**1.30.** Основное наблюдаемое движение небесных светил — суточное вращение — выглядит как круговое; вероятно, по аналогии, и другие виды движений космических тел тоже представлялись круговыми. Под эту идею подводился и философский принцип: всё небесное считалось идеальным, а «идеальной» фигурой считалась окружность.

**1.31.** Движение верхних планет по главным эпициклам и нижних по деферентам есть отражение годового движения Земли вокруг Солнца. Период обращения верхней планеты по эпициклу равен одному году, центра эпицикла по деференту — сидерическому периоду обращения планеты. Для нижней планеты период обращения по деференту равен одному году. Уменьшение относительных размеров эпициклов отражало уменьшение размеров петель — чем дальше планета от Земли, тем меньшую петлю она описывает. Для далёких планет угловой размер петли примерно равен углу, под которым с этой планеты видна орбита Земли.

**1.32.** Движение планеты по эпициклу считалось равномерным. Но центр самого эпицикла перемещался по деференту сложнее: его угловая скорость принималась постоянной относительно не центра деферента, а некой вспомогательной точки (её называли *точкой экванта*), удалённой от центра на некоторое расстояние. При этом на та-

кое же расстояние от центра, но в противоположном направлении, считалась смещённой и сама Земля (см.: Бронштэн, 1988, с. 116). Как видим, система Птолемея была не совсем геоцентрической.

**1.33.** Гиппарх предположил, что центр Земли и центр орбиты Солнца не совпадают. Это позволило правильно представить изменение расстояния от Земли до Солнца в течение года. Кроме этого, по Птолемею, движение Солнца представляется равномерным не из центра его круговой орбиты — деферента, а из особой точки — точки экванта, расположенной симметрично центру Земли относительно центра деферента.

**1.34.** В точке  $P$  планета имеет самое быстрое прямое движение, так как здесь складывается её скорость по эпициклу и скорость эпицикла по деференту. В точке  $A$  планета имеет обратное движение, которому соответствует её положение в противостоянии. В точках между  $P$  и  $A$ , ближе к  $A$ , находятся точки стояний, где результирующая скорость планеты направлена к Земле или от Земли.

**1.35.** Нижние планеты кажутся земному наблюдателю «качающимися» наподобие маятника относительно Солнца, поэтому возникло естественное предположение, что они движутся вокруг Солнца, а оно, в свою очередь, совершает в течение года полный оборот вокруг Земли. Движение же верхних планет казалось связанным не с Солнцем, а с Землёй, поскольку они способны занимать произвольное положение относительно Солнца.

**1.36.** Тихо Браге в 1588 г. предложил компромиссную модель мира, в которой Солнце и Луна обращаются вокруг неподвижной Земли, а вокруг Солнца обращаются остальные пять известных тогда планет. Идея подобной модели мира была высказана ещё учеником Платона — Гераклидом Понтийским (388—315 до н. э.).

**1.37.** Движение Солнца по эклиптике, суточное движение звёзд, движение метеорных тел вне атмосферы Земли, движения ИСЗ и Луны.

**1.38.** В грубом приближении траектории движения планет относительно Земли есть эпициклоиды.

**1.39.** Вокруг Солнца по эллиптической орбите движется центр масс системы Земля—Луна, а каждый из этих объектов движется по своей орбите вокруг общего центра масс. Используя понятие относительности движения, можно считать, что гелиоцентрическая орбита Луны есть результат сложения её эллиптического движения вокруг Земли и переносного, вместе с Землёй, — вокруг Солнца. Результирующая орбита Луны представляет эллипс, в фокусе которого Солнце, а форма которого немного искажена влиянием Земли. Во всех своих точках гелиоцентрическая орбита Луны обращена вогнутостью к Солнцу. С геометрической точки зрения эта траектория, как и у планет, близка к эпициклоиде.

**1.40.** Траектории движения спутников планет-гигантов относительно Солнца близки к эпициклоиде и отличаются от неё тем сильнее, чем больше эксцентриситет орбиты спутника.

**1.41.** Модель мира Коперника заменила принцип геоцентризма на противоположный ему принцип гелиоцентризма. Однако в письме-предисловии Римскому папе Коперник пытался из тактических соображений внушить ему мысль, что в силу огромного размера сферы звёзд и малости планетных орбит Земля и в гелиоцентрической системе оказывается близка к центру Вселенной.

**1.42.** Теория Коперника (как и предшествовавшая ей теория Птолемея) описывает весь известный к тому времени мир. Звёзды включены в общую с планетами систему. Они расположены на сфере, центром которой служит Солнце.

**1.43.** Идея о подвижности Земли была высказана ещё древнегреческим учёным Аристархом (310—230 до н. э.). По его мнению, Земля обращалась вокруг тела, расположенного в центре мира (но не вокруг Солнца).

**1.44.** Аристотель был прав, но он не учёл гигантское расстояние до звёзд. Довод Аристотеля в пользу неподвижности Земли признавался учёными в течение почти 2000 лет, до XVIII века.

**1.45.** Из-за большой удалённости звёзд от Солнца размеры параллактических эллипсов, описываемых в течение года звёздами на небе, чрезвычайно малы. Впервые измерение параллактического смещения было проведено В. Я. Струве у Веги только в 1835—1837 гг. Следует отметить, что Птолемей не указывал на факт отсутствия параллактического смещения у звёзд как на доказательство неподвижности Земли, поскольку представление о практически бесконечном радиусе звёздной сферы было в его время уже общепринятым.

**1.46.** Коперник проводил измерения положений звёзд на небесной сфере при помощи примитивного прибора — трикветрума, состоящего из трёх деревянных линеек с делениями, закреплённых на шарнирах. Его прибор давал точность всего  $10'$ .

**1.47.** Явление аберрации света, т. е. изменения направления на источник, связано только со скоростью наблюдателя и не зависит от расстояния до источника света. Светила описывают аберрационные эллипсы оттого, что в течение года меняется направление движения Земли. Для наблюдателя на данной планете все звёзды и внегалактические объекты описывают эллипсы с одинаковой большой полуосью, численное значение которой называют *постоянной аберрации*. Для Земли её значение равно  $20,5''$ . С другой стороны, большая полуось параллактического эллипса зависит от расстояния до звезды. Для ближайших звёзд она не превышает  $1''$ ; для инструментов Бадлея это была недоступно малая величина.

**1.48.** На широте Оксфорда, где работал Бадлей, из ярких звёзд только  $\gamma$  Дракона в то время проходила близ зенита ( $z=3'$ ), где практически отсутствует атмосферная рефракция. Положение звезды вблизи полюса эклиптики делает и параллактический, и аберрационный эллипсы близкими к окружности, что повышает точность измерений.

Кроме того, при вертикальном положении телескопа его механические деформации минимальны, а контроль положения облегчён.

**1.49.** Механика, кинематика. Труд Коперника отвечал на вопрос «как движутся планеты?», но причины движения планет в нём не рассматривались.

**1.50.** 1) Открытие системы спутников Юпитера, показавшее, что не только вокруг Земли могут обращаться космические тела.

2) Открытие фаз Венеры, в том числе фазы «полной Венеры». В системе Птолемея Венера не могла оказываться в этой фазе.

**1.51.** «Солнце все с собой планеты водит» в системе мира Тихо Браге: именно он модернизировал систему Птолемея, «заставив» все планеты обращаться вокруг Солнца, а само Солнце с планетами — обращаться вокруг неподвижной Земли.

**1.52.** Как известно, Венера в своём видимом движении не удаляется от Солнца более чем на  $48^\circ$ . Поэтому если бы она обращалась вокруг Земли, её фазы по своему внешнему виду напоминали бы фазы Луны либо вблизи эпохи новолуния (если бы Венера была ближе к Земле, чем Солнце), либо вблизи полнолуния (если бы Венера располагалась дальше Солнца). Но ни в том, ни в другом случаях Венера никогда не достигала бы фазы «четвертей». А Галилей видел её и в этих фазах.

**1.53.** Все верхние планеты из-за удалённости почти всегда видны в фазе «полнолуния»; поэтому у них изменения фазы малозаметны. У Меркурия, как и у Венеры, наблюдается изменение фазы, но эта планета из-за близости к Солнцу очень сложна для наблюдения: Меркурий виден с Земли всегда близко к Солнцу и низко над горизонтом; в течение года его можно наблюдать лишь в короткие интервалы времени; к тому же угловой размер Меркурия существенно меньше, чем Венеры. Учитывая качество телескопа Галилея, поразительно, что он смог заметить даже фазы Венеры.

**1.54.** Поговорка верна. Луна движется недалеко от эклиптики, поэтому вблизи полнолуния зимой она находится почти там же на небе, где Солнце летом — близ северной части эклиптики. Следовательно, Луна зимой повторяет дневной путь Солнца в разгар лета, т. е. (в средних широтах) восходит на северо-востоке, поднимается высоко над горизонтом на юге и заходит на северо-западе.

**1.55.** Число галактик на единицу площади небесной сферы (если исключить полосу Млечного Пути) практически не зависит от направления. Из этого следует, что Вселенная локально изотропна, что соответствует принципу Кузанского. Более строгий подход утверждает, что об однородной и изотропной Вселенной можно говорить только в отношении масштабов, существенно больших типичного размера скоплений галактик.

**1.56.** Из принципа Кузанского следует пространственная однородность Вселенной, которая подтверждена экспериментально для больших объёмов, имеющих характерный размер  $\sim 100$  Мпк.

**1.57.** Признание идеального космологического принципа приводит к картине стационарной Вселенной, которая противоречит всему, что нам известно о Вселенной.

**1.58.** *Антропный космологический принцип*, утверждающий, что мы живём во Вселенной, в которой на данном этапе эволюции возникли благоприятные для жизни условия. Эти условия отчасти были заложены в самые первые мгновения существования нашей Вселенной, сразу после Большого взрыва (значения мировых констант, первичный нуклеосинтез, возмущения плотности материи). Но полностью они реализовались позже, когда Вселенная охладилась, а первое поколение звёзд синтезировало необходимые для жизни сложные химические элементы.

**1.59.** Видимое положение наблюдателя в центре небесной сферы; суточное вращение светил вокруг наблюдателя.

**1.60.** Космологическое разбегание галактик, центром которого, как кажется, служит сам наблюдатель.

**1.61.** Открытие закона Хаббла (1929 г.), утверждающего, что скорость удаления галактики пропорциональна расстоянию до неё. Из этого следует однородность расширения системы галактик и отсутствие выделенного центра.

**1.62.** Открытие закона всемирного тяготения.

**1.63.** Физические и химические исследования метеоритов, а позже — исследование лунного грунта.

**1.64.** Экспедиция Фернана Магеллана в 1519—1522 гг., двигаясь в западном направлении, впервые обогнула Землю. Когда участники экспедиции вернулись на родину, то обнаружили, что разошлись в счёте дней и чисел месяца с остававшимися на берегу жителями ровно на одни сутки: моряки «потеряли» эти сутки.

Дело в том, что путешественники, продвигаясь на запад, везде жили по местному солнечному времени, которое отстаёт от времени точки старта экспедиции. Постепенно подводя стрелки своих часов назад, к концу кругосветного путешествия моряки не досчитались одних суток. Если бы они двигались на восток, то им бы пришлось переводить часы вперёд и одни сутки оказались бы лишними.

Поясного времени тогда не существовало, но его введение после 1884 г. не изменило ситуацию принципиально: разница лишь в том, что теперь, путешествуя на большие расстояния по долготе, нам приходится переводить часы вперёд или назад на целое число часов, не меняя счёт минут и секунд.

Поэтому, во избежание ошибок в счёте дней, на поверхности Земли установлена линия перемены дат. Согласно международному соглашению она проходит по малонаселённым областям Северного Ледовитого и Тихого океанов вблизи меридиана  $180^\circ$ , отступая от него к западу — у островов Врангеля и Алеутских, к востоку — у полуострова Чукотка, островов Фиджи, Самоа, Тонгагабу, Кермадек и Чатам.

К западу от линии перемены даты число месяца всегда на единицу больше, чем к востоку от неё. Поэтому после пересечения этой линии с запада на восток необходимо уменьшить календарное число, а после пересечения с востока на запад — наоборот, увеличить на единицу. Это должен делать любой путешественник, который желает, чтобы его личный календарь совпадал с календарём той местности, где он в данный момент находится. Не имеет значения, передвигается ли он медленно — по морю, или быстро — по воздуху.

**1.65.** В эпоху открытия Америки новый стиль ещё не был введён.

**1.66.** Различие между юлианским и григорианским календарями (т. е. между «старым» и «новым» стилями) состоит в правиле счёта високосных лет. В юлианском календаре каждый четвёртый год (номер которого делится без остатка на 4) считается високосным и содержит день «29 февраля». А в григорианском календаре это правило дополнено: среди обычных годов високосные назначаются так же, как в юлианском; но среди вековых годов, оканчивающих столетия (например, 1700, 1800, 1900, 2000, и т. д.) високосными считаются только те, число столетий в которых делится на 4. Поэтому 2000 г. был високосным и в юлианском, и в григорианском календарях, а 1700, 1800 и 1900 годы были високосными в юлианском календаре, но не были в григорианском. Вот почему именно в вековые годы при переходе от февраля к марту по юлианскому календарю, когда в нём появляется лишнее (с точки зрения григорианского календаря) «29 февраля», разница между этими календарями увеличивается на 1 день; не происходит этого только в те вековые годы, число столетий в которых делится на 4.

Весь XX век разница между юлианским и григорианским календарями составляла 13 дней. В 2000-м високосном году она не изменилась. Теперь следует ждать очередного векового года — им будет 2100 г., високосный в юлианском и простой в григорианском календарях. Поэтому в момент наступления 29 февраля 2100 г. по старому стилю (т. е. по юлианскому календарю), соответствующий наступлению 14 марта 2100 г. по новому стилю (т. е. по григорианскому календарю) разница между этими календарями увеличится до 14 дней, т. е. ровно до двух недель.

Следует заметить, что один из авторов книги недавно допустил промах при решении этой задачи, указав в качестве ответа дату «1 марта 2100 г. по новому стилю» (Сурдин, 2002, задача 2.14). Это была не опечатка, а результат недостаточно глубокого анализа взаимосвязи юлианского и григорианского календарей. Принося читателям свои извинения, мы должны отметить, что ошибка эта типичная; как оказалось, она встречается в нескольких книгах по истории календаря и хронологии. Заметить и исправить эту ошибку помогло нам письмо профессора И. Х. Ганева (Болгария) от 23 апреля 1979 г., обнаруженное в архиве П. Г. Куликовского. Для полноты решения задачи

приводим величину поправок при переходе между новым и старым календарными стилями:

Даты по старому стилю	Поправка (сут.)	Даты по новому стилю	Поправка (сут.)
5/X 1582 — 28/II 1700	+10	15/X 1582 — 10/III 1700	—10
29/II 1700 — 28/II 1800	+11	11/III 1700 — 11/III 1800	—11
29/II 1800 — 28/II 1900	+12	12/III 1800 — 12/III 1900	—12
29/II 1900 — 28/II 2100	+13	13/III 1900 — 13/III 2100	—13
29/II 2100 — 28/II 2200	+14	14/III 2100 — 14/III 2200	—14

**1.67.** Для приближённой оценки достаточно сравнить блеск ядра кометы Галлея с блеском какого-либо известного тела Солнечной системы, расположенного приблизительно на том же расстоянии от Земли и от Солнца. Например, на расстоянии 9,6 а. е. от Солнца и 8,6 а. е. от Земли (в противостоянии) располагается Сатурн. Один из его спутников — Калипсо — имеет размер  $30 \times 16$  км и блеск около  $19^m$ . Разница в блеске на  $5^m$  соответствует 100-кратному отношению потоков света у Земли. Используя фотометрический закон (обратных квадратов), мы видим, что от такого тела, как Калипсо, но удалённого от Солнца и Земли на 11 а. е., освещённость у телескопа была бы меньше только в  $(11/9,6)^2 \cdot (11/8,6)^2 = 2,1$  раза. Значит, площадь сечения ядра кометы Галлея в 50 раз, а размер в 7 раз меньше, чем у Калисто, если их поверхности отражают свет одинаково. В этом случае диаметр ядра кометы был бы около 3 км.

Но непосредственные измерения показали иное: когда в 1986 г. ядро кометы с близкого расстояния изучили автоматические межпланетные станции (советские «Вега-1 и 2» и европейская «Джотто»), оказалось, что ядро кометы имеет картофелеобразную форму, длину около 15 км и ширину около 8 км, а его поверхность «чернее угля» (возможно, она покрыта слоем органических соединений, например, полимеризованного формальдегида). Такая тёмная поверхность отражает свет во много раз хуже, чем поверхность ледяных спутников Сатурна.

Вероятно, когда-то и поверхность ледяного ядра кометы Галлея была такой же светлой. Но, пройдя несколько раз вблизи Солнца, она потеряла легко испаряющиеся вещества и покрылась твёрдой тугоплавкой корой тёмного цвета. Проверить это путём прямого эксперимента, быть может, удастся в 2061 г., когда комета Галлея должна в очередной раз приблизиться к Солнцу. Впрочем, этого может и не случиться: есть подозрение, что знаменитая комета погибла 14 февраля 1991 г. на гелиоцентрическом расстоянии 14,3 а. е. Анализ последнего снимка, зафиксировавшего вспышку кометы Галлея, показал, что при этом из ядра было выброшено пылевое облако, яркость которого в 300 раз превосходила ожидаемую яркость кометы на таком расстоянии от Солнца. После этого больше не было получено

ни одного изображения кометы Галлея, хотя с помощью космического телескопа им. Хаббла её можно было бы наблюдать на любых участках орбиты, даже в афелии, где блеск кометы должен составлять  $29^m$ . По-видимому, с кометой Галлея что-то случилось. Дождутся ли её возвращения в 2061 году?

1.68. За время полёта корабля Земля повернулась на угол  $360^\circ \cdot 1,5^h / 24^h = 22,5^\circ$ . Следовательно, корабль опустился на широте Байконура и на  $22,5^\circ$  западнее него (в Саратовской области).

## 2. Развитие инструментов и методов исследований

2.1. Гномон, то есть вертикальный шест. При помощи него по длине тени от Солнца можно определить направление полуденной линии, широту места, наклонение эклиптики к экватору.

2.2. Астрономический посох — один из древних астрономических приборов. Позволяет определять высоту светил над горизонтом и угловое расстояние между звёздами.

2.3. *Эфемериды* — так назывались дневники событий при дворе Александра Македонского. Сейчас эфемериды — это сборники данных о предстоящих небесных явлениях, содержащие, в частности, координаты небесных светил в последовательные моменты времени.

2.4. Полусферический циферблат скафиса позволяет не только определить время, но также, используя равномерные шкалы, наглядно и быстро измерить зенитное расстояние и часовой угол Солнца.

2.5. При помощи экваториального кольца можно точно фиксировать момент равноденствия.

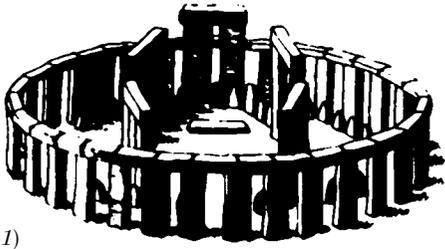
2.6. Кольцо Глазенапа позволяет путём простых наблюдений сверять часы, определять момент истинного полудня, находить широту места и наклонение эклиптики к небесному экватору.

2.7. Кроме Солнца на дневном небе невооружённым глазом видны два ночных светила — Луна и Венера.

2.8. Звёздные карты представляют собой проекцию участка сферы на плоскость, а потому масштаб не может быть одинаковым по всей карте. На звёздных глобусах масштаб по всей поверхности одинаков, но небо представлено с точки зрения внешнего наблюдателя, чего в принципе не может быть.

2.9. Из-за небольшого радиуса купола планетария его небесная сфера выглядит правильно только из той точки в центре зала, где установлен проекционный аппарат *планетарий*. Для большинства зрителей зенит оказывается смещённым к точке севера. А при наблюдении реальной небесной сферы в её центре всегда находится сам наблюдатель.

2.10. Доисторические обсерватории — Стоунхендж в Англии (рис. 1), Зорац-Кар в Армении (рис. 2) и др. — имели визирные камни, расположенные на горизонтальной поверхности, что позволяло, например, определять моменты равноденствий и солнцестояний.



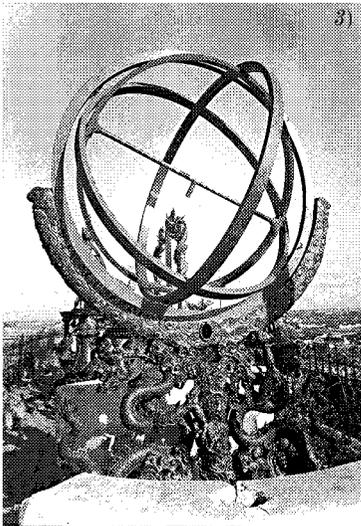
1)



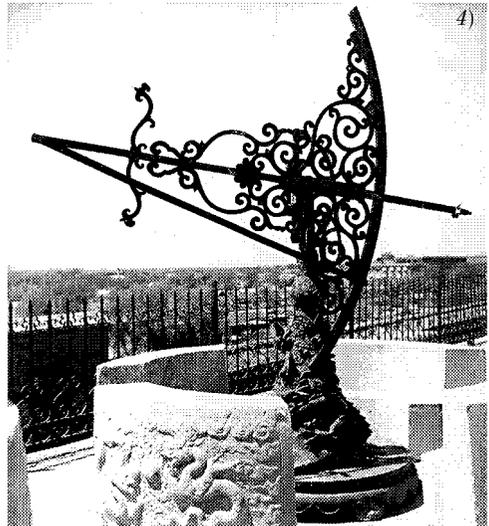
2)

К решению задачи 2.10. 1) Стоунхендж в Англии (реконструкция). 2) Мегалитический памятник Зорац-Кар в 250 км к юго-востоку от Еревана, датируемый II тысячелетием до н. э. В переводе с армянского «Зорац-Кар» означает «Каменное войско».

Разумеется, никаких куполов эти сооружения не имели. Вплоть до начала XVII в. на обсерваториях проводились только астрометрические наблюдения при помощи различных угломерных инструментов (квadrанты, армиллярные сферы, астролябии, скафисы и т. п.), состоящих обычно из системы диоптров с измерительными дугами. В тёплых странах они располагались на открытых площадках (рис. 3 и 4), но в Северной Европе меридианные инструменты сооружались в закрытых помещениях, больше похожих на дворцы и замки, чем на современные астрономические башни с куполами. Примерами могут служить обсерватория «Ураниборг» на острове Вен (рис. 5), принадлежавшая Тихо Браге, и павильон Оле Рёмера (1644—1710), датского астронома,



3)



4)

К решению задачи 2.10. 3) и 4) Эллиптическая армилла и секстант, установленные в 1674 г. в древней Пекинской обсерватории (1279 г.).

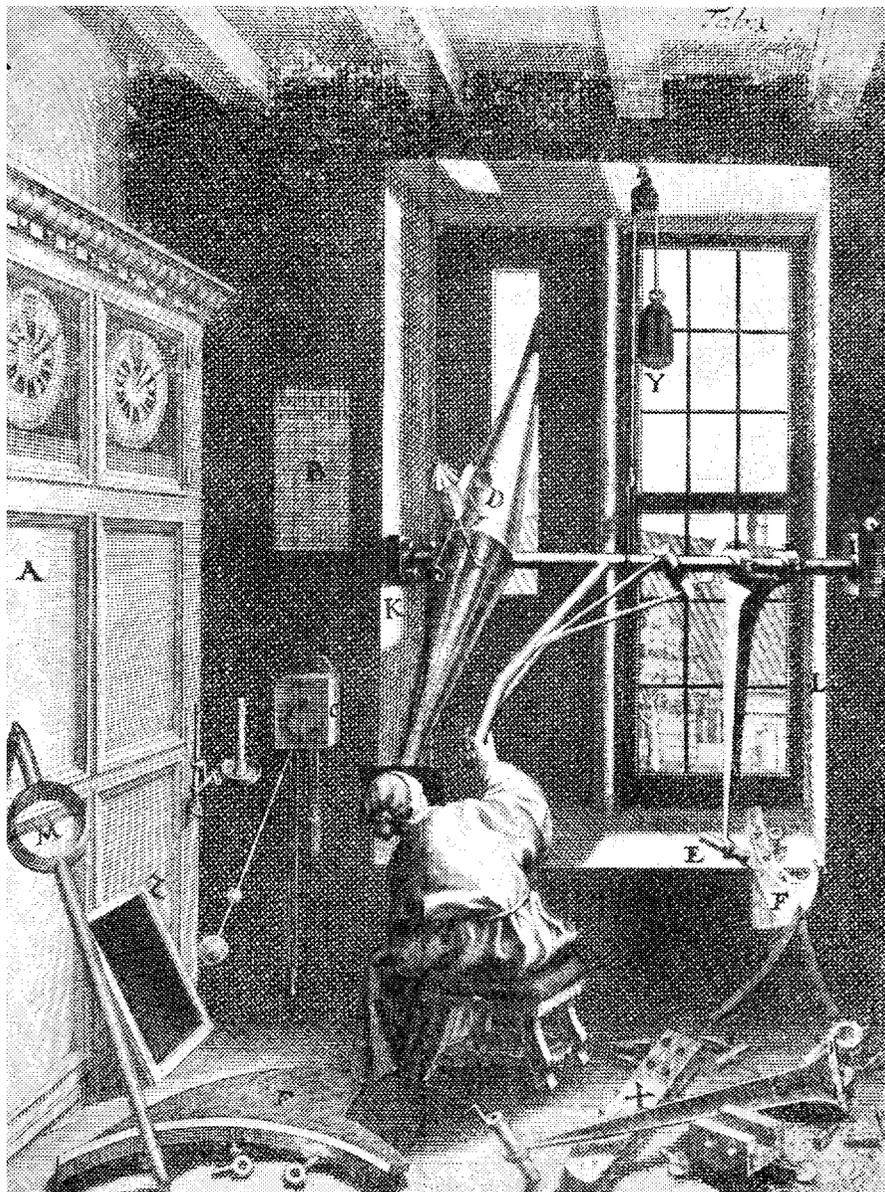


К решению задачи 2.10. 5) Обсерватория Тихо Браге «Ураниборг» на острове Вен.

впервые измерившего скорость света (рис. 6). До сих пор меридианные инструменты устанавливают в павильонах без поворотного купола, а лишь с раздвижной щелью.

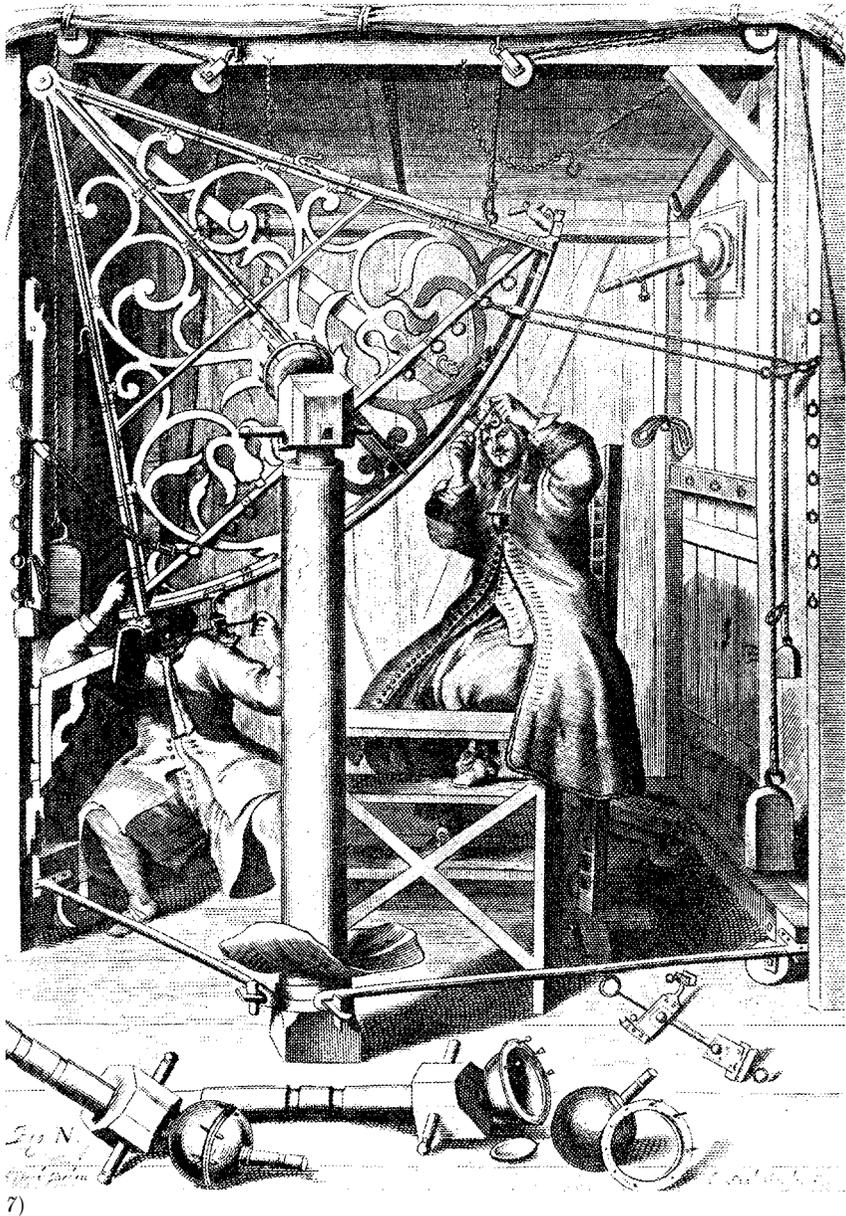
Одним из первых подвижный купол стал применять польский астроном Ян Гевелий (1611—1687), хотя для своих астрометрических наблюдений он использовал классический секстант без телескопа (рис. 7). Первые небольшие телескопы легко переносились и не требовали специальной башни. Совершенствование телескопа и возрастание его увеличения сделало ветер большой помехой для наблюдений (телескоп дрожал) и требовало постройки башен, однако в XVII и XVIII веках телескопы порой были столь длинны, что их невозможно было спрятать под купол. Появление компактных телескопов с ахроматическими объективами сделало возможной постройку специальных павильонов для наблюдений.

В современных обсерваториях конструкции башен для оптических телескопов чрезвычайно разнообразны: они имеют полусферические



6)

К решению задачи 2.10. 6) Наблюдает О. Рёмер.



К решению задачи 2.10. 7) Подвижный павильон Яна Гевелия — прообраз поворотного купола современной башни телескопа.

либо гранёные купола, откатывающиеся крыши, мягкие навесы и т. п. Рефлекторы радиотелескопов в большинстве случаев не имеют защиты от атмосферных осадков и ветра. Нейтринные обсерватории представляют собой сложные неподвижные технические сооружения, помещённые в глубоких шахтах.

**2.11.** Телескоп системы Галилея, с отрицательным окуляром, совершенно подобен обычному телеобъективу: он способен строить изображение далёкого объекта на экране, расположенном за окуляром. Вы можете проверить это с помощью театрального бинокля, имеющего ту же оптическую схему, что и телескоп Галилея. Окуляр должен находиться перед фокальной плоскостью объектива, но его следует выдвинуть настолько, чтобы мнимый фокус окуляра оказался ближе к экрану, чем фокус объектива. В этом случае на экране вы получите изображение объекта. Поэтому Галилею вовсе не обязательно было смотреть глазом на Солнце: он мог изучать его поверхность путём проекции изображения на белый экран, как это до сих пор делают астрономы.

**2.12.** Для параксиальных лучей, обычно используемых в астрономических приборах, упомянутая форма закона преломления даёт при расчётах хорошие результаты.

**2.13.** Этим недостатком однолинзовых объективов была их хроматическая аберрация. Поиск Ньютоном формы объективов для рефракторов, свободных от хроматической аберрации, привёл его к открытию зависимости показателя преломления от длины волны.

**2.14.** В то время не умели делать сложных ахроматических объективов, а чтобы простой однолинзовый объектив давал неокрашенное изображение, его фокусное расстояние должно быть очень большим. С таким телескопом легко было получить большое увеличение, но управлять им было очень сложно. В дальнейшем, когда научились изготавливать ахроматические объективы, телескопы стали существенно более компактными.

**2.15.** Телескоп-рефрактор с диаметром объектива более 1 метра практически невозможно изготовить: во-первых, трудно отлить столь крупный диск оптически идеального стекла; во-вторых, чем больше диаметр линзы, тем она толще, и тем больше поглощение света; в-третьих, каждое прохождение света через оптическую поверхность линзы приводит к потере 4—6% энергии. А у объектива рефрактора четыре таких поверхности.

Кроме того, тяжёлая линза деформируется собственным весом, и созданное ей изображение портится. Самые крупные из созданных до сих пор линз имеют диаметр 1,5 м, но это не полноценные объективы рефракторов, а специальные тонкие линзы особой формы — коррекционные пластины для зеркальных телескопов Шмидта. До сих пор крупнейшим линзовым объективом остаётся созданный в 1895 г. 40-дюймовый объектив рефрактора обсерватории Йеркса (США).

У телескопов диаметром более 1 метра объективы зеркальные. Астрономические зеркала тоже сделаны из стекла или подобных ему материалов; но если линзу можно поддерживать только по периметру, то зеркало — по всей площади тыльной поверхности, поэтому оно не прогибается под собственным весом. К тому же зеркало может быть значительно тоньше эквивалентной ему по диаметру линзы — ведь у зеркала работает только одна оптическая поверхность, а не весь объём, как у линзы. Например, две линзы йерского объектива диаметром 1,04 м имеют толщины 6,4 см (крон) и 3,8 см (флинт), а 8,2-метровое зеркало нового телескопа Европейской южной обсерватории в Чили имеет толщину всего 20 см.

В прошлом большим недостатком рефлекторов считалась недолговечность зеркального покрытия объектива. Но современная техника позволяет быстро восстанавливать потускневший за несколько лет зеркальный слой объектива, так что по всем параметрам сегодня телескопы-рефлекторы превосходят своих линзовых собратьев.

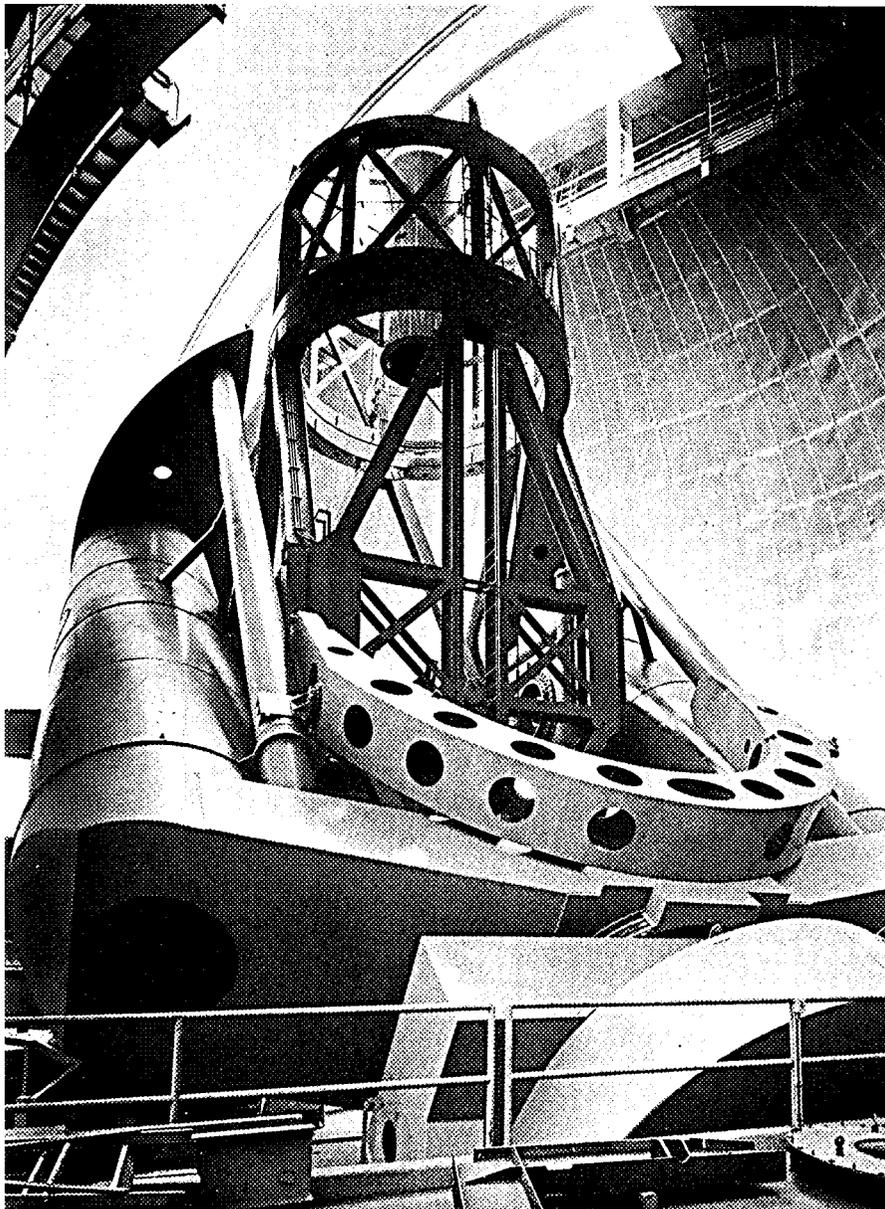
**2.16.** Рефракторы более предпочтительны для астрометрических наблюдений, так как деформация одной поверхности линзы при наклонном положении телескопа до некоторой степени компенсируется деформацией другой поверхности. Рефлекторы более эффективны в астрофизических наблюдениях (фотографирование и спектроскопия) из-за полного отсутствия у них хроматической аберрации и возможности создавать большие объективы.

**2.17.** В трубе Кеплера действительное изображение, создаваемое объективом, находится в фокальной плоскости окуляра. В этой плоскости можно поместить отчётливо видимые в окуляр кольца и нити, при помощи которых можно точно измерить небольшие угловые расстояния на небесной сфере и ориентацию объектов.

**2.18.** Изображённый на рисунке прибор — квадрант, представляющий собой четверть проградуированного круга с визирами. При помощи квадранта можно измерять высоты небесных светил. Для повышения точности квадранты Тихо Браге и Улугбека имели большие размеры. Современный астрометрический прибор с аналогичными функциями — меридианный круг.

**2.19.** Измерительные дуги визуальных инструментов этих астрономов имели большие радиусы кривизны. Например, квадрант Улугбека имел радиус 40 м.

**2.20.** С увеличением размера телескопа (т. е. диаметра его объектива) быстро возрастает вес (и стоимость!) самого инструмента, его монтировки и башни. При вращении телескопа переменные нагрузки на многотонное зеркало искажают его форму. Последним классическим крупным телескопом на экваториальной монтировке был Паломарский 5-метровый рефлектор, созданный в 1950 г. Следующий гигант, 6-метровый телескоп БТА АН СССР, построенный в 1976 г., уже имел альт-азимутальную монтировку, позволившую существенно сократить



*К решению задачи 2.20. 200-дюймовый телескоп им. Хейла, установленный в Паломарской обсерватории на юге Калифорнии (США).*

размеры самого инструмента и его башни, а также упростить систему разгрузки главного зеркала. Правда, при этом возникла проблема гидирования, т. е. слежения за небом, поскольку на такой монтировке требуется поворачивать телескоп одновременно по двум осям с переменной скоростью, а также вращать приёмник света в фокусе телескопа. Эта проблема была решена с помощью компьютера. С того времени все крупные телескопы устанавливаются только на альт-азимутальной монтировке.

Переход от объективов 5-метрового класса к 10-метровым потребовал расчленения зеркала на части. Мозаичные зеркала собирают много света и при этом очень легки; 10-метровые телескопы Кек-1 и Кек-2 имеют полноповоротную альт-азимутальную монтировку. Однако переход к зеркалам 20-метрового класса требует новых инженерных решений. Такие зеркала станут не только мозаичными, но и потеряют подвижность. Этому учит нас опыт создания крупных радиотелескопов: величайшие антенны мира неподвижно лежат на земле. Например, 305-метровая чаша в Аресибо использует для обзора неба небольшие перемещения приёмника в фокусе телескопа и, разумеется, вращение Земли.

Оптические телескопы такой конструкции также уже существуют. Например, 9-метровый телескоп Хобби—Эберли (Hobby—Eberly Telescope, HET). Его построили специалисты обсерватории Мак-Дональд (США) при участии астрономов из университетов США и Германии. Полный диаметр мозаичного сферического зеркала этого телескопа составляет 11 метров, но его действующая апертура «всего» 9,2 метра. Этот телескоп был создан в 1997 г. и назван именами двух меценатов, много сделавших для развития образования в США — Уильяма Хобби и Роберта Эберли. Он установлен на северной широте  $50^\circ$  и имеет альт-азимутальную монтировку, на которой может поворачиваться на  $360^\circ$  по азимуту и от  $40^\circ$  до  $50^\circ$  по высоте. Несмотря на первое впечатление о малой подвижности этого телескопа, ему доступны для наблюдений все объекты к северу от небесного экватора, т. е. ровно половина всей небесной сферы.

Успешная работа телескопа Хобби—Эберли позволила приступить к созданию следующего инструмента подобной конструкции: Предельно большого телескопа (Extremely Large Telescope, ELT) с зеркалом размером 33 м, у которого действующая апертура составит 25 м! Это гигантское сферическое зеркало будет собрано из 169 шестиугольных сегментов размером по 2,5 м. Его укрепят под постоянным углом  $55^\circ$  к горизонту, а наведение на объект будет происходить за счёт вращения конструкции по азимуту, а также за счёт вращения Земли и перемещения кабины наблюдателя в фокусе главного зеркала. Наблюдениями будет охвачена широкая полоса неба в диапазоне склонений от  $-10^\circ$  до  $+72^\circ$ . При этом любой объект можно будет сопровождать не менее часа. Исправление сферических aberrаций мозаичного зеркала будет поручено четырёхзеркальному корректору в главном фокусе. Диаметр поля зрения составит  $3,5'$ . В перспективе — создание подобных телескопов диаметром до 100 метров!

**2.21.** Изобретение окулярного микрометра позволило повысить точность угломерных измерений до  $1''$ .

**2.22.** Объективы рефракторов того времени страдали заметной хроматической аберрацией, вследствие чего различие в фокусных расстояниях для лучей разного цвета достигало нескольких сантиметров. Ахроматические объективы высокого качества получили распространение только в конце XIX века, хотя были изобретены ещё в середине XVIII в. (Джон Доллонд, 1757 г.).

**2.23.** С момента своего изобретения в 1609 г. телескоп выполнял две основные функции: 1) увеличивал видимый угол между светилами или деталями на поверхности небесных объектов, усиливая тем самым остроту нашего зрения; 2) собирал больше света, чем зрачок нашего глаза, усиливая этим проникающую способность зрения.

В XIX веке, после изобретения фотографии, у телескопа появилась ещё одна функция: он строит изображение наблюдаемых объектов на фотопластинке или других приёмниках света, позволяя полностью заметить глаз более объективными и чувствительными приборами.

Для наблюдений различного типа наиболее важна какая-то одна из трёх указанных способностей телескопа. Поэтому строят специализированные телескопы, у каждого из которых одна способность выражена лучше других. Например, астрометрические телескопы позволяют очень точно измерять углы на небе, но слабые звёзды и протяжённые объекты для них, как правило, недоступны. Существуют астрографы, в которых глаз астронома полностью заменён фотопластинкой или электронным приёмником света; они фиксируют слабые и протяжённые объекты. Есть солнечные телескопы, для которых важно не количество собранного света, а большой масштаб изображения. Есть телескопы для получения спектров слабых звёзд и галактик — вот они-то как раз должны собирать слабый свет с большой площади, поэтому их объективы самые крупные. Сколько задач у телескопов, столько разнообразных конструкций, поэтому нечасто встретишь два одинаковых профессиональных телескопа: у каждого из них своя специализация.

**2.24.** Лео не использовал сложные объективы, поскольку те дают дополнительные отражения от многочисленных поверхностей линз, усиливающие рассеянный свет. Для исключения хроматической аберрации использовался узкополосный светофильтр.

**2.25.** Для синхронизации выстрелов с каждого заякоренного корабля необходимо видеть разрыв снарядов, выпущенных с соседних кораблей. В простейшем случае можно считать, что наблюдение производится с уровня моря и вспышка наблюдается точно на горизонте. Если  $R$  — радиус Земли, а снаряд взрывается на высоте  $H$  над сигнальным судном, то по теореме Пифагора легко найти расстояние между судами:

$$L = \sqrt{(R+H)^2 - R^2} \approx \sqrt{2RH}.$$

Для  $H=2$  км получим  $L \approx 160$  км. Даже в этом предельно допустимом случае на трассе Лондон—Калькутта пришлось бы держать около 125 сигнальных судов.

На самом деле, для надёжного наблюдения вспышки и, тем более, измерения её высоты над горизонтом необходимо, чтобы вспышка наблюдалась на высоте не менее  $2-3^\circ$ . Поэтому придётся расставлять сигнальные суда чаще. Лишь при дистанции в 50 км их вспышки будут видны на высоте около  $2^\circ$  над горизонтом. Следовательно, по проекту Уистона и Диттона только на одной морской трассе Лондон—Калькутта для надёжной навигации пришлось бы держать сотни сигнальных судов.

Проблему определения долготы решили не артиллеристы, а часовщики и астрономы, снабдив в XIX веке всех корабельных штурманов секстантом, морским хронометром и астрономическим ежегодником с предвычисленными положениями небесных светил.

**2.26.** Стекло легче обрабатывается, чем металл, и имеет меньшую теплопроводность. Серебряное покрытие имеет большую (почти в 2 раза) отражающую способность, чем полированная бронза. Вторичное серебрение потускневшего зеркала технологически проще, чем повторная полировка металла. Метод серебрения стекла был открыт в середине XIX века, тогда и стали изготавливать стеклянные зеркала для телескопов.

**2.27.** Упомянутые типы рефлекторов и рефракторов использовались для наблюдения солнечных пятен и прохождения Венеры по диску Солнца. Стеклянная поверхность отражает всего около 3—4% падающего света, а серебряное покрытие передней поверхности объектива позволяет пропустить в телескоп только небольшую часть солнечного света.

**2.28.** Серебряное покрытие требует периодического обновления, оно механически непрочное. Алюминиевое покрытие при почти тех же оптических свойствах более прочно, хотя для его нанесения требуются специальные вакуумные камеры.

**2.29.** Солнечное излучение сильно нагревает трубу телескопа, отчего возникают мощные турбулентные потоки воздуха, портящие изображение Солнца. Вакуумный телескоп лишён этого недостатка.

**2.30.** В некоторых астрономических инструментах жидкие зеркала всё же применяются. Речь идёт о призмённой астробии Данжона и фотографической зенитной трубе, где используется неподвижный сосуд с ртутью — так называемый *ртутный горизонт*. Но параболические жидкие зеркала до недавнего времени, действительно, не использовались.

Причин непопулярности телескопов с жидкими зеркалами несколько. Во-первых, пары ртути ядовиты; при большом диаметре зеркала площадь испаряющейся поверхности так велика, что находиться рядом с таким инструментом опасно. Во-вторых, вращение сосуда с ртутью должно происходить чрезвычайно стабильно, ибо оно прямо

связано с фокусным расстоянием зеркала ( $F$ ), а значит, и с качеством фокусировки изображения:

$$F = \frac{gP^2}{8\pi^2},$$

где  $g$  — ускорение свободного падения,  $P$  — период оборота сосуда. Например, чтобы телескоп имел  $F=20$  м, сосуд должен совершать оборот за  $P=12,7$  секунд. Ещё одна техническая проблема — вызванная вращением тряска или турбулентные воздушные потоки, порождающие рябь на поверхности ртути. Роберт Вуд боролся с рябью и вредными испарениями, наливая на ртуть тонкий слой масла. Наконец, одна из важнейших причин непопулярности жидких зеркал — они «смотрят» строго в зенит; такой телескоп нельзя навести на произвольный объект и сопровождать его (для длительных экспозиций при фотографировании) без использования дополнительной оптической системы, например, сидеростата.

Однако в наши дни идея жидкого зеркала вновь стала популярной. Вначале вращающиеся сосуды стали применять изготовители твёрдых зеркал: в 1990-е годы при отливке 8-метровых зеркал для телескопов Южной европейской обсерватории впервые были использованы вращающиеся изложницы, чтобы придать застывающему материалу форму параболоида. Чуть позже начались эксперименты по использованию больших ртутных вращающихся зеркал для астрономических наблюдений. К 2001 году уже были созданы телескопы с жидкими зеркалами дифракционного качества диаметром от 2 до 6 метров. Подробнее см. на сайте Liquid Mirror Telescope — <http://www.astro.ubc.ca/LMT/>.

**2.31.** Главная оптическая ось вогнутого зеркала телескопа системы Ломоносова—Гершеля наклонена к оси трубы под небольшим углом. Для длиннофокусных телескопов возникающие при этом аберрации незначительны. Подобные оптические схемы используются в настоящее время в солнечных телескопах.

**2.32.** Учитывая наклон лунной орбиты к эклиптике ( $5,3^\circ$ ), суточный параллакс Луны ( $1^\circ$ ) и её радиус ( $0,25^\circ$ ), мы можем вычислить ширину полосы небесной сферы, в которой бывает видна Луна из различных точек на Земле:

$$L = 2 \cdot (5,3^\circ + 1^\circ + 0,25^\circ) = 13,1^\circ.$$

Площадь этой полосы, опоясывающей небесную сферу, составляет (в квадратных градусах,  $\square^\circ$ ) величину  $L \cdot 360^\circ = 4716 \square^\circ$ , а площадь небесной сферы равна  $4\pi \cdot (57,3\dots)^2 = 41253 \square^\circ$ . Поэтому лишь  $4680/41253 = 11,4\%$  неба доступны методу покрытий Луной. А поскольку это был очень плодотворный метод в астрономии всех диапазонов излучения, — от рентгеновской до радио, — то именно эти 11% неба в течение ряда лет были изучены заметно полнее, чем оставшиеся 89%, которые не посещает Луна.

**2.33.** Основным преимуществом этой оптической схемы, получившей название *куде*, является стационарное неподвижное положение главного фокуса, где с удобством может располагаться наблюдатель или могут быть установлены фотометрические или спектральные приборы.

**2.34.** Решётки из проволочек давали очень малую дисперсию. Стеклённые отражательные решётки, нарезаемые автоматическим образом, имеют большое число штрихов на единицу длины и, следовательно, большую дисперсию. Вогнутые дифракционные решётки позволяют сосредоточить большую часть излучения в каком-либо одном порядке спектра.

**2.35.** Кажущиеся угловые размеры звёзд возникают вследствие рассеяния света в мутной среде оптических компонентов глаза или фотоэмульсии. Яркие звёзды дают большее пятно рассеяния света.

**2.36.** Основная причина заключается в том, что публикуемые цветные изображения планет и спутников получают путём компьютерного синтеза трёх отдельных чёрно-белых изображений, сделанных через разные светофильтры. В целях большего эффекта цветовой контраст делается большим, чем он есть на самом деле. Вторая причина — это отсутствие в космосе влияния земной атмосферы.

**2.37.** Эффект Доплера слабо влияет на форму непрерывного спектра звёзд и поэтому мало изменяет их цвет. В 1848 г. Физо пришёл к выводу, что доплеровское смещение испытывают линии в спектрах Солнца и звёзд. Метод Доплера—Физо широко используется для определения относительных лучевых скоростей тел Солнечной системы, звёзд и галактик.

**2.38.** Расположив щель спектроскопа вдоль длинной оси проекции кольца Сатурна, Белопольский сфотографировал спектр и исследовал форму линий. Применение принципа Доплера показало, что близкие к планете части кольца имеют большую скорость обращения, чем дальние. Если бы кольцо было сплошное, твёрдое, то картина была бы обратной.

**2.39.** Во время весенних наблюдений Земля, очевидно, двигалась по направлению к звезде, а осенью — в противоположном направлении. К лучевой скорости звезды один раз прибавлялась, а другой раз из неё вычиталась скорость самой Земли. Полуразность наблюденных лучевых скоростей даёт орбитальную скорость Земли вокруг Солнца. Считая орбиту круговой, умножим скорость на число секунд в году и получим длину земной орбиты. А разделив её на  $2\pi$ , получим расстояние до Солнца.

**2.40.** Область вокруг Солнца фотографируют во время полного солнечного затмения, когда на небе появляются яркие звёзды. Через несколько месяцев ночью снова фотографируют эту же область неба. Затем сравнивают положения звёзд на обоих снимках.

**2.41.** Из формулы для центростремительного ускорения ( $a=v^2/r$ ) найдём значение  $v=\sqrt{ar}$ . Тогда для  $a=g$  получим  $v=\sqrt{gr}=5,4$  м/с. Это нормальная скорость бега для тренированного человека. Ориентация станции в данном случае никакого значения не имеет.

### 3. Изучение звёздного мира

3.1. Арабы совершали свои переходы в прохладное время суток — ночью. Безоблачное небо над пустынями способствовало интенсивным наблюдениям звёздного неба. При дворах правителей существовали астрономические обсерватории.

3.2. Около 3000 лет назад ближайшей к северному полюсу мира яркой звездой была именно  $\beta$  Малой Медведицы.

3.3. Антарес в переводе с греческого означает «соперник Марса». Эта звезда по своему красному цвету, блеску и близости к эклиптике похожа на Марс, когда тот находится в противостоянии.

3.4. Не указывают потому, что острота зрения у разных людей и условия наблюдения (прозрачность воздуха, яркость ночного неба) не одинаковы. К тому же, количество звёзд, доступных для наблюдения в течение года, зависит от широты места наблюдения.

3.5. До Байера положение звёзд описывалось по отношению к изображению мифической фигуры созвездия на звёздной карте. Фабриций указал, что он наблюдает звезду третьей величины в *шеке Кита*.

3.6. Обозначения переменных звёзд носят исторический характер. Ярким звёздам, отмеченным на звёздных картах буквами греческого алфавита, после открытия у них переменности были сохранены их обозначения. Остальные переменные звёзды обозначают буквами латинского алфавита от R до Z. Если переменных звёзд в созвездии много, то после Z вводят двухбуквенные обозначения от RR до ZZ, а затем от AA до QZ (из всех комбинаций исключают букву J, которую легко спутать с буквой I). После исчерпания всех указанных комбинаций букв следующие переменные обозначают буквой V с последующим номером переменной в данном созвездии. Поскольку указанных буквенных комбинаций всего 334, то «нумерованные» переменные начинаются с V335. Поэтому звезды под номером V334 в созвездии Стрельца или в любом другом созвездии не существует. Звезде V335 Стрельца предшествует переменная QZ Стрельца.

3.7. Скорее всего, старинные названия скопления Плеяды следует рассматривать как гиперболу, возможно, отражающую высокую концентрацию звёзд на небольшом участке неба.

3.8. Название дано по созвездию Цефея, в котором находится яркая звезда этого типа —  $\delta$  Цефея. Но она не была первой обнаруженной цефеидой. Открытие первой переменной этого класса —  $\eta$  Орла — было сделано Э. Пиготтом в 1783 г., за год до открытия переменности звезды  $\delta$  Цефея.

3.9. Все звёзды ММО расположены приблизительно на одинаковом расстоянии от нас, поэтому, обнаружив зависимость между видимым блеском цефеид и их периодом, астрономы догадались о связи между периодом и светимостью переменных звёзд этого типа. Для звёзд Галактики это было бы сделать значительно сложнее, поскольку для каждой из них пришлось бы определять расстояние, чтобы по видимому блеску

определить истинную светимость. К тому же дело осложнилось бы разным межзвёздным поглощением света в различных направлениях Млечного Пути (цефеиды — молодые звёзды, поэтому встречаются вблизи галактического экватора), тогда как для всех звёзд ММО поглощение света в межзвёздной среде нашей Галактики приблизительно одно и то же.

Однако для окончательного определения зависимости «период—светимость» необходимо было точно измерить расстояние хотя бы до одной из цефеид. Для этого обратились к цефеидам нашей Галактики. Поскольку некоторые из них довольно близки к Солнцу (но не ближе 300 пк) и входят в состав звёздных скоплений, расстояние до них определяется довольно уверенно несколькими независимыми методами. В последнее время при помощи астрометрических спутников удалось измерить и тригонометрические параллаксы нескольких цефеид, чтобы таким образом прямо определить расстояние до них. Однако точность этих измерений пока невелика.

**3.10.** 1) Смещения всех звёзд по эклиптической долготе произошли за счёт прецессии;

2) небольшое смещение всех звёзд по широте возникло за счёт изменения наклона небесного экватора к эклиптике;

3) значительные изменения эклиптических широт Альдебарана, Сириуса и Арктура произошли вследствие собственного движения этих звёзд в пространстве. Позднее и у других звёзд были открыты *собственные движения*.

**3.11.** Один из методов — измерение с интервалом в полгода смещения звезды относительно очень далёких звёзд или галактик.

**3.12.** Очевидно, основным требованием к подбору звёзд было ожидание измеримого параллакса. Вега — самая яркая звезда северного неба; к тому же она обладает заметным собственным движением. Вероятно, поэтому В. Струве посчитал её близкой звездой. Немаловажно, что на угловом удалении от неё всего в 43'' расположена слабая, более удалённая звезда, относительно которой удобно проводить угломерные измерения. Выбор других учёных также основывался на заметном собственном движении звёзд (61 Лебедя) и их высоком блеске ( $\alpha$  Кентавра).

**3.13.** Можно использовать путь, проходимый Солнечной системой относительно окружающих звёзд: по отношению к совокупности всех звёзд в пределах нескольких десятков парсеков Солнце движется со скоростью 4,2 а. е. в год. Вызванное этим движением Солнца систематическое смещение звёзд позволяет вычислить их *статистический параллакс* (Куликовский, 1985). Если проводить наблюдения десятки лет, то этот базис существенно превысит размер земной орбиты.

**3.14.** Метод Гершеля можно использовать только в том случае, если обе звезды имеют одинаковые абсолютные звёздные величины, и их блеск в одинаковой степени ослаблен межзвёздным поглощением света.

**3.15.** Гиппарх первым создал астрометрический каталог, включающий 850 звёзд с указанием их звёздной величины. Поскольку в то

время все звёзды считались находящимися на внутренней поверхности небесной сферы, в центре которой располагается Земля, то по мнению Гиппарха, звёздные величины характеризовали размеры звёзд.

**3.16.** По предложению Погсона разность в пять звёздных величин соответствует отношению блеска двух небесных светил ровно в 100 раз, что оказалось удобным при фотометрических вычислениях и практически не нарушило шкалу Гиппарха.

**3.17.** Гершель полагал, что все звёзды имеют одинаковую светимость.

**3.18.** Закон всемирного тяготения оказался справедливым и за пределами Солнечной системы.

**3.19.** Переведя парсеки в световые годы ( $1 \text{ пк} = 3,26 \text{ св. лет}$ ), мы узнаем время прохождения светом расстояния от Туманности Андромеды до Солнца. Оно равно  $690 \cdot 1000 \cdot 3,26 = 2,25 \text{ млн. лет}$ .

**3.20.** Мицар — первая открытая спектрально-двойная звезда. Периодическое раздваивание линий происходит вследствие эффекта Доплера, вызванного движением компонентов вокруг общего центра масс.

**3.21.** Упомянутые в задаче звёзды тоже являются спектрально-двойными (см. задачу 3.20), но в каждой из этих систем один из компонентов имеет столь низкую светимость, что его спектр не виден.

**3.22.** Всякая затменно-переменная звезда должна быть и спектрально-двойной звездой. У тесных двойных систем, орбитальная плоскость которых близка к лучу зрения, эффект спектральной двойственности выражен сильнее. Наиболее известным примером затменно-переменной звёзды, демонстрирующей спектральную двойственность, является Алголь, переменность спектра которого обнаружена в 1889 г.

**3.23.** Мнение А. А. Белопольского оказалось ошибочным. Изменение блеска цефеид объясняется периодическими пульсациями атмосфер этих звёзд, вызывающими как изменение светимости, так и изменение лучевой скорости фотосферы.

**3.24.** Направление на туманность Ориона близко к направлению антиапенкса Солнца. Очевидно, что большая составляющая лучевой скорости этой туманности определяется движением Солнца в системе отсчёта, связанной с ближайшими звёздами.

**3.25.** Если бы Солнце светило только за счёт гравитационного сжатия, то оно бы существовало как звезда не более 10 млн. лет. В настоящее время считается, что в звёздах выделение тепла за счёт механического сжатия происходит только на стадии формирования звезды из газо-пылевой туманности.

**3.26.** Очень высокая стабильность периода излучения указывает, что источник сигнала расположен не на поверхности вращающейся планеты и не на околозвёздной орбите, иначе период сигнала регулярно менялся бы вследствие эффекта Доплера.

**3.27.** Объекты с указанными свойствами могут существовать в рамках современной теории гравитации — общей теории относительности Эйнштейна. Это так называемые *чёрные дыры*. Их существова-

ние с высокой степенью вероятности доказано современной астрофизикой.

**3.28.** Сначала Гершель исходил из предположения о равномерном распределении звёзд в пространстве. В этом случае области очень плотного видимого распределения звёзд на небесной сфере должны были бы иметь вытянутую форму с направлением большой оси на Землю, что выглядело невероятным. Гершель понял, что такие области представляют собой скопления с большой пространственной плотностью звёзд.

**3.29.** Правильное предположение о природе Млечного Пути сделал Демокрит (IV—V вв. до н. э.). Правда, существует мнение историков астрономии, что звёзды Млечного Пути считались находящимися на сфере, а не в пространстве. Впервые разрешил Млечный Путь на звёзды Галилей в 1610 г. при наблюдении в телескоп.

**3.30.** Излучение слабых звёзд фиксируется «ночными» фоторецепторами глаза — палочками, имеющими наибольшую чувствительность в коротковолновой области спектра (около 510 нм). Вследствие этого все слабые звёзды любых спектральных классов дают ощущение голубовато-серого цвета. Избыток цвета в коротковолновой области спектра по сравнению с излучением чёрного тела имеет и серебро.

**3.31.** Исследуя Галактику, Гершель исходил из следующих (вообще говоря, неверных) предположений:

- а) звёзды распределены в пространстве равномерно;
- б) все звёзды имеют одинаковую светимость;
- в) космическое пространство считается абсолютно прозрачным;
- г) при помощи телескопа можно наблюдать самые удалённые звёзды нашей Галактики.

**3.32.** Наша Галактика перестала казаться самой крупной после того, как в 1950-е годы астрономы существенно пересмотрели шкалу межгалактических расстояний, «отодвинув» от нас примерно в 7 раз все внегалактические туманности (т. е. галактики) и увеличив этим во столько же раз их линейные размеры. Это не только сняло парадокс колоссального размера нашей Галактики, но и привело к уменьшению значения постоянной Хаббла  $\left( \text{с } 500 \text{ до } 75 \frac{\text{км}}{\text{с} \cdot \text{Мпк}} \right)$ , от которого зависит вычисляемый возраст Вселенной. Если до пересмотра шкалы расстояний он составлял всего 2 млрд. лет, что противоречило геологическим данным о возрасте Земли, то после пересмотра он достиг около 15 млрд. лет, в полном согласии с картиной эволюции Солнечной системы и звёзд.

Одной из главных причин, по которым старая шкала преуменьшала межгалактические расстояния, было то, что блеск ярчайших звёзд нашей Галактики сравнивался в далёких галактиках с блеском не отдельных ярчайших звёзд, а целых звёздных скоплений или областей ионизованного газа (эмиссионных туманностей), которые принимались

за отдельные звёзды. Были и другие причины. Работа над шкалой внутригалактических и межгалактических расстояний продолжается по сей день.

**3.33.** Расстояние от Земли до галактики БМО составляет 55 кпк. Как известно,  $1 \text{ пк} = 3,26 \text{ св. лет}$ . Поэтому свет достиг Земли примерно через 180 тыс. лет после того, как произошёл взрыв звезды. Вычислять точно год взрыва не имеет смысла, поскольку точность, с которой указано расстояние до галактики БМО, не превышает 2%.

**3.34.** Строение Солнечной системы подобно строению Галактики не только по форме, но и по сути, поскольку движение тел, из которых они состоят, подчиняется одним и тем же физическим законам (законам Ньютона и закону всемирного тяготения), и обе системы возникли в результате однотипных процессов.

**3.35.** В настоящее время считают, что причиной удивительного движения объектов Галактики является наличие в ней значительного количества тёмного вещества, проявляющего себя динамически, т. е. участвующего в гравитационном взаимодействии с другими компонентами Галактики, но не видимого ни в одном спектральном диапазоне. Природа тёмного вещества, так называемой «скрытой массы», пока достоверно не известна.

**3.36.** В 1860-х годах исследования английского учёного В. Хёггинса и датского астронома Г. Л. Арреста показали, что многие внегалактические (т. е. наблюдаемые за пределом полосы Млечного Пути) туманности имеют непрерывный спектр, аналогичный спектрам звёзд. Поэтому родилось предположение, что эти туманности состоят из множества неразрешимых по отдельности звёзд, а значит, находятся неизмеримо дальше самых удалённых звёзд нашей Галактики и, следовательно, являются самостоятельными звёздными системами. Но доказать это удалось нескоро.

**3.37.** В плоскости нашей Галактики содержится много пыли, что затрудняет наблюдения внегалактических объектов. В перпендикулярном направлении, напротив, пространство наиболее прозрачно. Более того, в направлении северного полюса Галактики лежит центральная часть так называемого *Местного сверхскопления* галактик, в самом центре которого располагается крупное скопление галактик в созвездии Девы (Virgo).

**3.38.** Несколько ближайших галактик образуют гравитационно связанное скопление — Местную группу галактик. Движение её членов подчиняется взаимному притяжению и происходит хаотично, как у звёзд в шаровом скоплении: одни члены движутся к центру, другие — от него, но в целом система стабильна. Сама же Местная группа как целое движется по отношению к другим группам и скоплениям галактик в соответствии с расширением Вселенной, подчиняясь закону Хаббла.

**3.39.** Галилей первым обнаружил, что планеты могут иметь системы спутников.

**3.40.** Пифагорейцы (VI—V вв. до н. э.), последователи Пифагора, утверждали, что зародышем будущей Вселенной была «Огненная

единица», которая росла за счёт беспредельной среды, и из которой возникли космические тела.

**3.41.** В 1965 г. было открыто космическое микроволновое излучение, названное *реликтовым*; это явилось неопровержимым доказательством горячего и плотного состояния Вселенной на раннем этапе её существования.

**3.42.** Иерархическая структура материального мира действительно имеет место, включая в себя не только мегамир, но и микромир. Однако большинство современных учёных считает, что иерархия материальных тел и систем ограничена как снизу, так и сверху.

**3.43.** В современном понимании Метагалактика — это наблюдаемая область Вселенной. Граница Метагалактики определяется проникающей способностью астрономических инструментов. Существует принципиальный предел, обусловленный конечностью скорости света и разбеганием галактик. Таким образом, Метагалактика не образует систему.

**3.44.** Первой удачной попыткой теоретически разрешить парадокс Шезо—Ольберса была идея Карла Шарлье об иерархической структуре Вселенной. Согласно ей, Вселенная представляет собой бесконечную совокупность входящих друг в друга систем всё возрастающего порядка сложности; отдельные звёзды образуют галактику первого порядка, совокупность галактик первого порядка образует галактику второго порядка (Метагалактику); совокупность галактик второго порядка образует галактику третьего порядка и так до бесконечности. Если при этом с переходом к системам более высокого порядка их средняя плотность прогрессивно уменьшается, то снимаются как фотометрический парадокс Шезо—Ольберса, так и второй космологический парадокс — *гравитационный*, сформулированный Хуго Зелигером (1849—1924), согласно которому в рамках ньютоновской теории тяготения в бесконечной Вселенной при бесконечно большой её массе сила тяготения не имеет определённой конечной величины.

Однако идея Шарлье была опровергнута наблюдениями: с возрастанием пространственного масштаба средняя плотность Вселенной стремится к конечному значению. Космологические парадоксы нашли своё решение в рамках нестационарной модели Вселенной, предполагающей, что её возраст ограничен. Что касается фотометрического парадокса, то количество наблюдаемых звёзд ограничено *космологическим горизонтом*, т. е. расстоянием, которое проходит свет за время от начала Большого взрыва. Поэтому число видимых звёзд конечно, а доля неба, покрываемая звёздами ничтожно мала. К тому же, из-за доплеровского смещения излучение звёзд других галактик смещается также в длинноволновую область спектра, тем самым дополнительно ослабляя их свет в оптическом диапазоне.

**3.45.** Во-первых, как впервые показал академик В. Г. Фесенков (1889—1972), при взаимодействии света с веществом в основном

происходит рассеяние излучения, а не его истинное поглощение. Во-вторых, в однородной стационарной Вселенной, заполненной вечно светящимися звёздами, межзвёздное вещество нагрелось бы до температуры звёздных фотосфер и сияло бы так же, как звёзды.

**3.46.** Суть идеи о тепловой смерти Вселенной заключается в необратимости рассеяния внутренней энергии. Второй закон термодинамики утверждает, что энтропия замкнутой системы постоянна или увеличивается. Больцман признал, что нормальным состоянием Вселенной является состояние теплового равновесия. Однако в бесконечном объёме могут возникать сколь угодно большие области неравновесного состояния вещества — флуктуации. Например, расширяющаяся Метагалактика может представлять собой неравновесную область Вселенной — гигантскую флуктуацию.

**3.47.** Бесконечная Вселенная не может иметь центра.

**3.48.** Николай Кузанский полагал, что в случае ограниченной Вселенной необходимо было бы допустить нечто, находящееся за её пределами, а это противоречит определению Вселенной как включающей в себя всё сущее.

**3.49.** Только в бесконечной Вселенной могут существовать многочисленные центры гравитации, приводящие к формированию отдельных тел, например, звёзд. В конечном же объёме рано или поздно должен произойти коллапс вещества в единое тело.

**3.50.** Комета 1882 года, прошедшая от поверхности Солнца всего на расстоянии полумиллиона километров, имела после перигелия полностью симметричную орбиту, что указывало на отсутствие тормозящих свойств не только околосолнечного пространства, но и космического пространства вообще. Стабильность орбит планет также доказывает отсутствие «космического эфира».

**3.51.** Коперник.

**3.52.** Судя по описанию, была первая половина ночи. Луна стояла высоко, выше соседнего дома. Следовательно, она была в довольно развитой фазе, вероятно, между первой четвертью и полнолунием и, к тому же, — выше эклиптики. Судя по её положению относительно Млечного Пути, Луна была в созвездии Овна, а Солнце — в районе Весов. Такое положение Солнца действительно соответствует поздней осени. Поэтому с точки зрения расположения светил замечаний к тексту нет.

Однако вызывает большие сомнения возможность увидеть Млечный Путь в городе, при свете лампы, сквозь окно, да к тому же — при яркой Луне.

**3.53.** Физические характеристики, приписываемые гипотетическим D-телам, в наибольшей степени совпадают с параметрами реальных объектов — нейтронных звёзд.

**3.54.** Расширение звёздных ассоциаций, активность ядер сейфертовских и маркарянских галактик, громадную активность ядер радиогалактик и квазаров.

## 4. Познание Солнечной системы

**4.1.** Недостаток метода Аристарха в том, что трудно установить точные моменты наступления лунных четвертей. (Ещё труднее установить моменты новолуния и полнолуния, но этого и не требуется, поскольку в расчётах можно использовать половину времени от последней четверти до первой и от первой до последней.) По измерениям Аристарха, угол между центрами дисков Луны и Солнца в момент первой четверти оказался равным  $87^\circ$ , а на самом деле он составляет  $89,8^\circ$ . Тангенсы этих углов, определяющие расстояние до Солнца, различаются в 15 раз.

**4.2.** Выделить центр яркого солнечного диска и найти его положение относительно звёзд, которые почти не видны в дневное время суток, чрезвычайно сложно. Точность такого метода была бы весьма мала. Поэтому параллакс Солнца определяют косвенными методами из наблюдений планет.

**4.3.** Ошибка определения моментов контакта Венеры с диском Солнца доходит до целой минуты и поэтому сильно влияет на точность искомого результата. Неточности в определении времени, по-видимому связаны с наличием у планеты обширной атмосферы и явлением иррадиации.

**4.4.** Недостаток метода определения параллакса Солнца по наблюдениям Марса состоит в том, что не удаётся навести нить микрометра на край диска планеты с такой же точностью, как на звезду. Очевидно, что для достижения большей точности надо использовать параллактическое смещение звездообразных объектов Солнечной системы — астероидов.

**4.5.** Большинство малых планет находятся от Земли дальше, чем Марс, и поэтому из-за малости их параллаксов не удаётся с достаточной точностью определить параллакс Солнца. Наиболее удобным для этого оказался открытый в 1898 г. астероид Эрос, который, двигаясь по эллиптической орбите, подходит к Земле в 2,5 раза ближе, чем Марс.

**4.6.** Вследствие движения Земли по орбите линии в спектрах звёзд периодически смещаются относительно своего среднего положения; особенно заметен этот эффект в спектрах эклиптикальных звёзд. Считая такое смещение доплеровским, можно найти орбитальную скорость Земли и, зная продолжительность года, вычислить радиус земной орбиты.

**4.7.** При перемещении человека по поверхности Земли даже на тысячи километров угловые размеры Солнца не изменяются, что свидетельствует об очень большом расстоянии до него. При обращении Земли вокруг Солнца последнее всегда представляется в виде диска, а это может быть, если Солнце — шар. Несамосветящиеся тела на Земле при освещении их солнечными лучами имеют различный цвет, что указывает на наличие в спектре Солнца излучения разных длин волн. Человек может смотреть на любые раскалённые земные предметы (нить накала электрической лампочки, расплавленный металл

и т. д.), но он не может безболезненно смотреть на Солнце. Из этого следует, что яркость поверхности Солнца, а значит, и его температура выше, чем у раскалённых земных предметов, т. е. выше нескольких тысяч градусов. При такой температуре вещество Солнца может находиться только в газообразном или плазменном состоянии.

4.8. Солнечные пятна рассматривались как участки твёрдой холодной поверхности светила, видимые в разрывы светящихся белых облаков.

4.9. В русских летописях отмечено наблюдение крупных солнечных пятен сквозь дым: пятна были видны «аки гвозди». Европейские летописцы отмечали появление пятен в 807, 840, 1096 и 1607 гг. Первым из учёных наблюдал солнечное пятно на экране большой камеры-обскуры И. Кеплер в 1607 г. Солнечные пятна можно наблюдать в высоких тёмных помещениях, например, в церквях, поскольку в них нередко возникают условия классической (дырочной) камеры-обскуры (Сурдин, 2000).

4.10. Вслед за Кеплером в конце 1610 г. пятна на Солнце вновь открыл уже при помощи телескопа Г. Галилей и почти одновременно с ним англичанин Т. Херриот, голландец Й. Фабрициус и немец Х. Шейнер. Кеплер и Шейнер предполагали, что наблюдавшиеся объекты — нижние планеты. Окончательно принадлежность пятен к поверхности Солнца была подтверждена после открытия изменений их формы и перемещений по диску, а также изменения формы пятен из-за перспективного искажения на краю диска (эффект Вильсона).

4.11. Вращение Солнца было обнаружено благодаря движению пятен по солнечному диску (Й. Фабрициус, Г. Галилей).

4.12. Ещё Х. Шейнер в 1630 г. высказал предположение, что пятна, находящиеся на некотором расстоянии от экватора Солнца, обращаются медленнее, чем пятна, лежащие ближе к экватору. Окончательный вывод о *дифференциальном вращении* Солнца сделал английский астроном Ричард Кэррингтон (1826—1875).

4.13. Данный период соответствует уровню фотосферы и определяется по движению пятен в экваториальной зоне. Более высокие слои солнечного газа той же зоны дают большие угловые скорости вращения. Так, на высоте факелов период вращения составляет  $24^d 16^h$ , на высоте 5000 км над фотосферой, определяемой по линиям Ca II, —  $24^d$ , на высоте 14 000 км —  $23^d 06^h$ .

4.14. Если смотреть с северного полюса эклиптики, то вращения Солнца и Земли происходят в одном направлении: против часовой стрелки. Векторы угловых скоростей вращения Солнца и Земли приблизительно сонаправлены.

4.15. Траектории солнечных пятен на диске Солнца выглядят прямолинейными, когда плоскость солнечного экватора пересекает плоскость земной орбиты (в начале июня и в начале декабря). В другие периоды года эти траектории выглядят криволинейными из-за того, что ось вращения Солнца не лежит в картинной плоскости наблюдателя.

**4.16.** По внешнему виду трудно отличить небольшое круглое солнечное пятно без полутени от диска планеты на фоне Солнца. Но за несколько минут наблюдений солнечное пятно практически не переместится, тогда как планета за это время заметно передвинется по диску Солнца.

**4.17.** Регистрируя пятна на Солнце вплоть до мельчайших, Г. Швабе в 1843 г. впервые заявил о возможности существования десятилетнего периода в количестве пятен. Позднее выяснилось, что такую периодичность подозревали в XVIII веке датский астроном П. Хорребоу и в 1836 г. австрийский астроном Й. И. Литтров.

**4.18.** Число Вольфа примерно равно удвоенному количеству пятен, ибо было показано, что среднее количество пятен в группе около десяти. Значение  $W$  несколько сглаживает то значение количества пятен, которое получается при простом подсчёте пятен разного размера, и поэтому является более объективной величиной (пример: на Солнце наблюдается одно крупное пятно, которой в какой-то момент делится пополам; при этом количество пятен возрастает вдвое, а значение  $W$  меняется лишь на 9%). Число Вольфа легко подсчитывается даже не очень опытным наблюдателем. Значение  $W$  приблизительно пропорционально площади, занимаемой пятнами на диске Солнца, и хорошо коррелирует с другими проявлениями солнечной активности, в том числе и магнитными возмущениями на Земле. Для своих наблюдений, которые он проводил на 3-дюймовом телескопе при увеличении в 64 раза, Вольф принял коэффициент  $k$  равным единице. Очевидно, что при наблюдениях на большем инструменте, лучше разрешающем мелкие пятна, для унификации значений  $W$  принимают  $k < 1$ , а в обратной ситуации принимают  $k > 1$ . В настоящее время этот коэффициент выводят для каждого исследователя с его инструментом после обработки наблюдений солнечных пятен на всех обсерваториях.

**4.19.** Цвет тени солнечного пятна определяется её более низкой температурой (около 3700 К) по сравнению с температурой нормальной фотосферы (около 6000 К). При указанной температуре тень пятна светится так же, как поверхность звёзд спектрального класса К3—К5, т. е. имеет тёмно-красный цвет.

**4.20.** Это выяснил американский астроном Джордж Эллери Хейл (1868—1938). Он обнаружил, что недалеко от одиночного пятна всегда имеется область с локальным магнитным полем, направленным противоположно магнитному полю пятна. Позже в этом месте образуется второе пятно.

**4.21.** Де ла Рю сделал два снимка солнечного пятна, разделённых интервалом времени в 26 минут. Это соответствует перемещению Земли по орбите примерно на 650 тыс. км (подумайте над тем, как получено это значение). Стереоскопическое изображение позволило выявить эффект рельефа солнечной поверхности. Автор метода так характеризовал результаты опыта: *«Таким образом, я убедился, что факелы находятся в самых высоких слоях солнечной атмосферы, что пятна не что*

иное, как отверстия, образовавшиеся в полутени, и что полутень, в свою очередь, лежит ниже окружающих её частей фотосферы. В одном случае даже было заметно, что факелы реяли непосредственно над пятном на значительной высоте».

**4.22.** Для этого необходимо увеличить интервал между двумя снимками Солнца до нескольких часов. За это время форма пятен изменится мало, а базис стереоскопического снимка, обусловленный перемещением Земли по орбите, станет значительно больше. Вторым желательным условием является наблюдение в начале июня или начале декабря, когда траектории солнечных пятен представляют собой прямые линии. Использование снимков, сделанных из космоса, повышает качество стереоскопического изображения (Е. Б. Гусев, К. М. Зарубин).

**4.23.** Кирхгоф в 1860 г. открыл обращение спектров и тем самым объяснил природу фраунгоферовых линий. Он указал, что непрерывный спектр Солнца образуется горячей оптически плотной средой, а в солнечной атмосфере, более холодной, чем фотосфера, возникают многочисленные абсорбционные линии.

**4.24.** Время сгорания каменного угля с массой, равной массе Солнца при мощности горения равной светимости Солнца легко найти по формуле  $t = qM_{\odot}/L_{\odot}$ , где  $q$  — удельная теплота сгорания каменного угля;  $M_{\odot}$  — масса Солнца;  $L_{\odot}$  — светимость Солнца. Отсюда время сгорания «каменноугольного Солнца» составило бы всего около 5000 лет. Кроме того, для сгорания потребовалось бы большое количество кислорода, отсутствующее в окосолнечном пространстве.

**4.25.** Уже сам Майер показал, что для поддержания светимости Солнца потребуются постоянное падение на светило большого количества вещества — около двух масс Луны в год. А поскольку движение планет указывает на постоянство массы Солнца, то эта гипотеза требовала такого же интенсивного истечения вещества из него, что не наблюдается. Дальнейшие исследования дали и другие контрдоводы:

— количество метеорного вещества в окосолнечном пространстве очень быстро бы истощилось, а его интенсивное возобновление из-за пределов Солнечной системы маловероятно;

— если бы мощный поток метеоритов падал на Солнце, то от их ударов и Земля имела бы очень высокую температуру, а геологические пласты в значительной степени состояли бы из метеоритного вещества.

**4.26.** Опровергнута. Расчёты показывают, что за счёт сжатия под действием собственной гравитации Солнце могло бы светить, имея ту же светимость, что и сейчас, всего около 30 млн. лет. А это значительно меньше возраста Земли и даже времени существования на ней биологических форм. Но данный механизм эффективен на стадии протозвёзды, до начала термоядерных реакций.

**4.27.** Определяемая методом Цераского температура будет всегда ниже реальной температуры поверхности Солнца за счёт потемнения диска к краю, ослабления света в земной атмосфере, неполного отраже-

ния от зеркала и неполного поглощения света нагреваемым образцом, а также если относительное отверстие зеркального объектива меньше 1:1.

**4.28.** Сторонники «горячего Солнца» полагали, что мощность излучения возрастает пропорционально температуре тела (идея Ньютона), а их оппоненты считали, что она возрастает экспоненциально. Согласно закону Стефана—Больцмана (1779, 1884 гг.), интегральная излучательная способность пропорциональна четвёртой степени абсолютной температуры, откуда следует, что температура поверхности Солнца составляет около 6000 К.

**4.29.** Солнце — очень яркий источник света, опасный для глаз. От стекла отражается около 4% падающего света; это делает изображение Солнца менее ярким и приемлемым для наблюдения. К тому же при отражении свет оказывается поляризованным. Раздвоение лучей происходит из-за анизотропии кристалла исландского шпата, т. е. различного значения показателя преломления для лучей, поляризованных в разных направлениях. При определённом положении кристалла один из лучей можно погасить.

С точки зрения астрофизики опыт доказывает, что свет от Солнца не поляризован.

**4.30.** Уменьшение отверстия объектива усиливало явление дифракции, что уменьшало разрешающую способность телескопа. Для уменьшения яркости изображения Солнца в любительских условиях предпочтительнее использовать объективный светофильтр, например, из алюминированной лавсановой плёнки, отражающий 99,999% света.

**4.31.** Щелевой затвор с сильной пружиной установили перед объективом. Телескоп с таким затвором и кассетой для фотопластинки в окулярной части был изобретён в Англии в 1857 г.

**4.32.** Это были наиболее сильные линии поглощения. Спустя 12 лет после открытия Волластона немецкий физик Йозеф Фраунгофер, применив коллиматор, обнаружил в спектре Солнца уже сотни абсорбционных линий, названных в дальнейшем его именем. Фраунгоферовы линии образуются в наиболее холодных, верхних слоях солнечной фотосферы.

**4.33.** Абсорбционные линии, интенсивность которых зависит от высоты Солнца над горизонтом — это теллурические линии, возникающие в земной атмосфере.

**4.34.** Магнитные полюса Солнца находятся в полярных районах, период вращения которых составляет  $33^d$ . Изменение наблюдаемого общего магнитного поля светила связано с вращением магнитных полюсов вокруг гелиографических.

**4.35.** Астрономы Пьер Жансен, Джозеф Локьер и Уильям Хёггинс использовали для наблюдений протуберанцев спектроскоп с большой дисперсией. При этом непрерывный спектр дневного неба сильно ослабевал, а изображение протуберанцев, излучающих в монохроматическом свете ( $H_{\alpha}$ ), не испытывало подобного ослабления. Локьер обнаружил также, что эмиссионные линии протуберанцев видны по всей

окружности диска Солнца. Хёггинсу даже удалось получить при помощи спектроскопа изображение солнечного протуберанца.

**4.36.** Вероятно, изображение Солнца с крыльями показывает, что во время полных солнечных затмений древние египтяне обнаружили корону Солнца, которая действительно иногда имеет форму крыльев.

**4.37.** Спектроскопическими наблюдениями в 1869 г. было доказано наличие в спектре короны линий, тождественных линиям спектра фотосферы. В 1871 г. были получены фотографии короны из пунктов, удалённых друг от друга на несколько сотен километров. В обоих пунктах в короне были зафиксированы одни и те же детали.

**4.38.** Причины, мешающие днём видеть солнечную корону — рассеяние солнечного света в земной атмосфере, уменьшение светочувствительности глаза при наблюдении яркого объекта, солнечная иррадиация — значительно усиливаются вблизи диска Солнца, где Луна, как и корона днём не видна. В коронографах действие яркого диска Солнца исключается введением непрозрачного экрана такого же углового диаметра, как и Солнце; влияние земной атмосферы минимизируется путём наблюдения с большой высоты над уровнем моря.

**4.39.** В 1930 г. Бернар Лио обнаружил вращение близких к поверхности Солнца частей короны со скоростью около 2 км/с.

**4.40.** Пятна даже в годы максимума солнечной активности занимают не более  $1/500$  части поверхности Солнца; к тому же пятна сами тоже излучают энергию, так как даже температура тени в пятне всего на 1500—2000 К ниже температуры нормальной фотосферы. В годы максимума солнечной активности наряду с увеличением количества пятен увеличивается число участков с повышенной яркостью — факелов. Поэтому светимость Солнца практически не меняется.

**4.41.** Разность визуальных звёздных величин Солнца и полной Луны составляет  $14^m$ . А по Бугеру эта величина равна  $13,7^m$ . Можно лишь удивиться столь малой ошибке, допущенной при сравнении столь разных по яркости источников при помощи такой примитивной техники.

**4.42.** Разложив солнечный свет при помощи призмы, В. Гершель поместил термометр за границей красной области спектра, там, где уже не видно света. Термометр показал рост температуры. Гершель заключил, что *«существуют лучи, приходящие от Солнца, которые преломляются слабее, чем любые из лучей, действующих на глаз. Они наделены сильной способностью к нагреву тел, но лишены способности освещать тела»* (Голин и Филонович, 1989, с. 275). Позже эти лучи назвали *ультракрасными*, а в наше время называют *инфракрасными*.

**4.43.** Суть метода очевидна из рисунка, на котором показаны положения верхней планеты ( $M$ ) и Земли ( $E$ ) в противостоянии, а также положения планеты ( $M'$ ) и Земли ( $E'$ ) через какой-то промежуток времени после противостояния. Измеряется угол  $\angle M'E'S$ . Зная время обращения планеты и Земли вокруг Солнца, легко вычислить углы  $\angle MSM'$  и  $\angle ESE'$ . По этим углам определяется синоди-

ческий угол  $\angle M'SE'$ . Таким образом, в треугольнике  $M'SE'$  известны все углы. Принимая расстояние от Земли до Солнца за единицу, легко найти геоцентрическое  $M'E'$  и гелиоцентрическое расстояние планеты  $M'S$ .

4.44. Автор приведённого заключения — Роберт Гук (1635—1703). Предполагаемая им природа сил притяжения — электричество или магнетизм.

4.45. Гипотезу об одинаковой природе планет Солнечной системы выдвинул Дж. Бруно. Подтвердили этот тезис телескопические наблюдения Галилея.

4.46. Галилей и Кеплер первыми показали, что свободное (от влияния сил) движение происходит прямолинейно. К выводу о том, что движение планет по эллиптическим орбитам однозначно свидетельствует о действии на них силы со стороны Солнца, пришёл Кеплер.

4.47. Магнетизм.

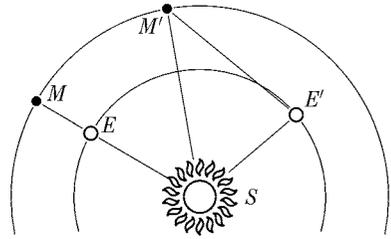
4.48. Расчёты показали, что вырванное приливом вещество должно было бы упасть на Солнце или обращаться вокруг него на значительно меньшем расстоянии, чем существующие планеты.

4.49. Лаплас выявил общность происхождения всех тел Солнечной системы, включая Солнце. Однако современные учёные обнаружили, что Венера вращается в обратную сторону по сравнению с Солнцем и большинством других планет, Уран вращается «на боку», а далёкие спутники Юпитера и Сатурна имеют обратное движение. Считается, что эти изменения в движении указанных тел возникли из-за их взаимодействия с другими телами в уже сформировавшейся Солнечной системе.

4.50. Вильям Гершель воспользовался методом Т. Майера (1723—1762), предложившего выявить движение Солнца в пространстве, считая собственное движение близких звёзд отражением движения Солнца. Скорость Солнца относительно ближайших звёзд составляет около 20 км/с, и направлена она к апексу, находящемуся близ звезды  $\nu$  Геркулеса.

4.51. Кажущееся изменение высоты Солнца над горизонтом было истолковано как параллактическое смещение; поэтому оно было использовано для попытки определения расстояния до светила.

4.52. Если поверхность Земли выпуклая, то при перемещении наблюдателя вдоль меридиана на север звёзды в северной стороне неба поднимаются над горизонтом, а в южной — опускаются. У шарообразной планеты перемещениям на одинаковые расстояния вдоль разных меридианов соответствуют одинаковые изменения высот небесных светил над горизонтом.



К решению задачи 4.43. Метод определения гео- и гелиоцентрического расстояния верхней планеты.

**4.53.** Только шар при любой проекции даёт круг. Этот довод в пользу шарообразности Земли был впервые приведён Аристотелем (384—322 до н. э.).

**4.54.** Греческий учёный Эратосфен во второй половине III в. до н. э. по данным наблюдений Солнца в день солнцестояния вычислил дугу меридиана между городами Сиеной (ныне Асуан) и Александрией, расстояния между которыми ему было известно. После этого было уже нетрудно найти длину окружности земного шара — 250 тыс. стадий. Историкам не известно точное значение греческой стадии: по их данным, оно составляет от 155 до 180 м. Взяв среднее от этих значений (168 м), мы увидим, что расчёт Эратосфена даёт окружность Земли (42 тыс. км), весьма близкую к действительной (40 тыс. км).

Развивая метод Эратосфена, Посидоний (135—51 до н. э.) определил длину окружности Земли по наблюдениям звезды Канопус. Эта звезда на острове Родос в верхней кульминации касалась горизонта, а в Александрии её высота в этот момент составляла  $7,5^\circ$ . Расстояние между этими пунктами считалось известным (5000 стадий). В 827 г. н. э. арабские астрономы измерили длину дуги меридиана между Тигром и Евфратом. Окружность Земли была найдена равной (при переводе в современные единицы) 44 тыс. км.

**4.55.** У сжатого эллипсоида максимальная кривизна поверхности на экваторе, а минимальная — у полюсов. Измеряя на разных широтах линейную длину дуги меридиана, скажем, в  $1^\circ$ , можно узнать форму Земли: если планета сжата, то длина дуги в  $1^\circ$  должна быть больше в высоких широтах, чем вблизи экватора. Это и показали измерения; полярное сжатие Земли свидетельствует о том, что она имеет форму эллипсоида вращения.

**4.56.** Гравиметрические измерения, показавшие, что зависимость ускорения свободного падения на поверхности Земли от широты такая, какая должна быть у вращающегося сжатого эллипсоида.

**4.57.** Утверждалось, что на вращающейся Земле тела, находящиеся в воздухе, должны отставать от тел, находящихся на поверхности. Высказывалось даже мнение, что под действием центробежных сил инерции вращающаяся Земля должна была бы распасться на части.

**4.58.** Исаак Ньютон. Для обеспечения центростремительного ускорения материальной точки на поверхности Земли векторы силы реакции опоры и силы притяжения к центру Земли должны располагаться под тупым углом друг к другу (не равным  $180^\circ$ ), что возможно лишь при нарушении сферичности планеты.

**4.59.** Фуко назвал изобретённый им прибор *гироскопом*. Согласно закону сохранения момента импульса, положение оси вращения свободного тела в пространстве остаётся неизменным. Поворот осей топоцентрической системы отсчёта при вращении Земли приводит к кажущемуся изменению положения оси гироскопа в пространстве. Этот прибор получил широкое применение в авиации и морском деле.

**4.60.** Если бы континенты и их опора в земной коре были бы столь же эластичны, сколь и океаны, то вода и суша перемещались бы под действием Луны и Солнца совершенно одинаково, и на побережье морские приливы и отливы перестали бы наблюдаться.

**4.61.** Под сумерками понимают время после захода Солнца и перед его восходом, когда земная поверхность освещается рассеянными в атмосфере лучами светила. Критерии сумерек чисто фотометрические и достаточно условные. Конец вечерних гражданских сумерек определяется необходимостью включения искусственного освещения для безопасного движения транспорта. При погружении Солнца под горизонт ниже, чем на  $12^\circ$ , навигация на реке или море невозможна без сигнальных огней. А после погружения Солнца на  $18^\circ$  уже возможны точные фотометрические наблюдения небесных объектов.

Попытки найти связь глубины погружения Солнца с условиями освещённости делали ещё средневековые учёные. В «Оптике» Альхазена (Ибн аль Хайсам) (965—1039), арабского учёного, работавшего в Каире, указано, что угол понижения Солнца в конце сумерек или начале зари равен  $18^\circ$ . Ротман указывал, что сумерки заканчиваются, когда Солнце опускается под горизонт на  $24^\circ$ , Нониус предлагал отрицательную высоту Солнца в  $16^\circ$ , Кассини — в  $15^\circ$ , Риччиоли давал  $16^\circ$  для утренних и  $20^\circ$  для вечерних сумерек. Такие расхождения можно объяснить трудностью различения границы раздела частей атмосферы, освещённой и не освещённой Солнцем.

**4.62.** Кислород, как и другие газы, земная атмосфера теряет также из-за того, что молекулы, имеющие скорость движения больше второй космической скорости, убегают от Земли. Однако химический состав и давление атмосферы стабильны на протяжении, по крайней мере, сотен миллионов лет. Это означает, что атмосфера одновременно пополняется кислородом, например, за счёт разложения кислородосодержащих горных пород, фотосинтеза и диссоциации воды.

**4.63.** Голубой цвет Земли установил советский астроном Г. А. Тихов (1875—1960) из колориметрических наблюдений пепельного света Луны.

**4.64.** Полагают, что источником падающего из космоса на Землю вещества в современную эпоху являются астероиды и кометы, приходящие, как минимум, из-за орбиты Марса, а не вещество околоземной зоны, как это было в начальной фазе формирования Земли.

**4.65.** На поверхности планет земной группы и спутников планет Солнечной системы обнаружено большое количество кратеров. Древние греки называли *кратером* большой сосуд для разбавления вина водой.

**4.66.** Периодичность изменения фаз позволила использовать Луну как мерило времени. Поэтому в славянских языках название спутника Земли и интервала времени звучат одинаково — *месяц*. На санскрите Луна называется *мас*, что и означает «измеритель». Латинское *мензис* находится в близком родстве со словом *мензурка*.



Угловой диаметр лунного диска для земного наблюдателя составляет около  $30'$ . Если принять разрешающую способность зоркого невооружённого глаза равной  $1'$ , то карта Луны, составленная без телескопа, окажется мозаикой размером  $30 \times 30$  и будет содержать около 700 элементов. Такое изображение Луны мы изготовили искусственно, взяв телескопический снимок лунного диска и ухудшив его качество до разрешения в  $1'$  (рис. 2).

Астрономам дотелескопической эпохи практически удалось достичь этого идеала. Посмотрите на рисунок, сделанный английским учёным Вильямом Гильбертом (1540—1603), рис. 3.

На нём легко угадывается расположение лунных морей, даже тех, которые не заметны на первом рисунке. Мельчайшие детали на карте Гильберта (1651) действительно имеют размер около  $1'$ . Некоторым деталям на своей карте Гильберт дал названия, например, Британия (современное Море Кризисов), Большая страна Восточная (Море Дождей), Большая страна Западная (Море Ясности), Остров Средилунный (Залив Центральный), Море Средилунное (Апеннины), и др. Как видим, в отличие от более поздней традиции, тёмным областям Луны Гильберт давал имена материков, а не морей.

**4.69.** Основанием для суждения об удалённости Луны и планет от Земли являлась скорость их видимого движения по звёздному небу; предполагалось, что удалённые тела движутся медленнее, чем более близкие.

**4.70.** Ускорение свободного падения на расстоянии Луны Ньютон нашёл из кинематических данных, вычислив центростремительное ускорение Луны по расстоянию до неё ( $R \approx 60$  радиусов Земли) и периоду обращения ( $T = 1$  месяц). Ускорение Луны оказалось примерно в 3600 раз меньше, чем ускорение свободного падения у поверхности Земли, что и привело к выводу о квадратичной зависимости силы от расстояния в законе всемирного тяготения (Кудрявцев, 1982, с. 109).

**4.71.** Колумб использовал Альманах Региомонтана (1474 г.), в котором с помощью теории Птолемея были предвычислены каждодневные положения Солнца, Луны и планет для Нюрнберга на период 1476—1506 г. Во время четвёртого плавания, когда 29 февраля 1504 г. корабль находился на Ямайке, Колумб, воспользовавшись предвычисленным моментом затмения Луны, сначала разыграл перед туземцами роль божественного провидца, а затем из наблюдений определил долготу своего местонахождения относительно Нюрнберга, допустив ошибку в 2,5 часа к западу. Что стало причиной этой ошибки — неточность в определении местного времени, ошибки в Альманахе или просто желание Колумба доказать, что он действительно достиг берегов Азии, — этого мы никогда не узнаем. Но о точности астрономического определения долгот в ту эпоху свидетельствует такой факт: 14 августа 1499 г. во время своего второго путешествия Америго Веспуччи наблюдал покрытие Марса Луной и определил долготу своего местонахождения с очень высокой точностью (Хауз, 1983, с. 21).

**4.72.** Поскольку редкие моменты лунных затмений и покрытий ярких звёзд и планет не позволяли морякам оперативно измерять долготу во время плавания, И. Вернер предложил новый метод, основанный на измерении расстояний от Луны до нескольких специально выбранных зодиакальных звёзд. Поскольку Луна перемещается за час приблизительно на свой диаметр ( $0,5^\circ$ ), эти расстояния быстро меняются и могут быть использованы как указатель местного времени в том пункте, для которого заранее составлены эфемериды Луны. Сравнив его с местным временем пункта наблюдения и учтя суточный параллакс Луны, можно определить долготу пункта.

Метод лунных расстояний совершенствовался в течение нескольких веков. Были составлены таблицы положения Луны и опорных звёзд как функция всемирного времени (которое вместе с Гринвичской обсерваторией как раз и появилось для определения долгот этим методом). Измеряя расстояния до Луны от избранных звёзд и от горизонта в данном месте Земли, можно определить местное время и долготу пункта. Наиболее точную теорию движения Луны для этой цели разработал Леонард Эйлер (1707—1783). По мере повышения точности теории возникла потребность и в усовершенствовании угломерного инструмента: вместо *жезла Якоба* и его развития — *поперечного жезла* был изобретён *зеркальный секстант*. Но полностью проблема определения долготы была решена только после изобретения *морского хронометра*.

**4.73.** Причина векового ускорения Луны анализировалась многими астрономами в течение трёх столетий. Парижская академия наук в 1770 г. даже объявила конкурс на лучшее объяснение этого явления. Его изучение, продолжающееся до сих пор, оказало сильное влияние на развитие всей небесной механики (Бронштэн, 1990). Частичное объяснение векового ускорения Луны было найдено в 1783 г. Лапласом: оно связано с вековым изменением эксцентриситета земной орбиты под действием возмущений от планет. Но главная причина была найдена в 1865 г. французским астрономом Шарлем Делоне (1816—1872), предположившим, что «ускорение Луны» лишь кажущееся и вызвано *замедлением вращения Земли*, которая до недавнего времени служила в астрономии точнейшими часами. Подобные лунным ускорения в движениях Солнца, Меркурия, Венеры и Марса, обнаруженные в XIX веке, подтвердили идею Делоне. Как он и предполагал, причиной замедления вращения Земли оказалось приливное трение, вызванное в основном воздействием на Землю самой же Луны.

**4.74.** Причиной физической либрации Луны служит её вытянутость вдоль направления к Земле. Из-за оптической либрации по долготе, имеющей чисто кинематическое происхождение (равномерное вращение вокруг оси и неравномерное обращение по эллиптической орбите), большая ось фигуры Луны не направлена постоянно на центр Земли. Поэтому со стороны Земли на выступы лунной поверхности

действует момент силы, в одних положениях — тормозящий, а в других — ускоряющий вращение Луны.

**4.75.** Терминатор Луны представляется нам дугой эллипса, а в первой и последней четвертях — прямой линией. Форма терминатора в виде полуэллипса однозначно свидетельствует о шарообразности Луны.

**4.76.** Галилей сделал вывод о том, что поверхность Луны покрыта мелкими неровностями. Однако задолго до Галилея, основываясь на физическом эксперименте, к такому же выводу пришёл Плутарх (начало II в. н. э.).

**4.77.** Араго рассуждал так: поскольку общий цвет Луны желтоватый, то менее яркие пространства морей, очевидно, должны казаться зеленоватыми. Максимум чувствительности человеческого зрения при слабом освещении смещается в коротковолновую часть спектра.

**4.78.** Галилей указал, что при наблюдении вдоль поверхности горные гряды проецируются друг на друга, поэтому видимая зазубренность края лунного диска мала. Тем не менее, неровности края Луны можно обнаружить в телескоп.

**4.79.** В 1937 г. советский физик К. П. Станюкович доказал, что в момент удара метеорита о поверхность твёрдого космического тела происходит центрально-симметричный взрыв, поэтому форма образовавшегося кратера получается круглой. Американский астроном Р. Болдуин в 1949 г. также указал, что соотношение «диаметр—глубина» для воронок от бомб и снарядов, а также метеоритных и лунных кратеров подчиняется одному закону. Космические исследования подтвердили отсутствие активной вулканической деятельности на планетах и спутниках (кроме спутника Юпитера Ио) при обилии кратеров на них.

**4.80.** Причина эффекта Барабашова—Маркова заключается в изрытости лунной поверхности и наличии на ней множества камней, что и было подтверждено снимками Луны с космических аппаратов и прямыми исследованиями на лунной поверхности. В полнолуние тени от деталей рельефа не видны земному наблюдателю.

**4.81.** Приведённые Кеплером сведения практически верны. На лунном небе Земля почти неподвижна. Для наблюдателя на большей части лунной поверхности Земля не восходит и не заходит. Солнечные сутки на Луне (равные 29,5 земных суток) почти поровну делятся между днём и ночью, как на Земле в дни равноденствий, поскольку угол между плоскостью лунного экватора и плоскостью эклиптики составляет всего  $1^\circ 30'$ .

**4.82.** Расчёт Кеплера верен: невидимость полной Луны действительно возможна в Исландии в летнее время, когда та часть эклиптики, вблизи которой проходит Луна в полнолуние, лежит южнее небесного экватора на  $23,5^\circ$ . Кроме того, для этого узлы лунной орбиты должны быть расположены так, чтобы в полнолуние Луна была на  $5^\circ$  ниже эклиптики.

**4.83.** Галилей безусловно прав в том, что, будь планеты зеркальными шарами, мы не увидели бы их дисков, а заметили бы только отражённое ими изображение Солнца. Однако суммарный блеск планеты от этого почти не изменился бы. Рассмотрев отражение параллельного пучка света от зеркального шара, мы увидим, что рассеянный свет равномерно распределяется в полном телесном угле  $4\pi$ . А шар с шероховатой поверхностью большую часть света отбрасывает в направлении источника. Именно поэтому Луна особенно ярка вблизи полнолуния. Однако и «зеркальная Луна» светила бы не намного слабее, хотя выглядела бы не как диск, а как очень яркая звезда с угловым размером всего  $4''$  (детальный расчёт см.: Сурдин, 1995, задача 7.40).

**4.84.** Характерный размер неровностей на Луне существенно больше длины световых волн, но меньше длины радиоволн.

**4.85.** Восход Солнца на видимом полушарии Луны (появление терминатора) начинается с её правого края, который для наблюдателя на поверхности Луны естественно называть *восточной* частью горизонта. В эпоху полётов человека на Луну это стало актуально.

**4.86.** Естественно, Кеплер не мог знать, что Луна обитаема. Но, полагая, что её жители разумны, он должен был придерживаться в своих фантазиях критерия целесообразности. Круглый кратер обеспечивает тень в полярных областях Луны (весьма вероятно, что на постоянно затенённой внутренней поверхности полярных кратеров Луны действительно так холодно, что там сохраняется замёрзшая вода!). Но в экваториальных областях нет смысла возводить стенки, параллельные экватору: они не дают тени. Там уберечь от Солнца могут лишь узкие траншеи, перпендикулярные экватору. Но форма лунных кратеров не зависит от широты. Следовательно, они естественного происхождения.

**4.87.** Пепла на Луне не найдено. Но исследования на лунной поверхности подтвердили наличие там рыхлого материала — реголита. Считается, что он образовался вследствие больших перепадов температуры и ударов метеоритов.

**4.88.** Наблюдения Ильсмура доказали наличие у поверхности Луны электронного газа с концентрацией 1000 частиц в кубическом сантиметре, что соответствует плотности лунной атмосферы  $4 \cdot 10^{-17}$  от плотности приземного слоя воздуха.

**4.89.** Некоторые полагают, что краевые части лунного диска во время полной фазы затмения подсвечиваются солнечной короной; попробуйте сами оценить такую возможность. Не исключено, что ощущение объёмности Луны возникает из-за эффекта иррадиации, связанного с физиологией нашего зрения.

**4.90.** Тень Земли не является совершенно тёмной: в ней присутствует слабый свет, рассеянный в земной атмосфере. Вероятно, поэтому края лунного диска подсвечены немного сильнее его середины, что и создаёт ощущение объёмности. В полнолуние из-за неровностей

поверхности диск Луны выглядит равномерно ярким, что и даёт ощущение плоского диска.

**4.91.** Максимум чувствительности сумеречного (палочкового) зрения сдвинут в коротковолновую сторону по сравнению с дневным (колбочковым) зрением. К тому же освещение при закрытом Солнце создаётся преимущественно светом небосвода, имеющим тёмно-синий цвет.

**4.92.** Наблюдения современных астрономов подтверждают, что даже при закрытии 90—95% площади диска Солнца освещённость на Земле остаётся достаточно высокой. Ослепляющее действия края солнечного диска сильно затрудняет наблюдение тёмного диска Луны.

**4.93.** Иногда внутренняя корона Солнца имеет существенно более высокую яркость, чем обычно. Это отмечалось во время некоторых затмений.

**4.94.** Луна освещается преломлёнными в нижних слоях земной атмосферы солнечными лучами.

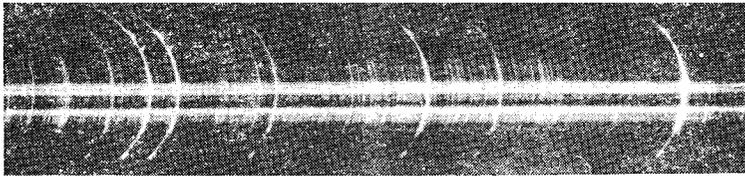
**4.95.** Найденный Гершелем угол преломления лучей Солнца в нижних слоях земной атмосферы ( $54'$ ), не является чрезмерным, поскольку он может достигать удвоенного угла рефракции, а у горизонта рефракция достигает  $35'$ . Но астрономы отмечали, что во время некоторых затмений Луна всё же совершенно исчезала (Гевелий 25 апреля 1642 г., Мёдлер и Бер 10 июля 1816 г.). Возможно, в эти моменты нижние слои атмосферы были закрыты облаками.

**4.96.** Луна ярче во время апогейного лунного затмения.

**4.97.** Причина этого явления была понята в том же XIX веке. Касательные к земному шару лучи Солнца проходят через большую толщу атмосферы и вследствие экстинкции значительно ослабевают. Таким образом, нижние слои земной атмосферы играют роль непрозрачного тела.

**4.98.** Рефракция света в земной атмосфере, приподнимающая над горизонтом изображения небесных светил.

**4.99.** Изогнутые линии — изображения незакрытого Луной «серпа» солнечной атмосферы в цветах разных спектральных линий. Эмиссионные линии различных химических элементов образуются в слоях хромосферы, находящихся на разной высоте над фотосферой и неоднородных по яркости. Поэтому разные линии имеют различную протяжённость дуги.



*К решению задачи 4.99. Позитивное изображение спектра вспышки, принадлежащего солнечной хромосфере и протуберанцам. Затмение 31 августа 1932 г. Снимок Ликской обсерватории.*

**4.100.** Непрерывный спектр внутренней короны связан с рассеянием света фотосферы на свободных электронах. Однако фраунгоферовы линии в этом спектре не видны, поскольку из-за очень высокой температуры короны доплеровское уширение линий «размывает» их по непрерывному спектру и делает крайне мелкими и незаметными. В спектре короны видны линии излучения, но не те, что обычно присутствуют как фраунгоферовы в спектре фотосферы, поскольку в короне совсем иные физические условия. Например, водородные линии в спектре короны отсутствуют, потому что водород там полностью ионизован по причине высокой температуры.

**4.101.** Вулканом хотели назвать планету, существование которой подозревали внутри орбиты Меркурия. Но её так и не открыли.

**4.102.** Несмотря на длительные исследования многих астрономов, планета, орбита которой полностью бы находилась внутри орбиты Меркурия, не была обнаружена. «Избыточное» смещение перигелия Меркурия получило объяснение в рамках общей теории относительности (см.: Роузвер, 1985).

**4.103.** Днём Меркурий, всегда расположенный на небе недалеко от Солнца, имеет большую угловую высоту и, следовательно, влияние земной атмосферы на его изображение минимально. Скиапарелли, используя большое увеличение телескопа, смог более подробно исследовать его поверхность.

**4.104.** В 1874 г. немецкий астроном Иоганн Цёлльнер при помощи сконструированного им визуального фотометра измерил зависимость яркости Луны, планет и искусственных тел от фазы освещения. Он доказал, что фазовые зависимости Меркурия и Луны аналогичны и отличаются от фазовой зависимости гладкого шара. В 1885—1893 гг. немецкий селенограф К. Мюллер подтвердил, что поверхность Меркурия покрыта горами и скалами тёмного цвета.

**4.105.** Древние греки полагали, что утром они видят планету Фосфорос, а вечером — Гесперис. Позже они убедились, что это одна планета, и стали называть её Афродита. А римляне, соблюдая традицию, дали ей имя своей богини красоты — Венеры.

**4.106.** В 1761 г. Ломоносов наблюдал в телескоп редкое явление — прохождение Венеры по диску Солнца. При вступлении Венеры на диск Солнца и при её схождении была видна яркая кольцеобразная полоска вокруг чёрного диска планеты. Ломоносов верно объяснил это явление преломлением солнечных лучей в атмосфере Венеры.

**4.107.** Земля, находясь в противостоянии для Венеры, освещает её поверхность в 13 тыс. раз слабее, чем она освещает Луну в «полноземелии». Такое слабое освещение не может быть обнаружено, тем более — глазом. Тем не менее, опытные наблюдатели не раз указывали на существование этого феномена (Мейер, 1902, с. 125). В настоящее время предполагают, что пепельный свет Венеры вызван физико-химическими процессами, происходящими в атмосфере этой планеты.

**4.108.** На Венере, как и на Земле, горы высотой 43 км обладали бы такой тяжестью, что обязательно разрушили бы кристаллическую решётку пород в своём основании, и оно растеклось бы, не выдержав давления. Поэтому таких высоких гор на этих планетах нет. Самые большие горы в Солнечной системе обнаружены на Марсе ( $H=25-27$  км), где сила тяжести на поверхности заметно меньше, чем на Земле и Венере.

**4.109.** Температура на поверхности Венеры, измеренная космическими аппаратами, оказалась около  $480^\circ\text{C}$ , что больше критической для воды ( $T=374,4^\circ\text{C}$ ), выше которой она не может существовать в жидкой фазе ни при каком давлении.

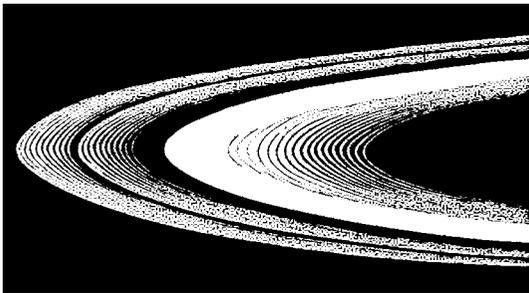
**4.110.** Смена времён года на Марсе происходит, как и на Земле, вследствие изменения солнечной инсоляции, причиной которого служит наклонение плоскости экватора планеты к плоскости её орбиты. Смена времён года на Марсе наиболее наглядно проявляется в изменении размера полярных шапок.

**4.111.** Гипотеза основывалась на предположении о существовании у Марса мощной атмосферы (Кассини, Ремер, XVII в.). Покрытия звёзд Марсом, во время которых звёзды исчезали мгновенно, указали на то, что атмосфера планеты тонкая и не может вызвать сильное поглощение в коротковолновой части спектра. В 1865 г. было замечено, что красный цвет гуще около центра диска, что также свидетельствовало против атмосферной гипотезы. Хёггинс в 1867 г. отметил, что белый цвет полярных шапок также противоречит атмосферной гипотезе.

**4.112.** Земные и космические радиометрические измерения показали, что максимальная температура в поверхностном слое грунта на Марсе в полдень в жарком поясе не превышает  $-5^\circ\text{C}$ ; среднегодовая температура на широте тропика  $-43^\circ\text{C}$ , минимальная там же  $-90^\circ\text{C}$ . В более высоких широтах температура ещё ниже. Полярные шапки состоят из сухого льда (твёрдой углекислоты) с небольшой примесью водяного льда. Открытых водных пространств на Марсе нет и, следовательно, не может быть пространств, покрытых обычным снегом.

**4.113.** До полётов межпланетных станций основные исследования Марса производились в годы великих противостояний, когда Марс ближе всего подходит к Земле. В 1877 г. как раз и произошло такое астрономическое событие. Незадолго до этого были построены крупные телескопы-рефракторы высокого качества.

**4.114.** По мнению Г. А. Тихова, в условиях сурового марсианского климата гипотетические растения Марса должны отражать меньше тепловых лучей; следовательно, они должны иметь сине-фиолетовую окраску. Это предположение согласуется с тем фактом, что растения высокогорных районов Земли (голубая канадская ель, тьянь-шаньская ель) не имеют в своём спектре инфракрасного избытка. Однако исследования, проведённые автоматическими аппаратами непосредственно на поверхности Марса, опровергли существование там не только растительной жизни, но даже её примитивных форм.



*К решению задачи 4.117. Тонкая структура колец Сатурна по визуальным наблюдениям, проведённым в XIX веке.*

**4.115.** Фламарион имел в виду прецессию оси вращения Марса, вызванную приливным гравитационным влиянием Солнца на экваториальное вздутие планеты. Период прецессии оценивается примерно в 175 тыс. лет. По истечении половины этого периода северное полушарие планеты будет повернуто к Земле в эпоху великого противостояния,

совпадающую с эпохой прохождения Марса через перигелий.

**4.116.** В свой несовершенный телескоп Галилей смог увидеть планету Сатурн и дуги окружающих её колец как три соприкасающиеся «звезды». Через два года, когда луч зрения земного наблюдателя оказался в плоскости колец, они из-за малой толщины вообще перестали быть видны. Лишь в 1656 г. Христиан Гюйгенс с помощью более качественного телескопа доказал, что «ушки» или «ручки» по бокам Сатурна — это не что иное, как части плоского кольца, опоясывающего планету по экватору.

**4.117.** Директор Парижской обсерватории Д. Д. Кассини в 1675 г. обнаружил, что кольцо Сатурна состоит из двух частей, разделённых тёмной полосой (деление Кассини). Он также предположил, что кольцо планеты состоит из большого количества отдельных небольших тел. В наши дни распространено мнение, что тонкая структура колец Сатурна была открыта лишь на изображениях, переданных межпланетными аппаратами «Пионер-11» (октябрь 1979 г.), «Вояджер-1» (ноябрь 1980 г.) и «Вояджер-2» (август 1981 г.). Однако ещё астрономы XIX века в процессе визуальных наблюдений замечали и очень точно зарисовывали тонкую структуру колец (см. рис.).

**4.118.** Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн в максимуме блеска очень яркие и поэтому хорошо видны невооружённым глазом. Наибольший же блеск далёких планет существенно ниже:  $5,4^m$  у Урана,  $7,6^m$  у Нептуна,  $13,4^m$  у Плутона. Для обнаружения этих планет, а также астероидов, необходимы подробные карты звёздного неба и телескопы, массовое применение которых началось только с XVIII века. Правда, в XVII веке астрономы случайно наблюдали и даже зарисовывали Уран и Нептун, но, не имея хороших телескопов и карт, принимали их за звёзды.

**4.119.** Кометы на больших расстояниях от Солнца имеют дискообразный вид, и поэтому похожи на планеты. При этом они почти так же, как планеты, перемещаются относительно звёзд. Кометы в ту

эпоху открывали и наблюдали, а вот открытие новой большой планеты стало полной неожиданностью.

**4.120.** В. Гершель первым, благодаря остроте зрения и хорошему качеству телескопического изображения, обнаружил у вновь открытого объекта диск. Другие наблюдатели видели планету в виде звездобразного объекта. Планетная орбита Урана была установлена петербургским астрономом А. И. Лекселем вскоре после открытия, в том же 1781 г.

**4.121.** При расчёте орбиты Урана были использованы позиционные наблюдения планеты, считавшейся в то время звездой, сделанные наблюдателями — предшественниками Гершеля, начиная с 1690 г., т. е. почти на протяжении целого века.

**4.122.** Галилей наблюдал в телескоп Нептун ещё в 1612 г., не зная, что этот объект — планета. Французский астроном Жозеф Лаланд также наблюдал Нептун 8 и 10 мая 1795 г. Он заметил, что положение объекта за двое суток изменилось, но посчитал первое из наблюдений неверным. Лишь в 1846 г. Урбен Леверье открыл Нептун путём вычислений. 31 августа он сообщил о вычисленных им параметрах орбиты Нептуна и указал, что объект должен иметь блеск около восьмой звёздной величины и заметный диск. Откликнувшись на просьбу Леверье, астроном Берлинской обсерватории Г. Галле в первую же ночь наблюдений, 23 сентября, обнаружил неизвестную планету с диаметром диска 8". Движение объекта относительно звёзд подтвердило открытие. К теоретическому открытию Нептуна причастен и английский астроном и математик Джон Адамс, который на основании возмущений в движении Урана рассчитал элементы эллиптической орбиты и массу гипотетической планеты и осенью 1845 г. представил свои результаты английским наблюдателям, которые, однако, не откликнулись на его предложение организовать поиск планеты.

**4.123.** После успешного теоретического открытия Нептуна многие астрономы пытались обнаружить следующую за ним планету. Для прогноза её положения использовались разные подходы: правило Тициуса—Боде, расположение афелиев периодических комет, возмущения в движении Урана (поскольку его орбита была изучена значительно полнее, чем орбита Нептуна). Большую работу по анализу движения Урана проделал Персиваль Ловелл (1855—1916), американский предприниматель, путешественник и страстный любитель астрономии, в совершенстве овладевший математическим аппаратом небесной механики и на свои средства построивший прекрасную обсерваторию во Флагстаффе (штат Аризона). Он выявил в движениях Урана некоторые возмущения, не объяснимые влиянием известных планет, и в 1905 г. впервые предположил вариант орбиты более далёкой, чем Нептун, планеты. Тогда же начались её поиски. Теоретическую работу по предсказанию положения гипотетической планеты Ловелл продолжал до 1915 г., когда был опубликован его наиболее полный «Трактат о транснептуновой планете».

После смерти Ловелла сотрудники его обсерватории продолжали поиск «планеты X». Открытие было сделано молодым астрономом Клайдом Томбо (1906—1997) только в 1930 г. при помощи специально сконструированного 13-дюймового телескопа после 10-ти месяцев непрерывных фотографических наблюдений. Чтобы выявить медленно перемещающуюся на фоне звёзд планету, снимки эклиптической области неба, полученные с интервалом в 2—3 суток, сравнивались при помощи блинк-компаратора. Фактически для обнаружения Плутона пришлось исследовать почти всю широкую полосу вдоль эклиптики, так что теоретические прогнозы оказались бесполезными. История поисков Нептуна и Плутона описана в книгах Саймона (1966) и Уайта (1983).

**4.124.** Видимый блеск Солнца на Плутоне составляет  $-18,8^m$ . Значит, Солнце освещает Плутон гораздо ярче, чем полная Луна — Землю.

**4.125.** Оба аппарата должны были достичь окрестностей Юпитера: «Галилео» — чтобы стать спутником планеты и сбросить в её атмосферу зонд, а «Улисс» — чтобы под действием притяжения Юпитера выйти из плоскости эклиптики и направиться к полярным областям Солнца. Поэтому для запуска этих аппаратов требовалось вполне определённое взаимное расположение Земли и Юпитера, которое повторяется через каждый синодический период Юпитера, равный  $399^d$ , или 13 месяцам.

**4.126.** Кеплер был первым, кто предположил, что между орбитами Марса и Юпитера должна находиться неизвестная планета. Он считал, что совершенству Солнечной системы мешает непомерно большой промежуток между орбитами этих двух планет. В 1772 г. в книге «Руководство по изучению неба» немецкий астроном Иоганн Боде после знакомства с законом планетных расстояний, открытым Тициусом, предсказал существование на расстоянии 2,8 а. е. от Солнца «большой планеты», которая должна совершать полный оборот вокруг светила за 4,5 года.

**4.127.** Верхние планеты описывают петли около противостояния. В это время они имеют наибольший видимый блеск. Церера была вновь найдена ровно через год после своего открытия — 31 декабря 1801 г. — благодаря эфемеридам, рассчитанным Карлом Гауссом. 23-летний учёный смог вычислить орбиту новой планеты, разработав для этого математический метод определения эллиптической орбиты по трём наблюдениям.

**4.128.** Речь идёт о малых планетах («планетоидах» Пиацци). Часто эти объекты называют *астероидами* (термин Гершеля). Орбиты большинства астероидов подобны орбитам больших планет, но из-за отсутствия у них при наблюдении в телескоп видимого диска они названы «звездopodobными».

**4.129.** Марс в римской мифологии — бог войны. В мифах его сопровождают Фобос и Деймос, по одним мифам — сыновья Марса, по другим — его псы. Война несёт с собой страх и ужас.

**4.130.** Спутники Марса представляются с Земли слабыми «звёздочками», движущимися вместе с планетой относительно истинных

звёзд. Заметить их визуально удалось лишь потому, что наблюдения проводились в период великого противостояния Марса. К тому же, Холл использовал 26-дюймовый рефрактор Вашингтонской обсерватории, который был тогда сильнейшим инструментом в мире.

**4.131.** Поскольку угловая скорость вращения Земли больше угловой скорости обращения Луны, приливное влияние Луны тормозит нашу планету. Но в системе Марс—Фобос ситуация иная: в своём вращении Марс отстаёт от Фобоса, поэтому их приливное взаимодействие *ускоряет* вращение Марса и *тормозит* Фобос, который из-за этого постепенно приближается к Марсу. Вследствие малости массы Фобоса данный эффект оказывает ничтожное влияние на вращение Марса.

**4.132.** Галилей заметил, что обнаруженные им объекты совершают периодические движения относительно Юпитера.

**4.133.** В 1676 г. Рёмер объяснил кажущуюся неравномерность движения спутников Юпитера конечной скоростью распространения света. Из этих наблюдений Рёмер с неплохой точностью определил скорость света.

**4.134.** Определив из наблюдения момент затмения спутника Юпитера по местному времени и сравнив его с моментом этого же явления, заранее вычисленным по всемирному времени (эти моменты астрономы публиковали в виде эфемерид), навигатор мог найти долготу своего места наблюдения. Сейчас этот метод имеет лишь исторический интерес.

**4.135.** Кажущееся изменение яркости спутников Юпитера на фоне разных участков диска планеты можно объяснить эффектом сравнения: диск Юпитера ярче в середине, чем по краям, а его спутники не меняют своей яркости, поскольку из-за малого фазового угла для земного наблюдателя всегда одинаково освещены Солнцем. Меркурий же при прохождении по диску Солнца обращён к Земле своей неосвещённой стороной, поэтому он темнее любой точки солнечного диска, даже пятен.

**4.136.** Спутники Урана движутся в плоскости экватора планеты, ось вращения которой лежит почти в плоскости её орбиты ( $i=98^\circ$ ). В 1901 г. и в 1944 г. ось вращения Урана находилась на луче зрения земного наблюдателя, но планета располагалась в диаметрально противоположных частях орбиты. Астрономы в эти годы наблюдали систему Урана с противоположных полюсов вращения планеты и обращения её спутников.

**4.137.** Согласно третьему обобщённому закону Кеплера, меньший, чем у Луны, орбитальный период Тритона указывает на большую массу Нептуна по сравнению с Землёй.

**4.138.** Рассмотрим простой случай: ось вращения астероида параллельна его орбитальной оси. Тогда прямое вращение астероида (в направлении орбитального обращения) отклоняет его «фотонный двигатель» назад по курсу и таким образом ускоряет движение астероида, поднимая его орбиту и уводя его в сторону Юпитера.

Соответственно, обратное вращение астероида за счёт фотонной отдачи приближает его к Марсу.

Влияние эффекта Ярковского на движение спутников планет ослаблено тем, что при медленно меняющемся направлении фотонного импульса отдачи (с орбитальным периодом планеты) направление движения спутника меняется быстро (с орбитальным периодом спутника). Вероятно, наиболее сильное влияние этот эффект оказывает на мелкие спутники Сатурна, входящие в состав его кольца. Тень планеты, в которую на каждом обороте попадают частицы кольца, даёт преимущество обращённой к Солнцу дуге орбиты. Поскольку вблизи планеты приливные силы синхронизируют орбитальное и осевое вращение частиц, влияние эффекта Ярковского на этой дуге орбиты тормозит движение спутника. Следовательно, в целом эффект Ярковского вызывает приближение таких спутников к поверхностям их планет.

**4.139.** Наличие радиантов у потоковых метеоров указывает (на основании эффекта перспективы), что метеорные тела движутся в земной атмосфере прямолинейными параллельными путями.

**4.140.** Метеорные тела, как и планеты, в космическом пространстве движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, возмущаемым планетами.

**4.141.** В вечерние часы в атмосферу Земли попадают только те метеорные тела, которые догоняют Землю; в предутреннее время число метеоров увеличивается, так как при этом скорость метеорных тел складывается с орбитальной скоростью Земли. Из соотношения часовых чисел метеоров в эти два интервала времени можно оценить их скорость. Полученное Скиапарелли значение скорости метеороидов очень близко к параболической скорости космических тел на расстоянии Земли, которое может быть только у тел, движущихся по очень вытянутым орбитам. Точное определение скоростей метеорных тел требует знания распределения метеороидов по массам и зависимости блеска от массы, которые даже сейчас известны лишь приблизительно. Скорости тел разных потоков могут сильно различаться. Тем не менее, оценки Скиапарелли согласуются с современными значениями.

**4.142.** Да, наблюдалось бы. В зависимости от прицельного параметра догоняющий Землю метеороид может войти в атмосферу над любой точкой планеты, если его скорость не слишком велика.

**4.143.** В ноябре 1833 г. американский астроном Д. Олмстед установил, что радиант звёздного дождя из созвездия Льва не меняет в течение нескольких часов своего положения относительно звёзд. Это указывало на космическое происхождение метеоров данного потока.

**4.144.** Было высказано предположение, что метеорное вещество обращается вокруг Солнца не сплошным облаком, а замкнутым кольцом, которое пересекает орбиту Земли лишь в одном месте. Такое условие снимало требование совпадения периода обращения метеороидов с периодом Земли вокруг Солнца.

4.145. Араго сделал вывод о неоднородном распределении метеорных частиц в рое Леонид.

4.146. В настоящее время вулканическая деятельность на Луне настолько ничтожна, что выбросы твёрдого лунного вещества маловероятны. Современная наука утверждает, что метеориты — это обломки астероидов. Однако выбросы в космос твёрдого лунного или марсианского вещества всё же возможны при ударе об эти тела крупных метеоритов.

4.147. Хладни утверждал, что высоты и скорости движения болидов противоречат прежним представлениям об их атмосферной природе. Он также обратил внимание, что в многочисленных письменных сообщениях о наблюдении болидов нередко говорится о последующем падении горячих метеоритов.

4.148. Современные учёные считают, что метеорные тела возникают в результате разрушения комет, т. е. между ними есть генетическая связь. Однако высказывание Кеплера, скорее всего, отражает лишь чисто зрительное сходство комет и метеоров.

4.149. Кометы — внеземные объекты.

4.150. Они использовали параллактический метод определения расстояния до небесных тел, где базисом служило расстояние между наблюдателями.

4.151. Тихо Браге впервые из наблюдений попытался определить параллакс кометы и нашёл его меньшим, чем у Луны.

4.152. Скиапарелли в работах 1866 г. доказал, что метеорные тела, как и кометы, движутся по орбитам с большим эксцентриситетом. Плоскости орбит и тех и других тел наклонены к плоскости земной орбиты под самыми разными углами, включая и  $i \approx 90^\circ$ . Было также найдено, что орбиты метеороидов августовского потока Персеид совпадают с орбитой яркой кометы 1862 года. Петерсон на основании расчётов Леверье отождествил орбиты ноябрьских метеороидов с орбитой кометы Темпля 1866 года. Австрийский астроном Вейсс доказал тождественность орбит кометы Биелы и метеорного потока 28 ноября.

4.153. Галлей обнаружил, что орбиты комет 1456, 1531, 1607 и 1682 годов весьма сходны и предположил, что это одна и та же комета, возвращающаяся к Солнцу с периодом в 76 лет. Поэтому следующее прохождение этой кометы он предсказал на 1758 г. В назначенный срок комета не появилась. Знаменитый французский математик А. К. Клеро (1713—1765), понимая, что задержка кометы вызвана возмущающим влиянием планет-гигантов, взялся за численное решение задачи о движении кометы в поле нескольких тел: Солнца, Юпитера и Сатурна.

Выполнить этот невероятно большой объём вычисления в одиночку было невозможно. Клеро помогли известный астроном Ж. Лаланд и математик мадам Лепот. Позднее Лаланд писал: *«Шесть месяцев мы вычисляли с утра до ночи, иногда даже не отрываясь для еды, и следствием этого было то, что я расстроил своё здоровье на все остальные дни своей жизни. Помощь госпожи Лепот была такова, что без неё мы*

*никогда не осмелились бы предпринять этот громадный труд, состоявший из вычислений расстояния кометы от двух планет — Юпитера и Сатурна — для каждого градуса небесной сферы в течение 150 лет» (цит. по: Марочник, 1985).*

Клеро и его помощники успели закончить вычисления вовремя. Оказалось, что под влиянием притяжения Юпитера комета должна опоздать на 518 суток и под влиянием Сатурна — ещё на 100. Клеро предсказал дату прохождения кометой перигелия — 13 апреля 1759 г. и указал, что точность вычислений такова, что ошибка может составить 1 месяц. Комета прошла перигелий 13 марта. Галлей оказался прав: комета вернулась.

**4.154.** Наблюдения показывают, что разные кометы имеют свои особенности в строении хвоста. Например, хвост кометы Донати (1858) имел вид пустотелого конуса, а хвост самой большой кометы XX столетия, кометы Хейла—Боппа, казался сплошным: плотность вещества на оси хвоста была выше, чем на его периферии.

**4.155.** Невидимость кометы на фоне Солнца свидетельствует о малой оптической плотности вещества в голове кометы и очень небольшом размере её твёрдого ядра.

**4.156.** Комета 1882 года, по-видимому, относилась к классу так называемых «царапающих комет», которые в перигелии с большой скоростью проходят вблизи поверхности Солнца. Солнечное излучение вызывает усиленное газообразование, следствием чего является усиление её яркости. К подобным кометам следует отнести яркую комету 1965f Икейя—Секи, которая после прохождения перигелия приобрела хвост длиной около  $40^\circ$ .

**4.157.** Ослабление блеска звезды во время покрытия не наблюдалось, из чего был сделан вывод, что ядро кометы или отсутствует или имеет ничтожные размеры, а вещество в голове кометы сильно разрежено.

**4.158.** Немецкий астроном Иоганн Энке после долгих исследований пришёл к выводу, что кометы, открытые в 1786 г. Пьером Мешеном и в 1818 г. Жаном-Луи Понсом, являются одной и той же кометой с периодом обращения вокруг Солнца всего 3,3 года. Энке также доказал, что кометы, наблюдавшиеся в 1795 и в 1805 гг., — это та же самая комета. Учёный предсказал её новое появление в 1822 г., что блестяще подтвердилось. В знак признательности за большую работу по идентификации кометы и за расчёт её орбиты этой комете дали имя Энке.

**4.159.** Ранее считалось, что кометы светят только отражённым солнечным светом. Наблюдения Донати показали, что основная часть излучения исходит от раскалённых газов. Спектральные полосы показали наличие молекулярных соединений водорода и углерода: СО, циан, метан. Помимо эмиссионного спектра в кометах наблюдается и слабый непрерывный спектр, исходящий от ядра и отчасти от диффузного компонента кометы.

**4.160.** По современной терминологии упомянутое явление называется «противосиянием» и представляет собой свечение межпланетного вещества в противосолнечной точке. Не исключено, что часть этого излучения возникает в газовом хвосте магнитосферы Земли.

**4.161.** Восемь химических элементов получили свои названия в связи с именами тел Солнечной системы: гелий от Гелиоса — Солнца, селен от Селены — Луны, теллур от Теллуса — Земли; уран, нептуний и плутоний — от названий планет Уран, Нептун и Плутон; палладий и церий — от имён крупнейших астероидов, Паллады и Цереры.

**4.162.** На спутнике Юпитера Ио, на планете Венера (косвенно) и на спутнике Нептуна Тритоне (сухие вулканы).

**4.163.** Легко заметить, что значения средней плотности космических тел, определённые в XIX веке, оказались весьма точны для планет со спутниками, к числу которых относится и Солнце: его спутниками служат сами планеты. Но для планет без спутников — Меркурия и Венеры — значения средней плотности, вычисленные астрономами XIX века, оказались довольно грубыми приближениями. Понятно, что это связано с трудностями определения массы планеты, лишённой спутников. До эпохи космонавтики массы таких планет определяли по их гравитационному влиянию на движение далёких тел — других планет и астероидов; точность метода была невелика. В конце XX века эту трудность удалось преодолеть с помощью искусственных спутников (для Венеры) и пролётных зондов (для Меркурия), возмущения в движении которых, вызванные притяжением планеты, были точно измерены радиотехническими методами.

Что касается невысокой точности определения в XIX веке средней плотности Урана и Нептуна, то она связана с трудностями измерения их диаметра: поперечник этих планет виден под углом всего в несколько секунд.

## 5. Заблуждения и озарения учёных

**5.1.** Из всех разделов естествознания именно практическая астрономия изучает наиболее простые и наглядные явления, для которых сравнительно легко можно создать математическую модель (например, календарь), что и было сделано уже несколько тысячелетий назад. В то же время, как математическая дисциплина она наименее абстрактна, ибо по большей части имеет дело с реально наблюдаемыми явлениями. Например, сферическая геометрия развивалась только в рамках астрономии и связанной с ней географии.

**5.2.** Ксенофан считал Землю плоской, бесконечной, уходящей своими корнями в бесконечную глубину. Поэтому светила не могут обращаться вокруг Земли, а должны ежедневно рождаться и гибнуть (или удаляться в бесконечность). Для объяснения различий в видимом движении Луны и Солнца на разных широтах Ксенофан вынужден

был предполагать существование целого «набора» одновременно существующих светил.

5.3. По мнению Аристотеля и Птолемея, центр Мира совпадает с центром Земли; но если бы наблюдатель оказался на Луне, то тела падали бы к центру Луны, где влияние центра Мира уже отсутствует.

5.4. Высказывание Анаксимена — это мнение учёного, обладающего весьма неполными данными об объекте исследования. Анаксимен был уверен в материальности небесных объектов. Звёзды он считал твёрдыми телами, находящимися на одинаковом расстоянии от Земли. Чтобы исключить их взаимное перемещение и падение на Землю, он считал необходимым наличие твёрдой, но невидимой, опоры — «ледообразной» небесной сферы («Фрагменты ...», 1989, с. 132).

5.5. Весьма точны высказывания Анаксагора о причине свечения Луны и её рельефе. Солнце признаётся им очень крупным раскалённым телом, что в целом также верно. Поразительно точно угадана и причина свечения Млечного Пути. Хотя рассуждения о природе звёзд и причине их разогрева довольно примитивны, но Анаксагор прав, признавая звёзды материальными телами. Наконец, признаётся возможность падения «каменей с неба». Вот как об этом пишет Плиний в «Естественной истории»:

*Греки сообщают, что Анаксагор, благодаря своим познаниям в астрономии предсказал, в какие дни упадёт камень с Солнца, что и произошло среди бела дня в области Фракии возле реки Эгоспотамы (камень этот показывают и по сей день: он величиной с гружёный воз и опалённого цвета), причём в те ночи на небе пылала комета. Если поверить в то, что он и впрямь это предсказал, придётся также признать, что провидческая способность Анаксагора была совершенно удивительной; сама наша способность к пониманию природы вещей окажется под угрозой и всё спутается, если допустить, что Солнце либо само камень, либо на нём когда-либо находился камень. Однако сам факт частого падения [каменей с неба] не подлежит сомнению. Один такой, небольших размеров, и по сей день заботливо сохраняется в Абидосском гимнасии; рассказывают, что его падение на материке было предсказано тем же Анаксагором.*

Разумеется, даже в нашу эпоху учёным ещё не дано предсказывать падение на Землю метеоритов (хотя в недалёком будущем это представляется вполне возможным). Но при чтении приведённого выше фрагмента не может не поразить ясность, материалистичность и здравый смысл в мышлении древнегреческих философов и обывателей.

5.6. Как видим, эти сообщения не во всём согласуются между собой: материалом для твёрдого неба указан, в первом случае, воздух, во втором — вода, а в третьем — эфир. Но все три их объединяет одна мысль, вероятно, действительно принадлежащая Эмпедоклу: «мир материален и он эволюционирует». С ней вполне согласится современный учёный.

Весьма актуально также звучит сообщение о взглядах Эмпедокла, дошедшее до нас от Диогена Лаэртия. Воззрения его таковы: «элементов четыре: огонь, вода, земля и воздух, и ещё Любовь, которой они соединяются, и Распря, которой они разделяются». Как видим, присутствует не только *Пятый Элемент*, но и шестой.

5.7. Главное в идее Д. И. Менделеева — указание на системную, иерархическую организацию вещества. Мир представляет собой иерархию систем объектов — полагал Менделеев и даже указывал на возможность сложной структуры самих атомов. Термин *атом* (от греч. неделимый, неразрезаемый) Менделеев считал неудачным и предпочитал ему термин *индивидуум*, как предполагающий не только обособленность, но и возможность сложной внутренней структуры. Менделеев разъяснял, что слово *атом* значит по-гречески то же, что *индивид* по-латински. Слово *индивид* издавна и постоянно прилагают и к человеку, и к любому животному и растению. Но кто же сомневается, что животные и растения делимы?

«А потому лучше было бы назвать атомы *и н д и в и д у у м а м и*, *неделимыми...* *Индивидуум механически и геометрически делим и только в определённом реальном смысле неделим. Земля, солнце, человек, муха суть индивидуумы, хотя геометрически делимы*». Так утверждал Дмитрий Иванович в 1906 году. Разумеется, он был далёк от того, чтобы проводить прямую аналогию между объектами микро- и мегамира: приведённая цитата — лишь образная иллюстрация из книги Менделеева «Основы химии».

5.8. Газ представляет собой систему сталкивающихся корпускул, не обладающих заметными силами дальнего действия. В отличие от него, звёздный ансамбль — это система гравитационно связанных (эффект дальнего действия) не сталкивающихся тел. Однако многие механические проявления газовых и звёздных систем подобны.

5.9. Роль центральной массы в Галактике выполняет сгущение звёзд — галактическое ядро, в центре которого, по всей видимости, находится очень массивная чёрная дыра (около 2,5 млн. масс Солнца). Уже в 1948 году советские учёные получили изображение центральной части Галактики при помощи электронно-оптического преобразователя, чувствительного к инфракрасным лучам, для которых межзвёздная пыль — «завеса чёрного вещества» — не помеха.

5.10. Гюйгенс открыл Большую туманность Ориона, но суть открытия ещё долго оставалась непонятой. Позднее выяснилось, что до Гюйгенса, возможно, первым в Европе, в 1618 г. эту туманность наблюдал в телескоп швейцарский астроном Иоганн Цизат (1586—1657), но не обратил на неё должного внимания.

5.11. Речь идёт о внегалактических туманностях, или, по современной терминологии — галактиках.

5.12. Тёмные прогалы в Млечном Пути вызваны плотными облаками космической пыли, экранирующими излучение более далёких звёзд

Галактики. Одним из первых эту мысль сформулировал В. Я. Струве (1793—1864): продолжая изучение Галактики методом «звёздных черпков» Гершеля, он высказал уверенность в существовании межзвёздного поглощения света и оценил его величину в  $0,5^m$ /кпк. Лишь столетие спустя была доказана справедливость этого предположения и довольно высокая точность оценки Струве. Поглощение света стало первым свидетельством существования холодного межзвёздного вещества.

Ещё более определённое предсказание сделал «отец астрофизики» итальянец Анджело Секки (1818—1878), впервые систематически применивший спектроскоп в астрономии и давший в 1863 г. первую и довольно удачную спектральную классификацию звёзд. С помощью спектроскопа Секки установил различие между двумя типами туманностей: одни из них оказались звёздными системами, а другие — газовыми облаками. Всерьёз заинтересовавшись чёрными пустотами в Млечном Пути, которые Гершель считал «провалами в небесах», Секки настаивал на том, что это гигантские облака тёмных газов, проецирующиеся на светлый фон далёких звёзд. Однако ещё полстолетия астрономы склонны были разделять взгляды Гершеля и находили гипотезу Секки «маловажной».

Для астрономов XX века существование межзвёздных газо-пылевых облаков стало вполне обыденной вещью и, кстати, главным препятствием при изучении далёких областей Млечного Пути. Из-за наличия толстого слоя пыли в плоскости Галактики наблюдатель с Земли не может в оптических лучах увидеть галактическое ядро.

**5.13.** Число звёзд в наблюдаемой части Вселенной (Метагалактике) конечно, хотя и очень велико. Пространственная граница Метагалактики определяется моментом Большого взрыва и удалена от нас приблизительно на 13 млрд. световых лет. Однако вопрос об ограниченности объёма нашей Вселенной до сих пор остаётся открытым.

**5.14.** Ломоносов решил поставленную задачу небольшим ( $4^\circ$ ) наклоном главного зеркала к оси трубы. Это позволило вывести главный фокус за пределы трубы. Возникающая в такой системе кома минимальна в телескопах с большим фокусным расстоянием. Подобную схему применял и В. Гершель. В современной астрономии оптическая схема Ломоносова—Гершеля используется в солнечных телескопах.

**5.15.** Мысль Гераклита о том, что «космос один и тот же для всех» в наши дни можно сопоставить со свойствами однородности и изотропии Вселенной. «Вечно живой огонь», вероятно, аллегория, поскольку Гераклит полагал, что Космос попеременно возникает и снова уничтожается, чтобы возникнуть вновь. В то же время он считал огонь исходным, самым подвижным состоянием вещества, родоначальником всех прочих его форм. В этом смысле его представления близки к теории горячей Вселенной и, более того, к идеям современной инфляционной космологии.

**5.16.** Это высказывание В. Гершеля (1789 г.).

**5.17.** Кант существенно продвинулся по сравнению со своими предшественниками в формулировке и решении обеих поставленных им перед собою задач: раскрыть строение звёздной Вселенной и объяснить происхождение небесных тел и их систем. Однако полностью эти задачи не решены и по сей день, особенно проблема происхождения планетных систем.

**5.18.** Биологические структуры более сложны и в структурном, и в эволюционном плане, чем объекты мегамира.

**5.19.** Под «кристаллом небес» Бруно подразумевает бытовавшее в древние времена представление о небесных хрустальных сферах, на которых закреплены планеты и звёзды. Гелиоцентрическая система мира Коперника вдохновила Бруно отказаться от представления не только о сферах планет, но и о единой сфере неподвижных звёзд. Он представлял звёзды рассеянными в бесконечном пространстве, равноправными с Солнцем и обладающими своими планетными системами.

**5.20.** Бруно учился в монастырской школе, был доминиканским монахом, а позже — священником; поэтому в своём объяснении бесконечности Вселенной он, естественно, опирается на идеалистические доводы:

*Существует бесконечная Вселенная, созданная бесконечным божеством могуществом. Ибо я считаю недостойным благодати и могущества божества мнение, будто оно, обладая способностью создать, кроме этого мира, другой и другие бесконечные миры, создало конечный мир.*

**5.21.** Взгляды современных учёных не столь оптимистичны, как у Джордано Бруно. Кстати, сплюснутость Солнца из-за его медленного вращения так мала, что недоступна измерениям. Физические характеристики звёзд могут значительно отличаться от параметров Солнца. Скорее всего, не у всех звёзд есть планетные системы. Природные условия на планетах даже Солнечной системы резко различаются. В философском плане наличие внеземных цивилизаций современная наука не отрицает, но пока нет никаких фактов, доказывающих их существование. Вселенная безгранична, но может быть конечна.

**5.22.** Освещённость, создаваемая световым потоком Солнца через диафрагму размером с булавочное отверстие, много больше освещённости, создаваемой практически точечным источником света — звездой. Видимый угловой диаметр даже ближайших к нам и крупнейших звёзд ночного неба составляет лишь сотые доли угловой секунды. Чтобы с расстояния в несколько метров сквозь отверстие в экране можно было увидеть столь же малый участок солнечной поверхности, диаметр этого отверстия должен быть менее 1 мкм, что практически невозможно. Поэтому эксперимент Кеплера ни коим образом не подтверждает особую роль и центральное положение Солнца во Вселенной.

**5.23.** Галилей ещё не мог знать, что для земного наблюдателя звёзды представляются практически точечными источниками света. Кажущиеся угловые размеры звёзд определяются рассеянием света в атмосфере и в мутной среде оптических компонентов глаза. Атмо-

сферное рассеяние очень мало: угловой диаметр изображения звезды при наблюдении на уровне моря достигает 3—5". Для невооружённого глаза, имеющего — при наблюдении неярких объектов — разрешающую способность 100—150", такой источник представляется точечным. Но даже при 10-кратном увеличении телескопа (Галилей говорит о 100-кратном увеличении, имея в виду площадь изображения) атмосферный диск звезды формально остаётся за пределом разрешающей способности глаза. Однако в телескоп звезда кажется более яркой за счёт большего светового потока, собираемого объективом. Поэтому рассеяние света в мутной среде глазного яблока создаёт впечатление увеличенного изображения звезды. При этом кажущееся увеличение угловых размеров звезды не имеет ничего общего с угловым увеличением протяжённых земных и небесных объектов.

**5.24.** Как выяснилось уже в наши дни, Тихо Браге и другие учёные в 1572 г. наблюдали вспышку сверхновой звезды в нашей Галактике. Это явление наблюдается при взрыве массивной звезды-сверхгиганта, после которого от неё остаётся лишь ядро — нейтронная звезда весьма малого размера или чёрная дыра. После того, как горячая оболочка взорвавшейся звезды рассеется и остынет, на месте взрыва невооружённым глазом уже ничего не видно. Для дальнейших наблюдений требуется мощный телескоп — оптический, радио- или рентгеновский.

Указанных в условии задачи данных вполне достаточно для определения условий видимости звезды в момент вспышки. А более точные координаты Сверхновой 1572 можно найти, например, в справочнике Куликовского, в таблице «Галактические источники радиоизлучения»: в эпоху J2000.0 радиисточник, связанный с остатком этой Сверхновой имел координаты  $\alpha = 0^{\text{h}} 25^{\text{m}}$  и  $\delta = +64,2^{\circ}$ . Учёт прецессии за прошедшие 430 лет даёт координаты в эпоху вспышки:  $\alpha = 0^{\text{h}} 03^{\text{m}}$  и  $\delta = +61,8^{\circ}$ . Принимая широту места наблюдения равной  $56^{\circ}$ , видим, что Сверхновую 1572 г. Тихо наблюдал в верхней кульминации на высоте  $84^{\circ}$ , а в нижней — на высоте  $28^{\circ}$  над горизонтом, т. е. эта звезда, в принципе, круглые сутки была видна достаточно высоко над горизонтом. В середине ноября Кассиопея кульминирует вечером, около 20 час. Поэтому для наблюдения Сверхновой 1572 на ночном небе этот период года был чрезвычайно удобен. А в конце светового дня Кассиопея поднималась над горизонтом уже почти на  $60^{\circ}$ , что делало весьма удобным наблюдение Сверхновой и на дневном небе. В ноябре Сириус восходит около полуночи, тогда и можно было сравнить с ним блеск звезды.

Узнать условия видимости Венеры значительно сложнее: для этого проще всего использовать электронную программу-планетарий, достаточно точную, чтобы вычислять положения планет на интервалах времени в несколько столетий (для решения именно этой задачи советуем использовать программу А. Волынкина Turbo Sky v.3: в указанную дату на соответствующем месте её электронного неба действительно появляется Звезда Тихо). Установив дату «11 ноября 1572 г.» и широту

Москвы, увидим, что условия видимости Венеры были превосходными: планета была почти в максимальной западной элонгации; располагаясь на угловом расстоянии в  $43^\circ$  от Солнца, она восходила под утро и к началу сумерек уже была на высоте около  $20^\circ$  над горизонтом, имея блеск около  $-5^m$ . Вслед за ней восходил Меркурий (западная элонгация  $20^\circ$ ), а ещё позже, уже в лучах Солнца — Сатурн. Яркий Юпитер кульминировал поздним вечером на высоте в  $40^\circ$ . Как видим, условия для изучения Новой Тихо были практически идеальными.

Роль Сверхновой 1572 г. в истории астрономии чрезвычайно велика: её появление раз и навсегда разрушило древнее заблуждение о неизменности звёздного неба, а также окончательно определило судьбу Тихо Браге как астронома, работы которого дали толчок рождению новой науки.

**5.25.** Максимум излучения Сириуса лежит в ультрафиолетовой области спектра, поэтому в синей области его излучение больше, чем в жёлтой и зелёной. «Дерзким» Сириус, вероятно, назван за свой блеск: это ярчайшая звезда ночного неба.

Цвет Альдебарана, определяемый его температурой (3500 К), считается в астрономии оранжевым, иногда красноватым, что соответствует цветам рубина, разновидности которого имеют цвета от розового до красного. Под «цепью» Ориона, по-видимому, надо понимать звёзды так называемого «пояса» Ориона:  $\zeta$ ,  $\epsilon$ ,  $\delta$ . Эти звёзды голубоватые, с показателем цвета  $B-V$  около  $-0,2^m$  и звёздной величиной около  $2^m$ . Их яркость и голубой оттенок вызвали у поэта ассоциацию с алмазом, основное свойство которого — высокий показатель преломления ( $n=2,4$ ).

«Арго» — это прежде существовавшее созвездие южного полушария «Корабль Арго». Сейчас это звёздное поле поделено между четырьмя созвездиями: Киль, Корма, Компас и Парус. В северных средних широтах зимой над южной частью небосвода видны частично только Компас и Корма, не содержащие ярких звёзд. Слабые звёзды глаз воспринимает ахроматическими светоприемниками — палочками, и поэтому цвет таких звёзд фиксируется как беловатый (серебристый).

**5.26.** Действительно, за пределом атмосферы, в космосе, звёзд видно больше, и они не мерцают (по выражению одного из путешественников «они ... мертвенны»). Ночное небо выглядит темнее, чем при наблюдении с поверхности Земли, поскольку отсутствует рассеяние света и собственное свечение атмосферы. Звёзд видно больше не потому, что их яркость намного усилилась (поглощение света в атмосфере, близ зенита, составляет 25—30%), а потому, что фон неба стал более тёмным. Рисунок созвездий, разумеется, остался тем же самым.

А вот по поводу «разноцветности» звёзд Циолковский ошибся. Наш глаз вообще плохо воспринимает цвет слабо светящихся объектов, поскольку ночное, «палочковое» зрение не чувствительно к цвету. К тому же, излучение звёзд в основном носит тепловой характер, а распределение энергии в спектре чёрного тела весьма плавное. Поэтому, скажем, фиолетовых, синих и зелёных звёзд ни в космосе, ни на Земле

увидеть нельзя. Все горячие звёзды кажутся нам белыми или чуть голубоватыми; и только относительно холодные звёзды могут иметь красный или оранжевый оттенок, да и то лишь в том случае, если они достаточно яркие (см. задачу 5.25).

**5.27.** В 1859—1860 гг. Р. Бунзен и Г. Кирхгоф в Германии изобрели метод спектрального анализа света. С 1860 года началась история солнечной и звёздной спектроскопии (Д. Донати и А. Секки в Италии, У. Хёггинс в Англии, Г. Кирхгоф в Германии).

**5.28.** Во второй половине XIX века возникла астрофизика — наука о природе небесных тел и физике космоса. В наше время это основной раздел астрономии. А. Кларк: *«Эта наука даёт возможность изучать здесь на Земле строение звёзд, а сущность земных явлений постигать лучше после сравнения со звёздными мирами».*

**5.29.** Предположение Бесселя подтвердилось: среди звёзд и остатков их эволюции оказалось довольно много слабосветящихся и даже совершенно тёмных тел (в том числе и чёрных дыр). Спутники Сириуса и Прокциона — это звёзды малой светимости. Спутник Сириуса, белый карлик, был обнаружен американским оптиком А. Кларком в 1862 г. при испытании 46-см рефрактора. Спутник Прокциона, тоже белый карлик, был открыт в 1896 г. Дж. М. Шеберле при наблюдении в большой рефрактор Ликской обсерватории.

**5.30.** Если использовать современные термины, то, очевидно, в этой дискуссии речь идёт о явлении аберрации света. За счёт движения Земли по орбите направление приходящих от Солнца лучей смещается на  $20,5''$ .

**5.31.** На принципы эволюционности и единства физических законов для всей Вселенной.

**5.32.** Пять блуждающих звёзд — это пять известных в античное время планет: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. *Наблюдаемые у них неравенства* — это их петлеобразное и неравномерное движение по небесной сфере. По поводу построения теории наблюдаемых движений планет на основе сочетания только круговых равномерных движений Птолемей уже в приведённой цитате говорит, что он опирается на принцип *божественного* (понимай — математического) совершенства. Но в другом месте «Альмагеста» у него есть и более физическое обоснование:

*Поскольку движение небесных тел не встречает никаких препятствий и происходит легче всех других движений, ему должна быть свойственна и наиболее удобоподвижная форма; для плоских фигур это круговое движение, а для пространственных — сферическое.*

Хотя задача моделирования наблюдаемых движений планет при помощи комбинации некоторого числа равномерных круговых движений была впервые сформулирована в греческой астрономии ещё Платоном, никому из предшественников Птолемея не удалось достичь столь высокого совершенства в решении этой задачи. Косвенно о высокой оценке труда Птолемея свидетельствует и трансформация названия

книги: первоначально «Альмагест» назывался «Мегале синтаксис», что можно перевести как «Великое построение» или как «Великое сочинение», но средневековые арабские астрономы стали употреблять название «Аль Маджисти» («Величайшее»), откуда и получился «Альмагест».

Сам Птолемей хорошо понимал и отмечал в «Альмагесте» трудности предвычисления положений планет на длительный срок, но всё же в течение полутора тысячелетий его теория служила единственным инструментом для решения этой задачи. Вероятно, сам Птолемей был бы удивлён таким долгожительством своей теории. Он писал: *«Надлежит применять к небесным движениям, насколько это возможно, гипотезы простейшие; но если их недостаточно, нужно изыскивать другие, более подходящие»*. Эти «другие» теории оказались востребованы лишь через много веков. Создание математической модели мира, позволяющей давать правильные положения планет на небесной сфере, считается большинством историков научным подвигом Птолемея.

Но следует заметить, что существует и другая точка зрения на работу Птолемея. Она изложена в книге современного специалиста по небесной механике Роберта Ньютона «Преступление Клавдия Птолемея» (1985) и состоит в том, что большинство наблюдательных данных было Птолемеем подделано, а основные достижения античной астрономии изложены в «Альмагесте» неполно и необъективно, в выгодном для автора этого сочинения свете.

Продлав детальный анализ содержания «Альмагеста» (который он предпочитает именовать «Синтаксисом») и сопоставив данные Птолемея с результатами современных расчётов движения планет, Роберт Ньютон пришёл к следующим выводам:

*Все собственные наблюдения Птолемея, которыми он пользуется в «Синтаксисе», насколько их можно было проверить, оказались подделкой. Многие наблюдения, приписанные другим астрономам, также часть обмана, совершённого Птолемеем. Его работа изобилует теоретическими ошибками и недостатком понимания... Его модели для Луны и Меркурия противоречат элементарным наблюдениям и должны рассматриваться как неудачные. Само существование «Синтаксиса» привело к тому, что для нас потеряны многие подлинные труды греческих астрономов. А вместо этого мы получили в наследство лишь одну модель, да и то ещё вопрос, принадлежит ли этот вклад в астрономию самому Птолемеему. Речь идёт о модели экванта, использовавшейся для Венеры и внешних планет. Птолемей существенно уменьшает её значение не совсем правильным использованием.*

*Становится ясно, что никакое утверждение Птолемея не может быть принято, если только оно не подтверждено авторами, полностью независимыми от Птолемея. Все исследования, в истории ли, в астрономии ли, основанные на «Синтаксисе», надо проделать заново.*

*Я не знаю, что могут подумать другие, но для меня существует лишь одна окончательная оценка: «Синтаксис» нанёс астрономии*

*больше вреда, чем любая другая когда-либо написанная работа, и было бы намного лучше для астрономии, если бы этой книги вообще не существовало.*

*Таким образом, величайшим астрономом античности Птолемей не является, но он является ещё более необычной фигурой: он самый удачливый обманщик в истории науки.*

Можно по-разному относиться к мнению Роберта Ньютона, но очевидно одно: история науки — это живое дело, в котором возможны попытки революционного пересмотра устоявшихся оценок. Правда, не всегда эти «революции в истории» совершаются на достаточно высоком профессиональном уровне, и поэтому, естественно, они не находят поддержку у специалистов. Так было и в прошлом: например, Копернику приходилось защищать Птолемея (!) от необоснованных нападок и критики, опубликованных в арабских трактатах (Идельсон, 1947, с. 11). А современные примеры неудавшихся научных революций дают работы академиков Н. А. Морозова и А. Т. Фоменко (см.: «Антифоменко», 2000; «Астрономия против ...», 2001).

**5.33.** Эта цитата из первой научной работы Н. Коперника, которая историками науки условно названа «Малым комментарием». Она была завершена около 1515 г., но не была напечатана автором и ходила в списках. Первое сообщение о существовании этой работы было сделано датским астрономом Тихо Браге, который получил её в 1575 г. В «Малом комментарии» впервые излагается общая схема гелиоцентрической теории. Как видно из приведённого текста, в модели мира Коперника сохранены эпициклы, хотя по сравнению с моделью Птолемея их количество существенно сокращено.

**5.34.** Прежде всего, сам вопрос Сенеки говорит нам о том, что накануне эпохи Птолемея в среде интеллектуальной элиты свободно обсуждалась проблема движения Земли. Для Сенеки, философа-стоика, проповедавшего безразличие к внешним обстоятельствам жизни (к богатству и бедности, к славе и ненависти, к боли и смерти, и т. п.) вопрос о движении Земли имел скорее нравственное, чем физическое значение. Разумеется, Сенеку нельзя упрекнуть в отсутствии естественнонаучной любознательности: среди его многочисленных произведений были и «Исследования о природе» (*Naturales quaestiones*), в семи книгах, посвященные грому и молнии, снегу, граду, дождю, землетрясениям, кометам и т. п. До тех пор, пока Запад не познакомился с Аристотелем, «Исследования о природе» Сенеки использовались в качестве главного источника информации по натуральной истории. Однако стоики рассматривали небесные и вообще природные феномены как непосредственное доказательство того, что Вселенной управляет разумное провидение («*обрекла ли судьба нашу Землю...*»). Поэтому вопрос о движении Земли понимался стоиками не как физическая проблема системы отсчёта, а как вопрос об отношении провидения к Человеку: «*заставили ли боги все небесные тела двигаться вокруг нас или же мы*

*сами около них вращаемся?»*. Создан ли Человек как центр Вселенной или как равноправная её часть — вот основной смысл вопроса Сенеки.

**5.35.** Подробные опыты с качающимся маятником провёл в январе 1851 г. французский физик-экспериментатор Жан Фуко, в честь которого прибор был назван *маятником Фуко*. Тогда же он объяснил наблюдаемое явление суточных вращением Земли. Через три месяца учёный продемонстрировал свой опыт с маятником длиной 67 м. Лиувиль показал, что на полюсах Земли угловая скорость поворота плоскости качания маятника наибольшая, а на экваторе эта плоскость остаётся неизменной.

**5.36.** Основная идея Плутарха — гениальная догадка, но исследователи считают, что под «огнём» совсем необязательно подразумевалось Солнце.

**5.37.** Описана гелиоцентрическая модель мира, предложенная древнегреческим астрономом Аристархом Самосским (ок. 310—230 гг. до н. э.). Цитата взята из труда Архимеда «Исчисление песчинок [во Вселенной]», написанного им в 216 г. до н. э.

**5.38.** В средние века более точные наблюдения планет привели к необходимости усложнения системы мира Птолемея. Для каждой планеты были введены дополнительные эпициклы, причём центр каждого последующего двигался по окружности предыдущего, и только по последнему эпициклу двигалась сама планета. Модель мира стала настолько громоздкой, что у многих людей возникли сомнения в её правильности.

**5.39.** Лихтенберг хотел этим сказать, что после создания гелиоцентрической системы мира астрономия стала быстро развиваться. В историческом плане это именно так. Но вот вопрос: благодаря чему стала быстро развиваться астрономия — благодаря новой концепции или изобретённому в эти же годы телескопу? И было ли случайным это совпадение? И не было ли у гелиоцентризма и телескопостроения общей причины для быстрого прогресса?

**5.40.** Положения 4, 5, 6 и 7 модели мира Коперника и сегодня можно считать вполне точными; но положения 1, 2 и 3 со временем потребовали ревизии.

**5.41.** Эти рассуждения Коперника, в целом довольно наивные, основываются на обобщении житейского опыта и содержат некоторые интуитивные находки. Опыт нам подсказывает, что «природные», длительно существующие физические объекты и системы находятся в состоянии равновесия и обладают более высокой устойчивостью, чем короткоживущие искусственные создания. Под действием внешних сил система может быть выведена из равновесия (ускорение) и разрушена (деформация). Коперник верно оценил, что при вращении двух объектов разного размера (Земля и небеса) с одинаковым периодом большие нагрузки испытывает объект большего размера.

**5.42.** Прежде всего Коперник имеет в виду особенности наблюдаемого петлеобразного движения планет: систематическое уменьшение размера петель и увеличение числа петель на каждом обороте планеты

в порядке их расположения от Марса к Сатурну. Но орбиты планет Коперник представляет круговыми, в действительности же они эллиптические.

**5.43.** Историки науки полагают, что А. Осияндер в своём предисловии намеренно принизил значимость системы мира Н. Коперника и свёл её к ещё одному методу расчёта положений светил на небе. Очевидно, что приведённые слова Осияндера могли бы характеризовать и модель мира Птолемея.

**5.44.** Эта попытка реформы календаря была предпринята египетским царём Птолемеем III Эвергетом. Календарь совпадает с тем, который был введён Юлием Цезарем в 46 г. до н. э. и теперь называется *юлианским*.

**5.45.** Шведский учёный Сванте Аррениус (1859—1927) в книге «Представления о мироздании на протяжении веков» приводит следующее высказывание самого Н. Коперника:

*После того, как я долго размышлял о сомнительности математических учений относительно исчисленных круговых движений сфер, мне было тяжело сознавать, что философы, заботливо исследовавшие мельчайшие подробности этих круговых движений, не нашли надёжных оснований для движения мировой машины, которая всё же была построена ради нас лучшим мастером, сообразовавшимся с законами природы. Поэтому я не пожалел труда вновь перечитать книги всех имевшихся у меня философов, чтобы отыскать, не высказал ли кто-нибудь мнение о том, что небесные тела имеют другие движения, чем принятые теми, кто обучает в школах математическим наукам. Тогда я нашёл у Цицерона, что Ницетус (Гицет) полагал, будто Земля движется. Затем я нашёл у Плутарха, что и другие держались того же мнения. Для общего сведения я здесь приведу его слова: «Некоторые думают, что Земля движется. Так пифагореец Филолай говорит: „Земля движется по наклонному кругу, точно так же, как Солнце и Луна“. Пифагорейцы Гераклид из Понта и Экфант полагают, что Земля вращается, правда, не непрерывно, а во время между заходом и восходом Солнца, наподобие колеса вокруг своей центральной точки». Побуждаемый таким примером, и я стал думать о подвижности Земли, и хотя это могло показаться нелепым, я всё же не бросил своей мысли, так как знал, что другим до меня была дана свобода признавать любые круговращения в явлениях небесных светил.*

**5.46.** На самом деле устройство Солнечной системы в модели мира Коперника является лишь немного менее сложным, чем у Птолемея. Поставив в центр мира Солнце, что впервые было предложено ещё Аристархом Самосским, Коперник затем последовательно усложнял свою систему, вводя эпициклы и смещая центры окружностей-деферентов относительно центра Солнца. В окончательном варианте модель мира Коперника насчитывала 48 окружностей.

**5.47.** Ответ Галилея был очень прост: *«оттого, что глаза у вас слабы; возьмите трубу и увидите».*

5.48. Идеологи церкви далеко не сразу поняли революционную суть учения Коперника. Отчасти этому способствовало предисловие к книге Коперника, написанное лютеранским богословом Осандером (см. задачу 5.43). Но со временем «подрывная» роль книги Коперника становилась всё более очевидной.

5.49. В своём «Отречении» Галилей три раза подтвердил своё мнение относительно правильности гелиоцентрического учения. Молва также утверждает, что после отречения он сказал: «А всё-таки она вертится!». Оказавшись после суда под надзором инквизиции, он продолжал научную работу, а свои труды издавал в других, протестантских странах.

5.50. Речь в письме Кеплера идёт о построении из множества разрозненных наблюдений единой математической модели планетных движений. «Архитектором» этого величественного «сооружения» стал сотрудник и преемник Тихо Браге — сам Кеплер, создавший законы планетных движений.

5.51. В качестве планетных орбит Кеплер опробовал различные замкнутые кривые: эксцентрик (окружность с нецентральным положением Солнца); эллипс с Солнцем, помещённым в центре; различные виды овалов. В конце изысканий он снова обращается к эллипсу, но с Солнцем, помещённым в одном из фокусов.

5.52. Жизнь и творчество Кеплера пришлось на пограничную эпоху между средневековой и современной наукой. Поэтому многие его взгляды были двусмысленными, обременёнными мистикой чисел и архаичными понятиями схоластики: *соответствие*, *симпатия*, и т. п. Для Кеплера критериями справедливости научных теорий часто служили абстрактно-математические понятия: *гармония*, *прогрессия*, и т. п. Его увлечение астрологией также имеет двусмысленный характер: с одной стороны, он вполне искренне искал числовые соответствия между небесными и земными явлениями, с другой — занимался составлением гороскопов из вполне материальных побуждений, поскольку именно это находило спрос у богатых и властных людей. Но и здесь проявились незаурядные качества Кеплера как настоящего учёного: он не мог бездумно «гнать халтуру», а пытался проанализировать и улучшить прогностические возможности астрологии. В этом смысле и следует понимать его приведённые в задаче слова.

С годами Кеплер окончательно разочаровался в астрологии. Забывая свой скудный хлеб как астролог, Кеплер довольно презрительно отзывался об этом ремесле: *«Астрология есть такая вещь, на которую не стоит тратить времени, но люди в своём невежестве думают, что ей должен заниматься математик»*. Ярмарочное звездочтение было ему не по душе. И всё же в своём поиске мировой гармонии и движущих сил природы Кеплер считал неверным отказ от наблюдений и сопоставлений, накопленных древней наукой. В одном из своих сочинений он предостерегал исследователей, *«чтобы они*

при легкомысленном отбрасывании звездословного суеверия не выбросили ребёнка вместе с водой из ванны». До наших дней продолжается анализ предсказательных возможностей астрологии. Пока никакого «ребёнка» в этой «ванне» не обнаружено — лишь мутная вода.

**5.53.** Переводчиком книги Ш. Бонне был малоизвестный в то время немецкий профессор физики Иоганн Даниель Тициус фон Виттенберг (1729—1796). Он вставил в текст книги описание обнаруженной им закономерности планетных расстояний без указания своего авторства. И только во втором немецком издании Иоганн Тициус дал свой закон как примечание переводчика. По его мнению, расстояние в 28 единиц (2,8 а. е.) «принадлежит ещё не открытым спутникам Марса». В 1772 г. немецкий астроном Иоганн Элерт Боде (1747—1826), прочитав «Созерцание природы» и изумившись, с какой точностью правило Тициуса описывает истинные расстояния планет от Солнца, привёл его в своей книге «Руководство по изучению звёздного неба», забыв при этом сослаться на автора идеи. Правда, в более поздних изданиях своей книги Боде сделал это (Ньето, 1976, с. 28). В отличие от Тициуса, Боде предположил, что на расстоянии в 2,8 а. е. движется неизвестная «большая планета» и даже, используя закон Кеплера, указал её орбитальный период в 4,5 года.

Иоганн Боде активно пропагандировал правило планетных расстояний. После того, как были открыты Уран (1781 г.) и Церера (1801 г.), прекрасно занявшие свои места согласно этому правилу, оно стало очень популярным и оказалось связано лишь с именем Боде. До недавнего времени правило планетных расстояний именовалось в западных книгах не иначе как «закон Боде». Но в последние десятилетия историческая справедливость восстанавливается, и это правило всё чаще именуют законом Тициуса — Боде.

**5.54.** Эти слова принадлежат Иоганну Кеплеру. Сходные идеи высказывал и его современник — английский учёный В. Гильберт (1600 г.).

**5.55.** Исаак Ньютон (1643—1727), английский физик, астроном, математик, основоположник небесной механики, позволившей на основе закона всемирного тяготения определить движение в пространстве тел Солнечной системы. Он открыл дисперсию света, изобрёл телескоп-рефлектор, оказал огромное влияние на развитие астрономии и астрофизики.

**5.56.** Приведена цитата из работы Роберта Гука «Попытка доказать движение Земли на основе наблюдений» (1674 г.). Гук был замечательным физиком-экспериментатором и интуитивно предполагал существование многих явлений природы и законов физики задолго до их открытия. Например, ещё до Ньютона Гук пришёл к правильному выводу о зависимости силы тяготения от расстояния ( $1/R^2$ ), но не развил эту идею (см.: Боголюбов, 1984).

**5.57.** Лагранж отмечает более высокую значимость трудов Галилея в области механики по сравнению с его астрономическими открытиями. Однако громадное значение астрономических открытий Галилея

не подлежит сомнению. Первые в мире астрономические оптические наблюдения и правильная их интерпретация позволили ему заложить основу современной астрофизики. В исследовании мегамира Галилей фактически продвинулся намного дальше, чем в изучении макромира (механика). Современная астрофизика ведёт своё начало от Галилея.

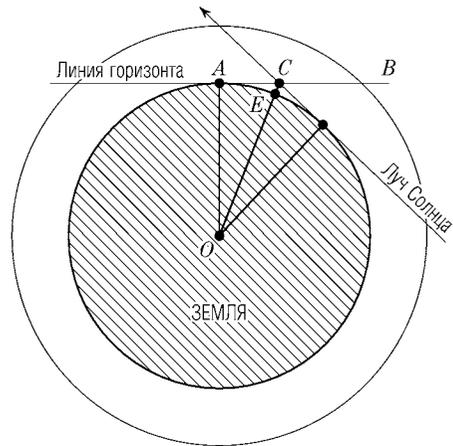
**5.58.** Системы, описанные решением Лагранжа, встречаются в природе. Так, астероиды-тройяны движутся по орбите Юпитера двумя группами. Первая группа находится впереди Юпитера на  $60^\circ$ , а вторая группа — настолько же позади. Таким образом, каждая группа вместе с Юпитером и Солнцем, образует устойчивый лагранжев треугольник.

**5.59.** Ловелл, вслед за Скиапарелли, наблюдал Меркурий днём. В условиях горной обсерватории это имеет смысл, поскольку ослабление света при большой угловой высоте небесного объекта минимально, а фон неба не очень ярк. При этом можно исследовать планету не только в периоды наибольших элонгаций, но и на малом угловом удалении от Солнца, когда в календарях указано, что Меркурий невидим на фоне ночного неба.

**5.60.** Метод определения высоты атмосферы очевиден из приведённого рисунка.

Если не учитывать атмосферную рефракцию и понимать слова Лакайля так, что в указанный момент дуга сумеречного сегмента неба скрылась за горизонтом, то оценка толщины атмосферы с использованием наблюдений Лакайля составляет около 70 км. В рамках метода Кеплера атмосфера считалась однородной и не учитывалось многократное рассеяние солнечного света. По современным данным, толщина нижнего слоя атмосферы — тропосферы, где содержится 80% массы воздуха, составляет около 10—12 км, хотя следы газовой оболочки Земли обнаруживаются и на высотах более 2000 км. В техническом смысле границей атмосферы считают высоты от 80 до 120 км. В целом оценку Лакайля можно считать вполне приемлемой.

**5.61.** Некоторые динамические параметры — диаметр, масса и, как результат, ускорение свободного падения на поверхности — у Земли значительно ближе к аналогичным параметрам Венеры, чем Марса. Однако период суточного вращения, наклонение оси вращения к плоскости орбиты и, следовательно, характер смены времён года у Земли



*К решению задачи 5.60. Метод определения высоты атмосферы по высоте сумеречного сегмента.*

практически такие же, как у Марса. Этому способствует относительное сходство их атмосфер: высокая прозрачность и близость средних температур. Поэтому современные астрономы, как и В. Гершель, считают, что условия на поверхности Земли ближе всего к условиям Марса. Прежде всего это касается возможности существования воды в трёх фазах — твёрдой, жидкой и газообразной.

**5.62.** Скиапарелли пришёл к выводу, что наблюдаемые белые пятна, видимые на краю марсианского диска, — это полярные шапки планеты. Он оказался прав: современные исследователи установили, что полярные шапки Марса состоят из твёрдой углекислоты с примесью водяного льда. Полярные шапки всегда видны близ края видимого диска Марса, поскольку ось вращения планеты слабо наклонена ( $25^\circ$ ) к её орбитальной плоскости, которая почти совпадает с плоскостью эклиптики (наклонение  $2^\circ$ ), в которой, в свою очередь, располагается земной наблюдатель.

**5.63.** Тёмные пространства на Марсе никогда не давали солнечных бликов, что могло бы быть, если бы эти участки были покрыты водой. Также выяснено, что отражательная способность различных областей Марса не связана с их рельефом.

**5.64.** Наводнений на Марсе нет, так как там нет открытых водных пространств. То, что с Земли представлялось каналами, в действительности оказалось оптической иллюзией: совокупностью мелких кратеров, трещин, уступов и т. д. Правда, причина их линейного расположения до сих пор не ясна. «Таяние» снегов преимущественно означает возгонку углекислоты. Считается, что потемнение околополярных районов в весеннее время связано с перемещением по его поверхности песчаных масс. Но и это ещё не до конца ясно.

**5.65.** Взгляды современных учёных, основанные не только на наземных, но и на космических наблюдениях, а также на исследованиях, проведённых непосредственно на поверхности Марса, стали более песимистическими. На планете не обнаружены не только разумные, но пока даже примитивные формы жизни.

**5.66.** Орбита объекта, открытого В. Гершелем, оказалась круговой околосолнечной, откуда был сделан вывод, что открытый объект — планета, позднее названная Ураном. Кометы на больших расстояниях от Солнца и Земли имеют вид диска, что делает их похожими на планеты.

**5.67.** Труд Кеплера, из которого взята цитата, называется «Сон, или посмертное сочинение об астрономии Луны». Древнееврейское слово «*Levana*» означает «Луна».

**5.68.** Очевидно, что пронизательность и интуиция есть необходимые качества учёного. Кроме этого, учёный должен обладать большими познаниями и глубоко проникать в избранную тему исследования. Только тогда может произойти озарение, и состоится научное открытие. Кажущаяся лёгкость научного творчества, например, открытие на прогулке или даже во сне — это результат длительного и напряжён-

ного обдумывания задачи, когда мозг не может оставить эту работу даже во время физического отдыха учёного.

В то же время, первым обнаружить новое явление или новый астрономический объект способен и просто любознательный человек, не предпринимаящий систематического научного поиска. Не раз так открывали кометы и новые звёзды. Вот два характерных и близких нам примера такого рода открытий. Первый из них описан профессором С. П. Глазенапом (1909, с. 120):

*В 1901 году, 8 февраля по старому стилю, в созвездии Персея заблестала новая звезда, открытая молодым гимназистом пятой Киевской гимназии Андреем Борисяком, а несколькими часами позднее — Андерсоном в Эдинбурге. Борисяк и Андерсон заметили новую звезду 8 февраля, когда она уже достигла значительного блеска и бросалась в глаза. До 11 февраля 1901 г. Новая Персея увеличивалась в своём блеске, а с этого дня начала блекнуть; уменьшение блеска шло очень быстро: в марте она уже была четвёртой величины, в апреле — шестой величины и находилась на пределе зрения. В конце 1902 г. она была девятой величины.*

*Молодой любитель астрономии А. Борисяк удостоился Высочайшего поощрения: Его Величество Государь Император Николай Александрович милостиво подарил Борисяку прекрасный телескоп работы Цейса.*

К сказанному профессором Глазенапом следует добавить, что Новая Персея 1901 г. (N Per 1901, или GK Per) оказалась уникальным объектом. Во-первых, это была одна из ярчайших новых прошедшего столетия — в максимуме её блеск достиг нулевой величины; лишь новая V603 Aql 1918 блестела на величину ярче. Во-вторых, многие годы после вспышки

Новой Персея астрономы наблюдали расширяющуюся вокруг неё газовую оболочку — остаток взрыва звезды. Наконец, это единственная новая, у которой многие десятилетия наблюдался эффект светового эха: вспышка звезды осветила окружающее её межзвёздное вещество, и эта освещённая область со скоростью света расширялась, подобно сброшенной оболочке.

Так киевский гимназист Борисяк оказал услугу науке. А вот вторая подобная история, случившаяся 29 августа 1975 г. в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР и соседствующей с ней обсерватории МГУ. Именно там в это время, вместе с десятками профессиональных астрономов, проводил свои наблюдения и студент-дипломник МГУ Сергей Шугаров.



*А. Борисяк, открывший Новую Персею 1901 г.*

Будучи со школьных лет фанатичным любителем астрономии, Сергей прекрасно знал звёздное небо. Поэтому, направляясь к башне телескопа и окидывая по привычке взором звёздное небо, он сразу обнаружил «лишнюю» звезду в Лебеде и быстро оповестил об этом сотрудников двух обсерваторий. Незамедлительно были начаты наблюдения всеми доступными средствами и отправлена телеграмма в международный центр астрономических открытий, который разослал её во все обсерватории мира. В результате удалось подробно изучить одну из самых интересных новых в истории астрономии — Новую Лебеда (V1500 Cyg), уникально быструю по скорости нарастания и спадания блеска: невооружённым глазом она была видна всего несколько ночей.

Позже некоторые маститые астрономы Крыма вспоминали, что в тот вечер созвездие Лебеда им тоже показалось каким-то необычным, но за суетой дел они не осознали истинной причины этого. В результате открытие досталось студенту. Правда, телескоп Цейса ему за это не подарили, но весть об открытии сыграла немалую роль в его судьбе: несмотря на весьма умеренную успеваемость студента по теоретическим предметам, ректор университета своим решением оставил «открывателя новых звёзд» для работы в МГУ и не ошибся. Сегодня Сергей Юрьевич Шугаров — один из ведущих специалистов по изучению переменных звёзд. Не заставила себя ждать и слава: побывавший в те дни на Крымской обсерватории известный поэт Андрей Вознесенский был поражён открытием студента и написал стихотворение:

#### Новая Лебеда

*Звезда народилась в созвездии Лебеда —  
такое проспать!*

*Явилась стажёру без роду и племени  
«Новая Лебеда-75».*

*Наседкой сидят корифеи на яйцах,  
в тулупах высиживая звезду.*

*Она ж вылупляется и является  
совсем непристойному свистуну.*

*Ты в выборе сбрендил. Новая Лебеда!  
Египетский свет на себе задержав,  
бесстыдно, при всечеловеческой челяди  
ему пожелала принадлежать.*

*Она откровенностью будоражила,  
сменила лебяжьего вожака,  
все лебеди — белые, эта — оранжева,  
обворожительно ворожа,  
дарила избраннику свет и богатства  
все три триумфальные месяца. Но —*

*погасла!..*

*Как будто сколупленное домино.*

«Прощай, моя муза, прощай, моя Новая Лебедя!  
 Растёт неизвестность из чёрной дыры.  
 Меня научила себя забывать и ослепнуть.  
 Русалка отправлена на костры.  
 Опять в неизвестность окно отпираю.  
 Ты — Новая Лебедь, не быть тебе старой...  
 Из кружки полейте на руки Пилату.  
 Прощай, моя флейта!  
 Прощай, моя лживая слава.  
 Ты мне надоела. Ступай к аспиранту!».

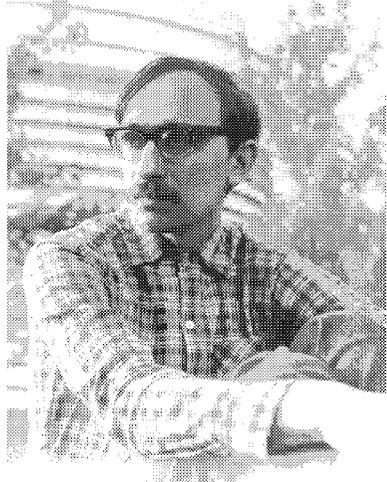
Стихотворение это было опубликовано в самом популярном в те годы журнале «Юность» с тиражом в 2,7 млн. экз. и принесло студенту Шугарову всесоюзную славу (хотя и не понравилось самому «непристойному свистуну», поскольку в комментарии к стихотворению поэт перепутал как дату открытия, так и фамилию первооткрывателя). Кстати, упомянутый в последней строчке аспирант — также фигура реальная: он был в момент вспышки звезды в обсерватории, видел её, но, озабоченный аспирантскими проблемами, не обратил внимания. Ныне он известный профессор.

Итак, два юных любителя науки — гимназист и студент — не достигнув ещё статуса учёного и не просяживая штаны над сложными проблемами, смогли сделать полноценные и важные для науки открытия. Может быть именно это и имел в виду Аристотель, говоря о «проницательности» учёного?

**5.69.** Приведённое высказывание Леонардо можно толковать так: он считает положение Солнца и Луны во Вселенной равноценными, а значит, ни тот, ни другой космические объекты не могут служить центром мира. В другом месте учёный утверждает, что Земля не находится «ни в центре солнечной орбиты, ни в центре Вселенной». Следует заметить, что Леонардо умер до появления труда Коперника.

**5.70.** Главный аргумент Галилея в пользу шарообразности Луны — форма терминатора:

*Луна и Земля сходны, конечно, по форме, которая, несомненно, шарообразна, как это неизбежно следует из того, что диск Луны виден*



*Студент МГУ Сергей Шугаров, открывший Новую Лебедя 1975 г., на фоне башии 2,6-метрового рефлектора им. Г. А. Шайна Крымской астрофизической обсерватории.*

совершенно круглым, и из того, как она воспринимает свет Солнца. Если бы поверхность её была плоской, то вся она одновременно одевалась бы светом, а потом равным образом в одно и то же мгновение вся лишалась бы света, но не освещались бы сперва те её части, которые обращены к Солнцу, а за ними постепенно и все следующие, так что, только достигнув противостояния, и не раньше, весь её видимый диск оказывается освещённым; и обратно, совершенно противоположное этому происходило бы, если бы её видимая поверхность была вогнута, а именно: освещение начиналось бы с частей, противоположных Солнцу.

**5.71.** Гаусс обращает внимание на ограниченность нашего знания; современные естествоиспытатели формулируют это положение так: *«Всё, что не запрещено [фундаментальными законами], то разрешено»*. В связи с этим учёные предполагают, что жизнь может иметь различные биохимические основания и сильно варьировать свою форму в зависимости от внешних условий, по Гауссу — быть «иначе организованной». Пример последних лет: глубоководные гидротермальные сообщества — почти замкнутые оригинальные биосферы в миниатюре. Уверенность Гаусса в наличии и многообразии жизни во Вселенной сегодня разделяется многими учёными.

**5.72.** Если высота Луны и Солнца над горизонтом одинакова, то атмосферное поглощение света, падающего на гору и приходящего от Луны, также будет одинаковым. Это понимал и сам Дж. Гершель, который далее в цитированном отрывке пишет: *«Солнце и Луна находились на одинаковой высоте, в атмосфере не было ни облаков, ни паров, и последняя действовала одинаково на оба светила»*.

По современным данным, Луна и целый ряд других спутников планет имеют низкую отражательную способность. В визуальных лучах альbedo материков Луны составляет около 0,09, лунных морей — чуть более 0,04. Опыт Гершеля, демонстрирующий весьма низкое альbedo лунной поверхности, можно повторить, если сравнивать яркость почти полной Луны и белой стены, освещённой лучами заходящего Солнца.

**5.73.** Под «философами» раньше понимали учёных вообще, и астрономов — в частности. Лучшее всего рельеф Луны виден в то время, когда тени от гор и кратеров наибольшие, что имеет место во время первой и последней четвертей близ терминатора. Вывод, сделанный Галилеем, возможен только при наблюдениях в телескоп.

**5.74.** В настоящее время доказано, что лунные кратеры возникли в результате ударного взаимодействия с Луной метеоритов разного размера.

**5.75.** Представление о разумных жителях Луны — селенитах — было распространено в средние века, когда ещё не знали о неблагоприятных для жизни условиях на поверхности нашего спутника. Отражающая способность поверхности Земли из-за облаков, снега и светлых грунтов примерно на порядок превышает альbedo поверх-

ности Луны. В сочетании с большим угловым диаметром диска Земли на небе Луны это даёт значительно большую освещённость на Луне от Земли, чем на Земле от Луны при аналогичных фазах. Из-за равенства периода обращения Луны вокруг Земли и периода вращения Луны вокруг собственной оси Земля почти неподвижна на лунном небе. Однако из-за оптических либраций Луны Земля в течение месяца описывает на небе нашего спутника небольшой эллипс. Период вращения Земли для лунного наблюдателя ( $24^{\text{h}} 50^{\text{m}}$ ) определяется как суточным вращением Земли относительно звёзд ( $23^{\text{h}} 56^{\text{m}}$ ), так и обращением Луны вокруг Земли ( $27,32$  сут.).

**5.76.** Плотность горных пород на Луне не превышает плотности вещества гор на Земле. Поверхность Луны покрыта толстым слоем сыпучего материала — реголита. Этот вывод был сделан уже современными учёными из астрофизических наблюдений, и он был подтверждён контактными исследованиями лунной поверхности. Горы на Луне, особенно кратеры, не являются особенно крутыми. Эффект крутизны гор возникает при наблюдениях рельефа вблизи терминатора. Посередине крупных кратеров, действительно, имеются центральные горы, а вещество внутри больших кратеров обычно тёмное.

**5.77.** Пылинки, находящиеся в воздухе, опускаются медленно, особенно мелкие, так как на них, кроме силы притяжения, действует сила сопротивления среды (сила Стокса), направленная вверх. Медленно опускающийся космический корабль садится на струе газа, вырывающегося из сопла реактивного двигателя. Скорость истечения газа должна быть велика, чтобы создать достаточный импульс посадочному отсеку. Газ, ударившись о поверхность Луны, придаёт частицам реголита большую скорость. Низкие траектории пылевых частиц возникли при сдувании пыли с поверхности камней, которыми был усеян район посадки. Дальность полёта частиц пыли из-за малого ускорения свободного падения и отсутствия сопротивления среды была существенно больше, чем в условиях Земли.

**5.78.** При ходьбе скорость перемещения определяется амплитудой и частотой ( $\nu$ ) свободных колебаний ног как физических маятников при данном значении ускорения свободного падения ( $g$ ). Для шагов умеренной амплитуды (линейные колебания маятника) эта зависимость хорошо известна:  $\nu \propto g^{1/2}$ . А поскольку ускорение свободного падения на Луне в шесть раз меньше, чем на Земле, то и скорость ходьбы у космонавтов была в 2,5 раза меньше их скорости на Земле при прочих равных условиях. Напротив, при прыжках дальность полёта должна быть в 6 раз больше, чем на Земле, но реально скорость передвижения таким методом не достигала максимального теоретического значения из-за того, что движение космонавта во время прыжков стесняли скафандр и неуверенность, связанная с незнакомой обстановкой.

**5.79.** О неизвестных в то время спутниках Марса написал в своём фантастическом произведении «Путешествия Гулливера» (1726 г.)

английский писатель Джонатан Свифт. О них же упоминает и французский философ Вольтер в своём произведении «Микромегас» (1752 г.). Оба автора, вероятно, основывались на идеях Кеплера, который предполагал наличие у Марса двух спутников, исходя из возможной пропорции: у Земли один спутник, у Юпитера — четыре (известных в то время).

Указанные Свифтом периоды обращений спутников Марса оказались близки к истине, так как Фобос обращается вокруг Марса за 7,65 часов, а Деймос за 30,3 часов. Но действительные ареоцентрические расстояния спутников оказались заметно меньше: Фобос удалён от центра планеты на 1,4 её диаметра, а Деймос — на 3,5. Московский астроном И. Ф. Полак (1939) считал, что Свифт, по всей вероятности, взял для расстояний предполагаемых спутников Марса округлённые расстояния I и II спутников Юпитера, которые равны 3,0 и 4,7 диаметра планеты (Юпитера, не Марса), а периоды их обращения, составляющие 42 часа и 85 часов, уменьшил в 4 раза.

**5.80.** Это были интуитивные соображения, основанные на принципе пропорциональности (см. задачу 5.79).

**5.81.** Наши современники уже давно привыкли к движению искусственных спутников Земли, которые перемещаются по земному небосводу так же, как Фобос на небе Марса: они обычно восходят на западе и заходят на востоке. Это свойство всех искусственных спутников, движущихся по орбитам в направлении вращения Земли (а таких спутников абсолютное большинство) на высоте меньшей, чем высота геостационарной орбиты (а только такие спутники и видны невооружённым глазом).

**5.82.** Слово «если» в цитате, скорее всего, свидетельствует о том, что затмения в те далёкие времена предсказывать не умели. Приведённая запись есть не что иное, как руководство к наблюдениям, во время которых полагается фиксировать все обстоятельства астрономического явления. Накопленные данные использовались для попыток прогноза будущих явлений. Отсюда берут начало как астрономия, так и астрология.

**5.83.** Предсказание солнечных затмений для определённого места на поверхности Земли представляет сложную задачу (вообще, теория движения Луны — одна из самых сложных задач небесной механики). Если рассматривать историю про астрономов Хи и Хо не как легенду, а как описание реальных событий, то совершенно очевидно, что пострадали они незаслуженно: причиной неверного прогноза было не пьянство (настоящие астрономы не пьют!), а недостаточно высокий уровень небесной механики в Древнем Китае, равно как и в других странах в ту далёкую эпоху.

**5.84.** Галлей наблюдал внутреннюю корону Солнца. Полной уверенности в принадлежности наблюдаемой «атмосферы» Луне у Галлея не было. В качестве второго возможного варианта происхождения явления он рассматривал Солнце.

5.85. Несмотря на неудачные условия наблюдения, Юнг подметил интересное явление. Причиной неполной темноты в момент полной фазы солнечного затмения главным образом является рассеяние солнечного света в земной атмосфере: свет из областей полутени проникает в область тени, поскольку её размер (около 200 км) сравним с толщиной земной атмосферы. Дополнительными источниками света служат также свечение солнечной короны, пепельный свет Луны и свечение ночного неба: суммарный свет звёзд, межзвёздного и межпланетного вещества, а также собственное свечение земной атмосферы.

5.86. Впервые наблюдавшийся Юнгом «спектр вспышки», как назвал это явление английский астроном Норман Локьер (1836—1920) — это спектр излучения солнечной хромосферы, который удаётся заметить лишь во время полных солнечных затмений благодаря тому, что Луна во время полной фазы затмения закрывает собой яркие слои фотосферы. В спектре вспышки даже с помощью бесщелевых спектрографов можно наблюдать большое количество хромосферных эмиссионных линий. Движение края Луны, закрывающего хромосферу, позволяет определить изменение с высотой хромосферной эмиссии с лучшим пространственным разрешением, чем это возможно с помощью самых совершенных изображений. Уже сам Юнг после первого наблюдения указал, что *«слой этот имеет в толщину, по-видимому, лишь несколько менее 1600 километров, и движение Луны очень скоро скрывает его»*.

Далее Юнг пишет: *«Наблюдение, сделанное автором в 1870 году и описанное выше, получило блестящее подтверждение со стороны фотографии во время полного затмения 1896 года. Шэжлтон, фотограф английской экспедиции на станции Новая Земля (единственная экспедиция, которая не была расстроена дурной погодой) получил в критический момент мгновенный фотографический снимок при помощи „призматической камеры“. Это просто камера с двумя большими призмами впереди её оптического стекла. Никакого коллиматора здесь не употребляется. Это фотографический „спектроскоп без щели“.*

*Когда луна всё более и более надвигается на солнце, она оставляет незакрытым крайне узкий серп. Серп этот сам по себе действует подобно щели обыкновенного спектроскопа. Фотографические снимки, полученные с таким инструментом непосредственно перед полной фазой затмения, совершенно похожи на обыкновенный солнечный спектр. Отличие заключается лишь в том, что тёмные фраунгоферовы линии заменяются тёмными серпами. Это, так сказать, негативные изображения ещё не покрытой части солнечного диска. Скоро, однако, фотосфера исчезает. Остаётся серп, гораздо более бледный, который есть не что иное, как солнечная атмосфера. Если наблюдение 1870 года было правильно, то полученный фотографический снимок должен дать ряд ярких и х изображений на месте прежних тёмных. Так оно и оказалось» (Юнг, 1914, с. 72—73).*

**5.87.** Автором описанного наблюдения был английский астроном Фрэнсис Бейли (1774—1844), по имени которого явление получило название «чётки Бейли». Это явление возникает в момент касания краёв дисков Луны и Солнца во время полного солнечного затмения, когда лучи Солнца проходят между горами на краю лунного диска. На вид чётки также оказывает влияние явление иррадиации света, связанное в физиологией нашего зрения.

**5.88.** Описано наблюдение хромосферы. Её цвет определяется излучением красной водородной линии  $H_{\alpha}$  ( $\lambda=656$  нм).

**5.89.** Они видели протуберанцы на краю солнечного диска.

**5.90.** Пояснение этого явления содержится в заключительной части цитаты из Клейна:

*Зависит он [красноватый оттенок] от того, что незначительное количество солнечных лучей, проскользнувши около поверхности нашей планеты и преломившись в земной атмосфере, проникает внутрь тени и падает на Луну. Проходя через плотный слой атмосферы, солнечный свет становится красноватым. Этим объясняется великолепная розовая окраска, какую приобретает наше земное небо в часы утренней и вечерней зари.*

**5.91.** Эта гипербола (в литературном смысле) Ньютона относится к судьбе комет.

**5.92.** Римский философ Луций Анней Сенека (ок. 4 до н. э. — 65 н. э.).

**5.93.** Пророческие слова о кометах как движущихся космических объектах написаны римским поэтом Манилием, жившим ещё раньше Сенеки, более двух тысяч лет назад.

**5.94.** Ньютон представлял себе «межпланетный эфир» как инертную, неподвижную среду, окружающую Солнце. Эта среда возмущалась влиянием самой кометы и только в том месте, где находилась комета (подобно раскалённой кочерге, сунутой в снег и вызывающей вырывающуюся из отверстия струю пара). В современной физике понятие эфира отвергнуто. Но межпланетная среда действительно существует: в основном это выброшенная Солнцем замагниченная плазма («солнечный ветер»), с большой скоростью удаляющаяся от него независимо от присутствия кометы. Испарившееся с поверхности кометного ядра вещество отталкивается в направлении от Солнца давлением солнечного ветра, действующего на ионизованные атомы и молекулы газа, а также давлением солнечного света, действующего на мелкие твёрдые частицы (пылинки) кометного вещества.

**5.95.** Кометы, как и все объекты Солнечной системы, движутся, подчиняясь законам Кеплера, а в более широком смысле — законам механики. В конце XIX века ещё не было известно, что орбиты комет — эллипсы, хотя у некоторых из них эксцентриситеты очень близки к единице. «Вольности» в движении комет связаны с неучтёнными гравитационными возмущениями со стороны планет, а также с действием

негравитационных сил, например, реактивного давления испаряющихся с поверхности ядра газов. Изменение внешнего вида комет определяется действием Солнца и физическими процессами в их ядрах.

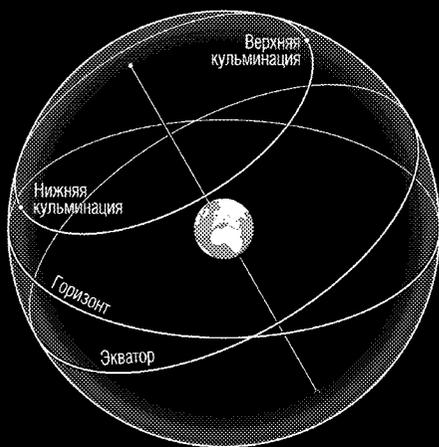
**5.96.** Комета теряет своё вещество в основном вблизи перигелия, проходя рядом с Солнцем. Поэтому блеск периодических комет уменьшается с течением времени по мере истощения их вещества. Чем реже комета возвращается к Солнцу, тем медленнее она теряет вещество. Поэтому яркие кометы — это объекты с большими периодами обращения.

**5.97.** Подобные кометы, тесно приближающиеся к Солнцу, теперь называют *царапающими кометами*. Например, комета 1965f Икейя—Секи тоже обогнула Солнце вблизи его поверхности и не изменила своей орбиты. После прохождения перигелия у неё появился гигантский хвост.

**5.98.** Эрос представляет собой вытянутое тело, ось вращения которого почти перпендикулярна к направлению наибольшего размера. Когда ось вращения близка к лучу зрения земного наблюдателя, сильные колебания блеска исчезают. Небольшие колебания блеска связаны с неровностями поверхности астероида, отбрасывающими тени.

**5.99.** В эпоху Кеплера в успешном решении вопроса о форме планетных орбит и о законах, которым подчиняется их движение, Марс играл главную роль, так как его орбита более других вытянута, т. е. заметнее отличается от круговой. В то же время, Марс, как ближайшая верхняя планета, удобен для наблюдений.

**5.100.** В полном объёме задача, поставленная перед наукой Эйнштейном, до сих пор не решена. Частично на вопрос «почему природа в данный момент такая, а не иная?» отвечают эволюционные науки, такие, как геология, биология, эволюционные разделы астрономии — космогония и космология. Для более глубокого понимания происхождения и развития космических тел и Вселенной в целом необходимо развитие астрофизики и физики элементарных частиц. Возможно, к решению этой глобальной проблемы укажет путь антропный принцип.



# АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ

Если в толковании какого-либо понятия встречаются *выделенные курсивом слова*, то их толкование также можно найти в этом разделе в общем алфавитном порядке.

## Аббревиатуры и знаки

**а. е.** — астрономическая единица.

**кпк** — килопарсек (1000 парсеков).

**Мпк** — мегапарсек (1 млн. парсеков).

**пк** — парсек.

**св. год** — световой год.

**М** — каталог звёздных скоплений и туманностей, опубликованный в 1782 г. французским астрономом Шарлем Мессье.

**NGC** — каталог звёздных скоплений и туманностей (New General Catalogue of nebulae and clusters), опубликованный английским астрономом Йоханом Дрейером в 1888 г.

**d** — сутки; например,  $8,5^d = 8$  суток и 12 часов.

**h** — час; например,  $21^h = 21$  час,  $3,75^h = 3$  часа 45 минут.

**m** — минута; например,  $31^m = 31$  минута.

**s** — секунда; например,  $55^s = 55$  секунд.

$\odot$  — знак Солнца; например,  $M_{\odot}$  — масса Солнца.

$\varphi$  — географическая широта места наблюдения.

$\lambda$  — географическая долгота места наблюдения.

$\alpha$  — прямое восхождение.

$\delta$  — склонение.

***m*** — звёздная величина; например,  $2^m$  — вторая звёздная величина.

$\square^\circ$  — квадратный градус, т. е. телесный угол, покрывающий на небе, к примеру, квадратную площадку со сторонами в  $1^\circ$ . Полная сфера содержит ровно  $41253 \square^\circ$ .

$\Upsilon$  — точка весеннего равноденствия, находящаяся на небе на пересечении двух больших кругов — небесного экватора и эклиптики.

## Толковый словарь

**Аберрация оптическая** — искажение изображения, построенного объективом оптического прибора. В зависимости от причины и характера искажения различают следующие А. о.: астигматизм, дисторсия, кома, кривизна поля, *хроматическая аберрация*, сферическая аберрация.

**Азимут** — угол между *небесным меридианом* наблюдателя и вертикальным кругом, проходящим через небесный объект. В астрономии А. измеряют от точки юга в сторону запада, а в морской навигации, географии и геодезии — от точки севера к востоку. Поэтому астрономический и геодезический А. различаются на  $180^\circ$ .

**Альbedo** (от лат. albedo, белизна) — доля света, отражаемая поверхностью тела. Например, лунная поверхность отражает около 7% падающего на неё солнечного света, т. е. её А. равно 0,07. А. Земли около 0,40, а Венеры — около 0,75.

**Альт-азимутальная монтировка** — установка телескопа, позволяющая ему поворачиваться вокруг двух осей: вертикальной оси азимута и горизонтальной оси высоты. Слежение за небесным объектом при этом осуществляется путём одновременного вращения телескопа вокруг двух осей с переменной скоростью.

**Антиапекс** — точка на небесной сфере, диаметрально противоположная *апексу*.

**Апекс** — точка на небесной сфере, в направлении которой движется в пространстве астрономи-

ческий объект, например, Солнце или Земля.

**Апертура** — входное отверстие объектива телескопа, т. е. его главного зеркала или линзы. Обычно так называют диаметр (реже — площадь) этого отверстия. Действующая А. — диаметр той части объектива, попав на которую, свет проходит сквозь всю оптическую систему и достигает приёмника излучения. Апертурный синтез — метод, позволяющий наблюдать объект одновременно несколькими телескопами, объединяя собранное ими излучение.

**Апогей** — наиболее удалённая от Земли точка орбиты Луны или искусственного спутника Земли.

**Астероиды** — малые планеты, имеющие, как правило, неправильную форму и обращающиеся вокруг Солнца в основном между орбитами Марса и Юпитера; эту область называют «Главным поясом астероидов». Орбиты некоторых А. пересекают орбиту Земли, что делает возможным их столкновение с нашей планетой.

**Астрономическая единица** — единица измерения расстояний в астрономии, удобная для измерений в пределах Солнечной системы. А. е. чрезвычайно близка к среднему расстоянию между Землёй и Солнцем, т. е. к *большой полуоси* земной орбиты; 1 а. е. = = 149 597 870 км.

**Афелий** — наиболее удалённая от Солнца точка орбиты планеты.

**Блеск звезды** или **яркость звезды** — традиционные астрономические термины для обозначения

потока излучения, приходящего от светила в единицу времени на единицу поверхности Земли.

**Болид** — очень яркий *метеор*, иногда наблюдаемый даже днём, часто остающийся после себя дымный след и сопровождаемый звуковыми явлениями; нередко заканчивается падением *метеоритов*.

**Большая полуось** — половина наибольшего диаметра эллипса.

**Время всемирное** — *среднее солнечное время* гринвичского меридиана. Обозначается УТ (англ. Universal Time).

**Время декретное** — официально установленное время в городах и странах. Например, зимой в России официальное время на 1 час опережает *поясное время*, а летом (в период введения летнего времени) — на 2 часа. В. д. вводят для более полного использования дневного света, особенно в летние месяцы года.

**Время звёздное** — *часовой угол точки весеннего равноденствия*; равен нулю в момент её верхней *кульминации*.

**Время истинное солнечное** — *часовой угол Солнца*; измеряется к западу от *небесного меридиана*;  $15^\circ$  соответствуют 1 часу. Момент пересечения Солнцем меридиана называют истинным полднём. В. и. с. показывают простые солнечные часы.

**Время поясное** — время, установленное по международному соглашению для того, чтобы по всей планете отличие местного времени от всемирного составляло целое число часов. Вся поверхность Земли разделена приблизительно вдоль меридианов на 24 часовых пояса. Средние меридианы часовых поясов проходят по долготам  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,

$45^\circ$  и т. д. к западу от Гринвича вдоль точек земной поверхности, в которых среднее солнечное время, соответственно, на 1, 2, 3, ... часа отстаёт от гринвичского. Обычно города и прилегающие к ним области живут по времени ближайшего среднего меридиана. Линии, разделяющие зоны с различным официальным временем, называются границами часовых поясов. Обычно они следуют не строго вдоль меридианов, а совпадают с административными границами. В летние месяцы в некоторых странах для более полного использования светлого времени суток вводится летнее время, опережающее на 1 час В. п. или зимнее *декретное время*, если оно отличается от В. п. **Время среднее солнечное** — *часовой угол среднего солнца*, увеличенный на 12 часов. Когда среднее солнце на меридиане, В. с. с. равно 12 час пополудни.

**Высота** — угловое расстояние небесного объекта от *горизонта* наблюдателя.

**Галактический экватор** — большой круг небесной сферы, проходящий вдоль средней линии Млечного Пути.

**Галилеевы спутники Юпитера** — четыре крупнейших спутника, открытые Галилеем в 1610 г. и названные С. Мариусом Ио, Европой, Ганимедом и Каллисто.

**Главная последовательность** — основная группировка звёзд в виде диагональной полосы на диаграмме «спектральный класс — светимость» или «температура поверхности — светимость» (*диаграмма Герцшпрунга—Рассела*). Эта полоса проходит от ярких и горячих к тусклым и относительно холодным

звёздам. В ней концентрируется большинство звёзд, поскольку соответствующие ей физические условия отвечают самому длительному этапу в их эволюции, на котором в ядре звезды протекают термоядерные реакции с участием водорода.

**Год високосный** — год, содержащий 366 солнечных *суток*; в ныне действующем григорианском календаре устанавливается путём введения даты 29 февраля в те года, номера которых делятся на 4 (например, 1996 г. был В. г.). Если же данным годом заканчивается столетие, то високосным он считается лишь в том случае, если делится на 400. Так, 1800 г. и 1900 г. не были В. г., а 2000 г. — был. Название «високосный» связано с тем, что в Древнем Риме в качестве добавочного 366-го дня года дублировался 6-й день мартовских календ (за 6 дней до 1 марта), называвшийся *bi-sextus*, т. е. второе шестое.

**Год сидерический** или **звёздный** — время, необходимое Земле для одного оборота вокруг Солнца, который начинается и заканчивается на линии, проведённой из центра Солнца в фиксированном направлении на небесной сфере; равен 365,2564<sup>d</sup>.

**Год календарный** — интервал времени, близкий к *тропическому году*, но, из соображений удобства гражданского календаря, содержащий целое число суток. В юлианском и григорианском календарях используют два типа Г. к. — простой (365<sup>d</sup>) и *високосный* (366<sup>d</sup>), которые чередуются по определённым правилам.

**Год тропический** — интервал времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через точку весеннего *равноден-*

*ствия*; равен 365,2422<sup>d</sup>. Основной календаря служит именно этот год.

**Горизонт астрономический** (или **математический**, или **истинный**) — большой круг небесной сферы, равноудалённый от *зенита* и *надира* наблюдателя. Плоскость Г. а. перпендикулярна линии отвеса и служит основной плоскостью в горизонтальной системе небесных координат, в которой направление на светило задаётся *азимутом* и высотой (или зенитным расстоянием, дополняющим высоту до 90°).

**Двойная звезда** — две звезды, видимые на небе близко друг к другу. Если звёзды действительно расположены рядом и связаны силой тяготения, то это «физическая Д. з.», а если видны рядом в результате случайной проекции, то «оптическая Д. з.».

**Диаграмма Герцшпрунга—Рассела** — диаграмма, показывающая связь между цветом (или *спектральным классом*) и *светимостью* звёзд различного типа.

**Дисперсия света** — разложение сложного света при помощи стеклянной призмы или дифракционной решётки на отдельные цветные лучи, идущие в различных направлениях и образующие на экране спектр, цветную полоску с постепенным переходом цветов от красного к фиолетовому.

**Долгота эклиптическая** — одна из координат в эклиптической системе: угол, измеряемый вдоль *эклиптики* в сторону движения Солнца по эклиптике между *точкой весеннего равноденствия* и меридианом, проходящим через небесное светило и полюса эклиптики.

**Законы Кеплера** — три закона движения планет вокруг Солнца, открытые Иоганном Кеплером в 1609—1619 гг. на основании многолетних наблюдений за положением планет, проделанных Тихо Браге в конце XVI в. Кеплер нашёл, что: 1) планета движется по эллипсу, в фокусе которого расположено Солнце; 2) скорость планеты меняется так, что её радиус-вектор (отрезок, соединяющий планету с Солнцем) за равные промежутки времени заметает равные площади; 3) кубы средних расстояний планет от Солнца пропорциональны квадратам периодов их обращения вокруг Солнца. Позже, на основании законов механики и всемирного тяготения, И. Ньютон дал объяснение З. К. и уточнил, что при движении двух тел под действием взаимного гравитационного притяжения: 1) орбитой может быть не только эллипс, но и другие конические сечения — гипербола и парабола; 2) плоскость орбиты неизменна; 3) отношение куба среднего расстояния между телами к квадрату периода их взаимного обращения пропорционально сумме масс этих тел. Если в системе более двух тел, то формально эти законы неверны. Однако, если масса одного из тел подавляюще велика (в Солнечной системе это Солнце), то З. К., уточнённые Ньютоном, хорошо описывают истинное движение тел. **Затмение** — ситуация, когда три небесных тела располагаются на одной прямой. При этом наблюдатель, находящийся на одном из этих тел, может видеть, как другие два тела совмещаются, т. е. одно закрывает собой другое, либо как

тень от одного из тел ложится на другое. Наиболее известны солнечные и лунные З.

В моменты солнечных З. Луна закрывает от нас Солнце. Если диск Луны полностью закрывает диск Солнца, то это полное З. Если Луна закрывает лишь часть солнечного диска, то это частное З. Если же в момент, когда центры дисков Луны и Солнца совместились, тонкий ободок солнечного диска оказался незакрытым (поскольку в этот момент угловой диаметр Луны меньше, чем Солнца), то такое З. называют кольцеобразным.

В моменты лунных З. земная тень ложится на Луну. Лунные затмения тоже бывают полные и частные в зависимости от того, покрывает земная тень весь лунный диск или только его часть. Если земная тень не касается лунного диска, но проходит вблизи него, происходит полутеневое лунное З. В этот момент для наблюдателя на Луне Земля закрывает собой часть солнечного диска; говорят, что на Луну ложится «полутень» Земли. Если же земная полутень покрывает лишь часть Луны, то это частное полутеневое лунное З. (заметить его глазом очень сложно).

**Звёздная величина** — физическая величина, характеризующая количество света, приходящего от небесного объекта к наблюдателю. Например, в звёздных величинах указывают видимый блеск звёзд. При этом блеск одного светила указывают путём его сравнения с блеском другого, принятого за эталон. Шкала З. в. логарифмическая. Разница на 5 З. в. точно соответствует 100-кратному различию в по-

токах света, приходящего от изменяемого и эталонного источников. Например, от 100 звёзд 6-й З. в. к нам приходит столько же света, сколько от одной звезды 1-й З. в.

Разность в 1 З. в. соответствует отношению потоков света в  $\sqrt[5]{100} \approx \approx 2,512$  раза. Обозначают З. в. латинской буквой *m* (от лат. *magnitudo* — величина) в виде верхнего индекса справа от числа. Направление шкалы З. в. обратное, т. е. чем больше значение, тем слабее блеск объекта. Например, звезда 2-й З. в. ( $2^m$ ) примерно в 2,512 раза ярче звезды 3-й З. в. ( $3^m$ ) и в  $2,512^2 = 6,310$  раза ярче звезды 4-й З. в. ( $4^m$ ).

**Видимая З. в.** (иногда её называют просто — «звёздная величина») определяет поток света, который наблюдатель фиксирует, непосредственно изучая объект. Ясно, что наблюдаемая яркость звезды зависит не только от реальной мощности её излучения, но и от расстояния до неё. Шкала видимых З. в. ведёт начало от звёздного каталога Гиппарха (до 161 — ок. 126 до н. э.), в котором все видимые глазом звёзды впервые были разбиты на 6 классов яркости. У звёзд Ковша Бол. Медведицы блеск около  $2^m$ , у Веги около  $0^m$ . У особо ярких светил значение З. в. может быть и отрицательным: блеск Сириуса около  $-1,5^m$  (т. е. поток света от него в 4 раза больше, чем от Веги), а блеск Венеры в некоторые моменты почти достигает  $-5^m$  (в это время поток света от неё почти в 100 раз больше, чем от Веги). Подчеркнём, что видимая З. в. может быть измерена как невооружённым глазом, так и с помощью телескопа с фотопластинкой или другим

приёмником света. В данном случае «видимая» означает «наблюдаемая», «кажущаяся».

**Абсолютная З. в.** указывает, какую видимую З. в. имело бы светило в том случае, если бы расстояние от Земли до него составляло 10 парсеков и при этом отсутствовало бы *межзвёздное поглощение света*. Таким образом, абсолютная З. в., в отличие от видимой, позволяет сравнивать истинные *светимости* небесных объектов.

**Зенит** — точка небесной сферы, расположенная вертикально над головой наблюдателя.

**Зодиак** — зона на небе шириной по  $9^\circ$  в обе стороны от эклиптики, содержащая видимые пути Солнца, Луны и планет. Она проходит через 13 созвездий и делится на 12 знаков З.

**Зодиакальный свет** — слабое сияние, протянувшееся вдоль *эклиптики*. Лучше всего его видно сразу после окончания (или непосредственно перед началом) астрономических *сумерек* в той части неба, где зашло (или восходит) Солнце. Возникает из-за рассеяния солнечного света на межпланетной пыли, сконцентрированной в плоскости Солнечной системы.

**Квадратура** — такое положение Луны или планеты, при котором её *эклиптическая долгота* отличается от долготы Солнца на  $90^\circ$ .

**Кома** — один из видов *абerrации оптической*.

**Комета** — малое тело Солнечной системы, в основном состоящее из льда и пыли. Приближаясь к Солнцу, ледяное тело К. разогревается и начинает испаряться, окутывая себя газо-пылевой атмосферой —

комой. Под давлением солнечного света и частиц солнечного ветра это вещество уносится от ядра К., образуя длинный «хвост».

**Корона** — внешняя часть солнечной атмосферы, протянувшаяся на миллионы километров над *фотосферой*; её подразделяют на внешнюю К., видимую только в моменты полных солнечных *затмений*, и внутреннюю К., которую можно наблюдать с помощью *коронографа*.

**Коронограф** — телескоп для наблюдения солнечной *короны* в периоды между *затмениями*. В его фокусе, где объектив строит изображение Солнца, находится круглая заслонка — «искусственная Луна», закрывающая изображение яркой фотосферы, но оставляющая видимой корону. На космических телескопах и наземных телескопах с системой адаптивной оптики используют *звёздный К.*, в котором затемняется изображение яркой звезды для поиска в её окрестности слабых объектов: звёзд-спутников, планет или околозвёздного газо-пылевого диска.

**Крон** (или **кронглас**) — лёгкий сорт оптического стекла; отличается меньшим коэффициентом преломления, но большей *дисперсией*, чем у стекла сорта *флинт*. Линзы из кроновых и флинтовых сортов стекла совместно используются для изготовления ахроматических объективов, свободных от *хроматической аберрации*. Простейший такой объектив представляет комбинацию положительной кроновой и отрицательной флинтовой линз, склеенных обращёнными друг к другу поверхностями одинаковой кривизны.

**Кульминация** — прохождение светила через *небесный меридиан*. Пересекая меридиан в верхней К., звезда (или планета) имеет максимальную высоту, а в нижней К. — минимальную и может находиться под *горизонтом*.

**Лимб** — видимый край диска Луны, Солнца или планеты.

**Лучевая скорость** — проекция вектора скорости объекта на луч зрения наблюдателя; её считают положительной, если объект удаляется от наблюдателя, и отрицательной — если приближается. Например, измеряя смещение линий в спектрах небесных тел (эффект Доплера), астрономы определяют, приближаются они или удаляются, т. е. измеряют компонент скорости, направленный по «лучу зрения». Нередко Л. с. называют «радиальной скоростью».

**Межзвёздное поглощение света** — ослабление оптического излучения, распространяющегося сквозь *межзвёздную среду*. Рассеяние и поглощение света происходит в основном из-за межзвёздной пыли, поэтому оно достигает максимального значения в направлении на плотные газо-пылевые межзвёздные облака, сконцентрированные в диске Галактики. В окрестности Солнца в плоскости Галактики М. п. с. составляет около  $2^m$  на 1 кпк пройденного светом расстояния.

**Межзвёздная среда** — крайне разреженное вещество, заполняющее пространство между звёздами в галактике. Основные компоненты М. с. — это атомы и молекулы газа, а также мельчайшие твёрдые частицы космической пыли. Поскольку атомы и молекулы газа составляют

более 95% массы М. с., её часто называют «межзвёздным газом».

**Метеор**—вспышка или светящийся след, остающийся на мгновение после разрушения небольшого космического тела (метеороида), влетевшего в атмосферу Земли. Греческое слово *meteora* означает «атмосферное (или небесное) явление». В народе М. называют «падающими звёздами». Как правило, метеороиды—это частицы комет или астероидов. Влетая с большой скоростью в атмосферу Земли, эти частицы от трения раскаляются и заставляют светиться окружающий воздух, оставляя за собой яркий след — М. Наиболее мощные М. — *болиды*—бывают видны даже днём.

**Метеорит** (в переводе с греческого «камень с неба») —твёрдое тело естественного происхождения, упавшее на поверхность Земли из космоса. Различают каменные, железо-каменные и железные М. Обычно они имеют вес от нескольких граммов до нескольких килограммов. Крупнейший из найденных—железный М. Гоба — весит 60 т. Большинство М. представляют собой осколки астероидов, но некоторые М., возможно, попали на Землю с Луны и даже с Марса.

**Надир** — точка небесной сферы, расположенная вертикально вниз от наблюдателя, в направлении, противоположном *зениту*.

**Небесный меридиан** (лат. *meridianus*, полуденный) — большой круг небесной сферы, проходящий через *зенит* наблюдателя и точки северного и южного *полюсов мира*. Пересекается с *горизонтом* в точках севера и юга. Иногда его называют просто «меридиан» и не-

редко имеют при этом в виду лишь половину большого круга, обращённую в ту сторону горизонта, где светила испытывают верхнюю кульминацию (в Северном полушарии это южная сторона неба, а в Южном — северная).

**Небесный экватор** — большой круг небесной сферы, равноудалённый от северного и южного *полюсов мира*; лежит в плоскости земного экватора и служит основанием экваториальной системы небесных координат.

**Окулярный микрометр** — прибор, устанавливаемый на окулярном конце телескопа и позволяющий измерять угловой размер наблюдаемого объекта и его ориентацию относительно меридиана. По конструкции различают нитяные О. м., О. м. со звездой сравнения, О. м. двойного изображения, звёздные интерферометры и др. Простейший из них — нитяной О. м. У него в фокальной плоскости окуляра располагаются две параллельные нити (обычно из паутины): одна неподвижная, а вторая натянута на рамке, которая перемещается поворотом микрометрического винта. Раздвигая нити, измеряют размер объекта, например, расстояние между компонентами двойной звезды. А поворачивая весь прибор вокруг оптической оси телескопа, измеряют ориентацию объекта относительно направления на *полюс мира*.

**Ось мира** — прямая, проходящая через центр небесной сферы параллельно оси вращения Земли. Вокруг О. м. совершается видимое суточное движение небесных светил.

**Параллакс** — видимое смещение более близкого объекта на фоне

более далёких при перемещении наблюдателя с одного конца некоторой базы на другой её конец. Например, полугодовое перемещение Земли по орбите вызывает заметный П. у близких звёзд, не превышающий, однако,  $1''$ . Если угол П. (обозначается как  $\pi$  или  $p$ ) мал и выражен в радианах, а длина перпендикулярной к направлению на объект базы составляет  $B$ , то расстояние до объекта равно  $D=B/\pi$ . При фиксированной базе сам параллактический угол может служить мерой расстояния до объекта.

В прошлом П. обозначался буквой  $\pi$ . Но в последнее время, чтобы не путать П. с известной математической константой, его стали обозначать буквой  $p$ .

**Парсек** — расстояние до объекта, *параллакс* которого при базе в 1 *астрономическую единицу* составляет  $1''$ ; П. равен 3,26 *светового года* или  $3,086 \cdot 10^{16}$  м. Раньше сокращённое обозначение П. в русской литературе было «пс», но теперь его заменили на «пк», чтобы не было совпадения с обозначением пикосекунды.

**Пепельный свет Луны** — тёмная часть Луны, слабо освещённая солнечным светом, отражённым Землёй. Особенно заметна в период малых фаз Луны, сразу после новолуния, когда к Луне обращена почти вся освещённая Солнцем поверхность Земли.

**Перигей** — ближайшая к Земле точка орбиты Луны или искусственного спутника.

**Перигелий** — ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты.

**Полуса мира** (северный и южный) — точки пересечения небес-

ной сферы с *осью мира*, проходящей через наблюдателя параллельно оси вращения Земли. При наблюдении неба кажется, что все светила обращаются вокруг П. м. **Попытное движение** — видимое перемещение планет на фоне звёзд с востока на запад, т. е. в направлении, обратном перемещению Луны и Солнца. Кинематические причины П. д. у внутренних и внешних (по отношению к орбите Земли) планет разные. Движение внутренних планет — Меркурия и Венеры — меняется с прямого на попытное и обратно в силу того, что земной наблюдатель находится вне их орбиты; при этом движение самого наблюдателя не имеет решающего значения. Напротив, П. д. внешних планет наблюдается лишь по причине перемещения самой Земли, опережающей внешнюю планету в эпоху её *противостояния*. С точки зрения земного наблюдателя, внешняя планета большую часть времени перемещается с запада на восток, но незадолго до противостояния останавливается и начинает двигаться с востока на запад, достигая максимальной скорости в момент противостояния. Через некоторое время её П. д. прекращается и после *стояния* сменяется прямым. Существование П. д. связано с законом тяготения Ньютона, из которого следует, что с удалением от Солнца уменьшается скорость движения планет по круговым орбитам.

**Прецессия** — коническое движение земной оси вокруг полюса *эклиптики* с периодом около 25 800 лет, вызванное гравитационным влиянием Луны и Солнца на эквато-

риальное вздутие Земли. Вследствие П. небесный экватор поворачивается с тем же периодом в направлении суточного движения светил, а точки его пересечения с эклипстикой (*точки равноденствия*) перемещаются навстречу видимому годичному движению Солнца по эклиптике со скоростью около  $50''$  в год, делая более ранними (предваряя) моменты равноденствий. Слово «прецессия» происходит от латинского *praecessio* — предварение.

Предварение равноденствий делает тропический год короче сидерического (звёздного) года. К тому же, медленное изменение ориентации небесного экватора и перемещение точки весеннего равноденствия вызывает изменение экваториальных координат всех небесных светил. Именно поэтому в астрономических каталогах и атласах указывается эпоха, для которой приведены координаты звёзд.

**Противостояние** — такое расположение планеты, что её *долгота эклиптическая* отличается на  $180^\circ$  от долготы Солнца. В П. планета пересекает небесный меридиан в полночь, располагается ближе всего к Земле и имеет максимальный блеск.

**Прямое восхождение** — угол, измеряемый к востоку вдоль небесного экватора от *точки весеннего равноденствия* до меридиана, проходящего через *полюс мира* и небесное светило.

**Радант** — точка перспективы, из которой кажутся выходящими объекты, параллельно движущиеся в сторону наблюдателя, или в которой сходятся траектории объектов, удаляющихся от наблюдателя. На-

пример, для потока параллельных метеоров это точка на небе, из которой они выходят, т. е. в которой пересекаются их продолженные назад траектории.

**Равноденствия точки** — две точки небесной сферы, в которых эклиптика пересекает небесный экватор. Переходя из южного полушария в северное, Солнце проходит через точку весеннего равноденствия 20 или 21 марта, а обратно — через точку осеннего равноденствия 22 или 23 сентября. В эти дни по всей Земле Солнце перемещается по небу от восхода до заката почти ровно за 12 часов и, следовательно, везде продолжительность дня и ночи одинакова. Через точку весеннего равноденствия проходят нулевые меридианы в эклиптической и экваториальной системах координат. Около 2000 лет назад, когда астрономия складывалась как наука, эта точка располагалась в созвездии Овна. В результате *прецессии* она переместилась примерно на  $20^\circ$  к западу и теперь находится в созвездии Рыб. Точка осеннего равноденствия раньше была в Весах, а теперь находится в Деве.

**Светимость** — мощность излучения небесного тела, т. е. количество энергии, излучаемой им за единицу времени.

**Световой год** — расстояние, которое свет проходит в вакууме за 1 земной (*тропический*) год; составляет  $9,46 \cdot 10^{15}$  м или 0,307 пк.

**Сидерический период обращения или вращения** (лат. *sidereus*, звёздный) — период, определённый в невращающейся системе координат; как было принято раньше говорить — относительно звёзд.

**Синодический период обращения** или **вращения** (греч. synodos, собрание, соединение) — период, определённый относительно движущейся Земли; из-за движения Земли по орбите не совпадает с сидерическим периодом. Так, синодический п. о. экваториальных слоёв Солнца —  $26,8^d$ , а сидерический —  $25,4^d$ . С. п. о. планеты вокруг Солнца равен времени между её двумя последовательными одноимёнными конфигурациями, например, нижними соединениями. Для движения по круговым орбитам можно получить связь между синодическим ( $S$ ) и сидерическим ( $T$ ) периодами планеты: для нижних планет  $1/S = 1/T - 1/T_0$  для верхних планет  $1/S = 1/T_0 - 1/T$ , где  $T_0$  — сидерический период Земли, т. е. 1 звёздный год.

**Склонение** — угловое расстояние светила к северу (со знаком «+») или к югу (со знаком «-») от *небесного экватора*.

**Солнцестояния точки** — две точки на *эклиптике*, в которых Солнце в течение года достигает максимального и минимального *склонения*. Около 22 июня Солнце проходит точку летнего С., где его склонение  $+23,5^\circ$ , а около 22 декабря проходит точку зимнего С., имея склонение  $-23,5^\circ$ .

**Спектральные классы звёзд** — температурная последовательность классов звёзд, выделяемых по характеру их спектров. С. к. з. тесно связаны с температурой (и в меньшей степени — с плотностью и химическим составом) звёздных атмосфер. Диапазону эффективных температур звёзд от 50 000 до 2000 К соответствует последовательность С. к. з.,

обозначаемых буквами O, B, A, F, G, K, M, L и T. Дополнительные классы R, N и S отражают вариации химического состава холодных звёзд. Промежуток между соседними классами делится на 10 подклассов — от 0 до 9 — с ростом в сторону уменьшения температуры. Наше Солнце имеет С. к. G2.

**Среднее солнце** — воображаемая точка, равномерно движущаяся с запада на восток по *небесному экватору*, и совершающая полный оборот относительно *точки весеннего равноденствия* в течение *тропического года*. Введено как вспомогательное расчётное средство для установления однородной шкалы времени.

**Стояние** — кажущаяся остановка в видимом движении планеты при её переходе от прямого движения к *пятному* и наоборот.

**Сумерки** — время суток, когда Солнце находится под *горизонтом* (перед рассветом или после заката), но виден солнечный свет, рассеянный в верхних слоях земной атмосферы.

**Сутки** — единица времени, равная  $86\,400^s$ . Исторически С. возникли как период видимого движения Солнца на небе Земли.

**Сутки звёздные** — промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия. Равен  $23^h\ 56^m\ 04^s$ . С. з. делятся на звёздные часы, минуты и секунды. Звёздный час короче общепринятого часа на  $9,86^s$ . Как единица времени С. з. употребляются редко, в основном при организации астрономических наблюдений.

**Сутки истинные солнечные** — промежуток времени между двумя последовательными *кульминациями*

Солнца. Продолжительность С. и. с. в течение года изменяется приблизительно от  $86\,399,7^s$  до  $86\,400,4^s$ . Это происходит из-за неравномерности годичного движения Солнца по *эклиптике* и вследствие наклона эклиптики к *небесному экватору*.

**Терминатор** — линия, отделяющая освещённое полушарие Луны или планеты от неосвещённого.

**Точка весеннего равноденствия** — см. *равноденствия точки*.

**Фаза** — определённая стадия в периодическом изменении видимой формы освещённого полушария Луны или планеты. Например, Ф. Луны — это новолуние, первая четверть, последняя четверть, полнолуние. Ф. Луны выражается численно как отношение площади освещённой части видимого диска ко всей его площади: 1 — полнолуние, 0 — новолуние, 0,5 — первая и последняя четверти, и т. п. Ф. *затмения* — доля диаметра диска Солнца (или Луны), закрытая затмевающим объектом (т. е. Луной или тенью Земли).

**Флинт** — тяжёлый сорт оптического стекла, содержащий в большом количестве окись свинца; отличается большим коэффициентом преломления, но меньшей *дисперсией*, чем у стекла сорта *крон*.

**Фотосфера** — непрозрачный нижний слой атмосферы Солнца, который мы видим в оптический телескоп и воспринимаем как поверхность Солнца. Толщина Ф. 200—300 км, температура в ней уменьшается с высотой от 8—10 тыс. К до 4300 К. От других слоёв Солнца Ф. отличается минимальной температурой и низкой степенью ионизации газа.

**Хроматическая аберрация** — размытие и окрашенность краёв у изображения, построенного линзовым объективом, возникающее из-за разной степени преломления лучей различного цвета.

**Часовой угол** — угловое расстояние, измеренное вдоль *небесного экватора* на запад от небесного меридиана до часового круга, проходящего через избранную точку на небесной сфере. Ч. у. звезды равен звёздному времени минус прямое восхождение этой звезды. Выражается в часовой мере из расчёта  $24^h = 360^\circ$ .

**Эксцентриситет орбиты** — число, характеризующее форму орбиты космического тела, в том случае, если её можно представить одним из конических сечений (круг, эллипс, парабола, гипербола). Э. о. обозначается латинской буквой *e* и выражается через отношение большой (*a*) и малой (*b*) полуосей орбиты:  $e^2 = 1 - b^2/a^2$ . При  $e = 0$  орбита круговая, при  $0 < e < 1$  — эллиптическая, при  $e = 1$  — параболическая, при  $e > 1$  — гиперболическая.

**Эклиптика** — видимый путь Солнца на небесной сфере в течение *тропического года*; большой круг в плоскости земной орбиты.

**Экстинкция** (лат. *extinctio*, гашение) — полное ослабление света при его прохождении сквозь вещество, например, сквозь земную атмосферу, вызванное процессами поглощения и рассеяния квантов.

**Элонгация** — угловое расстояние между двумя точками небесной сферы. Для планеты — разность *эклиптических долгот* планеты и Солнца.



# ЛИТЕРАТУРА

**Амнуэль П. Р., 1988.**

Загадки для знатоков. — М.: Знание.  
«Антифоменко», 2000.

Сборник Русского исторического общества. — Т. 3 (151). — М.: Русская панорама.

**Араго Ф., 1861.**

Общепонятная астрономия / Пер. М. С. Хотинского. — Т. 3. — СПб.: изд. т-ва «Общественная польза».

**Аристотель, 1981.**

О небе // Сочинения. — Т. 3. — М.: Мысль.

**«Астрономия против ...», 2001.**

Астрономия против новой хронологии: Сборник статей // Под ред. И. А. Настенко. — М.: Русская панорама.

**Белый Ю. А., 1971.**

Иоганн Кеплер. — М.: Наука.

**Белый Ю. А., 1982.**

Тихо Браге. — М.: Наука.

**Берри А., 1946.**

Краткая история астрономии.

**Боголюбов А. Н., 1984.**

Роберт Гук (1635—1703). — М.: Наука.

**Бронштэн В. А., 1988.**

Клавдий Птолемей: II век н. э. — М.: Наука.

**Бронштэн В. А., 1990.**

Как движется Луна?. — М.: Наука.

**Ван-дер-Варден Б., 1991.**

Пробуждающаяся наука. — Т. 2. Рождение астрономии. — М.: Наука.

**Ватсон Ф., 1947.**

Между планетами. — М.—Л.: Гостехиздат.

**Вильвовская А. В., 1994.**

Человек и космос. — М.: Наука.

**Вознесенский А., 1976.**

Новая Лебеда // Юность. — № 4.

**Галилей, 1987.**

Пробирных дел мастер. — М.: Наука.

**Гершель Дж., 1861.**

Очерки астрономии. — Т. 1. — М.

**Гильберт В., 1651.**

Gilbert W. De mundo nostro sublunari philosophia nova. — Amstelodami.

**Глазенап С. П., 1909.**

Друзьям и любителям астрономии. — СПб.: изд-во А. С. Суворина.

**Голин Г. М., Филонович С. Р., 1989.**

Классики физической науки (с древнейших времён до начала XX века). — М.: Высшая школа.

**Гребеников Е. А., 1982.**

Николай Коперник. — М.: Наука.

**Гурштейн А. А., 1991.**

Извечные тайны неба. — М.: Наука.

**Гусев Е. Б., 2002.**

Сборник вопросов и качественных задач по астрономии. — М.: Просвещение.

**Гусев Е. Б., 2002.**

Астрономические задачи // Астрономический календарь на 2003 г. — СПб. — С. 215—217.

**Евсюков В. В., 1988.**

Мифы о Вселенной. — Новосибирск: Наука.

**Еремеева А. И., 1966.**

Вселенная Гершеля. — М.: Наука.

**Еремеева А. И., Цицин Ф. А., 1989.**

История астрономии. — М.: изд-во МГУ.

**Жуков Л. В., Пронин В. П., 1991.**

Оптические инструменты. Астрономические приёмники излучения. — Л.

**Идельсон Н. И., 1947.**

Жизнь и творчество Коперника // Николай Коперник. — М.—Л.: изд-во АН СССР.

**«История астрономии ...», 1999.**

История астрономии в России и СССР / Под ред. ак. В. В. Соболева. — М.: Янус-К.

**Кеплер И., 1982.**

Сон, или Посмертное сочинение о лунной астрономии // О шестиугольных снежинках. — М.: Наука.

**Кларк А., 1913.**

Общедоступная история астрономии в XIX столетии. — Одесса.

**Клейн Г., 1897.**

Астрономические вечера. — М.: изд-во М. В. Ключкина.

**Клейн Г., 1898.**

Астрономические вечера. — СПб.

**Климишин И. А., 1987.**

Открытие Вселенной. — М.: Наука.

**Климишин И. А., 1990.**

Календарь и хронология. — М.: Наука.

**Колчинский И. Г., Корсунь А. А., Родригес М. Г., 1977.**

Астрономы. Биографический справочник. — Киев: Наукова думка. «Коперник», 1947.

Николай Коперник. — М.—Л.: изд-во АН СССР.

**Коперник Н., 1964.**

О вращениях небесных сфер. Малый комментарий... — М.: Наука.

**Коперник Н., 1986.**

Полное собрание сочинений. — Т. 2. — Варшава—Краков: Гос. научное изд-во.

**Кудрявцев П. С., 1982.**

Курс истории физики. — М.: Просвещение.

**Куликовский П. Г., 1985.**

Звёздная астрономия. — М.: Наука.

**Куликовский П. Г., 1986.**

М. В. Ломоносов — астроном и астрофизик. — М.: Наука.

**Куликовский П. Г., 2002.**

Справочник любителя астрономии. — М.: УРСС.

**Курбатов В., 1950.**

Менделеев. — М.—Л.

**Лейзер Д., 1988.**

Создавая картину Вселенной. — М.: Мир.

**Марочник Л. С., 1985.**

Свидание с кометой. — М.: Наука.

- Мейер М. В., 1902.**  
Мироздание / Пер. под ред. проф. С. П. фон-Глазенапа — СПб.: Просвещение.
- Миннарт М., 1969.**  
Свет и цвет в природе. — М.: Наука.
- Мороз О., 1984.**  
Прекрасна ли истина. — М.: Знание.
- Николов Н., Харалампиев В., 1991.**  
Звездочёты древности. — М.: Мир.
- Ньето М. М., 1976.**  
Закон Тициуса—Боде. — М.: Мир.
- Ньютон Р. Р., 1985.**  
Преступление Клавдия Птолемея. — М.: Наука.
- Паннекук А., 1966.**  
История астрономии. — М.: Наука.
- Парсянян Э. С., 1988.**  
Археоастрономия в Армении. — М.: Наука. — (Историко-астрономические исследования. Вып. 20). — С. 137—146.
- Перель Ю. Г., 1951.**  
Выдающиеся русские астрономы. — М.: Гостехиздат.
- Перель Ю. Г., 1958.**  
Развитие представлений о Вселенной. — М.: Физматлит.
- Полак И. Ф., 1934.**  
Курс общей астрономии. — М.—Л.: Гостехиздат.
- Полак И. Ф., 1939.**  
Планета Марс. — М.: ГОНТИ.
- Птолемей К., 1998.**  
Альмагест: Математическое сочинение в тринадцати книгах. — М.: Наука, Физматлит.
- Саймон Т., 1966.**  
Поиски планеты ИКС. — М.: Мир.
- Симоненко А. Н., 1985.**  
Астероиды, или тернистые пути исследований. — М.: Наука.
- Струве О., Зебергс В., 1968.**  
Астрономия XX века. — М.: Мир.
- Сурдин В. Г., 1995.**  
Астрономические олимпиады: Задачи с решениями. — М.: изд-во МГУ.
- Сурдин В. Г., 1999.**  
Звёзды — XX век // Астрономический календарь на 2000 г. — М.: Космосинформ. — С. 204—221.
- Сурдин В. Г., 2000.**  
Наблюдение солнечных пятен с классической камерой-обскуром // Вопросы истории естествознания и техники. — № 4.
- Сурдин В. Г., 2002.**  
Астрономические задачи с решениями. — М.: УРСС.
- Уайт А., 1983.**  
Планета Плутон. — М.: Мир.
- Уиппл Ф., 1948.**  
Земля, Луна, планеты. — М.—Л.: Гостехиздат.
- Фламарион К., 1875.**  
История неба. — СПб. — [Переиздание: М.: Золотой век, 1994.]
- Фламарион К., 1897.**  
Живописная астрономия / Пер. Е. Предтеченского. — СПб.
- «Фрагменты ...», 1989.**  
Фрагменты ранних греческих философов. — Часть 1. — М.: Наука.
- Хауз Д., 1983.**  
Гринвичское время и открытие долготы. — М.: Мир.
- Херрман Д., 1981.**  
Открыватели неба. — М.: Мир.
- Циолковский К. Э., 1961.**  
Вне Земли // Путь к звёздам. — М.: изд-во АН СССР.
- Чурюмов К. И., 1980.**  
Кометы и их наблюдение. — М.: Наука.
- Эпик Э. К., 1927.**  
Солнце. — М.—Л.: Госиздат.
- Юнг Ч., 1914.**  
Солнце. — СПб.: изд. т-ва «Общественная польза».

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .			3
Человек стоит на берегу Вселенной (немного об истории астрономии) . . . . .			5
	Условия задач	Решения задач	
1. Зарождение астрономии . . . . .	16		82
2. Развитие инструментов и методов исследования . . . . .	22		93
3. Изучение звёздного мира . . . . .	29		106
4. Познание Солнечной системы . . . . .	35		113
5. Заблуждения и озарения учёных . . . . .	53		137
Астрономические термины . . . . .			162
Л и т е р а т у р а . . . . .			174