

The book cover features a vibrant, abstract design. A large, semi-transparent purple triangle points from the top right towards the center. Overlapping this and other elements are several circular motifs: a realistic Earth at the top, a pinkish-red planet in the middle, and a colorful, swirling nebula at the bottom right. In the bottom left corner, there is a detailed orange-toned diagram of a heliocentric solar system with the Sun at the center and planets labeled in Cyrillic. The background is a mix of white and light purple, with a subtle pattern of small white dots representing stars.

ВЛАДИМИР
СУРДИН

Лауреат премии «Просветитель»

ВСЕЛЕННАЯ В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ

ЗАДАЧИ И ТЕСТЫ
ПО АСТРОНОМИИ И КОСМОНАВТИКЕ

Annotation

В книге собраны 181 задача, 50 вопросов и 319 тестов с ответами и решениями. Материал в основном новый, но включает наиболее удачные задания из предыдущих изданий. В целом это не очень сложные, но «креативные» задачи, раскрывающие разные стороны современной астрономии и космонавтики и требующие творческого мышления и понимания предмета. Основой для некоторых вопросов стали литературные произведения, в том числе научно-фантастические повести братьев Стругацких. Работа с этой книгой делает знания по астрономии и космонавтике активными, что важно для будущих ученых и инженеров, а также преподавателей физики и астрономии.

- [Владимир Сурдин](#)
 -
 - [Предисловие](#)
 - [1. Путешествие по Земле](#)
 - [1.1. Полярная](#)
 - [1.2. Зима — лето](#)
 - [1.3. Падают кометы](#)
 - [1.4. К полюсу](#)
 - [1.5. Где же юг?](#)
 - [1.6. Гелиограф](#)
 - [1.7. Где мы?](#)
 - [1.8. Так где же мы?](#)
 - [1.9. Знаки зодиака](#)
 - [1.10. Лунный полярный круг](#)
 - [1.11. Затмения](#)
 - [1.12. Солнце в зените — 1](#)
 - [1.13. Солнце в зените — 2](#)
 - [1.14. Солнце внизу](#)
 - [1.15. «Феникс» летит на Марс](#)
 - [1.16. Земля — шар](#)
 - [1.17. Голубая планета Земля](#)
 - [1.18. Пепельный свет](#)

- [1.19. Звездопад](#)
- [1.20. Месяц всходит и заходит...](#)
- [1.21. Передвинем города](#)
- [1.22. «Наутилус» на Южном полюсе](#)
- [1.23. Урожайная Луна](#)
- [1.24. Горы и долины](#)
- [1.25. Короткие сумерки](#)
- [1.26. Полная Луна](#)
- [1.27. Арктический НЛО](#)
- [1.28. Календарь Магеллана](#)
- [1.29. Прохождения Венеры](#)
- [1.30. Инспекция](#)
- [1.31. Эх, раз! Еще раз?](#)
- [1.32. Замкнутый маршрут](#)
- [1.33. На все четыре стороны](#)
- [1.34. Небо вверх ногами](#)
- [1.35. Что позади?](#)
- [1.36. Зимний пейзаж](#)
- [1.37. Подзорная труба](#)
- [2. Визит в обсерваторию](#)
 - [2.1. Темная сторона Луны](#)
 - [2.2. Тропики](#)
 - [2.3. Вакуумный телескоп](#)
 - [2.4. Взгляд со стороны](#)
 - [2.5. Дневные звезды — 1](#)
 - [2.6. Дневные звезды — 2](#)
 - [2.7. Круги на небе](#)
 - [2.8. Масштаб изображения](#)
 - [2.9. Миллион снимков «Хаббла»](#)
 - [2.10. Ртутный телескоп](#)
 - [2.11. На мысе Доброй Надежды](#)
 - [2.12. Поиск планет у Солнца — 1](#)
 - [2.13. Поиск планет у Солнца — 2](#)
 - [2.14. Поиск планет у Солнца — 3](#)
 - [2.15. Снимок издалека](#)
 - [2.16. Наблюдаем Марс](#)
 - [2.17. Свеча на Луне](#)

- [2.18. «Модные» телескопы](#)
- [2.19. Мира Кита](#)
- [2.20. Радионебо](#)
- [2.21. За орбитой Плутона](#)
- [2.22. Откуда лучше видно?](#)
- [2.23. Спичка](#)
- [2.24. Черное облако](#)
- [2.25. Межзвездные пылинки](#)
- [2.26. Полюс эклиптики](#)
- [2.27. Солнечный телескоп](#)
- [3. На космодроме](#)
 - [3.1. Первые космические полеты](#)
 - [3.2. С первой космической](#)
 - [3.3. Выстрел ракетой в Луну](#)
 - [3.4. Спутник упал](#)
 - [3.5. Стыковки на орбите](#)
 - [3.6. Суточный спутник](#)
 - [3.7. Ориентация в пространстве](#)
 - [3.8. От Солнца до Земли](#)
 - [3.9. Спрыгнуть с астероида](#)
 - [3.10. Карта Луны](#)
 - [3.11. Космический мусор](#)
 - [3.12. Странные космодромы](#)
 - [3.13. К антиподам](#)
 - [3.14. К антиподам разными путями](#)
 - [3.15. Связь между полюсами](#)
 - [3.16. Маршрут по Луне](#)
 - [3.17. Посадка на Марс](#)
 - [3.18. Летим на Солнце](#)
 - [3.19. Взлетаем](#)
 - [3.20. Из пушки на Луну — 1](#)
 - [3.21. Из пушки на Луну — 2](#)
 - [3.22. Бег в невесомости](#)
 - [3.23. Объехать астероид](#)
 - [3.24. Маятник](#)
 - [3.25. Спасти космонавтов](#)
 - [3.26. Слабая ракета](#)

- [3.27. К центру Галактики](#)
- [3.28. Измеряем плотность планеты](#)
- [3.29. БАК и черная дыра](#)
- [3.30. Земля в иллюминаторе](#)
- [4. В Солнечной системе](#)
 - [4.1. Восьмая или девятая?](#)
 - [4.2. Сезон великих противостояний](#)
 - [4.3. Птолемей](#)
 - [4.4. Светло ли на Плутоне?](#)
 - [4.5. Когда на Плутоне светлее?](#)
 - [4.6. Луна готовит побег?](#)
 - [4.7. Фазы Луны](#)
 - [4.8. Куда падает Луна?](#)
 - [4.9. Экспедиции к Луне](#)
 - [4.10. Упасть на Луне](#)
 - [4.11. Восход Земли на Луне — 1](#)
 - [4.12. Восход Земли на Луне — 2](#)
 - [4.13. Полярная Луны](#)
 - [4.14. Приливы](#)
 - [4.15. Земля остановилась](#)
 - [4.16. Метеоритные кратеры на Венере](#)
 - [4.17. Ошибки в системах мира](#)
 - [4.18. Солнце с крыльями](#)
 - [4.19. Земля и Марс](#)
 - [4.20. Марс и Земля](#)
 - [4.21. Проект «Марс»](#)
 - [4.22. Марсоход](#)
 - [4.23. Полет к Сатурну](#)
 - [4.24. Пепельный свет Титана](#)
 - [4.25. Кольцо Сатурна](#)
- [5. В гостях у братьев Стругацких](#)
 - [5.1. «Подсолнечник» над Леонидой](#)
 - [5.2. Обозреваем окрестности](#)
 - [5.3. Стажеры — 1](#)
 - [5.4. Стажеры — 2](#)
 - [5.5. Рефракция](#)

- [5.6. «Хиус» над полигоном](#)
- [5.7. Путь на Амальтею — 1](#)
- [5.8. Путь на Амальтею — 2](#)
- [5.9. Путь на Амальтею — 3](#)
- [5.10. Радиомаяк на Венере](#)
- [5.11. Созвездия на Фобосе](#)
- [5.12. Венера](#)
- [5.13. Спутник Венеры](#)
- [5.14. Перевернутая радуга](#)
- [5.15. Вогнутое зеркало](#)
- [5.16. Испытания «Хиуса»](#)
- [5.17. Стремительный «Хиус»](#)
- [5.18. Температура Венеры](#)
- [5.19. Высокое напряжение](#)
- [5.20. В недрах Юпитера](#)
- [6. Астрономические часы](#)
 - [6.1. 24 часа](#)
 - [6.2. Время остановилось](#)
 - [6.3. Гарри Поттер](#)
 - [6.4. Наше время](#)
 - [6.5. Ломоносов и Венера](#)
 - [6.6. Покрытия звезд Луной](#)
 - [6.7. Неправильная полночь](#)
 - [6.8. Догнать время](#)
 - [6.9. Надежная широта](#)
 - [6.10. Конец света](#)
 - [6.11. Перелет к антиподам](#)
 - [6.12. День равноденствия](#)
 - [6.13. Начало века](#)
- [7. Завтрак с астрофизиком](#)
 - [7.1. Человек против Солнца](#)
 - [7.2. Солнце из угля](#)
 - [7.3. Солнце сжимается](#)
 - [7.4. Солнце гаснет](#)
 - [7.5. Солнце испаряет Землю](#)
 - [7.6. Пылинка у Солнца](#)
 - [7.7. Прозрачное Солнце](#)

- [7.8. Пятно на Солнце](#)
- [7.9. Черный-черный... \(задача-шутка\)](#)
- [7.10. Почти со скоростью света](#)
- [7.11. Солнечный ветер — 1](#)
- [7.12. Солнечный ветер — 2](#)
- [7.13. Гиганты и карлики](#)
- [7.14. Нуклеосинтез](#)
- [7.15. Синтез гелия](#)
- [8. Звездные системы](#)
 - [8.1. Скопление одинаковых звезд](#)
 - [8.2. Скопление разных звезд](#)
 - [8.3. Двигается звезда](#)
 - [8.4. Сверхновая Тихо Браге](#)
 - [8.5. Сверхновая Кеплера](#)
 - [8.6. Хаббл на шаре](#)
 - [8.7. Отверстие в небе](#)
 - [8.8. Путешествие света](#)
 - [8.9. «Гайя» смотрит на Солнце](#)
 - [8.10. Андромеда и Треугольник](#)
 - [8.11. Сколько скоплений в Галактике](#)
 - [8.12. Столкновение с Андромедой](#)
 - [8.13. Галактики столкнулись](#)
 - [8.14. Перемены в звездном небе](#)
- [9. Проверь себя](#)
 - [Простые вопросы по астрономии](#)
 - [Простые тесты по астрономии](#)
 - [Тесты с тремя вариантами ответа](#)
 - [Тесты с пятью вариантами ответа](#)
- [10. Ответы и решения](#)
 - [1. Путешествия по Земле](#)
 - [1.1. Полярная](#)
 - [1.2. Зима — лето](#)
 - [1.3. Падают кометы](#)
 - [1.4. К полюсу](#)
 - [1.5. Где же юг?](#)

- [1.6. Гелиограф](#)
- [1.7. Где мы?](#)
- [1.8. Так где же мы?](#)
- [1.9. Знаки зодиака](#)
- [1.10. Лунный полярный круг](#)
- [1.11. Затмения](#)
- [1.12. Солнце в зените — 1](#)
- [1.13. Солнце в зените — 2](#)
- [1.14. Солнце внизу](#)
- [1.15. «Феникс» летит на Марс](#)
- [1.16. Земля — шар](#)
- [1.17. Голубая планета Земля](#)
- [1.18. Пепельный свет](#)
- [1.19. Звездопад](#)
- [1.20. Месяц всходит и заходит...](#)
- [1.21. Передвинем города](#)
- [1.22. «Наутилус» на Южном полюсе](#)
- [1.23. Урожайная Луна](#)
- [1.24. Горы и долины](#)
- [1.25. Короткие сумерки](#)
- [1.26. Полная Луна](#)
- [1.27. Арктический НЛО](#)
- [1.28. Календарь Магеллана](#)
- [1.29. Прохождения Венеры](#)
- [1.30. Инспекция](#)
- [1.31. Эх, раз! Еще раз?](#)
- [1.32. Замкнутый маршрут](#)
- [1.33. На все четыре стороны](#)
- [1.34. Небо вверх ногами](#)
- [1.35. Что позади?](#)
- [1.36. Зимний пейзаж](#)
- [1.37. Подзорная труба](#)
- [2. Визит в обсерваторию](#)
 - [2.1. Темная сторона Луны](#)
 - [2.2. Тропики](#)
 - [2.3. Вакуумный телескоп](#)
 - [2.4. Взгляд со стороны](#)

- [2.5. Дневные звезды — 1](#)
- [2.6. Дневные звезды — 2](#)
- [2.7. Круги на небе](#)
- [2.8. Масштаб изображения](#)
- [2.9. Миллион снимков «Хаббла»](#)
- [2.10. Ртутный телескоп](#)
- [2.11. На мысе Доброй Надежды](#)
- [2.12. Поиск планет у Солнца — 1](#)
- [2.13. Поиск планет у Солнца — 2](#)
- [2.14. Поиск планет у Солнца — 3](#)
- [2.15. Снимок издалека](#)
- [2.16. Наблюдаем Марс](#)
- [2.17. Свеча на Луне](#)
- [2.18. «Модные» телескопы](#)
- [2.19. Мира Кита](#)
- [2.20. Радионебо](#)
- [2.21. За орбитой Плутона](#)
- [2.22. Откуда лучше видно?](#)
- [2.23. Спичка](#)
- [2.24. Черное облако](#)
- [2.25. Межзвездные пылинки](#)
- [2.26. Полюс эклиптики](#)
- [2.27. Солнечный телескоп](#)
- [3. На космодроме](#)
 - [3.1. Первые космические полеты](#)
 - [3.2. С первой космической](#)
 - [3.3. Выстрел ракетой в Луну](#)
 - [3.4. Спутник упал](#)
 - [3.5. Стыковки на орбите](#)
 - [3.6. Суточный спутник](#)
 - [3.7. Ориентация в пространстве](#)
 - [3.8. От Солнца до Земли](#)
 - [3.9. Спрыгнуть с астероида](#)
 - [3.10. Карта Луны](#)
 - [3.11. Космический мусор](#)
 - [3.12. Странные космодромы](#)
 - [3.13. К антиподам](#)

- [3.14. К антиподам разными путями](#)
- [3.15. Связь между полюсами](#)
- [3.16. Маршрут по Луне](#)
- [3.17. Посадка на Марс](#)
- [3.18. Летим на Солнце](#)
- [3.19. Взлетаем](#)
- [3.20. Из пушки на Луну — 1](#)
- [3.21. Из пушки на Луну — 2](#)
- [3.22. Бег в невесомости](#)
- [3.23. Объехать астероид](#)
- [3.24. Маятник](#)
- [3.25. Спасти космонавтов](#)
- [3.26. Слабая ракета](#)
- [3.27. К центру Галактики](#)
- [3.28. Измеряем плотность планеты](#)
- [3.29. БАК и черная дыра](#)
- [3.30. Земля в иллюминаторе](#)
- [4. В Солнечной системе](#)
 - [4.1. Восьмая или девятая?](#)
 - [4.2. Сезон великих противостояний](#)
 - [4.3. Птолемей](#)
 - [4.4. Светло ли на Плутоне?](#)
 - [4.5. Когда на Плутоне светлее?](#)
 - [4.6. Луна готовит побег?](#)
 - [4.7. Фазы Луны](#)
 - [4.8. Куда падает Луна?](#)
 - [4.9. Экспедиции к Луне](#)
 - [4.10. Упасть на Луне](#)
 - [4.11. Восход Земли на Луне — 1](#)
 - [4.12. Восход Земли на Луне — 2](#)
 - [4.13. Полярная Луны](#)
 - [4.14. Приливы](#)
 - [4.15. Земля остановилась](#)
 - [4.16. Метеоритные кратеры на Венере](#)
 - [4.17. Ошибки в системах мира](#)
 - [4.18. Солнце с крыльями](#)
 - [4.19. Земля и Марс](#)

- [4.20. Марс и Земля](#)
- [4.21. Проект «Марс»](#)
- [4.22. Марсоход](#)
- [4.23. Полет к Сатурну](#)
- [4.24. Пепельный свет Титана](#)
- [4.25. Кольцо Сатурна](#)
- [5. В гостях у братьев Стругацких](#)
 - [5.1. «Подсолнечник» над Леонидой](#)
 - [5.2. Обозреваем окрестности](#)
 - [5.3. Стажеры — 1](#)
 - [5.4. Стажеры — 2](#)
 - [5.5. Рефракция](#)
 - [5.6. «Хиус» над полигоном](#)
 - [5.7. Путь на Амальтею — 1](#)
 - [5.8. Путь на Амальтею — 2](#)
 - [5.9. Путь на Амальтею — 3](#)
 - [5.10. Радиомаяк на Венере](#)
 - [5.11. Созвездия на Фобосе](#)
 - [5.12. Венера](#)
 - [5.13. Спутник Венеры](#)
 - [5.14. Перевернутая радуга](#)
 - [5.15. Вогнутое зеркало](#)
 - [5.16. Испытания «Хиуса»](#)
 - [5.17. Стремительный «Хиус»](#)
 - [5.18. Температура Венеры](#)
 - [5.19. Высокое напряжение](#)
 - [5.20. В недрах Юпитера](#)
- [6. Астрономические часы](#)
 - [6.1. 24 часа](#)
 - [6.2. Время остановилось](#)
 - [6.3. Гарри Поттер](#)
 - [6.4. Наше время](#)
 - [6.5. Ломоносов и Венера](#)
 - [6.6. Покрытия звезд Луной](#)
 - [6.7. Неправильная полночь](#)
 - [6.8. Догнать время](#)
 - [6.9. Надежная широта](#)

- [6.10. Конец света](#)
- [6.11. Перелет к антиподам](#)
- [6.12. День равноденствия](#)
- [6.13. Начало века](#)
- [7. Завтрак с астрофизиком](#)
 - [7.1. Человек против Солнца](#)
 - [7.2. Солнце из угля](#)
 - [7.3. Солнце сжимается](#)
 - [7.4. Солнце гаснет](#)
 - [7.5. Солнце испаряет Землю](#)
 - [7.6. Пылинка у Солнца](#)
 - [7.7. Прозрачное Солнце](#)
 - [7.8. Пятно на Солнце](#)
 - [7.9. Черный-черный...](#)
 - [7.10. Почти со скоростью света](#)
 - [7.11. Солнечный ветер — 1](#)
 - [7.12. Солнечный ветер — 2](#)
 - [7.13. Гиганты и карлики](#)
 - [7.14. Нуклеосинтез](#)
 - [7.15. Синтез гелия](#)
- [8. Звездные системы](#)
 - [8.1. Скопление одинаковых звезд](#)
 - [8.2. Скопление разных звезд](#)
 - [8.3. Двигается звезда](#)
 - [8.4. Сверхновая Тихо Браге](#)
 - [8.5. Сверхновая Кеплера](#)
 - [8.6. Хаббл на шаре](#)
 - [8.7. Отверстие в небе](#)
 - [8.8. Путешествие света](#)
 - [8.9. «Гайя» смотрит на Солнце](#)
 - [8.10. Андромеда и Треугольник](#)
 - [8.11. Сколько скоплений в Галактике](#)
 - [8.12. Столкновение с Андромедой](#)
 - [8.13. Галактики столкнулись](#)
 - [8.14. Перемены в звездном небе](#)
- [9. Проверь себя](#)
 - [Простые вопросы по астрономии](#)

- [Простые тесты по астрономии](#)
 - [Тесты с 3 вариантами ответа](#)
 - [Тесты с 5 вариантами ответа](#)
 - [Литература](#)
 - [Использованные иллюстрации](#)
 - [~](#)
-

Владимир Сурдин

ВСЕЛЕННАЯ

в вопросах
и ответах

Задачи и тесты
по астрономии
и космонавтике



ТРАЕКТОРИЯ

АНО

АЛЬПИНА НОН-ФИКШН

Москва
2017

Владимир Сурдин

ВСЕЛЕННАЯ В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ

Задачи и тесты по астрономии и космонавтике

Руководитель проекта *И. Серёгина*
Компьютерная верстка *Н. Васильева*
Дизайнер обложки *С. Хозин*

© Сурдин В. Г., 2017

© Издание на русском языке, перевод, оформление. ООО
«Альпина нон-фикшн», 2017

© Электронное издание. ООО «Альпина Диджитал», 2020

* * *

Предисловие

Быть культурным человеком — значит иметь ясное представление о мире, в котором ты живешь. Мир в целом, до его самых дальних пределов, изучает астрономия и пограничные с ней науки — астрофизика, астрохимия, астробиология. Знакомство с этими космическими науками развивает любознательность и стимулирует интерес к другим естественно-научным предметам — физике, химии, биологии, математике. Но простое накопление знаний не может удовлетворить любознательного человека. Знания должны работать, их нужно уметь применять. Нынешние средства связи заливают нас потоком информации, в котором есть сведения чрезвычайно важные и интересные, но нередко встречаются ошибочные и даже лживые. Только активное знание помогает фильтровать эти потоки и получать из них ту информацию, которая развивает наш интеллект, а не засоряет мозг.

Не буду вас убеждать, насколько полезен при изучении любого предмета хороший задачник с подробными решениями. Каждый из нас понимает, что «знать» и «уметь» — далеко не одно и то же. Именно задачники учат нас уметь. Много лет я преподаю астрономию в МГУ и ясно вижу разницу между студентами, прошедшими через олимпиады (т. е. склонными к решению нестандартных задач) и простыми зубрилами, поступившими по баллам ЕГЭ. Олимпиадники стремительно выходят вперед, на 3–4-м курсах начинают активно заниматься наукой, к 6-му курсу имеют достойные публикации, а после окончания университета успешно делают академическую карьеру. В конце концов, что такое наука, если не умение ставить задачи и решать их? Впрочем, и другие стороны нашей жизни требуют тех же навыков. Возможно, именно поэтому наш биологический вид выжил и добился столь многого, что в человека заложена потребность искать и разгадывать загадки. Мы не можем пройти мимо кроссворда, мы с удовольствием читаем детективы, а вечером у телевизора предпочтем «Что? Где? Когда?» любой другой передаче. Каждая разгаданная загадка, каждая решенная задача поднимает нашу самооценку.

Но хороший задачник невозможно «сесть и написать». Оригинальные задачи рождаются нечасто. Создать профессиональный и самобытный задачник — это, смею вас заверить, большой труд, но и коэффициент его полезного действия невероятно высок: физикам не нужно напоминать, какую роль в их образовании сыграла тоненькая книжечка «Задачи Петра Капицы».

Мы с коллегами уже несколько десятилетий проводим астрономические олимпиады в Москве, России и на международных площадках. Эти турниры стимулировали не только будущих «звездочетов», но и успешных людей других профессий. 20 лет назад я собрал наши лучшие задачи, сопроводив их подробными решениями (Сурдин В. Г. Астрономические олимпиады, М.: МГУ, 1995), и эта книга до сих пор успешно «работает». Позже было еще несколько сборников более простых задач. А теперь пришло время для нового, в котором отражаются изменения последних лет.

Эти изменения, с одной стороны, тревожат меня, с другой — радуют. Уже немало лет, как астрономия изгнана из средней школы. Это печально. Но интерес к ней у молодых людей велик, и это радует. В МГУ уже несколько лет мы читаем межфакультетские курсы со свободной записью студентов, и я рад, что на моем курсе «Основы астрономии» максимальное количество слушателей. Кроме этого, интернет дал возможность преподавать online, и мои астрономические курсы ежегодно посещает более 10 тысяч слушателей. Возрастной и профессиональный состав слушателей стал очень широким, и я постарался учесть это в новом задачнике.

Читайте, решайте, наслаждайтесь. Желаю удачи!

В. Г. Сурдин, январь 2017.

1. Путешествие по Земле



1.1. Полярная

Любитель астрономии купил телескоп на экваториальной монтировке с хорошим часовым механизмом и перед началом наблюдений принялся ориентировать часовую ось на северный полюс мира. К счастью, вдоль часовой оси было проделано специальное отверстие, глядя в которое любитель нашел Полярную звезду и закрепил монтировку в таком положении. Сможет ли он при этом проводить визуальные и фотографические наблюдения?

1.2. Зима — лето

Казалось бы, тривиальный вопрос: «Что служит причиной смены сезонов на Земле, т. е. почему бывают зима и лето?» Но ведь каждый третий дает на него неверный ответ. А вы?

1.3. Падают кометы

Из многочисленных песен с популярным названием «Звездный дождь» нас привлекла лишь одна. Вот два ее куплета:

Падают кометы, освещая ночь,
Будет до рассвета длиться звездный дождь.
Лунный диск качается, словно в полусне,
Ты со мной прощаешься, я с тобою нет.
Он как невидимка, этот звездный дождь.
Каждую дождинку спрячет — не найдешь.
Капли превращаются в пыль чужих планет,
Ты со мной прощаешься, я с тобою нет.

Оставив в стороне поэзию, проанализируйте этот текст с астрономической точки зрения. На какие явления намекает автор? В чем он прав, а в чем нет?

1.4. К полюсу

Самолет взлетел на экваторе в 00:00 по Гринвичу и со скоростью 900 км/час летит на север точно в направлении стрелки магнитного компаса. В котором часу он пролетит над Северным географическим полюсом?

1.5. Где же юг?

Приезжий шел по центральной части Москвы днем в облачную погоду и спросил прохожего, как ему пройти к Главному зданию МГУ. Прохожий, как и любой москвич, торопился, поэтому, не останавливаясь, ответил: «Это на юге. Двигайтесь на юг».

«Легко сказать, — подумал приезжий. — Кто же знает, где тут у вас юг?» Время близилось к полудню, поэтому, как опытный турист, он поднял голову в поисках солнца, но увидел лишь однородно-серое небо. Однако, недолго поразмышляв, приезжий уверенно повернул в нужную сторону и отправился к высотному зданию МГУ. Знание астрономии подсказало ему верное направление. Что же стало для него ориентиром?

1.6. Гелиограф

В технике связи гелиограф — это оптический телеграф, устройство для передачи информации на расстояние посредством световых вспышек. Главной частью гелиографа служит закрепленное в рамке зеркало, наклонами которого производится сигнализация серией вспышек солнечного света (т. е. «солнечным зайчиком») в направлении получателя сигнала. В качестве кодировки, как правило, используется азбука Морзе. Обычно гелиографы выполнялись мобильными и монтировались на треноге. Были широко распространены в армиях многих стран в XIX и начале XX в. (в армии Великобритании и Австралии — вплоть до 1960-х). Дальность связи в хороших условиях (солнечный день, чистая атмосфера) могла превышать 50 км.



Использование гелиографа в годы Первой мировой войны. Турецкая армия, 1917 г.

Рекорд дальности связи посредством гелиографа был поставлен в США в 1894 г.: расстояние между точками передачи и приема составило 295 км, обе располагались на горных вершинах.

Вопрос: какова была высота гор?

1.7. Где мы?

Совершая транстихоокеанское путешествие, морской лайнер разбился о рифы, и пассажиры оказались на маленьком острове посреди океана. Это не очень их расстроило, а некоторых даже обрадовало, учитывая отличный климат острова и огромный запас консервированных продуктов, спасенных из корабельного камбуза. Лишь одно не давало путешественникам покоя: все они мечтали впервые в жизни пересечь экватор и жаждали узнать, произошло это уже или нет. Среди пассажиров нашелся молодой профессор физики, неплохой знаток астрономии; он пообещал друзьям по приключению определить ночью по созвездиям, в каком полушарии Земли они оказались. Но одна нетерпеливая молодая блондинка потребовала сделать это немедленно: «Я не могу ждать до ночи! Я умру от нетерпения, ведь сейчас только полдень!» Профессор улыбнулся, вынул из кармана карандаш и воткнул его в песок. Затем он прочертил пальцем на песке линию вдоль тени карандаша и объявил: «Если через пять минут...» — после чего, наклонившись к уху юной особы, продолжил фразу шепотом. «Неужели все так просто?! — воскликнула девушка и стрельнула в профессора глазками. — Вы гений!» Профессор смущенно улыбнулся, повернулся к остальным «робинзонам» и, обведя их взглядом — как студентов в аудитории, — спросил: «А вы, друзья мои, уже догадались, что я прошептал на ухо этой юной леди?»

1.8. Так где же мы?

История из предыдущей задачи неожиданно получила продолжение. Не прошло и минуты с того момента, как путешественники начали следить за тенью карандаша, как юная блондинка вскочила от нетерпения и объявила: «Я не могу ждать так долго — целых пять минут! А если за это время на солнце набегит тучка? Тогда мы вообще не узнаем, куда забросила нас судьба! Сейчас же скажите мне, в каком мы полушарии!»

Профессор смущенно улыбнулся и спросил окружающих, нет ли у кого-нибудь с собой компаса. Один из бывалых туристов снял с руки часы, в ремешок которых был вделан маленький магнитный компас, и протянул их профессору. Тот вручил компас нетерпеливой девушке и объяснил: «Если синий, северный, конец стрелки...» — дальше он вновь перешел на шепот, так что окружающие не расслышали конец инструкции. «Ну вот! — воскликнула девушка. — Оказывается, все так просто. И не нужно ждать пять минут!» Окружающие недоуменно переглянулись: неужели действительно все так просто и мы сейчас узнаем, в каком полушарии находимся?

А вы, уважаемый читатель, знаете, как с помощью компаса понять, в каком полушарии Земли вы находитесь?

1.9. Знаки зодиака

Осенью 2016 г. бульварная пресса многих стран возбудилась по поводу 13-го знака зодиака. Якобы «по данным NASA знаки зодиака большинства людей на самом деле другие», и, мол, NASA настаивает на введении нового знака зодиака — знака Змееносца. Когда астрономы объяснили журналистам, в чем тут дело, страсти улеглись, а некоторые представители печати даже взялись за развенчание мифа.

В конце октября я летел в самолете и, поскольку перелет был недолгим — всего полчаса, — не стал доставать из багажа книгу, а принялся пролистывать дежурный журнал авиакомпании, услужливо вложенный в спинку кресла передо мной. Под рубрикой «Наука» в нем обнаружилась статья «Тринадцатый знак». Ее автор — Ксения Л. — решила объяснить читателю, что к чему со знаками зодиака. Она написала:

Шокирующее заявление про смену знаков зодиака — это, конечно, «утка». На самом деле издания, которые растиражировали эту новость, просто не разобрались в вопросе и выжали сенсацию из достаточно простого факта, который известен всем людям, интересующимся изучением звездного неба.

Реальность же состоит в том, что знаки зодиака — это условность и они не соответствуют реальному положению созвездий на небе. И вообще созвездий в зодиакальном поясе не 12, а 13. Именно об этом и говорил текст, размещенный на образовательном портале NASA. Ученые всего лишь напомнили, что положение созвездий относительно эклиптики Солнца постоянно меняется из-за прецессии.

Здесь мы остановимся. Заметили ошибку?
Читаем дальше:

О существовании тринадцатого знака зодиака упоминали еще в 70-е годы прошлого века. Тогда ученые говорили о том, что помимо Змееносца в ближайшем

будущем можно будет говорить о 14-м созвездии
зодиакального круга — Ките.

А что вы думаете об этом утверждении?

1.10. Лунный полярный круг

Хорошо известно, что такое на Земле «полярный круг» и как он связан с сезонным ходом Солнца. Аналогичный «полярный круг» имеется на земном шаре и для Луны. Найдите широту «лунного полярного круга», если наклон плоскости орбиты Луны к плоскости эклиптики составляет примерно 5° .

1.11. Затмения

Лунные затмения происходят, когда Луна попадает в тень Земли, а солнечные — когда Луна «наползает» на диск Солнца. Но угловой размер земной тени у орбиты Луны в несколько раз больше углового размера солнечного диска. Почему же тогда солнечные затмения происходят в несколько раз чаще лунных? Речь идет о затмениях, при которых один из дисков (Луны, Солнца или земной тени) касается другого или накладывается на него частично или полностью. Для лунных это полные и частные теневые затмения, а для солнечных — полные, кольцеобразные, гибридные (т. е. полные, переходящие в кольцеобразные, либо наоборот) и частные затмения.

1.12. Солнце в зените — 1

Сколько раз в году на экваторе Солнце бывает в зените?

1.13. Солнце в зените — 2

Немного изменим условие предыдущей задачи: сколько раз в году на Земле Солнце бывает в зените?

1.14. Солнце внизу

Можно ли наблюдать нижнюю кульминацию Солнца?

1.15. «Феникс» летит на Марс

Питер Смит, руководивший подготовкой зонда «Феникс» (NASA), так вспоминает момент его старта к Марсу с мыса Канаверал (Флорида):

Ранним утром 4 августа 2007 г. начался обратный отсчет. Я вышел из диспетчерской, чтобы посмотреть на старт «вживую». Было четверть шестого утра, на небе были звезды, а на востоке сиял Марс.

Могло ли так быть?

1.16. Земля — шар

Часто можно услышать, что наша Земля — шар. С какой точностью верно это утверждение?

1.17. Голубая планета Земля

Как астрономы узнали задолго до первых полетов в космос, какого цвета наша Земля, если наблюдать ее с большого расстояния?

1.18. Пепельный свет

Из статьи известного российского астронома, одного из «отцов» отечественной астрофизики Гавриила Адриановича Тихова «Пепельный свет Луны» (Природа, 1914, № 12, с. 1395–1399):

В ясные вечера ранней весны, когда над западной частью горизонта видна молодая Луна в виде узкого серпа, нетрудно заметить и остальную часть Луны, освещенную гораздо слабее, чем серп. Этот слабый свет и носит наименование пепельного света Луны. Пепельный свет хорошо виден также осенью, на востоке.

Попробуйте ответить на вопросы:

- 1) В чем причина слабого свечения темной стороны Луны?
- 2) Наблюдается ли это свечение на обратной стороне Луны?
- 3) Почему пепельный свет Луны заметнее весной на западе, а осенью на востоке?

1.19. Звездопад

В типичных условиях наблюдатель фиксирует 5–10 метеоров в час. Полагая, что метеор вспыхивает на высоте 90 км, оцените, сколько их всего вспыхивает за час в атмосфере Земли. А много ли массы метеорного вещества попадает на Землю?

1.20. Месяц всходит и заходит...

Из стихов Новеллы Матвеевой:

Каждую ночь,
Горя не зная,
Всходит луна,
Как заводная.

Так ли это на самом деле?

1.21. Передвинем города

В книге Б. Паркера «Мечта Эйнштейна» (М.: Наука, 1991, с. 191) есть такое утверждение:

Если передвинуть абсолютно все города и деревни на Земле на 100 км вправо, то ничего не изменится; расстояние между Нью-Йорком и Лос-Анджелесом останется тем же.

Верно ли это, если понимать «вправо» как «по долготе на восток»?

1.22. «Наутилус» на Южном полюсе

Описывая путешествия подводной лодки «Наутилус», Жюль Верн заметил:

Когда «Наутилус» еще был на Южном полюсе, созвездия блистали с удивительной ясностью. В зените сиял чудный Южный Крест — полярная звезда антарктических стран.

В чем ошибся писатель? А в чем оказался провидцем?

1.23. Урожайная Луна

В какое время года и на каких географических широтах полная Луна в течение нескольких дней восходит практически в одно и то же время суток? Почему ночное светило в эти сезоны называют «урожайной Луной» (Harvest Moon)?

1.24. Горы и долины

Почему высота самой высокой горы меньше, чем глубина самой глубокой морской впадины?

1.25. Короткие сумерки

Аркадий Аверченко и Георгий Ландау пишут в повести «Экспедиция в Западную Европу сатириконцев: Южакина, Сандерса, Мифасова и Крысакова»:

Солнце склонялось к закату... В вагоне сразу стемнело.

— Удивительно, как на юге быстро наступает ночь, — заметил Мифасов. — Не успеешь оглянуться, как уже и стемнело.

— Удивительно, как вы все знаете, — саркастически заметил Сандерс.

— В вас меня удивляет обратное, — возразил Мифасов.

Вдруг в вагоне стало проясняться, и опять дневной свет ворвался в окно.

— Удивительно, — захихикал Сандерс, — как на юге быстро светлеет.

Поезд опять нырнул в туннель.

— Удивительно, — сказал Крысаков, — как на юге быстро темнеет...

Ну а если серьезно: почему в экваториальных областях Земли вечером сумерки длятся недолго и темнеет очень быстро, а утром быстро наступает рассвет?

1.26. Полная Луна

В романе Михаила Булгакова «Мастер и Маргарита» описан майский вечер в Москве на Патриарших прудах:

Небо над Москвой как бы выцвело, и совершенно отчетливо была видна в высоте полная Луна, но еще не золотая, а белая.

Какую неточность допустил здесь писатель?

1.27. Арктический НЛО

В книге Михаила Герштейна «Тайны НЛО и пришельцев» (М.: АСТ; СПб: Сова, 2007) на с. 159–160 читаем:

Флаг-штурман Полярного управления гражданской авиации, заслуженный штурман СССР Валентин Аккуратов тоже неоднократно встречался с «тарелками». Одна из его встреч с неведомым произошла 10 апреля 1973 года: «В период полярного дня примерно в 700 км к юго-юго-востоку от Северного полюса вместе с пятью остальными членами экипажа нашего самолета я наблюдал полет дискообразного объекта неизвестной природы. Мы шли на высоте 2600 м, температура воздуха была минус 38 градусов, погода стояла ясная, видимость отличная. Странный диск имел металлический отблеск. Он шел в сторону полюса на очень большой скорости, и нам удалось его наблюдать лишь в течение 1,5–2 минут. Инверсионного следа он не давал и ни на один из существующих летательных аппаратов не походил».

До сих пор ни у кого не повернулся язык упрекнуть в чем-то знаменитого полярного летчика, награжденного десятками орденов и медалей за участие в войне в Арктике и полярных экспедициях. Он совершил первый в мире ночной полет на Северный полюс, участвовал в высадке на дрейфующий лед зимовщиков целых 20 станций, поднял флаг СССР над «полюсом недоступности». Валентин Иванович был опытейшим пилотом и знатоком арктического неба. Он четырежды наблюдал НЛО и не скрывал этого, несмотря на негативное отношение начальства.

Вот такая история. А вы сможете указать на географической карте точку, над которой произошла встреча летчиков с НЛО?

1.28. Календарь Магеллана

Вернувшись из кругосветного путешествия, моряки из экспедиции Магеллана обнаружили, что их календарь расходится с портовым календарем на один день. Какой из календарей был впереди — корабельный или портовый — и почему?

1.29. Прохождения Венеры

Прохождения Венеры по диску Солнца за последние столетия происходили и произойдут в следующие даты:

XVII в.	7 декабря 1631 г. и 4 декабря 1639 г.
XVIII в.	6 июня 1761 г. и 4 июня 1769 г.
XIX в.	9 декабря 1874 г. и 6 декабря 1882 г.
XXI в.	8 июня 2004 г. и 6 июня 2012 г.
XXII в.	11 декабря 2117 г. и 8 декабря 2125 г.

Вопросы:

- 1) Почему прохождения Венеры наблюдаются только в начале июня и декабря?
- 2) Почему прохождения группируются парами и между двумя последовательными прохождениями проходит 8 лет?
- 3) Почему между парами прохождений проходит либо 121,5, либо 105,5 лет?

1.30. Инспекция

На полярную научную станцию «Северный полюс-2018» прибыла инспекция, начальство из Москвы. Выйдя из самолета, руководитель комиссии осмотрелся и недовольно заметил: «Непорядок: почему не отмечено положение земной оси? Ученые люди, а не знаете, что через Северный полюс проходит ось вращения Земли!». Как вы думаете, что ответил ему на это замечание начальник станции?

1.31. Эх, раз! Еще раз?

Звезда вошла над (математическим) горизонтом в 00 часов 01 минуту по местному времени. Сколько еще раз она пересечет горизонт в данном пункте в течение этих суток?

1.32. Замкнутый маршрут

Из какой точки на земном шаре нужно выйти, чтобы, пройдя 100 км на юг, затем 100 км на восток и 100 км на север, оказаться в исходной точке?

1.33. На все четыре стороны

Человек прошел 10 км на север, 10 км на запад, 10 км на юг и 10 км на восток, вернувшись при этом в исходную точку. Откуда он вышел?

1.34. Небо вверх ногами

Поэт Лев Рубинштейн впервые посетил США весной 1991 г... Его первое впечатление об Америке, как пишет с его слов Матвей Ганапольский (<http://m.golos-ameriki.ru/a/253224.html>),

...усугублялось тем, что это другое полушарие. Например, в том же Сан-Франциско меня страшно поразила карта звездного неба, перевернутая наизнанку. Большая Медведица то ли вверх ногами, то ли вниз — там все было наоборот! Причем я это не сразу понял, не так уж я хорошо знаю карту звездного неба, но потом мне объяснили, что здесь все перевернуто.

Проанализируйте слова поэта.

1.35. Что позади?

Посмотрите на это фото полной Луны и угадайте, что в этот момент было позади фотографа (фото: Aaron J. Groen).



1.36. Зимний пейзаж

Какое время суток изобразил художник на этом пейзаже? Что можно сказать о наблюдательности художника?



1.37. Подзорная труба

В радиопостановке по роману Ж. Верна «Таинственный остров» в тот момент, когда путешественники обнаружили выброшенный на берег сундук с полезными вещами, один из них, вынув из сундука подзорную трубу и осмотрев в нее морскую гладь, воскликнул: «Господа, миль на 100 вокруг не видно обломков кораблекрушения!» Каково было увеличение подзорной трубы?



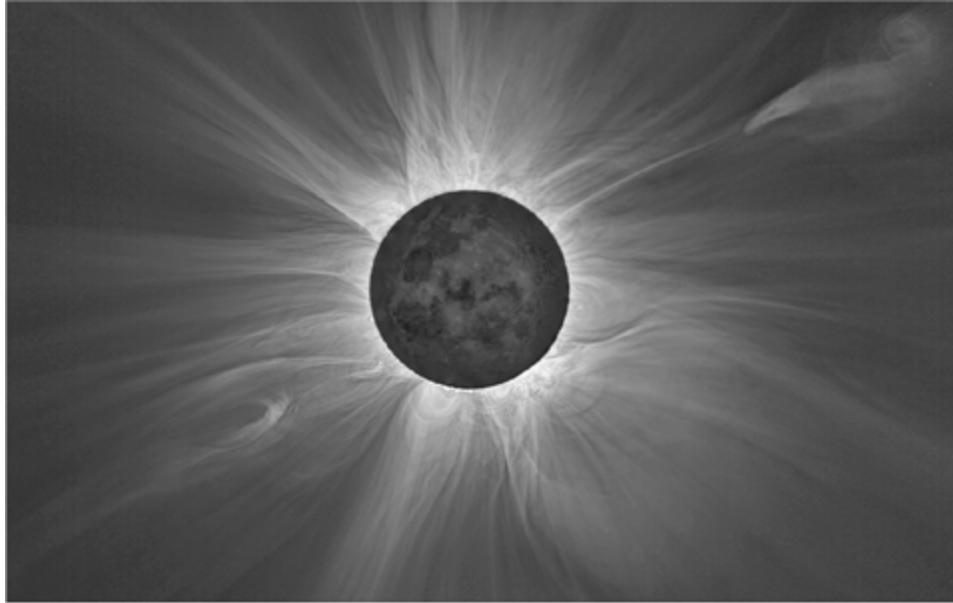
2. Визит в обсерваторию



Визит
в обсерваторию

2.1. Темная сторона Луны

Почему во время полного солнечного затмения поверхность Луны все же удастся сфотографировать? Ведь Солнце в этот момент освещает только обратную сторону Луны.



Солнечное затмение 2013 г. Фото: Constantinos Emmanoulidis,
обработка: Miloslav Druckmüller

2.2. Тропики

Линия тропика в северном полушарии Земли (параллель $23,4^{\circ}$ с. ш.) исторически называется тропиком Рака, а в южном (параллель $23,4^{\circ}$ ю. ш.) — тропиком Козерога. Когда и почему установили такие названия? Быть может, по тем животным, которые на этих широтах водятся? Насколько правильны эти названия сейчас, в XXI веке?

2.3. Вакуумный телескоп

В конце XX в. у некоторых солнечных телескопов из трубы стали откачивать воздух. В чем смысл такого «вакуумного» телескопа?

2.4. Взгляд со стороны

Двойная звезда Дзета Сетки (ζ Сетки, Zeta Reticuli) имеет координаты $\alpha = 3^{\text{h}} 18^{\text{m}}$, $\delta = -62^{\circ} 32'$ и состоит из двух почти одинаковых компонентов, разделенных на небе углом $5,2'$. Их блеск в фильтре V составляет $5,52^{\text{m}}$ и $5,22^{\text{m}}$, а спектральные классы — G4V и G2V. Лучевая скорость этой системы $+12,2$ км/с. Если бы у одной из этих звезд была обитаемая планета, то какой блеск имело бы наше Солнце на ее небе? И вообще — что записали бы ее астрономы в свои каталоги по поводу нашего Солнца?

2.5. Дневные звезды — 1

Из статьи одного астронома:

К нам на астрономическую обсерваторию за тридевять земель, с пересадками, с маленькими детьми нет-нет да и приезжают люди, движимые желанием в разгар дня полюбоваться звездами... Казалось бы, чего стоит немного подумать и понять, что звездное небо днем не видно, хоть ты что с ним делай, ибо свет звезд не может соперничать с небесной синевой? Это избавило бы от долгой, тяжелой и бесполезной дороги. Когда это пытаешься объяснить, тебя не понимают. «Что-то он темнит, этот астроном. Ведь у него есть телескоп! Зачем нужен телескоп, если для наблюдений за звездами все равно приходится ждать ночи?» И астронома начинают уговаривать: «А может быть, все-таки попробуем? Мы с детьми, мы не можем ночью. Дайте нам взглянуть в телескоп, вдруг мы что-нибудь увидим?» Получив совершенно честный ответ: «Вы не увидите ничего», посетители уходят с ощущением, что их обманули.

Вопрос: так ли уж беспочвенны ожидания дневных посетителей обсерватории?

2.6. Дневные звезды — 2

В этом задачнике мы еще не раз обратимся к «замечательной» детской книжке С. Зигуненко «Почему Луна на Землю не падает?» (М.: Издательство АСТ, 2015) из серии «Почемучкины книжки». Ее автор берется рассуждать и о Луне, и о звездах, не имея глубоких знаний по астрономии. Например, читаем на с. 45:

Днем мы звезд не видим — это происходит потому, что свет, испускаемый ими, значительно слабее света солнечного. Обрати внимание: ночью кажется, что фонари светят очень ярко. А вот днем-то их почти не видно...

Вопрос: если верить автору, то яркий солнечный свет притупляет наше зрение и мешает видеть звезды. Почему же тогда их видят космонавты, пролетая над дневной стороной Земли, когда и на их небе светит яркое (еще более яркое, чем у нас внизу!) Солнце?

2.7. Круги на небе

Какой из небесных кругов все светила пересекают дважды в сутки? А могут ли светила пересекать его трижды в сутки?

2.8. Масштаб изображения

Фокусное расстояние объектива астрографа $F = 3$ м. Угловое расстояние между двумя звездами на небе $\alpha = 5'$ (т. е. 5 угловых минут). Каково расстояние между изображениями этих звезд в фокальной плоскости астрографа?

2.9. Миллион снимков «Хаббла»

Космический телескоп «Хаббл» начал работать на околоземной орбите в 1990 г., а в 2011 г. произвел свое миллионное наблюдение. Оцените среднюю продолжительность одной экспозиции.

2.10. Ртутный телескоп

В замечательной книге Вильяма Сибрука «Роберт Вильямс Вуд. Современный чародей физической лаборатории» в главе 10 описано одно из изобретений знаменитого оптика:

Изобретенный Вудом так называемый ртутный телескоп — вращающийся плоский сосуд со ртутью на дне колодца — был одним из самых бесполезных и сенсационных его произведений. Он был основан на том, что поверхность ртути во вращающемся сосуде принимает форму параболоида. Блюдо со ртутью было установлено на дне колодца под коровником, и в потолке над ним было пробито отверстие. Сосуд медленно вращался электромотором, а наблюдатель над колодцем наблюдал через окуляр увеличенные отраженные изображения звезд и планет, проходивших через зенит...

Необходимы были крайние ухищрения, чтобы обеспечить равномерное вращение сосуда со ртутью, так как малейший толчок вызывал рябь на ее поверхности, искажавшую изображение в зеркале. Вуд блестяще разрешил задачу, подвесив сосуд в независимо вращающемся кольце, приводимом в движение электромотором и связанном с сосудом со ртутью только тонкими резиновыми полосками. Таким образом, сосуд вращался, но колебания мотора ему не передавались. Фокусное расстояние инструмента можно было изменять от четырех до четырнадцати футов простым изменением числа оборотов мотора. Стоя на краю колодца и смотря вниз, можно было видеть изображения звезд, по яркости похожих на отдаленные электрические лампы, «висящими в воздухе» у отверстия колодца, — особенно замечательное зрелище, когда большое скопление звезд в созвездии Геркулеса проходило через зенит.

27 августа 1908 г. «Нью-Йорк Таймс» посвятила всю заглавную страницу своего второго отдела щедро иллюстрированному очерку под заглавием:

НОВАЯ ИДЕЯ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗВЕЗД.

Вуд из Университета Джона Гопкинса работает в Ист Хэмптоне с телескопом, в котором нет никаких линз.

В воскресенье 11 апреля 1909 г. балтиморская «Сан» поместила еще более сногшибательное описание на первой странице... Заголовки были столь же замечательны:

Новый телескоп раскроет загадку Вселенной. Населен ли Марс?

***РТУТНОЕ ЗЕРКАЛО, ИЗОБРЕТЕННОЕ ГЕНИЕМ ИЗ
БАЛТИМОРЫ, ПРИБЛИЖАЕТ ЛУНУ К ЗЕМЛЕ ДО
НЕСКОЛЬКИХ МИЛЬ***

Вопрос: на какой географической широте располагалась лаборатория (коровник) Роберта Вуда? Насколько правдивы были заголовки газет?

2.11. На мысе Доброй Надежды

В книге Франсуа Араго «Общепонятная астрономия» (СПб: 1861, т. 3, кн. 21, с. 315) обсуждается отражательная способность лунной поверхности:

Вот наблюдение сэра Джона Гершеля, прямо идущее к цели моих объяснений. «Находясь на мысе Доброй Надежды, — говорит знаменитый астроном, — я часто сравнивал вертикальную сторону Столовой горы, освещенную восходящим Солнцем, с полною Луною, скрывавшеюся сзади горы, и такова была тождественность блеска светила и каменной породы [sandstone], что я не мог различать их друг от друга. А если мне станут возражать, что каменная порода наблюдалась мною вблизи, а Луна весьма издалека, то я припомню, что, по несомненным оптическим законам, порода сохранила бы тот же самый блеск на всяком расстоянии».

Вопрос: каково должно быть положение на небе Луны и Солнца, чтобы проведенное Гершелем сравнение давало точный результат?

2.12. Поиск планет у Солнца — 1

Может ли астроном, живущий в системе α Кентавра и обладающий теми же возможностями, что и астрономы Земли, заметить в телескоп планеты Солнечной системы?

2.13. Поиск планет у Солнца — 2

Если наши «братья по разуму» с соседней звезды измеряют лучевую скорость Солнца с точностью 10 м/с, то смогут ли они заметить существование у Солнца планетной системы?

2.14. Поиск планет у Солнца — 3

Если жители планеты у звезды α Кентавра систематически измеряют положение Солнца с точностью $0,01''$, то смогут ли они заметить колебания в движении Солнца, вызванные обращением вокруг него планет Солнечной системы? Параллакс α Сеп составляет $p = 0,751''$.

2.15. Снимок издалека

С какого расстояния сделано это фото?



2.16. Наблюдаем Марс

В книге Камиля Фламмариона «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.

Что имел в виду Фламмарион, утверждая, что через тысячи лет земным астрономам станет удобнее наблюдать северное полушарие Марса?

2.17. Свеча на Луне

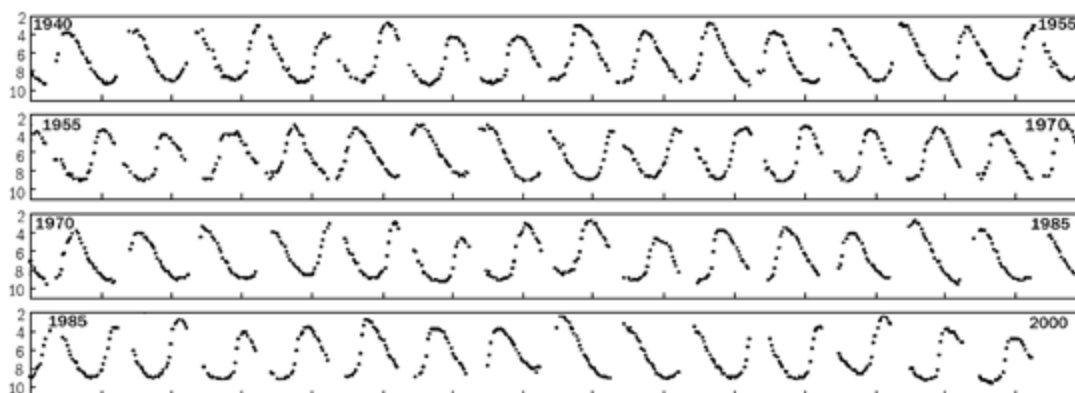
С расстояния в 1 км обычная восковая свеча выглядит как звезда $8,25^m$. Сможет ли космический телескоп «Хаббл», движущийся по орбите высотой 570 км над поверхностью Земли, заметить свечу, зажженную ночью на земной поверхности. А на Луне? («Хаббл» при съемке с короткой экспозицией фиксирует точечные источники с минимальным блеском 26^m , а при длительном накоплении света — до 30^m .)

2.18. «Модные» телескопы

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

2.19. Мира Кита

На рисунке показана кривая блеска (в звездных величинах) переменной звезды Мира Кита (ο Set), полученная по наблюдениям астрономов многих стран за 60 лет. Почему в некоторых местах этой кривой отсутствуют наблюдательные точки?



2.20. Радионебо

Почему радиоастрономы могут наблюдать днем, а астрономы-оптики — нет?

2.21. За орбитой Плутона

Астрономы подозревают, что за орбитой Плутона, в поясе Койпера, движется множество крупных астероидов и ядер комет. Можно ли обнаружить астероид диаметром 350 км, имеющий альбедо около 7 %, на расстоянии 100 а. е. от Солнца с помощью наземного телескопа, обладающего предельной чувствительностью 24^m ?

2.22. Откуда лучше видно?

Два астронома с одинаковыми оптическими телескопами диаметром $D = 10$ м находятся один на Земле, другой на Луне. Кто из них различит более мелкие детали на поверхности соседнего тела и каков будет их линейный размер?

2.23. Спичка

Если темной ясной ночью на вершине горы зажечь спичку, то на каком расстоянии L ее будет видно? А если дело происходит не на Земле, а на Луне?

2.24. Черное облако

Оптическая толщина газово-пылевого облака для света составляет $\tau = 1$ (т. е., проходя сквозь облако, свет ослабевает в e раз). Как изменится значение τ , если облако сожмется настолько, что его радиус сократится в 10 раз?

2.25. Межзвездные пылинки

В галактической окрестности Солнца в результате поглощения света межзвездной пылью поток излучения звезды ослабевает на 1 %, пройдя расстояние в 10 пк. Если считать пылинки непрозрачными шариками радиусом $r = 2 \cdot 10^{-5}$ см, то каково среднее расстояние между пылинками?

2.26. Полюс эклиптики

Каковы координаты северного полюса эклиптики?

2.27. Солнечный телескоп

Часто у солнечных телескопов (например, у вертикальных или горизонтальных) перед объективом установлена дополнительная система подвижных зеркал — целостат. Он требуется для наведения на Солнце, поскольку сам объектив телескопа закреплен неподвижно. Почему именно у солнечных телескопов объективы делают неподвижными?



3. На космодроме



3.1. Первые космические полеты

Первые орбитальные полеты космонавтов имели минимальную программу: выйти на орбиту и вернуться на Землю. Юрий Гагарин так и летал, сделав один оборот вокруг Земли за 1 ч 48 мин. А вот первый вышедший на орбиту американский астронавт Джон Гленн летал 4 ч 55 мин, сделав три оборота. При этом на первом витке у него не было технических проблем, а затем они лавинообразно нарастали. Почему же Джон Гленн летал дольше Юрия Гагарина? Почему он не сел раньше?

3.2. С первой космической

Если недалеко от поверхности Земли (но за пределом атмосферы) запустить объект с первой космической скоростью (8 км/с) параллельно земной поверхности, то он будет обращаться по круговой орбите. А как он будет двигаться, если направление запуска будет перпендикулярным поверхности Земли? Как долго продлится его полет и какой максимальной высоты он сможет достичь? Вращение Земли не учитывать.

3.3. Выстрел ракетой в Луну

Одна из первых попыток запустить ракету на Луну была предпринята в СССР 8 сентября 1959 г. Старт был назначен на 5 ч 40 мин 40 с. Но по техническим причинам ракета не взлетела. А в те годы межпланетные перелеты осуществлялись без вывода ракеты на промежуточную околоземную орбиту и без коррекций траектории во время полета. Запуск ракеты к Луне фактически представлял собой выстрел (в то время ракетчики так и говорили: «Выстрел»): за несколько минут разгона ракета получала нужную по модулю и направлению скорость и далее двигалась свободно, по баллистической траектории, в соответствии с законами небесной механики. Если расчет был точным, она попадала в цель. Программа разгона ракеты рассчитывалась заранее и вводилась в блок управления полетом ракеты. В соответствии с взаимным расположением Луны и космодрома на Земле указывалось точное время старта. Ошибка в 30 секунд могла привести к промаху. Если момент старта был пропущен, то необходимо было ожидать следующего подобного расположения Луны и космодрома.

После неудачной попытки старта 8 сентября следующую попытку назначили на 9 сентября. Определите, на какое время суток она была назначена.

3.4. Спутник упал

При описании полета первого искусственного спутника Земли, запущенного в СССР 4 октября 1957 г., в одном из журналов было сказано следующее: «Спутник летал 92 дня, до 4 января 1958 г., совершив 1440 оборотов вокруг Земли, а его радиопередатчики работали в течение двух недель после старта. Из-за трения о верхние слои атмосферы спутник потерял скорость, вошел в плотные слои атмосферы и сгорел вследствие трения о воздух». Все ли верно в этих словах?

3.5. Стыковки на орбите

В середине 1960-х гг. американские астронавты на космических кораблях «Джемини» отрабатывали стыковку на орбите с ракетной ступенью «Аджена». Каждый раз их запускали с одного космодрома на мысе Канаверал (тогда он назывался мысом Кеннеди), но с разницей примерно в 1,5 часа. А почему не одновременно? А почему именно через 1,5 часа? Как это объяснить?

3.6. Суточный спутник

В рассказе Александра Колпакова «Альфа Эридана» 1959 г. (Сборник научно-фантастических рассказов «Альфа Эридана», М.: Молодая гвардия, 1960) герой сообщает:

Астронавты сейчас проходят предстартовую подготовку на суточном спутнике, —

и поясняет:

Суточный спутник Земли — искусственный спутник, обращающийся вокруг планеты на высоте ее шести радиусов и делающий один оборот в сутки. Он постоянно висит на небосводе на одном месте (для земного наблюдателя).

Считаете ли вы это пояснение достаточно точным?

3.7. Ориентация в пространстве

После первого орбитального полета американского пилотируемого аппарата «Меркурий» 20 февраля 1962 г. журнал *Scientific American* (1962, № 4) прокомментировал его итоги. В частности, было отмечено: «Стало очевидно, что человек в космосе полезен: когда на начальном этапе полета система автоматического ориентирования корабля отказала, астронавт Джон Гленн смог вручную управлять ориентированием по всем трем пространственным осям координат». Нет ли здесь неточности?

3.8. От Солнца до Земли

Для объяснения того, сколь велико расстояние от Земли до Солнца, поэт Гебель в своей «Сокровищнице» (Литцман, 1959, с. 17) воспользовался таким примером:

Артиллерист, находясь на Солнце, направляет орудийный снаряд как раз на тебя. Ты в испуге убегаешь. Но не волнуйся: тебе нечего спешить, ты имеешь еще много времени, чтобы избежать снаряда.

Определите, за какое время снаряд, пущенный с поверхности Солнца со скоростью 5000 км/ч, преодолеет путь до Земли.

3.9. Спрыгнуть с астероида

Каков максимальный размер астероида, с которого человек может спрыгнуть в космос и улететь далеко-далеко?

3.10. Карта Луны

Искусственный спутник Луны на полярной круговой орбите высотой 100 км проводит глобальную картографическую съемку ее поверхности. Чему должен быть равен минимальный угол поля зрения оптического прибора, направленного постоянно в надир, для завершения глобального картографирования Луны за 14 дней.

3.11. Космический мусор

На рисунке показано количество космических объектов, условно называемых «космическим мусором», на низких околоземных орбитах (200–2000 км). Это вышедшие из строя искусственные спутники, последние ступени ракет-носителей, переходные отсеки, части взорвавшихся ракет или разрушившихся при взаимных соударениях спутников. Здесь учтены только крупные объекты, размером более 10 см, которые удастся отслеживать методами радиолокации и которые представляют фатальную угрозу для «живых» спутников. Сплошная кривая — это результат реального подсчета. Пунктирные кривые — теоретический прогноз.



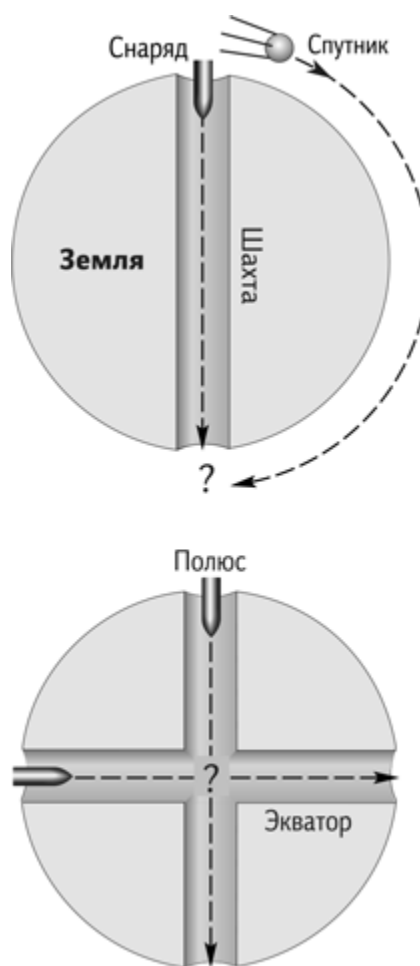
В первые десятилетия космической эры спутники запускали очень часто, поскольку были они недолговечны. Несколько резких подъемов

количества мусора связано со столкновениями спутников, взрывами ракет и преднамеренным разрушением «мертвых» спутников при испытании противоспутникового оружия. Две теоретические кривые различаются начальными предположениями. При расчете верхней из них предполагалось, что снизившаяся к первому десятилетию частота запуска спутников останется таковой надолго. Это приведет, как мы видим, к быстрому накоплению космического мусора. Нижняя кривая показывает прогноз при совершенно фантастическом предположении: что будет, если мы полностью прекратим космические запуски. Понятно, что на практике этого не случится, но рассмотреть такую теоретическую возможность интересно, и результат оказывается совершенно неожиданным: даже при полном запрете космических запусков количество мусора на орбите будет возрастать!

Объясните, в чем причина «размножения» космического мусора при отсутствии новых запусков. А также попробуйте объяснить пилообразный вид всех кривых на этом рисунке.

3.12. Странные космодромы

Многие космодромы стараются располагать как можно ближе к земному экватору, чтобы использовать вращение планеты для придания стартующей ракете дополнительного импульса. Именно поэтому абсолютное большинство запусков происходит в восточном направлении. Тем не менее некоторые космодромы сознательно располагают в высоких широтах — например, Плесецк (Россия, 63° с. ш.), Кадьяк (США, 57° с. ш.). В чем их преимущество?



3.13. К антиподам

От Северного полюса Земли к Южному прорыта вертикальная шахта. Один снаряд без начальной скорости отпускают падать в шахту, а другой запускают на низкую круговую полярную орбиту. Какой из них быстрее достигнет Южного полюса?

3.14. К антиподам разными путями

Рассмотрим новый путь — сквозь экваториальную шахту. Обе шахты — полярная и экваториальная — проходят сквозь центр Земли. Земля вращается, но имеет сферическую форму (сделана из очень прочного материала). Трения в шахтах нет. Оба снаряда без начальной скорости отпускают падать в каждый в свою шахту. Не столкнутся ли они в центре Земли? И если нет, то какой из них быстрее достигнет своих антиподов?

3.15. Связь между полюсами

Сколько геостационарных спутников необходимо, чтобы поддерживать круглосуточную связь между научными станциями на Северном и Южном полюсах?

3.16. Маршрут по Луне

Из какой точки на поверхности Луны должен выехать луноход, чтобы, пройдя 35 км на север, затем 20 км на восток, а затем 35 км на юг, он оказался в исходной точке?

3.17. Посадка на Марс

Энди Вейер в своем фантастическом романе «Марсианин» (М.: АСТ, 2015, с. 33) так описывает спуск астронавтов на поверхность Марса с корабля «Гермес», обращающегося на низкой околомарсианской орбите:

Сначала мы покинули «Гермес», снизились и сбросили орбитальную скорость, чтобы начать падать. Все шло гладко, пока мы не вошли в атмосферу. Если вас пугает турбулентность на реактивном лайнере, летящем со скоростью 720 км/ч, представьте, каково приходится при 28 000 км/ч.

Вы не заметили ошибки в словах автора?

3.18. Летим на Солнце

С какой скоростью и в каком направлении должна стартовать с Земли ракета, чтобы попасть на Солнце?

3.19. Взлетаем

Ракета вертикально удаляется от Земли с постоянным ускорением $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Как меняется вес тел в ракете по мере ее движения?

3.20. Из пушки на Луну — 1

Можно ли выстрелом из пушки с поверхности Земли послать аппарат на Луну? На Марс? На Солнце? На орбиту искусственного спутника Земли (ИСЗ)?

3.21. Из пушки на Луну — 2

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

3.22. Бег в невесомости

Американские астронавты, работавшие на орбитальной станции «Скайлэб» (1973 г.), занимались бегом по внутренней поверхности станции, представлявшей собой 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?



Астронавты «Скайлэба» занимаются бегом по внутренней поверхности станции
(видеозапись: <https://www.youtube.com/watch?v=qiMq-fdRhLo>).

3.23. Объехать астероид

Космический корабль опустился на астероид диаметром 1 км и средней плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$. Космонавты решили объехать астероид по экватору на вездеходе за 2 часа. Смогут ли они это сделать?

3.24. Маятник

Трое одинаковых маятниковых часов поместили: а) на Земле; б) на Луне в воздушной среде; в) на Луне в вакууме. Какие из них будут идти быстрее, а какие — медленнее остальных?

3.25. Спасти космонавтов

Космонавты высадились на астероид и связь с ними прервалась. Запасов кислорода должно им хватить на 2 часа. Могут ли их товарищи на космическом корабле облететь астероид за это время в поисках своих друзей, если плотность астероида $2,5 \text{ г/см}^3$?

3.26. Слабая ракета

Двигатель ракеты может развивать тягу, в точности равную весу ракеты. Можно ли запустить такую ракету в космос?

3.27. К центру Галактики

Космический корабль покинул Солнечную систему со скоростью 30 км/с в направлении на центр Галактики. Через сколько лет он достигнет галактического центра? Расстояние до него составляет 28 000 световых лет.

3.28. Измеряем плотность планеты

Подлетев к незнакомой планете, космический корабль перешел на низкую круговую орбиту. Смогут ли космонавты, пользуясь только часами, определить среднюю плотность вещества планеты?

3.29. БАК и черная дыра

Как достойный представитель желтой прессы, газета «Комсомольская правда» на своей «научной» странице не могла пройти мимо ожидавшегося 21 декабря 2012 г. конца света. В заметке «Подготовка к концу света: Большой адронный коллайдер закрыли» дотошные журналисты обратили внимание читателей на то, что «по слухам, в нем могла образоваться черная дыра». Действительно, физики не исключают возможность того, что при высокой энергии столкновения частиц гравитационные эффекты становятся заметными и могут приводить к появлению (и немедленному испарению) микроскопических черных дыр. Журналистов насторожил тот факт, что перед рождественскими каникулами БАК был остановлен. Далее по тексту:

Отто Ресслер, профессор химии из Университета Тюбингена (Германия) утверждает, что образовавшиеся черные дыры быстро вырастут, захватывая частицы. Например, электроны. Но в ЦЕРН тогда отбивались: если что — эксперимент будет немедленно прекращен и ускоритель остановят. И вот сегодня БАК остановили.

— А если бы не успели, — комментирует профессор Ресслер, — то образовавшаяся черная дыра могла быть притянута гравитацией к самому центру Земли за ничтожные доли секунды. И, разрастаясь, уничтожит планету.

Вопрос для любителей небесной механики: прав ли профессор химии относительно мгновенного падения черной дыры к центру Земли?

3.30. Земля в иллюминаторе

Это известное фото Земли (на следующей странице) было сделано экипажем экспедиции «Аполлон-17» к Луне (7–19 декабря 1972 г.). Определите, получен ли этот снимок на пути к Луне или на обратном пути от Луны к Земле. Используйте астрономический календарь или программу-планетарий.



4. В Солнечной системе

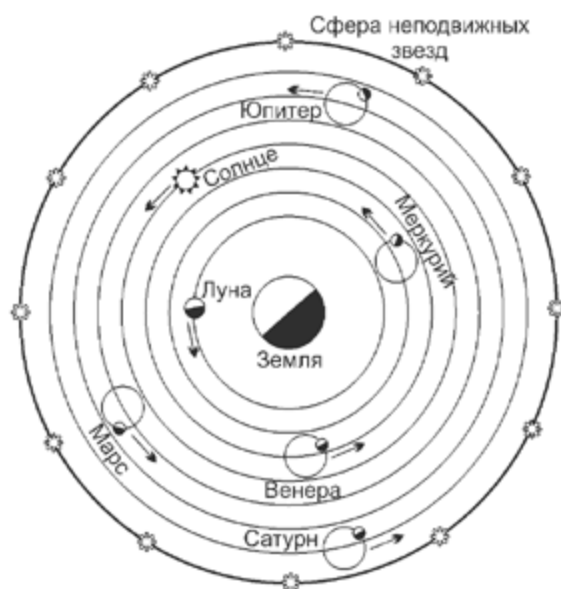


4.1. Восьмая или девятая?

Первым межпланетным аппаратом, запущенным в сторону Юпитера, стал «Пионер-10» (NASA), стартовавший с Земли 3 марта 1972 г. Это был поистине пионерский полет: автоматический аппарат впервые пересек пояс астероидов, причем без повреждений, и 3 декабря 1973 г. прошел в 130 000 км над облачной поверхностью Юпитера, впервые передав ее изображения со столь близкого расстояния. «Пионер-10» продемонстрировал возможность безопасного пролета сквозь радиационные пояса Юпитера, которые намного интенсивнее земных. Пройдя мимо Юпитера, аппарат за счет притяжения гигантской планеты увеличил свою скорость и, уже не встречая другие планеты, отправился к границам Солнечной системы. В те годы одна из газет сообщала, что «Пионер-10», пройдя 5,6 млрд км, 25 апреля 1983 г. пересек орбиту Плутона, а 13 июня 1983 г. — орбиту Нептуна. Не допустила ли эта газета ошибку? Ведь Нептун — восьмая планета от Солнца, а Плутон — девятая (в ту эпоху его считали нормальной планетой, а не карликовой, как сейчас).

4.2. Сезон великих противостояний

Почему великие противостояния Марса бывают в одно и то же время года? В какое?



4.3. Птолемей

Этот рисунок я обнаружил в одной из детских книжек наших дней. Художник стремился изобразить систему мира по Птоlemeю. Как вы думаете, что сказал бы, глядя на этот рисунок, сам Птолемей?

4.4. Светло ли на Плутоне?

Для наблюдателя на Земле Солнце имеет видимую звездную величину $-26,7^m$, а полная Луна $-12,7^m$. Определите, во сколько раз Солнце сильнее освещает поверхность Плутона, чем полная Луна — поверхность Земли. Среднее расстояние от Солнца до Плутона принять равным 40 а. е.

4.5. Когда на Плутоне светлее?

Как изменяется дневное освещение Плутона в разных точках его орбиты по сравнению с лунным освещением (в период полнолуния) на Земле?

4.6. Луна готовит побег?

Откроем книжку для детей С. Зигуненко «Почему Луна на Землю не падает?» (М.: Издательство АСТ, 2015; серия «Почемучкины книжки»). Читаем на с. 32:

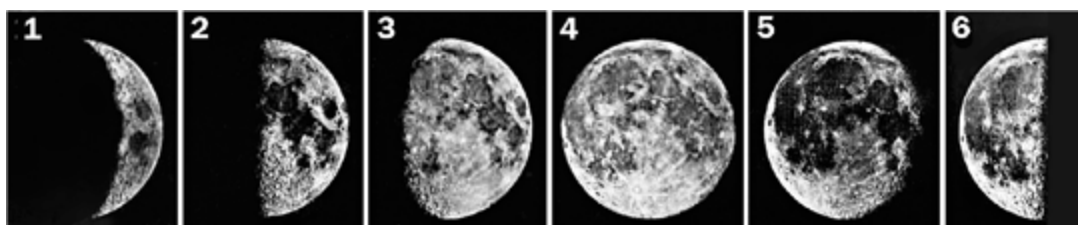
И, наконец, скажу тебе по секрету, Луна готовит побег! Как показали замеры, сделанные учеными, расстояние между Землей и Луной постепенно увеличивается. Правда, на очень небольшую величину — считанные сантиметры каждый год. Так что побег состоится еще не скоро — через несколько миллионов лет.

В том, что Луна удаляется от Земли, автор прав: в нашу эпоху ее расстояние от нас возрастает в среднем почти на 4 см ежегодно. Вопрос: далеко ли уйдет Луна за несколько миллионов лет, например за 3 миллиона?

4.7. Фазы Луны

Вновь откроем нашу «любимую» книжку для детей С. Зигуненко «Почему Луна на Землю не падает?». В главе «Солнечные и лунные затмения» (с. 33) читаем:

А пока Земля как бы в ответ на козни Луны с солнечными затмениями устраивает затмения лунные, перекрывая собой солнечный свет Луне. Иногда полностью — и тогда Луну мы практически не видим. Наступают безлунные ночи. Потом Земля немного сдвигается, и тогда на Луне высвечивается узкий серп месяца. Постепенно он увеличивается, и Луна наконец становится полной. А потом Земля снова принимается перекрывать Луне солнечный свет. Тогда люди говорят, что «Луна убывает», как бы становится старой, чтобы потом снова возродиться. Все эти события происходят на небе в течение примерно месяца.



Этот текст иллюстрируется картинкой «Фазы Луны», примерно такой, какая приведена здесь. Проанализируйте, пожалуйста, этот текст. Сколько ошибок допустил его автор?

4.8. Куда падает Луна?

Что притягивает Луну сильнее — Земля или Солнце?

4.9. Экспедиции к Луне

Сколько людей участвовало в полетах к Луне и сколько их побывало на лунной поверхности?

4.10. Упасть на Луне

Читаем книгу И. Н. Галкина «Геофизика Луны» (М.: Наука, 1978, с. 15):

На Луне можно больше, чем на Земле, наклониться в любую сторону без потери равновесия, а падение не имеет неприятных последствий — скорость его мала и даже в скафандре подняться можно самому, особенно если упал вперед.

Оцените справедливость этих утверждений.

4.11. Восход Земли на Луне — 1

Как известно, Луна всегда повернута к Земле одной стороной. Значит, на лунном небе Земля не должна перемещаться. Однако на почтовой марке, выпущенной в СССР в 1967 году, была воспроизведена картина А. А. Леонова и А. К. Соколова «На Луне. Восходит Земля» из серии «Космическая фантастика». Художники изобразили вид Земли с Луны, как если бы его созерцали члены будущей лунной экспедиции.

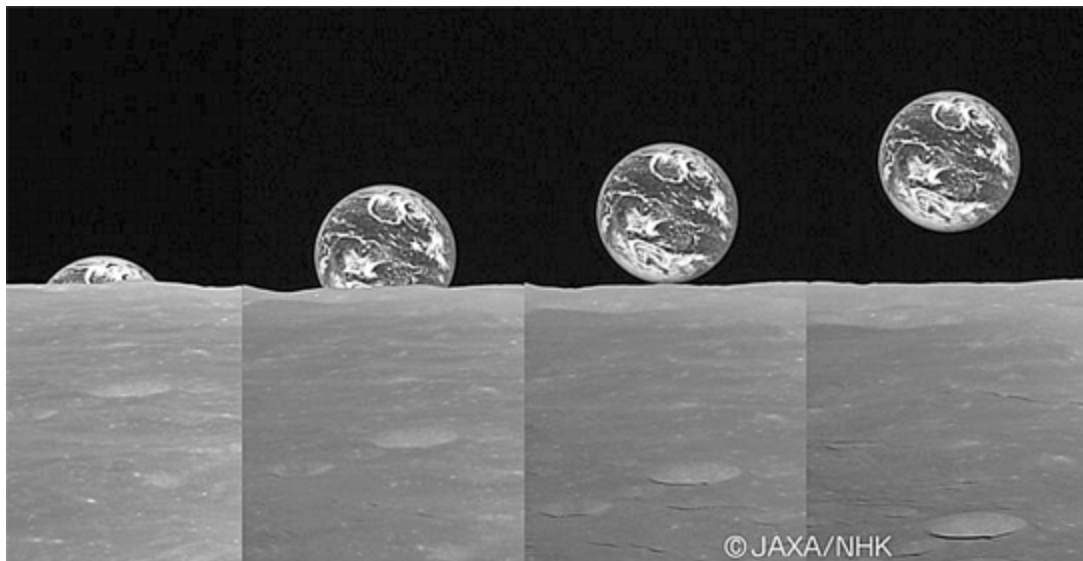


Когда тираж уже был отпечатан, кто-то заметил, что на Луне нельзя наблюдать ни восходы, ни закаты Земли. Чтобы скрыть «астрономическую ошибку», надпись на марке была частично запечатана. Запечатку сделали черной краской так, чтобы она выглядела частью рисунка на марке — теневой деталью поверхности Луны, но одновременно закрыла правую часть надписи со словами «Восходит Земля».

Что можно сказать об этой истории? Министерство связи СССР спасло репутацию художников или исказило их идею?

4.12. Восход Земли на Луне — 2

В предыдущей задаче мы обсудили явление либрации Луны. Вооружившись этим знанием, проанализируйте серию из четырех фотографий, на которых последовательно показан восход Земли над лунным горизонтом. Можно ли по ним сказать, как были сделаны эти снимки и из какой области Луны?



4.13. Полярная Луны

Будет ли на небе Луны созвездие Малой Медведицы играть роль Полярной звезды?

4.14. Приливы

В одной неплохой книжке для подростков, увлеченных наукой, герои обсуждают источники энергии, доступные человеку, — газ, нефть, уголь, торф, дрова, солнечный свет, ветер, течение рек, — и приходят к выводу, что все они так или иначе используют энергию Солнца. «А существуют ли источники энергии, не зависящие от Солнца?» — спрашивает один из героев. А другой ему отвечает: «Конечно! Например, морские приливы. Их источник — Луна».

Оцените справедливость этого утверждения.

4.15. Земля остановилась

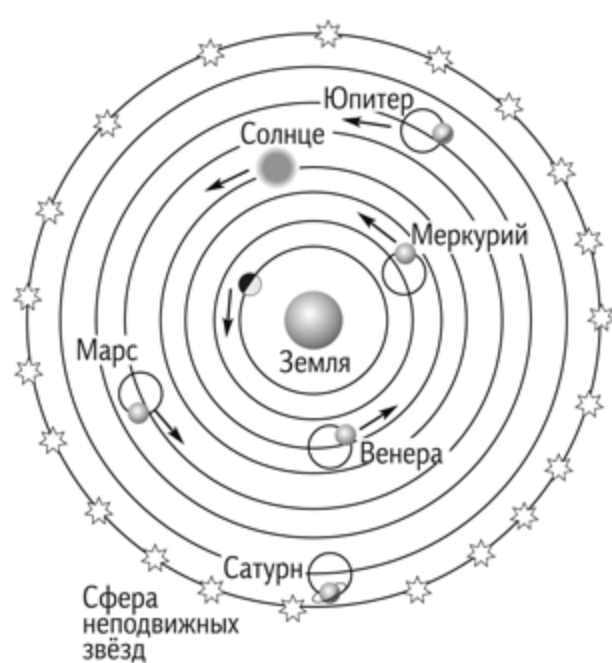
Земля неожиданно остановилась на своей орбите и начала падать на Солнце. Сколько продлится падение и с какой скоростью Земля ударит Солнце?

4.16. Метеоритные кратеры на Венере

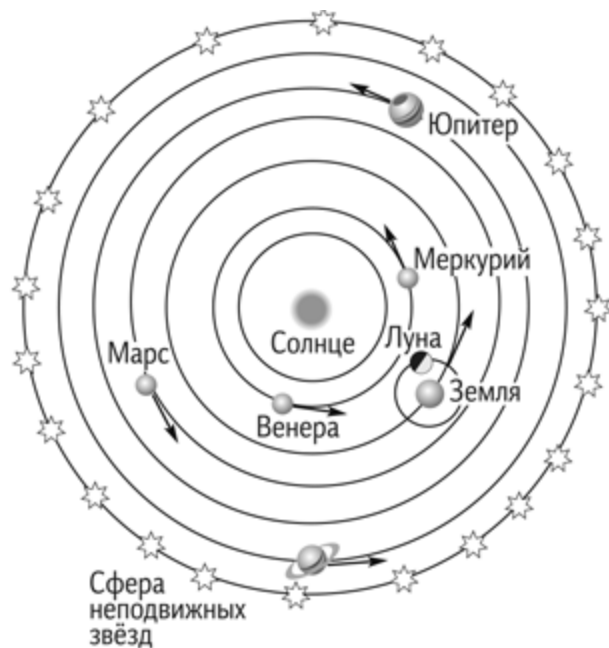
Почему на поверхности Венеры, по сравнению с Луной, Марсом и Меркурием, практически нет небольших ударных кратеров?

4.17. Ошибки в системах мира

Сколько ошибок допущено на этих рисунках?



1. Система мира Птолемея



2. Система мира Коперника

4.18. Солнце с крыльями

Почему древние египтяне изображали Солнце в виде диска с крыльями?



Изображение Солнца на одном из древнеегипетских храмов

4.19. Земля и Марс

Вильям Гершель в 1783 г. писал:

Сходство между Марсом и Землей, быть может, наибольшее сравнительно со всеми другими членами Солнечной системы.

Придерживаются ли такого же взгляда современные астрономы?

4.20. Марс и Земля

Считается, что минимальное расстояние между Землей и Марсом наступает в момент противостояния Марса. Однако в 2016 г. противостояние было 22 мая, а минимальное расстояние (0,50321377 а. е.) было достигнуто только в ночь с 30 на 31 мая (точно — 30 May, 21:35 GMT). Объясните это расхождение.

4.21. Проект «Марс»

В 1953 г. немецкий инженер Вернер фон Браун опубликовал книгу «Марсианский проект» (англ. *The Mars Project*, нем. *Das Marsprojekt*), в которой описал техническую сторону пилотируемой экспедиции на Марс. Он полагал, что, приблизившись к Марсу, базовый космический корабль должен выйти на круговую экваториальную орбиту вокруг Красной планеты и на небольшом посадочном модуле отправить на поверхность планеты группу исследователей. У этого модуля должна быть взлетная ступень, которая обеспечивает возвращение на орбиту всех участников высадки. Сразу после посадки ступень предполагалось привести в стартовую готовность на тот случай, если придется срочно эвакуироваться с планеты. Фон Браун пишет, что если бы высадка состоялась в районе экватора, то каждые 2 ч 26 мин. астронавты могли покинуть Марс, если бы тот оказался негостеприимным.

Определите, на какой высоте над поверхностью Марса проходила орбита базового корабля.

4.22. Марсоход

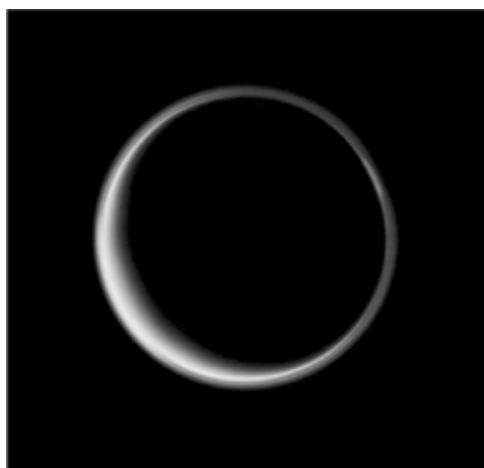
Марсоход управляется операторами с Земли, демонстрируя им телепанораму до расстояния 50 м от себя. Какова при этом должна быть безопасная скорость марсохода? (Задача проф. В. В. Иванова, СПбГУ.)

4.23. Полет к Сатурну

Некий астероид в перигелии касается орбиты Земли, а в афелии — орбиты Сатурна (9,5 а. е.). Каков его орбитальный период?

4.24. Пепельный свет Титана

На фото спутник Сатурна Титан. У нашей Луны в такой фазе пепельный свет хорошо виден. А почему мы не видим его у Титана?



Ночное полушарие Титана



Пепельный свет Луны

4.25. Кольцо Сатурна

Наблюдения указывают, что свет звезды, покрытой кольцом Сатурна, ослабевает примерно на 1^m , а толщина колец не превышает 100 м. Оцените по этим данным, как часто и с какой скоростью сталкиваются между собой частицы кольца.



5. В гостях у братьев Стругацких



*Все задачи этого раздела родились при чтении произведений замечательных писателей-фантастов Аркадия и Бориса Стругацких. Напомню, что Борис был профессиональным астрономом, что проявляется не только в тематике произведений Стругацких (космос в те годы был популярной темой фантастических произведений, о нем писали многие), но в точности их мельчайших деталей. Собственно, это и есть **научная** фантастика.*

5.1. «Подсолнечник» над Леонидой

Эпизод из повести Аркадия и Бориса Стругацких «Возвращение (Полдень. XXII век)». Часть четвертая: «Благоустроенная планета». Действие происходит на планете Леонида, очень похожей на Землю, хотя и находящейся в иной планетной системе. Теплой летней ночью герой повести звездолетчик Комов лежит на крыше и смотрит в небо:

Среди мигающих звезд неторопливо прошло через зенит яркое белое пятнышко. Комов приподнялся на локтях, следя глазами за ним. Это был «Подсолнечник» — полуторакилометровый десантный звездолет сверхдальнего действия. Сейчас он обращался вокруг Леониды на расстоянии двух мегаметров от поверхности.

Считая, что условия освещения такие же, как вблизи Земли, оцените видимую звездную величину звездолета.

5.2. Обозреваем окрестности

Читаем повесть «Малыш» А. и Б. Стругацких:

Майка сидела за пультом обзора — на панорамном экране виднелся Комов, крошечная фигурка у самого берега; над болотом шевелился туман, и больше никакого движения на всех трехстах шестидесяти градусах в радиусе семи километров от корабля не было заметно.

Вопрос: почему обзор панорамного экрана ограничивался именно этими величинами (360° и 7 км)? Учитывая, что обзорная камера располагалась на высоте 3 м над поверхностью планеты, что можно сказать о размере планеты и свойствах ее атмосферы?

5.3. Стажеры — 1

Читаем главу 6 фантастической повести Стругацких «Стажеры». Дело происходит на Марсе:

В четыре часа утра Феликс Рыбкин сказал: «Пора» — и все стали собираться. На дворе было минус восемьдесят три градуса.

Вопрос: возможна ли такая температура на Марсе?

5.4. Стажеры — 2

Вновь читаем повесть А. и Б. Стругацких «Стажеры», главу 8:

Физическая обсерватория «Эйномия» двигалась вокруг Солнца приблизительно в той точке, где когда-то находился астероид Эйномия. Гигантская скала диаметром в двести километров была за последние несколько лет почти полностью истреблена в процессе экспериментов. От астероида остался только жиденький рой сравнительно небольших обломков да семисоткилометровое облако космической пыли, огромный серебристый шар, уже слегка растянутый приливной силой. Сама физическая обсерватория мало отличалась от тяжелых искусственных спутников Земли: это была система торов, цилиндров и шаров, связанных блестящими тросами, вращающихся вокруг общей оси.

Астероид 15 Eupomia (Эвномия или Эйномия) действительно существует и движется в Главном поясе астероидов на расстоянии $2,15 \div 3,14$ а. е. от Солнца. Он имеет неправильную форму и размеры $340 \times 250 \times 210$ км. Масса астероида — около $3 \cdot 10^{19}$ кг. Оцените, насколько сильно уменьшилась масса астероида в результате деятельности ученых из Лаборатории по экспериментальной проверке ОТО и других физических теорий.

5.5. Рефракция

Эпизод из повести Аркадия и Бориса Стругацких «Обитаемый остров» (часть 1, глава 1):

Река действительно была большая, медленная, и простым глазом было видно, как она спускается с востока и поднимается на запад. (Рефракция здесь, однако, чудовищная!)

Вопрос: объясните, почему вид медленно текущей реки, спускающейся с востока и поднимающейся на запад, привел героя повести к заключению о высокой атмосферной рефракции?

5.6. «Хиус» над полигоном

Читаем первую книгу Стругацких — повесть «Страна багровых туч» (1959). Часть 1, «Седьмой полигон». Глава «Экипаж „Хиуса“». Речь идет о посадке планетолета на Землю:

— «Хиус» над полигоном. Даю его координаты с поправкой на ваше местоположение. Геодезический азимут восемь градусов и сорок четыре минуты. Высота шестьдесят градусов. Опускается со скоростью двадцать сантиметров в секунду...

— На фотореакторе?

— Пока на фотореакторе.

— Передайте приказание: на высоте шестьдесят километров выключить фотореактор и перейти на водородные ракеты.

— Слушаюсь... — Последовала пауза, затем репродуктор рявкнул: — Исполнено.



«Хиус». Рисунок И. Ильинского

Вопросы:

1) В какой стороне горизонта наблюдался планетолет «Хиус»?

2) На каком расстоянии от наблюдателей планетолет был в момент исполнения приказа? Предполагаем, что пауза была недолгой.

5.7. Путь на Амальтею — 1

В прологе одной из ранних повестей Стругацких «Путь на Амальтею» (1960) так описан этот спутник Юпитера:

Амальтея, пятый и ближайший спутник Юпитера, делает полный оборот вокруг своей оси примерно за тридцать пять часов. Кроме того, за двенадцать часов она делает полный оборот вокруг Юпитера. Поэтому Юпитер выползает из-за близкого горизонта через каждые тринадцать с половиной часов.

Вопросы:

- 1) Какие утверждения в этой цитате верны, а какие нет?
- 2) Используя неверные утверждения, можно ли сказать, когда была написана повесть?
- 3) Если первые два утверждения о периодах верны, то верно ли третье утверждение?

5.8. Путь на Амальтею — 2

Читаем в главе 1 повести Стругацких «Путь на Амальтею»:

Амальтея, сплюснутый шар диаметром в сто тридцать километров, состоит из сплошного льда.

Вопрос: что здесь неверно?

5.9. Путь на Амальтею — 3

Читаем главу 3 повести Стругацких «Путь на Амальтею» (1960). Планетолет «Тахмасиб», пролетая вблизи облачной поверхности Юпитера, подвергся мощной метеоритной атаке. Планетологи на борту корабля затеяли спор о происхождении метеоритов:

Дауге сказал, что это был случайный рой. Юрковский объявил, что это кольцо.

— Кольцо у Юпитера? — презрительно сказал Дауге.

— Да, — сказал Юрковский. — Я давно это подозревал. И вот теперь убедился.

Вопрос: кто из них прав?

5.10. Радиомаяк на Венере

Читаем повесть Стругацких «Страна багровых туч» (1959). Часть 1, «Седьмой полигон», глава «Будни». Герои познакомились с радиомаяком, который они должны будут установить на поверхности Венеры:

Речь шла об устройстве, предназначенном для подачи направленных и очень мощных ультракоротковолновых импульсов определенной длины волны, способных пробить плотные пылевые облака и высокоионизированные области атмосферы. Длительность импульсов не превышает десяти микросекунд. В секунду подается до ста импульсов. Специальные приспособления заставляют этот импульсный луч описывать спираль, обегая за несколько секунд всю верхнюю половину небесной сферы от горизонта к зениту и снова к горизонту.

Вопрос: полагая, что «несколько секунд» равны 3 секундам, оцените ширину радиолуча маяка.

5.11. Созвездия на Фобосе

Вновь читаем повесть Стругацких «Страна багровых туч». Часть 1, «Седьмой полигон», глава «На пороге». Бывалый космонавт делится мыслями с начинающим:

Я очень люблю Землю. Очень! Ты, наверное, думаешь, что все межпланетники — убежденные небожители. Неверно. Мы все очень любим Землю и тоскуем по голубому небу. Это наша болезнь — тоска по голубому небу. Сидишь где-нибудь на Фобосе. Небо бездонное, черное. Звезды, как алмазные иглы, глаза колют. Созвездия кажутся дикими, незнакомыми. И все вокруг искусственное: воздух искусственный, тепло искусственное, даже вес твой — и тот искусственный...

Вопрос: почему находящемуся на Фобосе межпланетнику созвездия кажутся незнакомыми?

5.12. Венера

Возвращаемся к повести Стругацких «Страна багровых туч» (1959). Часть 1, «Седьмой полигон», глава «Экипаж „Хиуса“». Герой повести инженер Быков знакомится с целью экспедиции:

Венера — вторая по порядку от Солнца планета. Среднее расстояние от Солнца 0,723 астрономической единицы = 108 млн км... Полный оборот вокруг Солнца В. совершает в 224 дня 16 часов 49 мин. 8 сек. Средняя скорость движения по орбите 35 км/сек... В. — самая близкая к нам планета. При прохождении между Землей и Солнцем ее расстояние от Земли может составлять 39 млн км... Когда В. проходит за Солнцем, она находится от Земли на удалении в 258 млн км... Диаметр В. составляет 12 400 км, сжатие незаметно. Принимая данные для Земли за 1, для В. будем иметь: диаметр 0,973, площадь поверхности 0,95, объем 0,92, сила тяжести на поверхности 0,85, плотность 0,88 (или 4,86 г/см³), масса 0,81. Период вращения вокруг оси составляет около 57 часов... В. окружена чрезвычайно плотной атмосферой из углекислоты и угарного газа, в которой плавают облака кристаллического аммиака...

Быков посмотрел на цветную фотографию Венеры — на бархатно-черном фоне желтоватый диск, тронутый голубыми и оранжевыми тенями, — и захлопнул тяжелый том.

Оцените, насколько сведения о Венере, доступные авторам повести, соответствуют современным данным об этой планете.

5.13. Спутник Венеры

Продолжаем внимательно изучать повесть Стругацких «Страна багровых туч» (1959). Часть 1, «Седьмой полигон», глава «На пороге». Герой повести геолог Дауге рассказывает о командире корабля «Хиус» и начальнике экспедиции Анатолии Ермакове:

Жена Ермакова была первым человеком, высадившимся на естественном спутнике Венеры.

О каком именно спутнике идет речь?

5.14. Перевернутая радуга

Вновь у нас в руках повесть Стругацких «Страна багровых туч» (1959). Часть 1, «Седьмой полигон», глава «„Хиус“ возвращается». Планетолет приблизился к посадочной площадке космодрома.

Небо осветилось дрожащим фиолетовым заревом. И сразу же исчезло кажущееся серое однообразие неба и тундры. Стал отчетливо виден тонкий муаровый рисунок каждой тучи. По земле пробежали прихотливо изогнутые ослепительно белые прожилки. Свет усиливался. Над тундрой заиграла странная перевернутая радуга.

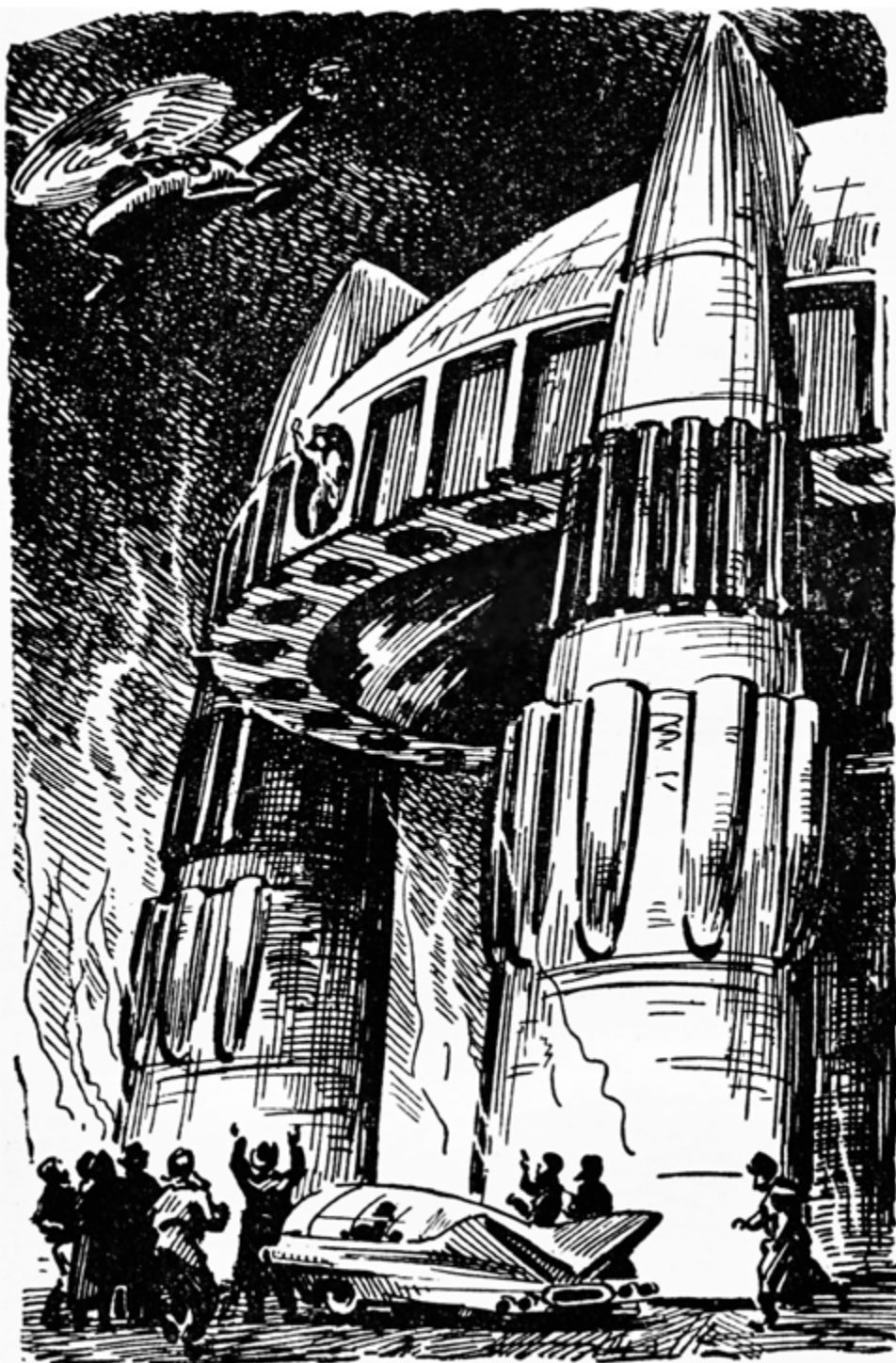
Как объяснить это явление?

5.15. Вогнутое зеркало

Мы не расстаемся с повестью Стругацких «Страна багровых туч» (1959). Часть 1, «Седьмой полигон», глава «„Хиус“ возвращается». Планетолет «Хиус» — это фотонная ракета на термоядерном топливе (дейтерий + тритий). Герой повести Быков впервые подошел близко к планетолету:

Ничего подобного по масштабам и по форме ему еще не приходилось видеть. Правда, на первый взгляд «Хиус», пожалуй, имел некоторое сходство с черепахой... Но вблизи такое сравнение просто не могло прийти в голову. Больше всего планетолет походил, кажется, на громоздкую беседку-павильон о пяти толстых косых колоннах. Каждая из колонн, величиной с водонапорную башню, поддерживала крышу-корпус, имеющий форму выпукло-вогнутой линзы. Нижняя вогнутая поверхность корпуса была зеркальной, и, зайдя под нее, Быков увидел над головой свое донельзя искаженное и увеличенное отражение.

Зеркало... Тончайший слой волшебного вещества, которое в природе, вероятно, существует только в недрах самых плотных звезд, невероятными ухищрениями нанесенный на полированный металл. Быкову показалось, что он ощущает на своем лице слабый, едва заметный ток тепла. Но он знал, что зеркало остается холодным даже во время работы фотореактора. Вот из этой черной дыры в центре вогнутой поверхности на высоте десяти-пятнадцати метров брызжет струя раскаленной плазмы, и там, где он, Быков, стоит сейчас, начинается сумасшедшая реакция синтеза голых ядер. Быков нервно передернул плечами и поспешно вышел под открытое небо.



«Хиус» прибыл. (Здесь и ниже рисунки И. Ильинского)

Понятно, что реакция термоядерного синтеза происходит в точке фокуса параболического (точнее — параболоидного) зеркала, формирующего отраженный пучок параллельных лучей.

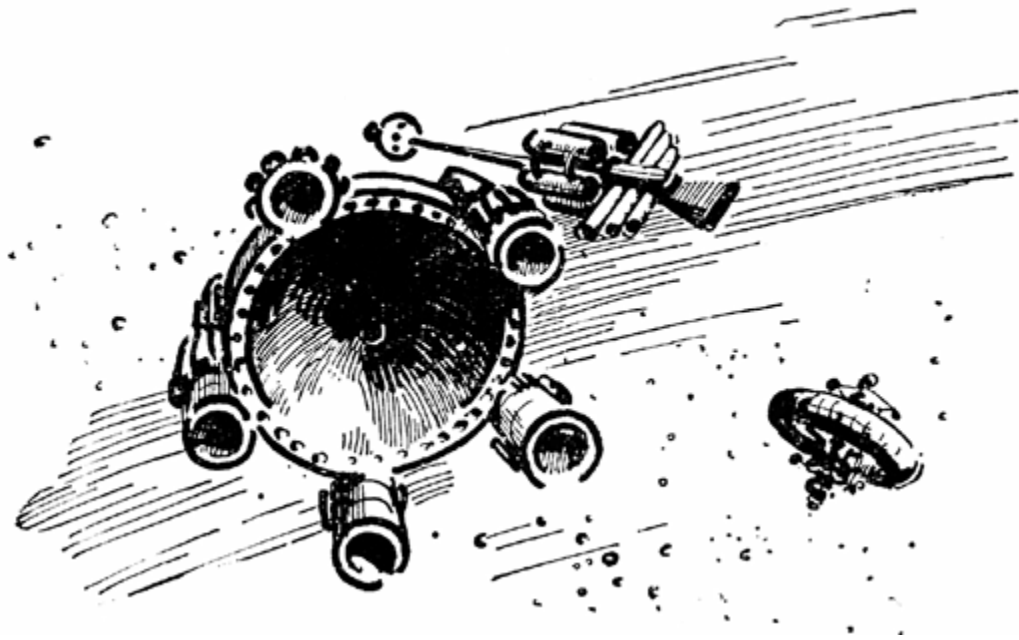
Вопрос: мог ли герой увидеть свое отражение, пусть даже искаженное, находясь в точке фокуса такого зеркала?

5.16. Испытания «Хиуса»

Повесть Стругацких «Страна багровых туч» (1959) была написана еще до запуска первого спутника и опубликована до первого полета человека в космос на обычной ракете с химическим топливом, а братья-фантасты уже обсуждают полеты по Солнечной системе на фотонных планетолетах с термоядерным источником энергии. Часть 1, «Седьмой полигон», глава «Как аргонавты в старину...». Первый испытательный полет фотонного планетолета «Хиус» под управлением Василия Ляхова:

В соответствии с планом испытательного перелета «Хиус» через двадцать часов после старта принял неподвижное по отношению к Солнцу положение и затем, с постоянным ускорением в 9,7 метра в секунду за секунду, устремился к точке встречи с Венерой в обход Солнца. Пройдя точно половину расстояния и достигнув скорости четыре тысячи километров в секунду, Ляхов повернул планетолет зеркалом к точке встречи и начал торможение. Через восемь с половиной суток «Хиус» вышел на орбиту «Циолковского» — одного из советских искусственных спутников Венеры, а еще через несколько часов причалил к нему. Далее, следуя программе испытаний, Ляхов около месяца маневрировал вокруг Венеры, проверяя работу фотореактора на всех режимах, посетил искусственные спутники, принадлежащие другим государствам, совершил посадку на Вениту — естественный спутник Венеры, и наконец отправился в обратный путь...

Проверьте, все ли тут верно.



5.17. Стремительный «Хиус»

Фотонный планетолет из повести Стругацких «Страна багровых туч» (1959) вновь отправляется к Венере, двигаясь с постоянным ускорением около 10 м/с^2 . Часть 2, «Пространство и люди», глава «Сигнал бедствия»:

Прошло пятьдесят пять часов полета, и Ермаков объявил, что наступило время повернуть «Хиус» зеркалом к Солнцу и начать торможение. Скорость планетолета к этому моменту достигала тысячи двухсот километров в секунду. В течение последующих сорока часов «Хиус» должен был двигаться с отрицательным ускорением относительно Солнца, чтобы прийти к месту встречи с Венерой с нулевой скоростью.

Согласованы ли друг с другом указанные цифры?

5.18. Температура Венеры

В повести Стругацких «Страна багровых туч» несколько раз указывается температура (по шкале Цельсия) у поверхности Венеры.

1) Часть 3, «На берегах Урановой Голконды», глава «Последнее слово Голконды»:

— Температура нормальная, — сообщил Юрковский, рассматривая ручной термометр, — пятьдесят четыре и три. Для этих мест вполне нормальная. Это не лава.

2) Часть 3, «На берегах Урановой Голконды», глава «На берегах Дымного моря»:

Однажды из дымной стены выползла иссиня-черная туча и покатила по равнине прямо на транспортер. Прыгая в люк, Быков успел заметить, как над Голкондой вспыхнуло ослепительное синее зарево. Ермаков повел транспортер прочь, но туча догнала его, навалилась. Забарабанили по броне тяжелые удары — туча несла с собой обломки камня, груды песка. Стрелка в термометре взлетела до четырехсот.

3) Часть 3, «На берегах Урановой Голконды», глава «Красное и черное»:

С удалением от болота влажность атмосферы резко понизилась, упала почти до нуля. Увеличилось содержание в атмосфере радиоактивных изотопов инертных газов, окиси углерода и кислорода, температура колебалась в пределах семидесяти пяти — ста градусов.

4) Часть 3, «На берегах Урановой Голконды», глава «На берегах Дымного моря»:

Несмотря на сильную радиоактивность почвы и температуру, достигающую до ста градусов, местность, по-видимому, была обитаема.

Оцените, насколько эти значения согласуются с реальной температурой у поверхности Венеры.

5.19. Высокое напряжение

Планетолет «Тахмасиб» из повести Стругацких «Путь на Амальтею» (1960), приблизившись к Юпитеру, испытал метеоритную атаку (глава 2, «Люди над бездной», раздел 2). В этот момент планетологи Дауге и Юрковский находились у своих оптических приборов, наблюдая экзосферу планеты. Мощные удары и резкие маневры планетолета вызвали травмы членов экипажа. Юрковский был без сознания, и коллега пытался ему помочь:

Дауге расстегнул на Юрковском куртку. Он увидел странный ветвистый рисунок на коже, бегущий через грудь от плеча до плеча. Рисунок был похож на силуэт каких-то диковинных водорослей — темно-багровый на смуглой коже. Некоторое время Дауге тупо разглядывал странный рисунок, а затем вдруг сообразил, что это след сильного электрического удара. Видимо, Юрковский упал на обнаженные контакты под высоким напряжением. Вся измерительная аппаратура планетологов работала под высоким напряжением.

Вопрос: зачем оптическим приборам требовалось высокое напряжение?

5.20. В недрах Юпитера

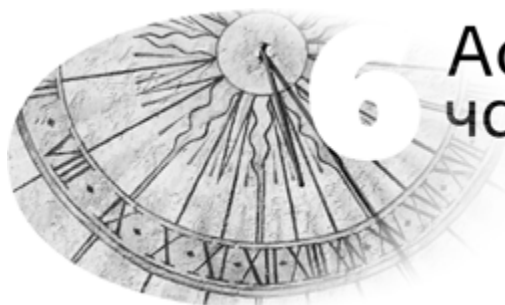
Планетолет «Тахмасиб» из повести Стругацких «Путь на Амальтею» (1960), испытав метеоритную атаку, нырнул в атмосферу Юпитера и стал опускаться все ниже и ниже (глава 2, «Люди над бездной», раздел 3). Герои повести пытаются понять, что произойдет раньше: давление окружающего газа раздавит планетолет или же падение «Тахмасиба» остановится архимедовой силой его плавучести. Капитан Быков сообщил, что корпус планетолета выдержит давление в 200 000 атмосфер. Штурман Михаил Антонович проделал расчеты и сообщил:

Получается так, что мы провалимся на шесть-семь мегаметров и там повиснем. Будем плавать... Давление огромное, но нас не раздавит, это ясно. Только будет очень тяжело — там сила тяжести два — два с половиной «же».

Считая, что глубину погружения штурман указал от верхнего облачного слоя Юпитера, где давление газа составляет около 1 атм, и что шкала высоты атмосферы в этой области составляет около 30 км, определите, насколько верным оказался вывод штурмана о том, что «нас не раздавит».



6. Астрономические часы



6

Астрономические
часы

6.1. 24 часа

Почему путешественники, идущие к полюсам Земли, предпочитают иметь часы со стрелками и циферблатом, разделенным на 24 часа?

6.2. Время остановилось

Самолет взлетел и, взяв курс на запад, двигался строго по параллели со скоростью 850 км/час. Прибыв в аэропорт назначения, пассажиры обнаружили, что время вылета и время прилета по солнечным часам оказалось одинаковым. На какой географической широте проходил полет?

6.3. Гарри Поттер

В книге Дж. К. Роулинг «Гарри Поттер и философский камень» перечислены предметы, необходимые ученикам Школы чародейства и волшебства «Хогвартс». Оказалось, что молодым волшебникам среди прочего требуются и телескопы, поскольку они должны изучать астрономию. «Каждую среду ровно в полночь они приносили к телескопам, изучали ночное небо, записывали названия разных звезд и запоминали, как движутся планеты». Вопрос: если каждый раз наблюдения проводились в одно и то же время, то как же могли ученики изучить разные звезды?

6.4. Наше время

Как называется время, которое показывают ваши часы? Наручные, настенные, в сотовом телефоне или компьютере — все равно.

6.5. Ломоносов и Венера

Как известно, М. В. Ломоносов наблюдал прохождение Венеры по Солнцу 26 мая 1761 г. Однако в последующие годы летние прохождения Венеры наблюдались в начале июня: 3/4 июня 1769 г., 8 июня 2004 г., 5/6 июня 2012 г. Чем можно объяснить майское прохождение Венеры в 1761 г.?

6.6. Покрытия звезд Луной

Двигаясь по небу, Луна закрыла своим диском звезду. Через какое время можно ожидать появления звезды из-за лунного диска?

6.7. Неправильная полночь

Как известно, в Москве местная средняя солнечная полночь наступает в 0 ч 29 мин по московскому декретному «зимнему» времени (т. е. по времени третьего часового пояса). Наблюдательный москвич заметил, что 9 ноября в 17 ч 30 мин, за 7 часов до местной средней полуночи, было уже совсем темно, и с удивлением обнаружил, что через 7 часов после местной средней полуночи, в 7 ч 30 мин 10 ноября, рассвет был уже очень ощутим. Условия облачности вечером и утром были примерно одинаковыми. В чем причина этой асимметрии?

6.8. Догнать время

С какой скоростью и в каком направлении должен лететь самолет в районе экватора, чтобы местное солнечное время для пассажиров самолета остановилось?

6.9. Надежная широта

В старину моряки не особенно доверяли компасу, а чтобы избежать губительных скал и мелей, больше полагались на «лот, широту и осмотрительность». С осмотрительностью все ясно — она никогда не помешает. Лот нужен для измерения глубины воды: он может предупредить о приближении мели. А вот почему из двух географических координат моряки доверяли именно широте?

6.10. Конец света

В 2012 г. журналисты активно обсуждали слухи о конце света, якобы намеченном по календарю майя на 21 декабря 2012 г. По этому поводу появилось немало анекдотов. Вот один из них.

Публичная лекция по астрономии. На кафедру поднимается лектор в черном фраке и белых тапочках. Он обращается к публике:

— Вы, наверное, желаете услышать о новейших достижениях в области астрономии? Однако я не стану читать лекцию, поскольку это уже не имеет смысла: с минуты на минуту произойдет конец света.

Слушатели в недоумении:

— Что? Почему? Откуда?

Лектор торжественно объявляет:

— В моей обсерватории только что остановились часы.

Слушатели улыбаются, смеются, подначивают лектора:

— А заводить не пробовал? Батарейку замени! Смажь шестеренки! Вызови часовщика! Переходи на «Ролекс»!

Лектор невозмутимо переживает шум в зале и сообщает:

— Дело в том, что часы в моей обсерватории... солнечные!

Это, конечно, анекдот, но вопрос-то остается: могут ли остановиться солнечные часы?

6.11. Перелет к антиподам

Как известно, пассажиры авиарейса, летящего на восток, переводят часы вперед, чтобы их показания соответствовали местному времени в пункте прилета. А пассажиры авиарейса, летящего на запад, переводят часы назад. Куда и насколько должны перевести часы пассажиры авиарейса, который сначала летит точно по меридиану на север до Северного полюса, а пролетев его, продолжает лететь на юг и приземляется?

6.12. День равноденствия

В астрономическом календаре на 2010 г. было указано, что долгота дня в Москве 20 марта, в день весеннего равноденствия, составляет 12 час 10 мин. Почему же этот день считался днем равноденствия?

6.13. Начало века

Когда начался XXI век?



7. Завтрак с астрофизиком



7.1. Человек против Солнца

Студент-первокурсник астрономического отделения физического факультета МГУ шел по коридору ГАИШ и, проходя мимо двух спорящих аспирантов, услышал такое утверждение: «А все же эффективность генерации энергии у Солнца невероятно низкая! Даже моя бабушка — и то эффективнее!» Студент был изумлен, вспомнив, что говорили ему в школе («Солнце — главный источник энергии в нашей планетной системе...»). Очевидно, что даже самая энергичная бабушка не может с ним сравниться. Однако, поразмыслив, студент понял смысл подслушанной фразы. А вы поняли?

7.2. Солнце из угля

Если бы Солнце состояло из угля или нефти, то, сжигая их в кислороде, как долго оно могло бы поддерживать свою светимость? (Теплотворная способность угля и нефти составляет около $Q = 2 \cdot 10^7$ Дж/кг.)

7.3. Солнце сжимается

Если бы источником энергии излучения Солнца служила только гравитационная энергия его сжатия, то как долго оно могло бы поддерживать свою светимость?

7.4. Солнце гаснет

Предположим, что термоядерные реакции в недрах Солнца вдруг прекратились. Через какое время мы заметим это на Земле?

7.5. Солнце испаряет Землю

Если бы удалось все излучение Солнца направить на земной шар, то за какое время Мировой океан целиком испарился бы в космос? А вся планета?

7.6. Пылинка у Солнца

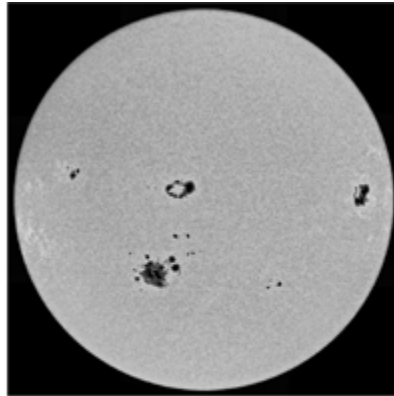
Вокруг Солнца по круговой орбите радиуса R движется абсолютно черная сферическая пылинка. Какова ее температура?

7.7. Прозрачное Солнце

Как бы выглядело для наблюдателя Солнце, вдруг ставшее совершенно прозрачным для всех видов излучения?

7.8. Пятно на Солнце

Представьте себе невероятное: на Солнце развилось гигантское пятно, закрывшее весь диск нашего светила. Станет ли днем темнее, чем в лунную ночь? А холоднее?



Солнце с крупными пятнами 28 октября 2003 г.
К счастью, они не так велики, как в условии задачи 7.8.

7.9. Черный-черный... (задача-шутка)

Расставить в порядке усиления черноты:

- а) черный ящик;
- б) черная дыра;
- в) абсолютно черное тело.

7.10. Почти со скоростью света

Как будет выглядеть звездное небо для наблюдателя, летящего на субсветовом звездолете (т. е. со скоростью, близкой к скорости света)?

7.11. Солнечный ветер — 1

Солнечный ветер (поток протонов, электронов и α -частиц) имеет следующие средние параметры в районе земной орбиты: плотность числа частиц около $n = 10 \text{ см}^{-3}$ (можно считать, что в основном это протоны) и скорость около $v = 450 \text{ км/с}$. А солнечная постоянная (т. е. интенсивность солнечного излучения вблизи Земли) приблизительно равна $I = 1,4 \text{ кВт/м}^2$. Что оказывает большее давление на абсолютно отражающую плоскость в космическом пространстве — солнечный свет или солнечный ветер?

7.12. Солнечный ветер — 2

Солнечный ветер (поток протонов, электронов и α -частиц) имеет следующие средние параметры в районе земной орбиты: плотность числа частиц около $n = 10 \text{ см}^{-3}$ (можно считать, что в основном это протоны) и скорость около $v = 450 \text{ км/с}$. А солнечная постоянная (т. е. интенсивность солнечного излучения вблизи Земли) приблизительно равна $I = 1,4 \text{ кВт/м}^2$. В какой из этих двух форм Солнце теряет больше энергии-массы?

7.13. Гиганты и карлики

Почему звезды-гиганты и звезды-карлики одинаковых спектральных классов имеют разную температуру поверхности? Какие из них горячее?

7.14. Нуклеосинтез

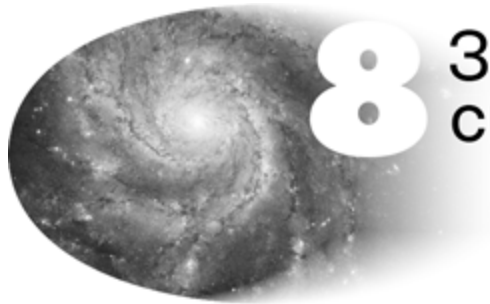
Почему в недрах звезд термоядерные реакции идут вплоть до железа, а первичный космологический нуклеосинтез практически остановился на гелии?

7.15. Синтез гелия

Почему в недрах звезд для переработки заметной доли водорода в гелий требуются миллиарды лет (в лучшем случае — миллионы), а в эпоху Большого взрыва, когда температура и плотность вещества были примерно такими же, как в недрах звезд, за первые 3 минуты после начала расширения Вселенной вещество на четверть стало гелием?



8. Звездные системы



8

Звездные
системы

8.1. Скопление одинаковых звезд

В звездном скоплении N одинаковых звезд. Каждая имеет блеск m звездных величин. Каков полный блеск этого скопления?

8.2. Скопление разных звезд

В звездном скоплении N_1 одинаковых звезд с блеском m_1 у каждой и N_2 одинаковых звезд с блеском m_2 у каждой. Каков полный блеск этого скопления?

8.3. Движется звезда

Звезда, удаленная от Солнца на R парсеков, движется перпендикулярно лучу зрения со скоростью V км/с. На сколько угловых секунд (A) перемещается она за 100 лет для земного наблюдателя на фоне очень далеких объектов, например квазаров?

8.4. Сверхновая Тихо Браге

Вечером 11 ноября 1572 г. Тихо Браге обнаружил вспышку сверхновой звезды в Кассиопее. Как отметил сам Тихо и другие наблюдатели, эта звезда была намного ярче Сириуса (который восходит в ноябре после полуночи) и даже ярче Венеры (а была ли она видна в тот период?). В последующие дни звезду можно было наблюдать и при дневном освещении (а какова была высота Сверхновой Тихо над горизонтом в светлое время суток?).

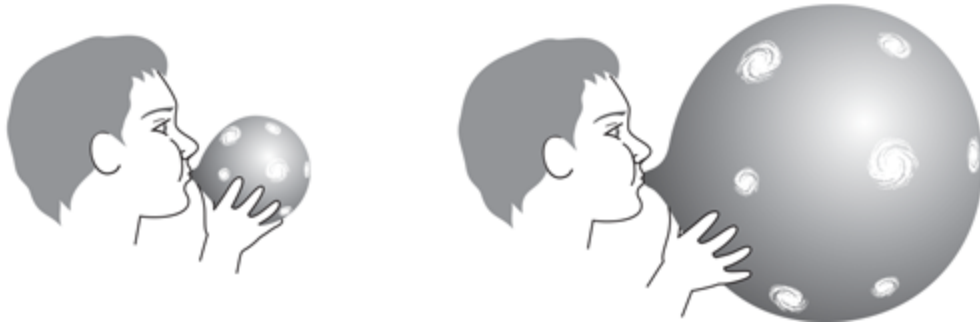
8.5. Сверхновая Кеплера

В начале октября 1604 года в «правой пятке» фигуры Змееносца вспыхнула новая звезда — Сверхновая Кеплера (Stella Nova Joannis Kepleri). Она вспыхнула вслед за Сверхновой Тихо Браге 1572 г. и оказалась последней вплоть до наших дней, которую можно было наблюдать в нашей Галактике невооруженным глазом. В максимуме блеска ее яркость достигла почти $-2,5^m$, лишь немногим уступая Сверхновой Тихо (-4^m).

Попробуйте восстановить условия наблюдения Сверхновой Кеплера: как долго ее можно было наблюдать в течение ночи, высоко ли она поднималась в Западной Европе, в какой фазе была Луна в дни максимальной яркости звезды и какие планеты были видны с ней по соседству?

8.6. Хаббл на шаре

Закон Хаббла, связывающий расстояние до галактики и скорость ее удаления от наблюдателя, часто иллюстрируют двумерной моделью надуваемого шарика.



Проверьте вычислениями, действительно ли в этой модели реализуется закон Хаббла, т. е. скорость удаления прямо пропорциональна расстоянию. Учтите, что все измерения делаются на поверхности шарика.

8.7. Отверстие в небе

Христиан Гюйгенс в 1656 г. описал одно из своих открытий в созвездии Орион как «отверстие в небесном своде, дающее возможность бросить взгляд в другую лучезарную область пространства». Что в действительности нашел на небе Гюйгенс?

8.8. Путешествие света

Астроном измерил красное смещение линий в спектре далекой галактики: оно оказалось равным z . Приняв постоянную Хаббла $H_0 = 70$ км/с/Мпк, определите, сколько лет шел свет от этой галактики до астронома.

8.9. «Гайя» смотрит на Солнце

Астрометрический спутник GAIA измеряет положение звезд с точностью $0,00002''$. На каком расстоянии от Солнечной системы он мог бы заметить годовые смещения Солнца, вызванные обращением Юпитера вокруг него?

8.10. Андромеда и Треугольник

Используя карту звездного неба, определите минимальное расстояние (в парсеках) между Туманностью Андромеды (M31) и спиральной галактикой в Треугольнике (M33).

8.11. Сколько скоплений в Галактике

При наблюдении диска Галактики в оптический телескоп астрономам доступна область радиусом около 3 кпк вокруг Солнца; на больших расстояниях поглощения света межзвездной пылью не позволяет что-либо надежно увидеть. В этой области обнаружено около 1500 рассеянных звездных скоплений. Оцените полное количество рассеянных скоплений в галактическом диске, если его радиус около 18 кпк.

8.12. Столкновение с Андромедой

Туманность Андромеды приближается к Солнечной системе со скоростью 301 км/с, но в основном это связано с движением самой Солнечной системы по орбите вокруг центра Галактики почти точно в сторону Туманности Андромеды. Скорость же сближения Туманности Андромеды с центром нашей Галактики составляет лишь 110 км/с. Приняв расстояние до Туманности Андромеды равным 2,5 млн световых лет, оцените, через какое время произошло бы тесное сближение наших двух галактик, если бы их взаимная скорость оставалась неизменной.

8.13. Галактики столкнулись

Две галактики, похожие на нашу, столкнулись со скоростью 1000 км/с. Оцените, сколько их звезд при этом столкнется друг с другом.

8.14. Перемены в звездном небе

В учебном пособии Марии Эдуардовны Рут «Русская народная астрономия» (Свердловск: УрГУ, 1987) обсуждается вид звездного неба из разных пунктов наблюдения. При наблюдении с Земли это знакомый нам узор созвездий. Но...

Картина звездного неба на Марсе или Сатурне будет, очевидно, совсем иной, и с детства знакомая всем Большая Медведица вполне может «разойтись» по разным созвездиям, а Полярная звезда «утратит» свою способность показывать на север. Как утверждают астрономы, картина звездного неба — прежде всего конфигурация созвездий — меняется со временем: 100 тысяч лет назад та же Большая Медведица могла выглядеть несколько иначе... Вполне допустимо, что со временем соотношение входящих сейчас в созвездие звезд изменится так, что этот объект земного звездного неба вообще исчезнет.

Оцените справедливость этих утверждений.



9. Проверь себя



В этом разделе собраны относительно простые тесты и задачи, которые будут полезны читателям научно-популярной литературы для самоконтроля (чтобы в одно ухо влетало, а из другого не вылетало), а также для организации конкурсов, викторин, олимпиад, вечеров занимательной науки и в качестве дополнительных вопросов на экзаменах по элементарной и общей астрономии. Во второй половине раздела даны правильные ответы.

Простые вопросы по астрономии

1. Где Полярная звезда постоянно располагается вблизи линии горизонта: на экваторе, на Северном полюсе или на Южном полюсе? В какой части горизонта она при этом находится?
2. Какая звезда ярче — Сириус, Вега или Полярная?
3. Сколько звезд видно на всем небосводе невооруженным глазом?
4. Сколько естественных спутников у Марса?
5. Если бы орбита Луны лежала строго в плоскости эклиптики, то солнечные и лунные затмения происходили бы реже или чаще, чем сейчас?
6. Вернувшись из кругосветного путешествия, моряки из экспедиции Магеллана обнаружили, что их календарь расходится с портовым календарем на один день. Какой из календарей был впереди — корабельный или портовый — и почему?
7. Почему Сатурн в телескоп выглядит сплюснутым?



8. Если лунный серп похож на букву «С», то в какой фазе Луна — в растущей или убывающей?
9. В какое время года Земля быстрее движется по своей орбите вокруг Солнца?
10. Когда Земля располагается ближе всего к Солнцу?
11. Из какого газа состоит атмосфера Марса?
12. Из какого газа состоит атмосфера Венеры?
13. Будет ли на Земле смена дня и ночи, если она перестанет вращаться вокруг своей оси?
14. Сколько планет в Солнечной системе и в каком порядке они расположены от Солнца?

15. Сколько длятся солнечные сутки на Меркурии?
16. Какой из спутников планет имеет плотную атмосферу?
17. У каких планет Солнечной системы нет спутников?
18. Что такое «коричневый карлик»?
19. В чем преимущество космического оптического телескопа перед наземным?
20. Сколько дней в високосном году?
21. Что измеряют в звездных величинах: размер, блеск или массу звезды?
22. Что служит основной причиной смены сезонов на Земле, т. е. почему бывают зима и лето?
23. Сколько раз в году Солнце на экваторе бывает в зените?
24. Почему во время экспедиций астронавтов по программе «Аполлон» (1969–1972 гг.) посадки производились только на видимом полушарии Луны?
25. Сколько созвездий на небе?
26. Зимой Земля ближе к Солнцу, чем летом, на несколько миллионов километров. Почему же зимой холоднее, чем летом?
27. Во время противостояния Марса он ближе всего к Земле (в течение ближайших полутора-двух лет) или дальше всего от Земли?
28. Венера ближе всего к Земле в нижнем или в верхнем соединении?
29. Вечерняя видимость Меркурия наступает в период его наибольшей восточной или западной элонгации?
30. Когда на небе наблюдается попятное движение Марса: в период его соединения или противостояния?
31. Когда, с точки зрения земного наблюдателя, освещена большая часть марсианского диска — в соединении или в квадратуре?
32. В какой конфигурации диск Венеры похож на Луну в первой четверти?
33. Где сегодня день равен ночи?
34. Почему астрономические обсерватории строят высоко в горах?
35. При какой фазе Луны вся ночь бывает лунная? А безлунная?
36. Если планета всегда повернута к Солнцу одной стороной, то сколько звездных и сколько солнечных суток проходит на ней в течение года?
37. Каким образом было обнаружено вращение Солнца?

38. Как отличить солнечное пятно от проекции планеты на диск Солнца?

39. Почему у древних греков для планеты Венера (это ее римское название) существовало не одно, а два имени: Фосфорос и Гесперис?

40. Может ли на поверхности Венеры существовать жидкая вода?

41. Названия спутников Марса — Фобос и Деймос. Что означают они в переводе на русский язык? Почему эти спутники получили именно такие названия?

42. Какие химические элементы получили свои названия от имен объектов Солнечной системы?

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

44. Какая звезда является «соперником» Марса?

45. Как древние наблюдатели могли догадаться, что за голубым маревом дневного неба присутствуют ночные светила?

46. Чему равен период вращения Земли вокруг своей оси?

47. Разъясните смысл народного суждения: «Месяц зимой ходит, как Солнце летом».

48. Может ли быть день длиннее года?

49. Из какой точки на земном шаре нужно выйти, чтобы, пройдя 100 км на юг, затем 100 км на восток и 100 км на север, оказаться в исходной точке?

50. Почему по мере подъема звезды над горизонтом она становится ярче?

Простые тесты по астрономии

При проведении дистанционного тестирования обычно используются вопросы с вариантами ответов. В этом разделе вы найдете такие вопросы с тремя и пятью вариантами ответа, а в конце книги — правильные ответы. Но не торопитесь туда заглядывать. Ведь наша задача — не получить пятерку, а проверить свою память, знания, интуицию и умение делать в уме простые оценки и вычисления. Прочитайте несколько десятков вопросов и на отдельном листе выпишите номера ответов, которые вы считаете верными. А уже затем посмотрите, в каком проценте случаев вы оказались правы и в каком — ошиблись. Через месяц вернитесь к этим тестам, чтобы узнать, насколько велик ваш прогресс в астрономии. Мы сознательно разместили тесты не по темам, а вперемешку, чтобы не облегчать вам процесс тестирования, а помочь закрепить ваши знания в активной форме.

Тесты с тремя вариантами ответа

1. Земля находится ближе всего к Солнцу в...
 - а) январе;
 - б) мае;
 - в) сентябре.

2. У поверхности Земли атмосфера содержит...
 - а) 21 % кислорода;
 - б) 78 % кислорода;
 - в) 50 % азота.

3. У какой из планет нет кольца?
 - а) Марс;
 - б) Юпитер;
 - в) Сатурн.

4. Полярная звезда расположена в созвездии...

- а) Большая Медведица;
- б) Малая Медведица;
- в) Северная Корона.

5. Сколько планет в Солнечной системе?

- а) 5;
- б) 7;
- в) 8.

6. В каком виде наблюдается вода на поверхности Марса?

- а) в виде снежных полярных шапок;
- б) в виде текущих рек;
- в) в виде стоячих озер.

7. У какого спутника Юпитера есть подледный океан?

- а) Ио;
- б) Титан;
- в) Европа.

8. Атмосфера Марса на 95 % состоит из...

- а) азота (N_2);
- б) диоксида углерода (CO_2);
- в) монооксида углерода (CO).

9. Смена сезонов года (зима — весна — лето — осень) происходит из-за...

- а) периодического изменения наклона земной оси к плоскости ее орбиты;
- б) периодического изменения расстояния Земли от Солнца;
- в) существенного наклона земной оси к плоскости ее орбиты.

10. Поверхность земного шара разделена на...

- а) 12 часовых поясов;
- б) 24 часовых пояса;
- в) 36 часовых поясов.

11. От новолуния до полнолуния проходит...

- а) 10 суток;
- б) 14 суток;
- в) 25 суток.

12. Какие требования предъявляют астрономы к месту расположения обсерватории?

- а) максимальная высота над уровнем моря (т. е. Эверест и т. п.);
- б) в меру разреженный, сухой и спокойный воздух (т. е. горная пустыня);
- в) отсутствие тектонической активности (т. е. отсутствие землетрясений).

13. Почему даже лучшие наземные телескопы уступают по качеству изображения космическим телескопам?

- а) наземный телескоп дрожит под действием ветра;
- б) космический телескоп не испытывает суточных колебаний температуры;
- в) неоднородность атмосферы портит изображение у наземного телескопа.

14. Южная европейская обсерватория размещает свои телескопы...

- а) на юге Европы;
- б) в Южном полушарии;
- в) на Южном полюсе.

15. Какой год был объявлен UNESCO Международным годом астрономии?

- а) 2000;
- б) 2009;
- в) 2013.

16. Темная энергия и темная материя в сумме составляют ... от средней плотности энергии-массы Вселенной:

- а) 68 %;
- б) 83 %;
- в) 95 %.

17. Масса Земли в ... раз меньше массы Солнца:

- а)** 1000;
- б)** 22 000;
- в)** 333 000.

18. В горизонтальной системе координат положение светила определяется его...

- а)** широтой и долготой;
- б)** азимутом и высотой;
- в)** прямым восхождением и склонением.

19. Наше Солнце астрономы называют...

- а)** белым карликом;
- б)** желтым карликом;
- в)** красным карликом.

20. Наиболее массивные среди известных звезд по количеству вещества превосходят наше Солнце в ... раз:

- а)** 10;
- б)** 50;
- в)** 100.

21. Принимаемое радиоастрономами реликтовое излучение родилось, когда возраст Вселенной был...

- а)** 3 минуты;
- б)** 400 000 лет;
- в)** 8 млрд лет.

22. Можно ли невооруженным глазом заметить моря на поверхности Луны?

- а)** это невозможно;
- б)** можно;
- в)** можно, но только в момент новолуния.

23. Крупнейшие современные телескопы построены по оптической схеме...

- а) рефрактора;
- б) рефлектора;
- в) зеркально-линзового инструмента.

24. Почему астрономы стремятся располагать обсерватории на островах?

- а) там ниже стоимость земельных участков и дешевле доставка тяжелого оборудования морским транспортом;
- б) чтобы быть поближе к теплым пляжам;
- в) чтобы избежать восходящих потоков воздуха над нагретой солнцем Землей.

25. Для наблюдений в каком диапазоне электромагнитного спектра особенно полезны телескопы, установленные на борту летающих обсерваторий (самолетов и аэростатов)?

- а) в инфракрасном;
- б) в оптическом;
- в) в ультрафиолетовом.

26. В чем состоит задача системы адаптивной оптики телескопа?

- а) сохранить неизменной форму главного зеркала, несмотря на повороты телескопа и перепады температуры;
- б) согласовать работу телескопа и светоприемной аппаратуры;
- в) компенсировать искажения изображения, возникшие при прохождении света через атмосферу.

27. Крупнейшая полноповоротная антенна радиотелескопа имеет диаметр...

- а) 100 м;
- б) 500 м;
- в) 600 м.

28. Крупнейший радиотелескоп с заполненной апертурой имеет диаметр...

- а) 100 м;
- б) 300 м;
- в) 500 м.

29. Вблизи точек Лагранжа космический аппарат...

- а)** не испытывает притяжения со стороны Земли;
- б)** обращается вокруг Солнца синхронно с Землей;
- в)** защищен магнитосферой Земли от потоков солнечного ветра.

30. Космическими лучами называют...

- а)** потоки быстрых космических частиц (протонов, электронов, ядер атомов);
- б)** прямое оптическое излучение космических объектов;
- в)** ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, приходящее к Земле из космоса.

31. Где радиоастрономы предпочитают размещать свои антенны?

- а)** в «радиотихих» долинах между горами;
- б)** на вершинах высочайших гор Земли;
- в)** в долинах или на вершинах в зависимости от диапазона излучения.

32. Для наблюдений в каком диапазоне излучения используются зеркала косого падения?

- а)** в диапазоне мягкого рентгеновского излучения;
- б)** в наиболее жестком гамма-диапазоне;
- в)** в радиодиапазоне.

33. В каком порядке от Солнца располагаются данные области Солнечной системы?

- а)** пояс Хиллса, пояс Койпера, облако Оорта;
- б)** пояс Койпера, пояс Хиллса, облако Оорта;
- в)** облако Оорта, пояс Койпера, пояс Хиллса.

34. В поясе Койпера на одинаковом расстоянии от Солнца движутся два сферических объекта со следующими параметрами:

Объект	Диаметр	Альбеда
1	200 км	0,6
2	300 км	0,5

Какой из них для земного наблюдателя будет выглядеть ярче и на сколько звездных величин?

- а) их блеск будет одинаковым;
- б) первый объект будет ярче на $0,17^m$;
- в) второй объект будет ярче на $0,68^m$.

35. Какие планеты имеют обратное суточное вращение?

- а) Венера и Уран;
- б) Меркурий и Венера;
- в) Уран и Нептун.

36. Какое линейное разрешение на поверхности Меркурия можно получить при его наблюдении с Земли в телескоп с угловым разрешением $0,5''$?

- а) от 10 до 25 км;
- б) от 85 до 170 км;
- в) от 200 до 540 км.

37. В полярных областях какой планеты видны снежные шапки?

- а) Меркурий;
- б) Венера;
- в) Марс.

38. Почему на поверхности Марса нет жидкой воды?

- а) там слишком низкое атмосферное давление;
- б) там слишком низкая температура;
- в) там вообще нет никакой воды.

39. На какой планете сильнее проявляется парниковый эффект?

- а) Марс;
- б) Венера;
- в) Земля.

40. Каков размер наиболее мелких деталей поверхности Марса, различимых на снимках, переданных его искусственными спутниками?

- а) около 10 м;
- б) около 1 м;
- в) около 30 см.

41. Какой наиболее важный фактор препятствует длительной работе космонавтов на поверхности Марса?

- а) низкая температура;
- б) высокий уровень радиации;
- в) отсутствие воды и кислорода.

42. У какой планеты нет колец?

- а) Марс;
- б) Юпитер;
- в) Уран.

43. На сколько звездных величин изменится для далекого наблюдателя блеск Солнца при прохождении перед ним Юпитера?

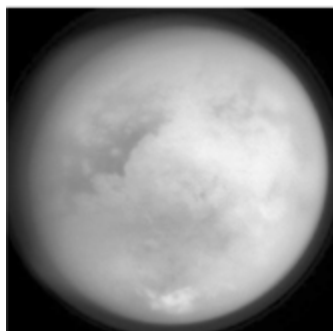
- а) $0,002^m$;
- б) $0,01^m$;
- в) $0,3^m$.

44. Объем Мирового океана составляет 1341 млн км^3 , а интенсивность испарения водорода из атмосферы Земли — около 3 кг/с . Оцените время, за которое высохнет Земля:

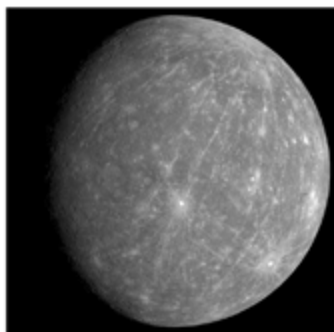
- а) 10^{10} лет;
- б) 10^{11} лет;
- в) 10^{12} лет.

45. Почему Титан сохранил атмосферу, а Меркурий — нет?

- а) на поверхности Меркурия более высокая температура;
- б) у поверхности Титана более сильное притяжение;
- в) магнитное поле у Титана сильнее, чем у Меркурия.



Титан. Хорошо видна атмосфера



Меркурий атмосферы не имеет

46. Какой из этих газов более интенсивно покидает атмосферу планеты?

- а)** O_2 ;
- б)** N_2 ;
- в)** H_2 .

47. Созвездие — это...

- а)** выразительная, легко узнаваемая группа звезд, имеющая собственное название;
- б)** мифическая фигура, закрепленная древней традицией и напоминающая очертаниями расположение ярких звезд на ограниченном участке неба;
- в)** участок небесной сферы, ограниченный дугами суточных параллелей и кругов склонения в экваториальной системе координат эпохи 1875 г.

48. В чем причина суточного параллакса Луны?

- а)** перемещение наблюдателя на вращающейся Земле;
- б)** перемещение Луны по околоземной орбите;
- в)** перемещение системы Земля — Луна по орбите вокруг Солнца.

49. В полдень по среднему солнечному времени 21 марта точка весеннего равноденствия располагается...

- а)** в нижней кульминации;
- б)** в верхней кульминации;
- в)** на линии математического горизонта в точке востока.

50. В день летнего солнцестояния прямое восхождение Солнца равно...

- а)** 0^h ;
- б)** 6^h ;
- в)** 12^h .

51. Гражданская календарная система в Российской Федерации основана на...

- а)** григорианском календаре;
- б)** юлианском календаре;
- в)** всемирном календаре.

52. Наибольшая элонгация Венеры составляет около...

- а)** 28° ;
- б)** 48° ;
- в)** 98° .

53. Что такое маскон?

- а)** область повышенной плотности коры планеты;
- б)** масштабный коэффициент накопления (осадочных пород);
- в)** максимальное значение среднего коэффициента напряжения в коре планеты.

54. Большая полуось орбиты Сатурна составляет 9,58 а. е. Чему равен его орбитальный период?

- а)** 9,58 года;
- б)** 12,27 года;
- в)** 29,67 года.

55. Красное смещение линий в спектрах галактик объясняется...

- а)** эффектом Доплера;
- б)** старением фотонов;
- в)** межзвездным поглощением света.

56. Действующий на свободно падающее в гравитационном поле тело приливный эффект...

- а) сжимает его в двух направлениях и растягивает в одном;
- б) сжимает его в одном направлении и растягивает в двух;
- в) растягивает его в трех направлениях.

57. Высота лунно-солнечного прилива на открытой воде в океане составляет...

- а) около 0,5 м;
- б) около 17 м;
- в) около 21 м.

58. Видимая звездная величина Луны в полнолуние равна $-12,7^m$, а Солнца $-26,8^m$. Во сколько раз поток света от Солнца у Земли больше, чем от Луны?

- а) в 14,1 раза;
- б) в 20 000 раз;
- в) в 400 000 раз.

59. Для преобразования белого света в цветную полоску спектра используется...

- а) дифракционная решетка;
- б) уголкового отражатель;
- в) электронно-оптический преобразователь.

60. Чем различаются спектры звезд-карликов и звезд-гигантов одного и того же спектрального класса?

- а) в спектре гиганта линии более узкие;
- б) в спектре карлика линии более узкие;
- в) эти спектры не различаются.

61. Какие механизмы переноса энергии из центра звезды к ее поверхности играют главную роль в ядре Солнца (1) и в его оболочке (2)?

- а) (1) теплопроводность, (2) конвекция.
- б) (1) лучистый перенос, (2) конвекция.
- в) (1) конвекция, (2) лучистый перенос.

62. Угловой диаметр фотосферы звезды Бетельгейзе — 45 миллисекунд дуги, а расстояние до нее — 197 пк. Каков линейный диаметр этой звезды?

- а)** 8,9 а. е.;
- б)** 12,4 а. е.;
- в)** 4,7 а. е.

63. Какой механизм переноса энергии играет главную роль в ядрах массивных ($\geq 10 M_{\odot}$) звезд?

- а)** конвекция;
- б)** теплопроводность;
- в)** лучистый перенос (т. е. излучение).

64. Планетарные туманности — это...

- а)** потерянные планетами атмосферы;
- б)** потерянные звездами атмосферы;
- в)** туманные изображения далеких планет.

65. Если бы гору Эверест высотой около 9 км, сложенную из пород со средней плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$, удалось, не меняя ее формы, сжать до плотности нейтронной звезды ($2,5 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3$), то какова бы стала ее высота?

- а)** 20 м;
- б)** 2 м;
- в)** 0,2 м.

66. Какова правильная последовательность спектральных классов от холодных к горячим звездам?

- а)** O — B — A — F — G — K — M — L — T;
- б)** F — G — K — M — O — B — A — T — L;
- в)** T — L — M — K — G — F — A — B — O.

67. Два белых карлика с массами как у Солнца и размерами как у Земли столкнулись в нашей Галактике. Какова скорость их столкновения?

- а)** 11 км/с;
- б)** 620 км/с;

в) 6470 км/с.

68. В виде солнечного ветра наша звезда теряет ежегодно $2 \cdot 10^{16}$ кг своего вещества. Приняв, что Галактика содержит 100 млрд звезд типа Солнца, рассчитайте, за сколько лет в ней таким образом накопится достаточно межзвездного газа для «изготовления» одной новой звезды с массой Солнца:

- а) 10 лет;
- б) 100 лет;
- в) 1000 лет.

69. Поглощение света в межзвездной среде вызвано наличием в ней...

- а) газа;
- б) пыли;
- в) магнитного поля.

70. Из того факта, что скорость вращения галактического диска приблизительно одинакова на разных расстояниях от центра галактики (R), следует, что масса вещества галактики внутри данного радиуса $M(R)$ изменяется как ...

- а) $M(R) \propto R^{1/2}$;
- б) $M(R) \propto R$;
- в) $M(R) \propto R^{3/2}$.

71. Как часто в среднем в крупной галактике взрывается сверхновая?

- а) раз в 1000 лет;
- б) раз в столетие;
- в) раз в 10 лет.

72. На луче зрения от наблюдателя к звезде располагаются два одинаковых межзвездных облака. Пройдя сквозь одно из них, свет звезды ослаб на 1^m . На сколько звездных величин ослаб свет звезды, пройдя сквозь оба облака?

- а) 2^m ;
- б) 4^m ;

в) $5,024^m$.

73. Как по классификации Хаббла должна быть обозначена дисковая галактика с перемычкой (баром), но без спиральных ветвей?

а) S0;

б) SB0;

в) Sb(r).

74. На Южном полюсе расположен телескоп с полем зрения площадью 2 квадратных градуса. Сколько экспозиций потребуется, чтобы он смог сфотографировать все доступное ему звездное небо?

а) 10 313;

б) 20 627;

в) 41 253.

75. Почему в первые минуты жизни Вселенной четверть водорода превратилась в гелий, а в недрах звезд для этого требуются миллиарды лет?

а) в первые минуты после Большого взрыва в веществе содержалось много свободных нейтронов;

б) в первые минуты после Большого взрыва температура вещества была несравненно выше, чем в недрах современных звезд;

в) в первые минуты после Большого взрыва была очень высокая плотность нейтрино.

76. Полагая среднюю плотность обычного (барионного) вещества во Вселенной равной 10^{-31} г/см³ (в основном это межгалактический газ), оцените, какую толщину вещества пронизывают кванты, приходящие к нам от галактики, удаленной на 1 млрд световых лет.

а) 10^{-4} г/см³, что эквивалентно слою комнатного воздуха толщиной 0,1 мм;

б) 10^{-3} г/см³, что эквивалентно слою комнатного воздуха толщиной 1 мм;

в) 10^{-2} г/см³, что эквивалентно слою комнатного воздуха толщиной 10 мм.

77. Сверхновая — это...

- а) чрезвычайно молодая звезда;
- б) взрыв массивной звезды;
- в) свеженайденная комета.

78. Бетельгейзе — это...

- а) угрожающий Земле астероид;
- б) ближайшая к Солнцу звезда с планетной системой;
- в) звезда-сверхгигант в созвездии Орион.

79. В нашу эпоху скорость расширения Вселенной...

- а) не изменяется;
- б) возрастает;
- в) уменьшается.

80. Фоновое микроволновое (реликтовое) излучение — это...

- а) совокупное излучение всех звезд Галактики;
- б) излучение теплой межзвездной пыли;
- в) остывшее излучение Большого взрыва.

81. Крупнейший член Местной группы галактик — это:

- а) наша галактика — Млечный Путь;
- б) галактика Туманность Андромеды;
- в) галактика Большое Магелланово Облако.

82. Звезды формируются из...

- а) холодного межзвездного газа;
- б) сверхплотного дозвездного вещества;
- в) звезд предыдущих поколений.

83. Планетарные туманности возникают при...

- а) столкновении планет;
- б) расширении протопланетного облака;
- в) сбросе звездой своих внешних слоев.

84. Вспышка новой звезды — это...

- а) взрыв на белом карлике в двойной звездной системе;
- б) резкое начало свечения новорожденной звезды;

в) взрыв при столкновении двух массивных звезд.

85. Квазары — это...

а) активные ядра галактик;

б) звезды сверхвысокой светимости;

в) результат столкновения нейтронных звезд.

86. Эффект гравитационной линзы влияет на распространение...

а) только массивных частиц (протонов, электронов и т. п.);

б) только безмассовых частиц (например, квантов света);

в) всех видов частиц и квантов.

87. Можно ли невооруженным глазом заметить галактику на ночном небе?

а) можно;

б) нельзя;

в) только нашу — Млечный Путь.

88. Наиболее популярную морфологическую классификацию галактик создал...

а) Эдвин Хаббл;

б) Александр Фридман;

в) Фриц Цвикки.

89. Морфологический тип нашей Галактики:

а) Sa;

б) Sbc;

в) S(B)bc.

90. Наиболее детальную морфологическую классификацию галактик создал...

а) Б. А. Воронцов-Вельяминов;

б) Э. Хаббл;

в) Ф. Цвикки.

91. Наиболее массивный член Местного скопления галактик — ...

а) спиральная галактика M33 в Треугольнике;

- б) спиральная галактика М31 в Андромеде;
- в) спиральная галактика Млечный Путь.

92. Закон Хаббла утверждает, что...

- а) все объекты во Вселенной расширяются с постоянной скоростью;
- б) скорость удаления галактики пропорциональна расстоянию до нее;
- в) масса галактики пропорциональна скорости ее движения.

93. Модели (решения) Фридмана утверждают, что Вселенная будет расширяться вечно, если средняя плотность Вселенной...

- а) больше критической;
- б) строго меньше критической;
- в) меньше или равна критической.

94. Автором термина «Большой взрыв» является...

- а) А. А. Фридман;
- б) Ф. Хойл;
- в) Я. Б. Зельдович.

95. Микроволновое фоновое (реликтовое) излучение практически свободно распространяется в пространстве Вселенной с момента...

- а) Большого взрыва;
- б) окончания первичного нуклеосинтеза;
- в) рекомбинации.

96. На наличие темной материи в нашей Галактике указывает...

- а) регистрация продуктов распада неизвестных частиц;
- б) наличие темных областей в Млечном Пути;
- в) форма кривой вращения галактического диска.

97. В рассеянных и шаровых звездных скоплениях количество звезд со временем...

- а) остается неизменным;
- б) возрастает;
- в) уменьшается.

98. Космическая гамма-обсерватория «Ферми» обнаружила в районе центра Галактики...

- а) пузыри горячего газа над центром Галактики;
- б) сверхмассивную черную дыру в центре Галактики;
- в) гигантское облако холодного молекулярного водорода.

99. Что служит катализатором химических реакций в межзвездной среде?

- а) излучение горячих звезд (фоновый УФ);
- б) ионы тяжелых металлов;
- в) мелкие твердые частицы (пылинки).

100. Протопланетный диск формируется из вещества...

- а) сброшенного молодой звездой;
- б) оставшегося после формирования звезды;
- в) сорванного звездой с поверхности ее соседки.

101. Вспышка сверхновой — это...

- а) момент рождения звезды;
- б) момент «вылупления» юной звезды из газово-пылевого кокона;
- в) взрыв массивной звезды в конце ее эволюции.

102. Большое Магелланово Облако — это...

- а) спутник нашей Галактики;
- б) спутник Туманности Андромеды;
- в) крупнейший член Местного скопления галактик.

103. Объект 30 Золотой Рыбы (30 Dor) — это...

- а) звезда в южном созвездии Золотая Рыба;
- б) эмиссионная туманность в галактике Большое Магелланово Облако;
- в) скопление из 30 галактик в созвездии Золотая Рыба.

104. Морфологический тип нашей Галактики:

- а) простая спиральная;
- б) гигантская эллиптическая;

в) пересеченная спиральная (с баром).

105. Кратная звезда содержит...

- а)** более 1 компонента;
- б)** более 2 компонентов;
- в)** более 3 компонентов.

106. Коричневый карлик — это...

- а)** конечный этап эволюции массивной звезды;
- б)** остывший до температуры менее 3000 К белый карлик;
- в)** объект с массой между нормальными звездами и планетами.

107. Планетарная туманность — это...

- а)** конечный этап распада планеты-гиганта;
- б)** заключительный этап эволюции звезды;
- в)** результат столкновения планеты с массивным телом.

108. Аккреционный диск образуется...

- а)** при перетекании наружных слоев звезды на второй компонент двойной системы;
- б)** при сжатии вещества звезды магнитным полем соседнего компонента;
- в)** при оттекании вещества с экватора звезды в результате ее ускоренного вращения.

109. Две звезды, обращающиеся вокруг общего центра масс под действием взаимного притяжения, называют...

- а)** физической двойной;
- б)** визуальной двойной;
- в)** астрономической двойной.

110. Затменная двойная звезда — это система из двух звезд:

- а)** в которой один компонент постоянно закрывает от нас другой;
- в)** которая видна только в периоды полных солнечных затмений;
- б)** в которой каждый компонент периодически закрывает от нас другой.

111. Одна угловая секунда равна...

- а) $1/206265$ радиана;
- б) $1/60$ градуса дуги;
- в) $1/3600$ радиана.

112. Адаптивная оптика — это...

- а) система поддержки высокого оптического качества телескопа;
- б) система приборов для измерения солнечной активности;
- в) система компенсации атмосферных искажений изображения.

113. Активная оптика — это...

- а) система поддержки высокого оптического качества телескопа;
- б) система приборов для измерения солнечной активности;
- в) система компенсации атмосферных искажений изображения.

114. Химический состав звезды...

- а) зависит от ее массы;
- б) не зависит от ее массы;
- в) определяется ее температурой.

115. Положение линий химических элементов в спектре звезды зависит от...

- а) химического состава поверхности звезды;
- б) температуры поверхности звезды;
- в) лучевой скорости движения звезды.

116. Периодическое колебание положений линий в спектре звезды указывает на...

- а) присутствие рядом с ней массивного спутника;
- б) периодическое изменение температуры ее поверхности;
- в) вращение звезды вокруг своей оси.

117. Присваивают ли звездам имена людей?

- а) можно присвоить любое имя любой звезде, заплатив за это деньги частной фирме;
- б) традиции давать звездам имена людей не существует;

в) официально звездам присваивают только имена великих людей.

118. В каждом созвездии самые яркие звезды обозначены...

а) буквами греческого алфавита;

б) буквами латинского алфавита;

в) римскими цифрами.

119. Сколько звезд на всем небе имеют общепризнанные исторические имена (Сириус, Вега, Альтаир и т. п.)?

а) около 200;

б) около 100;

в) 24 звезды.

120. Во сколько раз Солнце массивнее Юпитера?

а) в 10 раз;

б) в 100 раз;

в) в 1000 раз.

121. Какой размер имеют звезды?

а) все звезды имеют одинаковый размер, как у Солнца;

б) от 1 до 10 радиусов Солнца в зависимости от массы;

в) размер звезды зависит от способа измерения.

122. При увеличении температуры тела максимум в распределении энергии в его спектре...

а) смещается в красную область;

б) смещается в синюю область;

в) остается неизменным.

123. О чем говорит цвет звезды?

а) о химическом составе вещества звезды;

б) о температуре поверхности звезды и степени межзвездного поглощения ее света;

в) о характере движения звезды в пространстве и скорости ее вращения вокруг оси.

124. Детекторы солнечного нейтрино размещают...

- а)** в космосе;
- б)** на вершинах гор;
- в)** под Землей.

125. Солнечные пятна — это...

- а)** облака в атмосфере Солнца;
- б)** относительно холодные участки солнечной поверхности;
- в)** твердые участки поверхности Солнца, выступающие над его облачным покровом.

126. Шкала звездных величин ...

- а)** прямая логарифмическая;
- б)** прямая пропорциональная;
- в)** обратная логарифмическая.

127. Диаграмма Герцшпрунга — Рассела показывает взаимосвязь между...

- а)** светимостью и температурой поверхности звезд;
- б)** светимостью и химическим составом поверхности звезд;
- в)** массой и эволюционным возрастом звезд.

128. В звездах главной последовательности диаграммы Герцшпрунга — Рассела происходит термоядерное превращение...

- а)** водорода в углерод;
- б)** водорода в гелий;
- в)** гелия в углерод.

129. Цефеиды — это...

- а)** пульсирующие переменные звезды;
- б)** звезды, принадлежащие созвездию Цефей;
- в)** спутники звезды Дельта Цефея.

130. У какого спутника Юпитера есть подледный океан?

- а)** Ио;
- б)** Титан;
- в)** Европа.

131. Экзопланета — это...

- а)** необычная, экзотическая планета;
- б)** планета-карлик между Поясом Койпера и Облаком Оорта;
- в)** планета за пределом Солнечной системы.

132. В 2005 г. космический зонд «Гюйгенс» опустился на поверхность спутника...

- а)** Ио;
- б)** Титан;
- в)** Европа.

133. Тритон — спутник...

- а)** Урана;
- б)** Нептуна;
- в)** Плутона.

134. Применяемый для обнаружения экзопланет метод лучевых скоростей основан на...

- а)** эффекте Доплера;
- б)** эффекте гравитационной линзы;
- в)** эффекте скоростного луча.

135. Какие биомаркеры можно использовать для обнаружения жизни земного типа?

- а)** рентгеновское излучение радиоактивных элементов;
- б)** линии озона и метана в спектре планеты;
- в)** избыточное тепловое излучение в спектре планеты.

136. В какой точке системы Солнце — Земля работает наибольшее число космических обсерваторий?

- а)** точка Лагранжа L2;
- б)** точка Ньютона N2;
- в)** точка Эйлера E2.

137. Космические лучи — это...

- а)** элементарные частицы высокой энергии, распространяющиеся в космическом пространстве;

- б) кванты жесткого электромагнитного излучения, рождающиеся при взрывах звезд;
- в) световые лучи от далеких галактик.

138. Детекторы нейтрино помещают глубоко под землю или воду для...

- а) предотвращения колебаний температуры;
- б) защиты от фонового света;
- в) защиты от прочих космических лучей.

139. Гравитационно-волновой детектор регистрирует...

- а) тяжелые ветровые волны на поверхности воды;
- б) периодическое возмущение гравитационного поля;
- в) периодическое колебание уровня воды, вызванное гравитационными приливами.

140. На поверхности Венеры ни один из космических аппаратов не проработал более...

- а) 10 минут;
- б) 1 часа;
- в) 3 часов.

141. В каком году ученые впервые увидели изображения обратной стороны Луны?

- а) 1959;
- б) 1969;
- в) 1987.

142. Поверхность Меркурия покрыта...

- а) плотными облаками;
- б) потоками вулканической серы;
- в) метеоритными кратерами.

143. Первым аппаратом, мягко спустившимся на поверхность Марса, был...

- а) «Марс-3» (СССР, 1971);
- б) «Викинг-1» (США, 1976);

в) «Оппортьюнити» (США, 2004).

144. Первый образец вещества с поверхности астероида доставил на Землю межпланетный зонд...

- а) «Фобос-грунт» (Россия);**
- б) «Стардаст» (США);**
- в) «Хаябуса» (Япония).**

145. Система из двух или нескольких разнесенных антенн, подключенных к одному приемнику, называется...

- а) радиоинтерферометром;**
- б) радиодифрактором;**
- в) полиантенной.**

146. Самая высокогорная радиообсерватория располагается...

- а) в высокогорной пустыне Атакама (Чили);**
- б) на вершине горы Матерхорн в Альпах (Европа);**
- в) на вершине древнего вулкана Мауна-Кеа, о. Гавайи.**

147. Только в области зенита может вести наблюдения радиотелескоп...

- а) РАТАН-600 (ст. Зеленчукская, Россия);**
- б) ДКР-1000 (Пущино-на-Оке, Россия);**
- в) 305-метровый в Аресибо (о. Пуэрто-Рико).**

148. В спектре электромагнитных волн между видимым и рентгеновским диапазонами располагается...

- а) гамма-диапазон;**
- б) инфракрасный диапазон;**
- в) ультрафиолетовый диапазон.**

149. Первый параболоидный полноповоротный радиотелескоп создал...

- а) Карл Янский;**
- б) Грот Ребер;**
- в) сэр Бернард Лавелл.**

150. Как изменилась работа астрономов за последние десятилетия?

- а)** у астрономов возросла зарплата;
- б)** стали возможными дистанционные наблюдения;
- в)** ночи стали теплее и продолжительнее.

151. Какую линзу используют для объектива телескопа?

- а)** двояковыпуклую;
- б)** плосковогнутую;
- в)** двояковогнутую.

152. Преимущество космических телескопов состоит в том, что...

- а)** они дешевле наземных;
- б)** их изображения более четкие;
- в)** они работают без участия человека.

153. Изучать Солнце из космоса полезно потому, что...

- а)** есть возможность изучать его коротковолновое излучение;
- б)** космический телескоп легче охлаждать в вакууме;
- в)** космический телескоп намного ближе к Солнцу, чем наземный.

154. Чем принципиально ограничена разрешающая сила телескопа?

- а)** дифракцией света на объективе;
- б)** поглощением света в окуляре;
- в)** преломлением света в атмосфере Земли.

155. Какая оптическая аберрация приводит к окрашиванию краев изображения?

- а)** сферическая;
- б)** хроматическая;
- в)** кома.

156. Суточное движение звезд в окрестности Южного полюса мира происходит...

- а)** по часовой стрелке;
- б)** против часовой стрелки;

в) справа налево.

157. В экваториальной системе координат положение светила определяется его...

- а)** широтой и долготой;
- б)** азимутом и высотой;
- в)** прямым восхождением и склонением.

158. На географическом экваторе все звезды...

- а)** незаходящие;
- б)** невосходящие;
- в)** восходят и заходят.

159. Система активной оптики...

- а)** ускоряет работу механических узлов телескопа, приводящих в движение элементы его монтировки;
- б)** поддерживает форму главного зеркала и правильное расположение оптических элементов телескопа;
- в)** активизирует оптические среды линзовых элементов телескопа, изменяя их прозрачность.

160. Система адаптивной оптики...

- а)** в реальном времени компенсирует атмосферные искажения изображения;
- б)** согласует параметры телескопа и светоприемной аппаратуры, адаптируя их друг к другу;
- в)** после окончания экспозиции улучшает качество полученного изображения.

161. Обзорные телескопы имеют поле зрения площадью...

- а)** несколько квадратных угловых секунд;
- б)** несколько квадратных угловых минут;
- в)** несколько квадратных градусов.

162. В кварцевых часах кристаллы кварца служат...

- а)** эталоном частоты колебания;
- б)** опорами для оси вращения балансира;

в) материалом для стекла циферблата.

163. В чем состоит назначение морского хронометра?

- а)** поддерживать распорядок дня на корабле;
- б)** синхронизовать радиосеансы с береговыми службами;
- в)** обеспечивать астрономические методы определения долготы.

164. Анкерный механизм маятниковых часов служит для...

- а)** тепловой компенсации колебаний маятника;
- б)** регулировки темпа хода часов и поддержания колебаний маятника;
- в)** передачи вращения от главного гиревого колеса на колеса часовой и минутной стрелок.

165. Один оборот Земли вокруг оси длится...

- а)** 24 часа 00 минут 00 секунд;
- б)** 23 часа 56 минут 04 секунды;
- в)** 24 часа 01 минута 54 секунды.

166. В какой оптической системе телескопа-рефлектора используется плоское зеркало?

- а)** Ньютона;
- б)** Кассегрена;
- в)** Грегори.

167. Крупнейший телескоп на борту самолета-обсерватории имеет диаметр объектива...

- а)** 0,9 м;
- б)** 1,75 м;
- в)** 2,5 м.

168. Спутником Юпитера является...

- а)** Титан;
- б)** Луна;
- в)** Ганимед.

169. Плутон — это...

- а) планета-карлик;
- б) крупнейший объект Пояса астероидов;
- в) спутник Нептуна.

170. Крупнейший метеорит XXI столетия:

- а) Сихотэ-Алиньский;
- б) Тунгусский;
- в) Челябинский.

171. В эпоху противостояния Марс и Земля...

- а) располагаются по одну сторону от Солнца;
- б) располагаются по разные стороны от Солнца;
- в) находятся на максимальном расстоянии друг от друга.

172. Перелет от Земли к Марсу длится...

- а) от 1 до 3 месяцев;
- б) от 3 до 5 месяцев;
- в) от 5 до 12 месяцев.

173. В зоне жизни Солнечной системы в нынешнюю эпоху находятся...

- а) Венера, Земля и Марс;
- б) Венера и Земля;
- в) Земля и Марс.

174. В каком виде наблюдается вода на поверхности Марса?

- а) в виде снежных полярных шапок;
- б) в виде текущих рек;
- в) в виде стоячих озер.

175. Аппарат «Феникс» опустился на Марсе в окрестности...

- а) гор Фарсида;
- б) полярной шапки;
- в) плато Меридиана.

176. Перспективные места для поиска жизни на Марсе — это...

- а) окрестности вулканов;

- б) полярные шапки;
- в) пещеры.

177. Первый марсоход («Соджорнер») весил на Земле около...

- а) 11 кг;
- б) 85 кг;
- в) 120 кг.

178. Высочайшая вершина Марса называется...

- а) Маунт-Марс;
- б) Скиапарелли;
- в) Олимп.

179. На поверхности Марса найдены...

- а) каналы;
- б) метеориты;
- в) действующие вулканы.

180. Единственный из спутников планет, обладающий плотной атмосферой, — это...

- а) Фобос (спутник Марса);
- б) Европа (спутник Юпитера);
- в) Титан (спутник Сатурна).

181. На поверхности каких спутников планет работали космические аппараты?

- а) Луны и Европы;
- б) Луны и Титана;
- в) Европы и Титана.

182. Образцы вещества кометы доставил на Землю зонд...

- а) «Стардаст»;
- б) «Венера — Галлей»;
- в) «Вояджер».

183. В телескопе какого типа содержатся только линзы?

- а) рефлектор;

- б) рефрактор;
- в) катодиоптрический.

184. Сколько движений одновременно должна осуществлять камера с телескопом на альт-азимутальной монтировке для фотографирования небесного объекта?

- а) одно;
- б) два;
- в) три.

185. Мельчайшие детали на поверхности Луны, которые можно различить с Земли в телескоп, имеют размер...

- а) 10×20 м;
- б) 100×200 м;
- в) 1×2 км.

186. Пояс астероидов расположен...

- а) между орбитами Земли и Марса;
- б) между орбитами Марса и Юпитера;
- в) между орбитами Юпитера и Сатурна.

187. Марсоход «Кьюриосити» работает...

- а) в районе марсианского экватора;
- б) в районе северной полярной шапки Марса;
- в) в средних широтах южного полушария Марса.

188. Источником энергии марсохода «Кьюриосити» служит...

- а) панель солнечной батареи (электрофотопреобразователь);
- б) ветрогенератор на выносном кронштейне;
- в) радиоизотопный термоэлектрический генератор.

189. Черные курильщики — это...

- а) подводные горячие источники (гейзеры);
- б) люди со стажем употребления табака более 30 лет;
- в) вулканы в состоянии активного извержения пепла.

190. Некоторые факты говорят о том, что метеорит ALH84001,0...

- а) прилетел с Луны;
- б) прилетел с Марса;
- в) является осколком кометы Галлея.

191. Какая температура является верхним пределом для существования земных микроорганизмов?

- а) 76 °С;
- б) 100 °С;
- в) 123 °С.

192. На поверхности Венеры температура превышает...

- а) 125 °С;
- б) 290 °С;
- в) 470 °С.

193. Зона жизни — это...

- а) область вокруг звезды, в которой температура на поверхности планеты лежит в диапазоне от 0 до 100 °С;
- б) интервал времени существования жизни на планете;
- в) диапазон глубин Мирового океана, в котором солнечные лучи обеспечивают фотосинтез.

194. Что такое астеризм?

- а) характерная фигура из ярких звезд, легко узнаваемая и имеющая собственное название;
- б) часть звездного неба, содержащая не менее 10 ярких звезд;
- в) лучевая структура из близких по яркости звезд.

195. Для указания видимого положения объектов на небе используется...

- а) прямоугольная (декартова) система координат;
- б) сферическая система координат;
- в) цилиндрическая система координат.

196. Плоскость эклиптики пересекается с плоскостью небесного экватора под углом...

- а) 11°;

- б) $23,5^\circ$;
- в) $36,6^\circ$.

197. Астрономический азимут отсчитывается...

- а) от точки юга в направлении запада;
- б) от точки севера в направлении востока;
- в) от линии горизонта к зениту.

198. Суточное движение звезд в окрестности Северного полюса мира происходит...

- а) по часовой стрелке;
- б) против часовой стрелки;
- в) слева направо.

199. Поверхность земного шара разделена на...

- а) 12 часовых поясов;
- б) 24 часовых пояса;
- в) 36 часовых поясов.

200. Суточное вращение земного шара происходит...

- а) со строго постоянной скоростью;
- б) монотонно замедляется;
- в) испытывает сложные колебания.

201. Наблюдатель определяет свое положение в пространстве при помощи спутниковых навигационных систем (GPS, «Глонасс» и др.), измеряя...

- а) время распространения сигнала от спутников;
- б) небесные координаты спутников;
- в) взаимное положение спутников.

202. Смена лунных фаз происходит оттого, что...

- а) в течение месяца мы смотрим на Луну последовательно со всех возможных направлений;
- б) в течение месяца Солнце последовательно освещает Луну со всех возможных направлений;

в) земная тень последовательно накрывает разные части лунного диска.

203. Конфигурация ярких звезд в созвездии (т. е. форма астеризма)

...

- а)** остается вечно неизменной;
- б)** заметно изменяется за год;
- в)** заметно изменяется за десятки тысяч лет.

204. Какое из утверждений верное?

- а)** синодический месяц длиннее, чем сидерический;
- б)** сидерический месяц длиннее, чем синодический;
- в)** их продолжительность одинакова.

205. Ближайшая к Земле точка лунной орбиты называется...

- а)** апогеем;
- б)** перигеем;
- в)** фокусом.

206. Либрации Луны по долготе обусловлены тем, что...

- а)** Луна неравномерно вращается вокруг оси;
- б)** Луна неравномерно обращается вокруг Земли;
- в)** Луна покачивается под действием притяжения Земли.

207. Когда Венера видна на фоне солнечного диска, это называют...

- а)** затмением;
- б)** покрытием;
- в)** прохождением.

208. Если наблюдатель на Земле попал в лунную полутень, он видит...

- а)** частное солнечное затмение;
- б)** частное лунное затмение;
- в)** полутеневое лунное затмение.

209. Ширина лунной тени на земной поверхности обычно не превышает...

- а) 3 км;
- б) 30 км;
- в) 300 км.

210. Своей полярной сплюснутостью Земля обязана...

- а) суточному вращению;
- б) лунному приливу;
- в) лунно-солнечному приливу.

211. Второй закон Кеплера утверждает, что...

- а) планеты движутся по эллипсам, в фокусе которых находится Солнце;
- б) угловая скорость движения планеты остается неизменной в любой точке ее орбиты;
- в) прямая, соединяющая планету с Солнцем, за равные промежутки времени описывает равные площади.

212. В ходе термоядерной реакции в недрах Солнца 4 атома водорода превращаются в...

- а) 4 атома гелия;
- б) 2 атома гелия;
- в) 1 атом гелия.

213. В недрах белых карликов гравитационному сжатию противостоит...

- а) давление вырожденного электронного газа;
- б) давление идеального водородного газа;
- в) упругость твердого железного ядра.

214. Радиопульсары — это...

- а) нейтронные звезды с переменным радиоизлучением;
- б) радиоактивные пульсирующие звезды;
- в) пульсирующие белые карлики с переменным радиоизлучением.

215. Радиус черной дыры с массой Солнца составляет...

- а) 3 см;
- б) 30 м;
- в) 3 км.

216. Туманность Ориона — это...

- а) соседняя спиральная галактика, наблюдаемая в созвездии Орион;
- б) темное газово-пылевое облако в созвездии Орион;
- в) горячий газ, окружающий группу молодых звезд в созвездии Орион.

217. Темные «провалы» на фоне Млечного Пути — это...

- а) области, в которых отсутствуют звезды;
- б) холодные газово-пылевые облака, заслоняющие далекие звезды;
- в) сверхмассивные черные дыры, поглощающие свет далеких звезд.

218. В порядке роста температуры межзвездного газа располагаются области...

- а) HII, HI, H₂;
- б) H₂, HI, HII;
- в) HI, HII, H₂.

219. Четкость изображения, даваемого крупным телескопом, в основном определяется...

- а) его стоимостью;
- б) репутацией фирмы-изготовителя;
- в) состоянием атмосферы в пункте наблюдения.

220. Наилучшими местами для установки телескопов признаны...

- а) горные вершины на островах в океане;
- б) высочайшие горы на Земле (Эверест и ему подобные);
- в) пустыни Северной Африки и Аравийского полуострова.

221. Наиболее массивные среди известных звезд по количеству вещества превосходят наше Солнце в ... раз.

- а)** 10;
- б)** 50;
- в)** 100.

222. Темное вещество — это...

- а)** холодная межзвездная пыль;
- б)** неизвестный источник гравитации на периферии галактик;
- в)** антигравитирующая среда в пространстве между галактиками.

223. Звезды отличаются от планет тем, что...

- а)** в их составе больше водорода и гелия;
- б)** в их недрах происходят термоядерные реакции;
- в)** их средняя плотность ниже, чем у планет.

224. Звезды типа Солнца эволюционируют в последовательности:

- а)** белый карлик → желтый карлик → красный гигант;
- б)** желтый карлик → красный гигант → белый карлик;
- в)** красный гигант → белый карлик → желтый карлик.

225. В результате астрономической рефракции в земной атмосфере видимая высота светила над горизонтом...

- а)** становится больше;
- б)** становится меньше;
- в)** не изменяется.

226. Согласно закону Стефана — Больцмана, при увеличении температуры тела вдвое поток излучения с его поверхности возрастает...

- а)** в 2 раза;
- б)** в 8 раз;
- в)** в 16 раз.

227. Согласно закону Доплера, при удалении источника излучения от наблюдателя длина волны зарегистрированного излучения...

- а)** не изменяется;
- б)** становится больше;
- в)** становится меньше.

228. Какой оптический элемент служит объективом у телескопа-рефлектора?

- а)** вогнутое зеркало;
- б)** выпуклое зеркало;
- в)** положительная линза.

229. Для наблюдений в каком диапазоне излучения используются зеркала косого падения?

- а)** в радиодиапазоне;
- б)** в диапазоне мягкого рентгеновского излучения;
- в)** в наиболее жестком гамма-диапазоне.

230. Если одна звезда имеет блеск 2^m , а другая 4^m , это означает, что у Земли поток света от первой звезды больше, чем от второй, в...

- а)** 2 раза;
- б)** 2,512 раза;
- в)** 6,31 раза.

231. Чем различаются спектры звезд-карликов и звезд-гигантов одного и того же спектрального класса?

- а)** в спектре гиганта линии более узкие;
- б)** в спектре карлика линии более узкие;
- в)** эти спектры не различаются.

232. Для наблюдателя на Северном полюсе...

- а)** все звезды незаходящие;
- б)** все звезды невосходящие;
- в)** наблюдаемые звезды имеют положительное склонение.

233. Искаженная форма материков на старинных географических картах объясняется отсутствием у путешественников той эпохи...

- а)** точных часов;
- б)** точных угломерных инструментов;
- в)** точных астрономических знаний.

234. На чем основана работа системы спутниковой навигации?

а) принимая радиосигналы пользователей, спутники определяют их положение на Земле;

б) спутники передают сигналы точного времени по бортовым часам;

в) спутники принимают сигналы точного времени из Гринвичской обсерватории и передают их пользователям на Земле.

235. Какую систему времени используют россияне в быту?

а) поясное звездное время;

б) среднее солнечное время;

в) поясное декретное время.

236. Периодический процесс в кварцевых часах создается за счет...

а) механических колебаний кристалла кварца;

б) колебаний электронов во внешней оболочке атомов кварца;

в) колебаний прозрачности кварцевого кристалла.

237. Эксцентриситетом эллипса называют отношение...

а) малой полуоси к большой полуоси;

б) расстояния между центром и фокусом к малой оси;

в) расстояния между фокусами к большой оси.

238. Теорема Ньютона о гравитации внутри однородной сферы утверждает, что...

а) значение гравитационного потенциала внутри сферы всюду одинаково;

б) значение гравитационного потенциала внутри сферы строго пропорционально расстоянию от ее центра;

в) ускорение свободного падения в любой точке внутри сферы такое же, как на ее поверхности.

239. Если тело движется по замкнутой эллиптической орбите, значит, действующая на него центростремительная сила изменяется по закону...

а) $1/R$;

б) $1/R^2$;

в) $1/R^3$.

240. На какой планете сильнее проявляется парниковый эффект?

- а) Марс;**
- б) Венера;**
- в) Земля.**

241. Ученик Вася Печкин нашел в поле кусочек космического вещества. Что это?

- а) метеор;**
- б) метеорит;**
- в) метеороид.**

242. Мелкие углубления на поверхности метеоритов, возникающие при их быстром движении в атмосфере планеты, называются...

- а) регмаглипты;**
- б) круассаны;**
- в) фуллерены.**

243. Атмосферное давление у поверхности Венеры около 92 бар. Во сколько раз масса венерианской атмосферы больше, чем земной?

- а) в 92 раза;**
- б) в 46 раз;**
- в) в 8 раз.**

244. У какого тела Солнечной системы нет азотной атмосферы?

- а) Европа;**
- б) Земля;**
- в) Титан.**

245. Когда в истории Солнечной системы была эпоха поздней массовой бомбардировки планет?

- а) около 2 млрд лет назад;**
- б) около 3 млрд лет назад;**
- в) около 4 млрд лет назад.**

246. Какое из указанных тел не является планетой-спутником?

- а)** Луна;
- б)** Ганимед;
- в)** Феба.

247. Метеорное тело разрушилось в атмосфере Земли. Его осколки были найдены на поверхности Земли в Экваторе: самые крупные — в точке с координатами 0° широты и 80° з. д., а самые мелкие — в точке с координатами $0,5^\circ$ ю. ш. и $79,5^\circ$ з. д. В каком направлении летело метеорное тело до его распада в атмосфере?

- а)** с юго-востока на северо-запад;
- б)** с северо-запада на юго-восток;
- в)** с северо-востока на юго-запад.

248. Метеороид со скоростью 38 км/с пересек орбиту Луны и направляется к Земле. Через какое время он достигнет поверхности нашей планеты?

- а)** 3 часа;
- б)** 30 часов;
- в)** 3 суток.

249. Кривая блеска затменной переменной звезды содержит два минимума, отстоящих друг от друга на равные промежутки времени ($\Delta t = 4$ суток), причем один из них вдвое глубже другого. Что можно сказать об этой двойной звезде?

- а)** орбитальный период системы равен 4 суткам, и одна из звезд вдвое больше другой;
- б)** орбитальный период системы равен 4 суткам, и звезды обращаются по круговым орбитам;
- в)** орбитальный период системы равен 8 суткам, и поверхность одной из звезд горячее.

250. Какой космический зонд стал первым спутником Меркурия?

- а)** «Вояджер»;
- б)** «Мессенджер»;
- в)** «Маринер».

251. Солнце вращается вокруг своей оси с периодом...

- а) около недели;
- б) около месяца;
- в) около года.

252. Как по классификации Ходжа должна быть обозначена дисковая галактика с перемычкой (баром), но без спиральных ветвей?

- а) S0;
- б) SB0;
- в) Sb(r).

253. Как по классификации Вокулера должна быть обозначена спиральная галактика с перемычкой (баром), у которой спиральные ветки отходят от концов бара?

- а) SB(s);
- б) SB(r);
- в) SAB(s).

254. Оцените угловую протяженность большой оси видимого диска Туманности Андромеды, используя данную иллюстрацию, на которой угловые масштабы соблюдены.

- а) $1,5^\circ$;
- б) $3,0^\circ$;
- в) $4,4^\circ$.



255. Сизигийный прилив бывает...

- а)** только в новолуние;
- б)** только в полнолуние;
- в)** в новолуние и полнолуние.

256. Радиус горизонта событий черной дыры равен...

- а)** $2GM/c^2$;
- б)** $GM/2c$;
- в)** c^2/GM .

257. Эргосфера вращающейся черной дыры...

- а)** заключена между пределом статичности и горизонтом событий;
- б)** расположена под горизонтом событий;
- в)** содержит в себе горизонт событий и предел статичности.

258. Большая полуось орбиты Сатурна составляет 9,58 а. е. Чему равен его орбитальный период?

- а)** 9,58 года;
- б)** 12,27 года;
- в)** 29,67 года.

259. Если тело движется по эллиптической орбите вокруг центра эллипса, то действующая на него центростремительная сила...

- а)** прямо пропорциональна расстоянию от центра;
- б)** обратно пропорциональна расстоянию от центра;
- в)** не зависит от расстояния до центра.

260. Период прецессии земной оси составляет...

- а)** около 26 тыс. лет;
- б)** около 18 лет;
- в)** около 220 млн лет.

261. Планетарные туманности — это...

- а)** потерянные планетами атмосферы;
- б)** потерянные звездами атмосферы;
- в)** туманные изображения далеких планет.

262. Как часто в среднем в крупной галактике взрывается сверхновая?

- а)** раз в 1000 лет;
- б)** раз в 100 лет;
- в)** раз в 10 лет.

263. Если сжать Землю настолько, что она превратится в черную дыру, то каков будет ее гравитационный радиус?

- а)** 3,2 км;
- б)** 1,6 м;
- в)** 0,9 см.

264. Из того факта, что скорость вращения галактического диска приблизительно одинаковая на разных расстояниях от центра галактики (R), следует, что масса вещества галактики внутри данного радиуса изменяется как...

- а)** $M(R) \propto R^{1/2}$;
- б)** $M(R) \propto R$;
- в)** $M(R) \propto R^{3/2}$.

265. Скорость вращения дисков спиральных галактик типа Sb составляет...

- а)** от 100 до 180 км/с;
- б)** от 180 до 280 км/с;
- в)** от 280 до 360 км/с.

266. Поглощение света в межзвездной среде вызвано наличием в ней...

- а)** пыли;
- б)** газа;
- в)** магнитного поля.

267. Если бы вся масса галактики была сосредоточена в ее ядре, то у периферийных звезд галактического диска зависимость скорости орбитального движения (V) от расстояния до центра галактики (R) имела бы вид:

- а)** $V \propto R^{1/2}$;

- б) $V \propto R^{-1}$;
- в) $V \propto R^{-1/2}$.

268. Спутником какой галактики является сфероидальная система NGC 185?

- а) Млечного Пути (нашей галактики);
- б) М31 (Туманности Андромеды);
- в) М33 (спиральной галактики в Треугольнике).

269. Температура межгалактического газа, заполняющего центральные области крупных скоплений галактик, достигает...

- а) 106 К;
- б) 107 К;
- в) 108 К.

270. Какое максимальное доплеровское голубое смещение спектральных линий в системе координат, связанной с Солнцем, может иметь объект (например, звезда) нашей Галактики?

- а) все космические объекты демонстрируют только красное смещение линий. Голубого не бывает в принципе;
- б) не более $z = 0,0022$ (соответствующего скорости 660 км/с);
- в) не более $z = 0,00073$ (соответствующего скорости 220 км/с).

271. Решения уравнений Эйнштейна для однородной и изотропной Вселенной, полученные А. А. Фридманом, показывают, как со временем меняется масштабный фактор $a(t)$, пропорциональный расстоянию между двумя конкретными удаленными друг от друга галактиками. Часто этот эффект демонстрируют на двумерной модели расширяющейся Вселенной в виде надуваемого шара.

Какова зависимость масштабного фактора в этой модели от времени в случае, если человек надувает шар с постоянной скоростью, т. е. за каждую единицу времени объем шара возрастает на одинаковую величину:

- а) $a(t) \sim t$;
- б) $a(t) \sim t^{1/2}$;
- в) $a(t) \sim t^{1/3}$.

272. Радиус горизонта событий черной дыры с массой 33 массы Солнца составляет около...

- а)** 3 км;
- б)** 100 км;
- в)** 330 км.

273. Эффект гравитационной линзы усиливает видимый блеск далеких источников излучения. Как совместить это с законом сохранения энергии?

а) никак. Закон сохранения энергии для данного релятивистского эффекта не выполняется;

б) поток излучения усиливается, когда источник лежит за массивным объектом, но ослабляется, когда он лежит перед ним. Поэтому полный поток через поверхность, охватывающую источник излучения и массивный объект, остается равным светимости источника, и закон сохранения энергии не нарушается;

в) усиление видимой яркости источника излучения происходит за счет ускорения фотонов в поле тяготения массивного объекта (гравитационной линзы). С учетом этого вклада в общий баланс энергии закон ее сохранения выполняется.

274. Почему закон Хаббла позволяет точнее измерять расстояние до скопления галактик, чем до отдельных его членов?

а) внутри скопления отдельные галактики движутся с хаотическими скоростями, которые не имеют отношения к общей картине расширения Вселенной;

б) измеренное значение скорости отдельной галактики имеет низкую точность, но если усреднить значения скорости, полученные для нескольких десятков галактик одного скопления, то точность заметно возрастает;

в) на измеренную скорость отдельной галактики накладывается скорость ее вращения, не имеющая отношения к закону Хаббла. Но в скоплении разные галактики вращаются в разных направлениях, поэтому при усреднении измерений, сделанных для разных галактик одного скопления, этот эффект исчезает.

275. Атмосфера Земли теряет газ со скоростью 30 кг/с. Через сколько лет она истощится?

- а)** 1 млрд лет;
- б)** 5 млрд лет;
- в)** 20 млрд лет.

276. Если светимость Солнца возрастет в 30 раз, то какая температура будет на поверхности спутников Юпитера?

- а)** примерно как на Меркурии;
- б)** примерно как на Земле;
- в)** примерно как на Марсе.

277. Каким образом, обнаружив цефеиды в ближайших галактиках (М31, М33 и др.), Эдвин Хаббл смог доказать, что это самостоятельные звездные системы, лежащие за пределом нашей Галактики?

а) зависимость «период изменения блеска — средняя светимость» для цефеид позволила Хабблу измерить расстояние до этих систем;

б) переменные звезды-цефеиды сосредоточены в дисках галактик (это довольно массивные, следовательно, физически молодые звезды). Как все массивные звезды, они встречаются редко, поэтому в среднем удалены от нас в Галактике на большие расстояния, где из-за межзвездного поглощения света практически не видны. Поэтому само наличие цефеид в звездной системе говорит о том, что она — не часть нашей Галактики;

в) цефеиды вообще не присутствуют в нашей Галактике. Они были открыты и изучены в Большом и Малом Магеллановых Облаках, т. е. во внешних галактиках. Поэтому само их наличие в звездной системе прямо говорит о том, что это самостоятельная галактика, а не часть Млечного Пути.

278. Корональный выброс из атмосферы Солнца достиг Земли за 3 суток. С какой скоростью двигалась плазма?

- а)** 11,2 км/с;
- б)** 130 км/с;
- в)** 580 км/с.

279. Два белых карлика с массами как у Солнца и размерами как у Земли столкнулись в нашей Галактике. Какова скорость их столкновения?

- а) 11 км/с;
- б) 620 км/с;
- в) 3300 км/с.

280. На луче зрения от наблюдателя к звезде располагаются два одинаковых межзвездных облака. Пройдя сквозь одно из них, свет звезды ослаб на 1^m . На сколько звездных величин ослаб свет звезды, пройдя сквозь оба облака?

- а) 2^m ;
- б) 4^m ;
- в) $5,024^m$.

281. Крабовидная туманность — это...

- а) остаток взрыва сверхновой звезды;
- б) массивная планетарная туманность;
- в) пылевая (отражательная) туманность.

282. Шаровое скопление содержит миллион звезд главной последовательности, каждая из которых имеет абсолютную звездную величину $M_v = 6^m$, а также 10 000 красных гигантов с величинами $M_v = 1^m$. Возможно ли увидеть это скопление невооруженным глазом с расстояния 10 кпк?

- а) невозможно ни при каких обстоятельствах;
- б) возможно, если межзвездное поглощение света не более $0,5^m$;
- в) возможно, если его галактическая широта не превышает 5° .

283. Облако, имевшее оптическую толщину $\tau = 0,1$, сжалось по радиусу в 10 раз. Какова теперь его толщина?

- а) 0,01;
- б) 1;
- в) 10.

284. Можно ли выстрелом из пушки с поверхности Земли послать аппарат на Луну? на Марс? на орбиту ИСЗ? на Солнце?

- а)** можно только на орбиту ИСЗ;
- б)** можно только на орбиту ИСЗ и на Луну;
- в)** можно только на Марс, Луну и Солнце.

285. На искусственном спутнике, обращающемся вокруг Земли, т. е. постоянно свободно падающем на нее, космонавты не ощущают силу тяжести: у них невесомость. А на самой Земле, точно так же обращающейся вокруг Солнца, мы чувствуем силу тяжести. Почему?

- а)** потому что Земля значительно массивнее спутника;
- б)** потому что Солнце значительно массивнее Земли;
- в)** потому что космонавты внутри спутника, а мы снаружи Земли.

286. В звездном скоплении 25 120 одинаковых звезд. Каждая имеет блеск 15^m . Каков полный блеск этого скопления?

- а)** 4^m ;
- б)** 8^m ;
- в)** 11^m .

287. Москва, 1 декабря, на часах ровно 12. А который час в Гринвиче (Англия)?

- а)** 9 ч;
- б)** 8 ч;
- в)** 7 ч.

288. Диаметр звезды вдвое больше, чем у Солнца, а температура ее поверхности около 12 000 К. Во сколько раз светимость этой звезды больше солнечной?

- а)** в 4 раза;
- б)** в 24 раза;
- в)** в 64 раза.

289. Морской 12-кратный бинокль с объективами диаметром 60 мм. Можно ли заметить в него звезды 12^m ?

- а)** невозможно;
- б)** можно только в горах;

в) можно даже на уровне моря.

290. В какое время года в России Луна в полнолуние дольше всего остается над горизонтом?

- а) летом;
- б) зимой;
- в) осенью и весной.

291. При какой фазе Луны вся ночь бывает лунная?

- а) новолуние;
- б) полнолуние;
- в) первая четверть.

292. В двойной звездной системе первый компонент в 3 раза больше по диаметру, но вдвое холоднее второго компонента. Какой из них имеет бóльшую светимость?

- а) первый;
- б) второй;
- в) у них одинаковая светимость.

293. Как известно, на Земле сезоны в Северном и Южном полушариях сменяются в противофазе: когда в одном полушарии лето, в другом — зима. А может ли быть так, чтобы сезоны года сменялись на всей планете синхронно? Как должна двигаться такая планета?

- а) с нулевым наклоном оси по эллиптической орбите;
- б) с наклоном оси 90° по круговой орбите;
- в) с наклоном оси 45° по орбите с эксцентриситетом 0,5.

294. В звездном скоплении 150 звезд с блеском 10^m и одна звезда 5^m . Каков блеск скопления как целого?

- а) около 4^m ;
- б) около 3^m ;
- в) около 2^m .

295. В какой фазе находится Луна, если она кульминирует в 6 час по истинному солнечному времени?

- а) новолуние;

- б) полнолуние;
- в) последняя четверть.

296. Разогнавшись вблизи Земли до скорости 11 км/с, ракета достигает Луны (расстояние около 400 000 км) за 3 суток. За какое время она достигнет Солнца (150 млн км)?

- а) за 1125 суток $\approx$ 3 года;
- б) с такой скоростью ракета не приблизится к Солнцу, а покинет пределы Солнечной системы;
- в) с такой скоростью ракета может приблизиться к Солнцу, но достичь его не способна.

297. Подводный аппарат может безопасно опускаться в море до глубины 750 м. Выдержит ли его кабина давление атмосферы у поверхности Венеры?

- а) выдержит;
- б) не выдержит;
- в) трудно сказать, поскольку давление будет в точности равно предельному.

298. Ю. А. Гагарин стартовал 12 апреля 1961 г. с космодрома Байконур (приблизительные координаты места старта: 46° с. ш., 63° в. д.) и, сделав один виток вокруг Земли, через 108 минут опустился в Саратовской области (51° с. ш., 46° в. д.). А где бы он приземлился, если бы сделал еще один виток?

- а) на Алтае (53° с. ш., 83° в. д.);
- б) в районе Петрозаводска (62° с. ш., 34° в. д.);
- в) в районе Киева (50° с. ш., 30° в. д.).

299. Из какого района Земли выгоднее запускать ракету на Марс?

- а) с географического полюса;
- б) с экватора в восточном направлении;
- в) с экватора в западном направлении.

300. При какой фазе Луны вся ночь бывает безлунная?

- а) новолуние;
- б) полнолуние;

в) последняя четверть.

Тесты с пятью вариантами ответа

1. Вернувшись из кругосветного путешествия, моряки из экспедиции Магеллана обнаружили, что по сравнению с береговым календарем потеряли в счете дней один день. Чем это объясняется?

- а) моряки не отметили в календаре день гибели Магеллана;
- б) пока длилась экспедиция, в Европе изменился календарь;
- в) в Южном полушарии Солнце движется в другую сторону;
- г) плывя за запад, моряки совершили на один суточный оборот меньше;
- д) в порту прибытия над моряками подшутили.

2. Для жителей Северного полушария высота Полярной звезды над горизонтом в градусах примерно равна...

- а) географической широте места;
- б) 90° минус географическая широта;
- в) высоте Солнца в полдень;
- г) она не постоянна, а меняется в течение сезона;
- д) 45° с. ш.

3. Полярная звезда является частью...

- а) Большого Пса;
- б) Зодиака;
- в) Пегаса;
- г) Малой Медведицы;
- д) ни одного созвездия.

4. Сколько времени займет путешествие до галактики в Андромеде со скоростью сверхзвукового реактивного самолета 3600 км/час?

- а) 20 млн лет;
- б) 60 млн лет;
- в) 30 млрд лет;
- г) 120 млрд лет;
- д) 600 млрд лет.

5. Самой яркой звездой ночного неба является...

- а) Сириус;
- б) Вега;
- в) Ригель;
- г) Денеб;
- д) Альдебаран.

6. Если предмет на Марсе весит 100 кг, то на Земле он будет весить...

- а) 38 кг;
- б) 76 кг;
- в) 148 кг;
- г) 263 кг;
- д) 526 кг.

7. По размеру Марс...

- а) меньше Луны;
- б) больше Луны, но меньше Меркурия;
- в) больше Меркурия, но меньше Земли;
- г) больше Венеры, но меньше Земли;
- д) больше Земли.

8. У поверхности Земли атмосфера содержит...

- а) 21 % кислорода;
- б) 78 % кислорода;
- в) 1 % двуокиси углерода;
- г) 1 % озона;
- д) 50 % азота.

9. Солнце ближе всего к Земле, когда в Южном полушарии...

- а) весна;
- б) лето;
- в) осень;
- г) зима;
- д) Солнце всегда находится на одинаковом расстоянии от Земли.

10. У какой из планет нет кольца?

- а)** Марс;
- б)** Юпитер;
- в)** Сатурн;
- г)** Уран;
- д)** Нептун.

11. Астрономические обсерватории строят высоко в горах, чтобы...

- а)** снизить влияние городского шума;
- б)** улучшить охлаждение приемников света;
- в)** астрономы могли кататься на горных лыжах;
- г)** уменьшить искажающее влияние атмосферы;
- д)** уменьшить количество нежелательных посетителей.

12. Почему во время экспедиций американских астронавтов по программе «Аполлон» (1969–1972) посадки производились только на видимую сторону Луны?

- а)** корабль «Аполлон» не мог достичь обратной стороны Луны;
- б)** Земля на небосводе освещала лунную поверхность;
- в)** требовалась прямая радиосвязь с Землей;
- г)** вид Земли психологически поддерживал астронавтов;
- д)** на видимой стороне Луны больше геологически интересных мест.

13. Что такое созвездие?

- а)** характерная фигура из ярких звезд, своим названием связанная с древними мифами и закреплённая исторической традицией;
- б)** часть небесной сферы, ограниченная ломаной прямой в соответствии с решением Международного астрономического союза (МАС);
- в)** скопление однотипных звезд, имеющих общее происхождение и эволюцию;
- г)** группа звезд одного возраста, имеющих общее движение в пространстве;
- д)** участок небесной сферы площадью $\frac{1}{88}$ от полной ее поверхности.

14. «Родительским телом» метеорного потока служит...

- а)** астероид;
- б)** комета;
- в)** метеороид;
- г)** болид;
- д)** метеорит.

15. Когда морские приливы выше — в дни солнечных или лунных затмений?

- а)** в дни солнечных затмений приливы выше;
- б)** в дни лунных затмений приливы выше;
- в)** в дни затмений приливы прекращаются, поскольку влияние Луны и Солнца уравнивается;
- г)** в обоих случаях приливы практически одинаковые;
- д)** а при чем тут вообще затмения?

16. Что такое «озоновая дыра»?

- а)** область на Солнце, откуда истекает поток озона;
- б)** область земной атмосферы, где понижена концентрация озона;
- в)** область земной атмосферы, где кислород замещен озоном;
- г)** область земной атмосферы, служащая источником ультрафиолетового излучения;
- д)** область на Солнце, в которой отсутствует озон.

17. Какова причина свечения Солнца?

- а)** Солнце сжимается под действием силы тяготения, и это приводит к выделению гравитационной энергии;
- б)** на поверхности Солнца непрерывно горит водород;
- в)** в центре Солнца под влиянием высокой температуры идет реакция ядерного синтеза;
- г)** современной науке не известна причина свечения Солнца;
- д)** на поверхность Солнца постоянно и с большой скоростью падает вещество комет и метеороидов, чья кинетическая энергия выделяется в форме тепла.

18. Как в порядке роста плотности их вещества располагаются эти звезды?

а) красные сверхгиганты, белые карлики, красные гиганты, нейтронные звезды, звезды главной последовательности;

б) звезды главной последовательности, красные гиганты, красные сверхгиганты, белые карлики, нейтронные звезды;

в) красные гиганты, красные сверхгиганты, белые карлики, звезды главной последовательности, нейтронные звезды;

г) звезды главной последовательности, нейтронные звезды, красные гиганты, красные сверхгиганты, белые карлики;

д) красные сверхгиганты, красные гиганты, звезды главной последовательности, белые карлики, нейтронные звезды.

19. Когда, с точки зрения земного наблюдателя, освещена наименьшая часть марсианского диска?

а) в соединении;

б) в квадратуре;

в) в наибольшей восточной элонгации.

г) в противостоянии;

д) в великом противостоянии;



10. Ответы и решения

10

Ответы
и решения

1. Путешествия по Земле

1.1. Полярная

Что мы знаем о Полярной звезде? Это α Малой Медведицы (α UMi), звезда 2,0 визуальной звездной величины, удаленная от Солнца на 470 световых лет. В нашу эпоху она расположена на расстоянии около 1° от северного полюса мира и поэтому удобна для ориентирования: она всегда указывает приблизительное направление на север (что полезно для туристов) и на северный полюс мира (что ценят любители астрономии). К тому же по ней легко определить широту места, приблизительно равную высоте Полярной звезды над горизонтом (а это раньше, до появления GPS, очень ценили штурманы).

Положение Полярной звезды относительно северного полюса мира со временем меняется. В 1900 г. она отстояла от полюса мира на $1^\circ 14'$, а в 2000 году — на $44'$. В 2102 г. Полярная приблизится к полюсу на минимальное расстояние $27^\circ 31'$ и затем будет удаляться от него. В прошлом роль Полярной звезды как указателя полюса мира принадлежала (и в будущем будет принадлежать) иным светилам. Причиной этого служит явление прецессии, т. е. медленный поворот земной оси. Например, 14 000 лет назад роль Полярной звезды исполняла Вега.

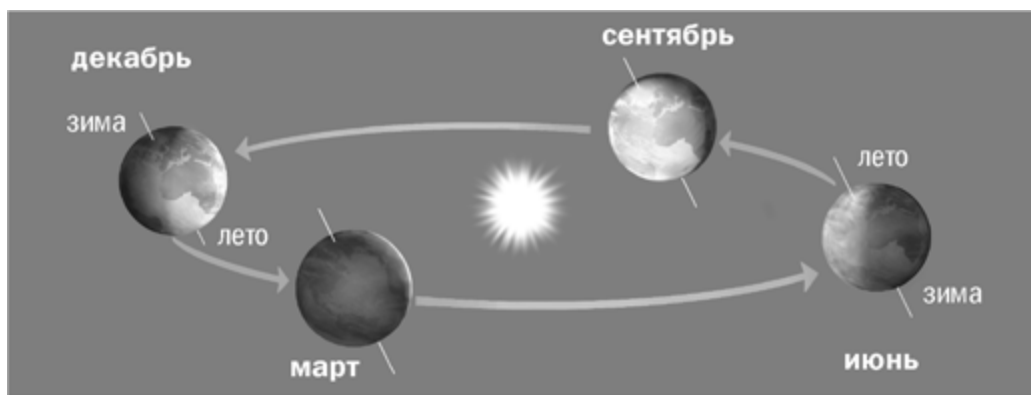
Самое главное для нас в этом описании Полярной то, что сейчас она расположена на расстоянии около 1° от северного полюса мира. Следовательно, часовая ось монтировки телескопа, направленная на Полярную, не параллельна земной оси. Поэтому фотографические наблюдения окажутся некачественными: при длительной экспозиции картинка «смажется». Для визуальных наблюдений эта проблема незначительна, поскольку медленный сдвиг изображения можно время от времени компенсировать вручную.

1.2. Зима — лето

Вот два самых распространенных варианта неверных ответов:

- 1) летом Земля ближе к Солнцу, а зимой — дальше;
- 2) в течение года Земля меняет наклон своей оси вращения, подставляя Солнцу то одно, то другое полушарие.

Ошибочность первого ответа сразу станет очевидной, если вспомнить, что сезоны в Северном и Южном полушариях Земли меняются в противофазе: когда в Северном полушарии лето, в Южном зима. Значит, в смене сезонов года виновато не изменение расстояния от Солнца (иначе бы они менялись синхронно по всей Земле), а что-то другое. Второй ответ уже ближе к истинному, поскольку в нем говорится о наклоне земной оси, но и этот ответ неверен. Ось вращения Земли не изменяет своего направления в пространстве, во всяком случае — за год. Но само существование этого наклона как раз и служит причиной смены сезонов года. Если бы земная ось была перпендикулярна плоскости земной орбиты (эклиптике), то независимо от положения Земли на орбите солнечные лучи грели бы разные участки ее поверхности с неизменной интенсивностью: максимально интенсивно всегда обогревался бы экватор, а полюсов свет практически не достигал бы никогда.



Смена времен года

Отклонение земной оси на $23,4^\circ$ относительно перпендикуляра к плоскости орбиты приводит к тому, что в течение полугода Земля в большей степени демонстрирует Солнцу одно свое полушарие, а вторые полгода — другое. С 21 марта по 23 сентября Солнце сильнее обогревает Северное полушарие, а с 23 сентября по 21 марта — Южное. В этом и заключается причина смены сезонов. Разумеется, в этот процесс немного вмешивается изменение расстояния нашей

планеты от Солнца: ближе всего к нему мы в первых числах января, а дальше всего — в начале июля. Но это изменение столь невелико, что заметно повлиять на смену сезонов оно не может.

Итак, правильный ответ на вопрос «Что служит причиной смены сезонов на Земле?» выглядит так: наклон оси вращения Земли, из-за которого Солнце полгода лучше греет одно полушарие планеты, а вторые полгода — другое.

1.3. Падают кометы

Сначала посмотрим на первый куплет.

Очевидно, речь идет о метеорах. Казалось бы, автор стихов явно спутал метеоры с кометами. Но если вдуматься, «звездные дожди», т. е. метеорные потоки, наблюдаются, когда Земля пересекает орбиты комет, теряющих со своей поверхности пылевые частицы. Сгорая в атмосфере Земли, они-то и вызывают «звездный дождь». Поэтому автор прав: к нам падают частицы комет!

Со второй строчкой тоже не поспоришь: метеоры видны только до рассвета. Ну а третья строка — явная поэтическая вольность, выдумка; разве может лунный диск качаться? Оказывается, может! Эти качания называются либрациями. Их несколько типов. Суточные покачивания, позволяющие нам заглянуть немного то за левый, то за правый край Луны, возникают из-за нашего собственного движения на вращающейся Земле. За ночь мы «переезжаем» с одной стороны земного шара на другую (если смотреть на нас с Луны), поэтому можем наблюдать лунный шар немного с разных сторон. Это явление называется суточным параллаксом. Но есть еще и месячные либрации Луны — по лунной широте и по лунной долготе. Первые возникают оттого, что ось вращения Луны не перпендикулярна плоскости ее орбиты. Поэтому две недели Луна демонстрирует нам свой северный полюс, а вторые две недели — южный. Это либрации по широте. А либрации по долготе возникают потому, что вокруг своей оси Луна вращается с постоянной угловой скоростью, а вокруг Земли — с переменной, ведь ее орбита эллипсоидальна. Так что «лунный диск качается, словно в полусне», т. е. медленно.

Теперь рассмотрим второй куплет. Первые две строчки, вероятно, говорят о том, что от метеорных дождей на поверхность Земли не

падают крупные метеориты. Это действительно так. Мелкие частицы комет распыляются в воздухе, поэтому найти их остатки на земле совершенно невозможно. Тем не менее — прочитаем третью строчку — метеорное вещество медленно оседает на поверхность планет в немалом количестве. И на Земле, и на Луне, и на других планетах под ногами у нас метеорная пыль, мелкие метеориты, перемешанные с родным веществом планеты.

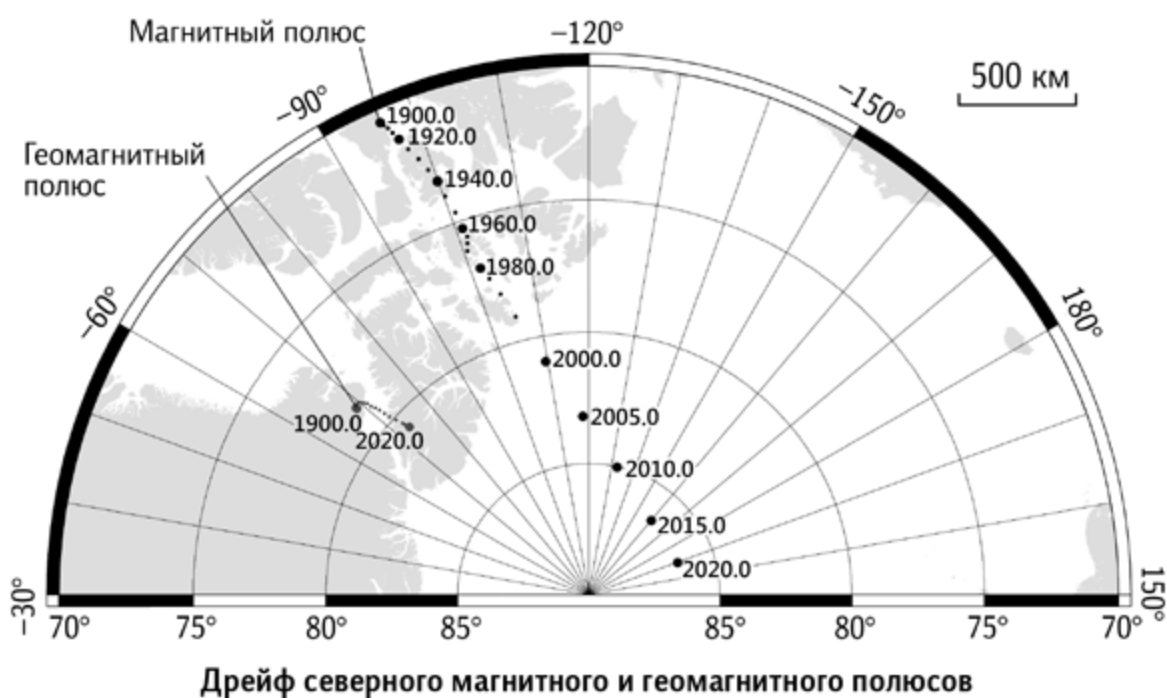
Похоже, автор стихов знал толк в астрономии. Как вы думаете?

1.4. К полюсу

Формально для перелета на расстояние 10 000 км (четверть окружности Земли) самолету понадобится 11,1 часа. Однако, придерживаясь направления магнитной стрелки, он, скорее всего, вообще не пролетит над Северным полюсом. Дело в том, что магнитный полюс не совпадает с географическим полюсом Земли. Но некоторые магнитные меридианы, разумеется, проходят через географические полюсы. Хотя истинная форма магнитного поля Земли довольно сложна, в первом приближении ее можно представить как помещенный в центре Земли диполь: такую форму имеет поле простого полосового магнита. Ось симметрии такого упрощенного дипольного поля проходит через поверхность Земли в двух диаметрально противоположных точках, называемых геомагнитными полюсами. Разумеется, на поверхности Земли есть и истинные магнитные полюсы, где свободно подвешенная магнитная стрелка стоит вертикально. Со временем магнитные полюсы довольно активно перемещаются, а геомагнитные — заметно медленнее. Поэтому положение тех и других следует привязывать к дате. Текущие и прогнозируемые данные о положении магнитных и геомагнитных полюсов можно найти на сайте <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/poles/polesexp.html>. Например, координаты полюсов в 2016 г. были такие:

Положение полюсов в 2016 г.		Широта	Долгота
Магнитный полюс	северный	86,4° с. ш.	166,3° з. д.
	южный	64,2° ю. ш.	136,4° в. д.
Геомагнитный полюс	северный	80,4° с. ш.	72,7° з. д.
	южный	80,4° ю. ш.	107,3° в. д.

Предположим, самолет мог бы лететь по линиям геомагнитного поля — например, внося поправки в показания компаса. Тогда в случае, если бы он взлетел на экваторе в точке 107,3° восточной долготы, то, двигаясь в сторону геомагнитного северного полюса, он пролетел бы над географическим Северным полюсом в 11 час 06 мин по Гринвичу. Но если самолет будет строго придерживаться стрелки компаса, он достигнет магнитного полюса, наверняка не пролетев над географическим. Впрочем, в 2016 г. расстояние между ними невелико — 3,6°, т. е. всего около 400 км. В 2017–2018 гг. магнитный полюс будет на минимальном расстоянии от географического, а затем начнет удаляться.



1.5. Где же юг?

В любом городе, расположенном, как Москва, в средних широтах Северного полушария, все «тарелки» (антенны спутникового телевидения) на домах ориентированы на юг, в область небесного меридиана. Дело в том, что спутники прямого телевизионного вещания движутся по геостационарной орбите, лежащей в плоскости земного экватора на расстоянии $R_{ГС} = 42\,164$ км от центра Земли, или $35\,786$ км от ближайшей точки экватора. Период обращения на этой круговой орбите строго равен периоду вращения Земли (23 часа 56 минут 04 секунды), поэтому спутник неподвижно «висит» над некоторой точкой экватора. Нередко эту орбиту называют «орбитой Кларка» в честь английского инженера и писателя-фантаста Артура Кларка, предложившего в 1945 г. размещать на ней спутники связи.

Для наблюдателя на Земле, находящегося на географической широте φ , геостационарная орбита видна почти параллельно линии небесного экватора, но на несколько градусов ниже его. На пересечении с небесным меридианом угол между небесным экватором и орбитой Кларка составляет

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\sin \varphi}{R_{ГС}/R_{\oplus} - \cos \varphi},$$

где $R_{\oplus} = 6371$ км — средний радиус Земли. Попробуйте сами вывести эту формулу.

Учтем, что $R_{ГС}/R_{\oplus} = 6,62$ не зависит от широты, и получим простое выражение для $\alpha = \operatorname{arctg} [\sin \varphi / (6,62 - \cos \varphi)]$. Поскольку высота небесного экватора в меридиане равна $90^\circ - \varphi$, наивысшая точка геостационарной орбиты в данной местности поднимается над горизонтом на угол $\beta = 90^\circ - \varphi - \alpha$. Для некоторых российских городов значения этих величин приведены в таблице ниже.

Как видим, в средних и особенно северных широтах России геостационарная орбита даже в меридиане видна невысоко над горизонтом. А если еще учесть, что в городе истинный горизонт всегда выше математического (дома мешают!), то понятно, что сигнал можно принимать только от спутников, «висящих» вблизи меридиана, максимально высоко над горизонтом. Именно поэтому телевизионные «тарелки» всегда нацелены почти точно на юг. При этом чем ниже на

доме располагается «тарелка», тем, как правило, точнее она ориентирована на юг.

Город	φ	α	β
Сочи	43° 35' 07"	6,67°	39,74°
Москва	55° 45' 21"	7,77°	26,47°
Архангельск	64° 33' 00"	8,30°	17,15°
Мурманск	68° 58' 00"	8,48°	12,55°

Вычислите углы α и β для своего места проживания. Найдите широту, выше которой геостационарные спутники вообще не видны. Учтите, что для радиоволн атмосферная (астрономическая) рефракция пренебрежимо мала.

1.6. Гелиограф

Будем считать, что горы имели одинаковую высоту (H), а земная поверхность между ними была идеально сферическая. Тогда мы можем использовать формулу для расстояния до горизонта, которую вывели при решении задачи «Обозреваем окрестности» из раздела «Прогулка с братьями Стругацкими». Если радиус планеты R , а высота наблюдателя H , то расстояние до горизонта: $D = \sqrt{2RH}$. А расстояние между горными пиками (S) в нашей задаче составит $2D$. Таким образом, $S/2 = \sqrt{2RH}$. Отсюда найдем высоту гор:

$$H = \frac{(S/2)^2}{2R} = \frac{S^2}{8R} = \frac{2952}{8 \cdot 6731} = 1,71 \text{ км.}$$

Ясно, что это минимально возможная высота, поскольку в горах не бывает идеального горизонта, да и высокая плотность воздуха вблизи поверхности Земли (т. е. у горизонта) вызывает сильное рассеяние света. Однако высоты в 2–3 км, очевидно, было бы вполне достаточно для такого эксперимента. А подобных вершин в североамериканских Скалистых горах немало.

1.7. Где мы?

Очевидно, профессор сказал: «Если через 5 минут тень сдвинется влево, то мы в Северном полушарии. А если вправо — в Южном». Можете проверить это сами, если у вас есть карандаш. Еще древние астрономы научились использовать в своей работе тонкую палку, вертикально воткнутую в землю, и называли ее гномоном. Подумайте, какие еще астрономические измерения можно проделать с помощью этого нехитрого прибора.

1.8. Так где же мы?

В Южном полушарии в полдень стрелка компаса будет указывать на Солнце своим северным концом, а в Северном полушарии — южным.

1.9. Знаки зодиака

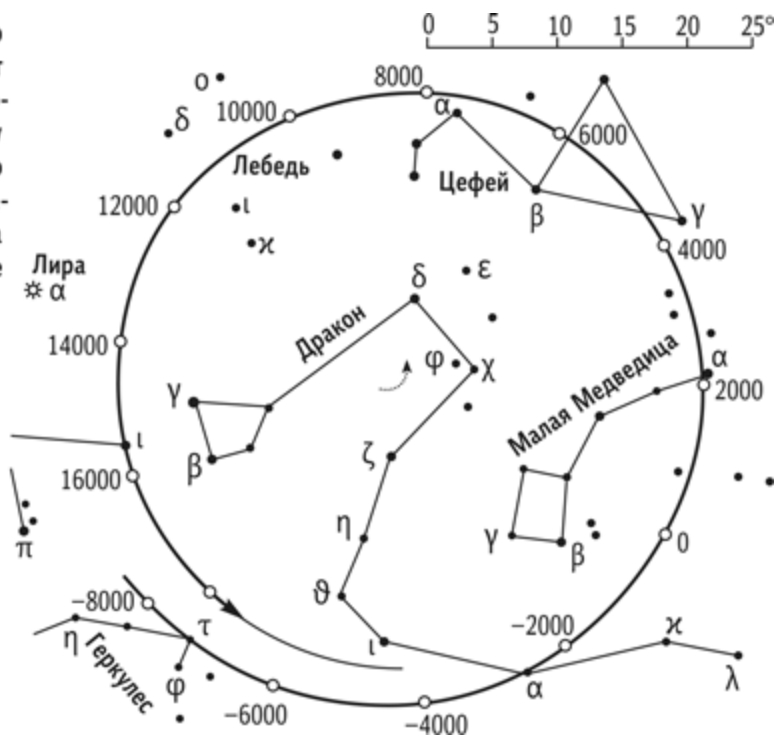
Действительно, знаки зодиака не совпадают по положению на небе с одноименными созвездиями. Они совпадали 2000 лет назад. Но с тех пор созвездия остались на месте, а знаки зодиака (30-градусные секторы эклиптики, отсчет которых идет от точки весеннего равноденствия) «переехали» по эклиптике вслед за точкой весеннего равноденствия из-за явления прецессии.

Прецессия — это коническое движение земной оси вокруг полюса эклиптики с периодом около 25 800 лет и раскрывом конуса около $23,5^\circ$, вызванное гравитационным влиянием Луны и Солнца на экваториальное вздутие Земли. Вследствие прецессии небесный экватор поворачивается с тем же периодом в направлении суточного движения светил, а точки его пересечения с эклиптикой (точки равноденствия) перемещаются навстречу видимому годичному движению Солнца по эклиптике со скоростью около $50''$ в год, делая более ранними (т. е. предваряя) моменты равноденствий. Слово «прецессия» происходит от латинского *praecessio* — предварение.



В большинстве книг и энциклопедий объяснение прецессии ограничивается данным выше определением. Если не иметь в виду ничего другого, кроме движения земной оси, то, как видим, фраза «положение созвездий относительно эклиптики... постоянно меняется из-за прецессии» совершенно ошибочна. Из-за прецессии меняется положение знаков зодиака, но не созвездий.

Траектория северного полюса мира вокруг полюса эклиптики, который сам понемногу смещается (показано пунктиром). Вдоль траектории полюса мира указаны календарные годы



Однако не все так просто. Из серьезных астрономических руководств мы узнаем, что описанный эффект астрономы иногда называют *лунно-солнечной прецессией*, отделяя его от другого явления, также влияющего на положение точки весеннего равноденствия. Это изменение ориентации плоскости земной орбиты (эклиптики) под влиянием притяжения планет. Этот эффект называют *планетной прецессией*; она уменьшает прямое восхождение всех звезд примерно на $0,13''$ в год и почти в 400 раз слабее лунно-солнечной прецессии, но при очень точных вычислениях ее необходимо учитывать.

Суммарное действие лунно-солнечной прецессии и планетной прецессии называют *общей прецессией*. Она изменяет положение эклиптики, экватора и точки весеннего равноденствия. Таким образом, общая прецессия смещает эклиптику относительно созвездий. Знала ли об этом журналист, сказать трудно.

Теперь по поводу созвездия Кит. Действительно, современная граница этого созвездия одним из своих уголков касается эклиптики. А поскольку эклиптика понемногу перемещается под действием планетных возмущений, то формально Кит может стать зодиакальным созвездием, как и Змееносец.

1.10. Лунный полярный круг

Когда мы встречаемся с фразами типа «хорошо известно», или «как все знают», или «ясно, что...», то нелишне задуматься, насколько хорошо нам это известно и ясно и понимаем ли мы по-настоящему суть и детали того, что «всем хорошо известно». К примеру — полярный круг на Земле. Он нарисован на глобусе вокруг каждого из полюсов по широте $66,5^\circ$. Это та широта, выше которой бывают полярный день и полярная ночь. Причина явления в целом понятна: наклон оси вращения Земли к плоскости ее орбиты, т. е. к плоскости эклиптики, составляет $66,5^\circ$ (обычно называют цифру $23,5^\circ$, но это угол между земной осью и *перпендикуляром* к плоскости эклиптики). Вкупе с движением Земли по орбите это приводит к изменению угла между направлением на Солнце и земной осью (рис. в ответе 1.2 «Зима — лето»). Для наблюдателя на Земле это проявляется в том, что суточное перемещение Солнца по небу происходит то выше небесного экватора (летом), то ниже (зимой).

Если обратиться к астрономическим справочникам, то мы увидим, что наклон земной оси в нашу эпоху составляет $23,44^\circ = 23^\circ 26'$ (мы ограничиваемся минутной точностью). Замечание об эпохе важно, и мы к нему еще вернемся. А пока дадим более точное определение полярным кругам: это параллели в Северном и Южном полушариях с широтами $66^\circ 34'$. В Северном полушарии в день зимнего солнцестояния (21–22 декабря) к северу от полярных кругов Солнце не восходит (без учета атмосферной рефракции и углового размера солнечного диска), а в день летнего солнцестояния (21–22 июня) не заходит. Аналогичные явления наблюдаются в Южном полушарии со смещением на полгода.

Казалось бы, все ясно. Но нет! Оказывается, земная ось не сохраняет неизменным свое направление в пространстве. Ее перемещение (точнее, его главная составляющая!) называется прецессией (от лат. *praecessio* — движение впереди, предварение). Прецессия — это коническое движение земной оси вокруг полюса эклиптики с периодом около 25 800 лет и раскрывом конуса около $23,5^\circ$ (см. рис. в ответе 1.9 «Знаки зодиака»), вызванное преимущественно гравитационным влиянием Луны и Солнца на

экваториальное вздутие Земли. В физическом смысле это сродни покачиванию волчка под действием земного притяжения.

Вследствие прецессии небесный экватор поворачивается с тем же периодом в направлении суточного движения светил, а точки его пересечения с эклиптической (точки равноденствия) перемещаются навстречу видимому годичному движению Солнца по эклиптике со скоростью около $50''$ в год, делая более ранними (т. е. предваряя) моменты равноденствий. Отсюда и латинское *praecessio*.

Однако зачем мы вспомнили о прецессии? Ведь она не изменяет наклон земной оси к эклиптике, значит, и полярные круги остаются на месте. Это не совсем так. Прецессией называют основное коническое движение земной оси, но на него накладываются небольшие быстрые колебания, которые принято называть нутацией (от лат. *nutatio* — колебание). Это колебательное движение оси собственного вращения тела, происходящее одновременно с прецессией, при котором изменяется угол между осью собственного вращения тела и осью, вокруг которой происходит прецессия. Как и прецессия, нутация вызвана гравитационным влиянием Луны и Солнца. Проблема же в том, что Луна и Солнце движутся относительно Земли в разных плоскостях: плоскость лунной орбиты наклонена к эклиптике примерно на 5° . Поэтому в разные годы силы Луны и Солнца, действующие на экваториальное вздутие Земли, складываются по-разному. Ведь сама плоскость лунной орбиты тоже испытывает своеобразную прецессию под влиянием солнечной гравитации! Узлы лунной орбиты движутся по эклиптике с периодом 18,6 года; такой же период имеет основной компонент нутации. Правда, размах нутационных качаний земной оси невелик, около $\pm 9''$, но для астрономии это немало.

Казалось бы, мы разобрались с положением солнечных полярных кругов на Земле: их географическая широта зависит от наклона земной оси, на значение которого прецессия не влияет, а нутационные колебания этого наклона очень малы ($\pm 9''$). Но остается ли с годами неизменным положение плоскости земной орбиты, т. е. эклиптики? Оказывается — нет! Описанные выше эффекты, влияющие на положение земной оси, принято называть лунно-солнечной прецессией (и нутацией), чтобы отделить их от другого эффекта, также влияющего на положение точки весеннего равноденствия и наклон земной оси к

эклиптике. Речь идет об изменении ориентации плоскости земной орбиты под влиянием притяжения планет. Этот эффект называют планетной прецессией. Проявляется это, например, в том, что траектория полюсами на небе, связанная с лунно-солнечной прецессией, оказывается незамкнутой. Суммарное действие лунно-солнечной прецессии и планетной прецессии называют общей прецессией. Она изменяет положение эклиптики, земного экватора и точки весеннего равноденствия.

Например, в нашу эпоху наклон земной оси к эклиптике уменьшается на $47''$ в столетие. За прошедшие 8000 лет он уменьшился почти на $0,8^\circ$, а за будущие 8000 лет уменьшится еще на $0,8^\circ$. В результате солнечные полярные круги на Земле вполне заметно перемещаются в сторону полюсов, испытывая при этом небольшие нутационные «подрагивания». Через некоторое время уменьшение наклона оси замедлится, остановится и сменится его увеличением. На масштабах в миллионы лет угол наклона испытывает сложные колебания, не выходя, однако, за пределы интервала от $22,0^\circ$ до $24,5^\circ$. Соответственно широта полярных кругов изменяется от $65,5^\circ$ до $68,0^\circ$. А вы думали, что с ними все так просто и ясно?

А теперь вернемся к Луне. Ее движение на нашем небе еще сложнее. Мы уже знаем, что плоскость лунной орбиты испытывает прецессию относительно плоскости эклиптики с периодом 18,6 года. Но при этом и наклон ее не остается постоянным: в среднем он равен $5,145^\circ$, но изменяется от $4,99^\circ$ до $5,30^\circ$. Поэтому максимальное удаление Луны от небесного экватора в разные годы изменяется от 18° до (через 9,3 года) 29° . Следовательно, не остается постоянным и положение «лунного полярного круга»: он колеблется относительно солнечного полярного круга с амплитудой около 5° . Как видите, в условии задачи мы немного лукавили, спросив вас о лунном круге. На самом деле на масштабах времени в десятки лет это довольно широкие полярные пояса.

Если бы Луна двигалась, как Солнце, строго по эклиптике, то в пределах полярного круга как минимум раз в месяц (а на полюсе — целых две недели) Луна в течение суток не скрывалась бы за горизонтом, а через полмесяца — в течение как минимум суток (а на полюсе — две недели) не восходила бы над горизонтом. Но наклон орбиты Луны к эклиптике заметно усложняет эту картину и делает

«лунный полярный круг» подвижным, изменяя его широту за 9,3 года на 11° .

1.11. Затмения

Сначала проверим справедливость утверждений, сделанных в условии задачи. В XXI в. будет 85 полных и 58 частных теневых лунных затмений, т. е. лунный диск 143 раза коснется диска земной тени. А статистика солнечных затмений за тот же период такова: 68 полных, 72 кольцеобразных, 7 гибридных (смешанных) и 77 частных затмений; всего 234, т. е. почти вдвое больше. В чем же дело?

За счет горизонтального параллакса, наблюдая из разных точек Земли, мы имеем возможность смещать видимое положение лунного диска относительно солнечного: ведь Луна к нам намного, в 400 раз, ближе, чем Солнце, следовательно, ее параллакс намного больше. Поэтому в условии наступления солнечного затмения есть свободный параметр — положение наблюдателя на Земле (в основном это касается географической широты наблюдателя, поскольку Луна сама передвигается в направлении, близком к долготному). А в условии наступления лунного затмения этого свободного параметра нет, поскольку Луна и тень Земли находятся на одинаковом расстоянии от нас. Изменение точки наблюдения на Земле не меняет условия наступления лунного затмения — оно либо есть, либо его нет.

Можно рассуждать и по-другому. Условием солнечного (хотя бы частного) затмения служит попадание лунной полутени на Землю: диаметр «мишени + ударника» составляет: $12\,742\text{ км (Земля)} + 10\,183\text{ км (полутень Луны у Земли)} = 22\,926\text{ км}$.

Условием лунного (теневого) затмения служит попадание земной тени на Луну: диаметр «мишени + ударника» составляет: $1\text{ диаметр Луны} + 2,7\text{ диаметра Луны (тень Земли у Луны)} = 3,7 \times 3475\text{ км} = 12\,858\text{ км}$.

Важно, что нужно брать не площади мишеней, а диаметры, поскольку происходит сканирование по одной из координат (практически по эклиптической долготе). Итак, условие для лунного затмения почти вдвое более жесткое, чем для солнечного. Поэтому лунные затмения и происходят вдвое реже, чем солнечные.

Если принять во внимание полутеневые лунные затмения, то полный диаметр: 19 451 км (полутень Земли у Луны) + 3475 км (диаметр Луны) = 22 926 км, т. е. ровно такой же, как и для частных (как минимум) солнечных затмений

1.12. Солнце в зените — 1

Поскольку во всех точках земного экватора через зенит всегда проходит небесный экватор, то ответ очевиден. Если не настаивать на высокой точности, то ответ простой: на экваторе солнце бывает в зените дважды в году — в дни равноденствий, летнего и зимнего. Но более точный ответ должен учитывать тот факт, что центр солнечного диска пересекает небесный экватор мгновенно, поэтому не все точки экватора удовлетворяют условию задачи, а лишь две: одна весной, а вторая — осенью. Это те точки, в которых моменты равноденствий совпадают с моментами истинного солнечного полдня.

1.13. Солнце в зените — 2

На земном шаре всегда существует точка поверхности, над которой солнце в данный момент в зените. Все эти точки в указанный момент лежат на полуденном меридиане Земли и перемещаются по нему в течение года от одного тропика к другому и обратно. На глобусе их совокупность напоминает туго закрученную вдоль экватора спираль, заполняющую пояс между тропиками — от 23,4° с. ш. до 23,4° ю. ш.

1.14. Солнце внизу

Можно — за полярным кругом летом. При этом чем ближе наблюдатель к полюсу, тем большее количество нижних кульминаций за один сезон можно увидеть. Мы не уточняем, о каком из полюсов идет речь — Северном или Южном. Где в данное время лето (полярный день), там и наблюдается нижняя кульминация Солнца.

1.15. «Феникс» летит на Марс

Решение этой задачи не представляет труда, если воспользоваться любой программой-планетарием, демонстрирующей на экране компьютера вид звездного неба из заданной точки в заданное время. Главное — правильно определиться со временем. Флорида расположена в минус пятом часовом поясе, т. е. на 5 часов западнее Гринвича, но в США действует летнее время (+1 час), поэтому в августе местное время Флориды равно UTC – 4 часа. Аббревиатура UTC означает по-французски *Temps Universel Coordonné*, по-английски это *Coordinated Universal Time*, а по-русски — Всемирное координированное время. Оно почти не отличается (не более чем на секунду) от простого Всемирного времени (UT), которое называют также Средним гринвичским временем, *Greenwich Mean Time* (GMT). В разных программах может быть одна из этих аббревиатур. Используйте любую.

Установив точку наблюдения на полуострове Флорида в районе космодрома им. Кеннеди, дату 4 августа 2007 г. и Всемирное время равным 9 час 15 мин (= 5 час 15 мин + 4 час), мы увидим, что небо там было темное, поскольку до восхода Солнца оставалось еще полтора часа, а местность весьма южная (28,5° с. ш.). На востоке поднимается Орион, и одно над другим стоят три ярких красноватых светила: Бетельгейзе (высота 14°), Альдебаран (35°) и Марс (47°). Среди строений космического центра, вероятно, нелегко было заметить Бетельгейзе, но вполне возможно — Альдебаран, а Марс просто нельзя было пропустить. Он действительно сиял как звезда почти нулевой величины (точнее, 0,4^m), Так что описание Питера Смита является полностью достоверным.

1.16. Земля — шар

Утверждение довольно точное, поскольку полярный радиус земного шара ($R_p = 6\,356\,752$ м) короче его экваториального радиуса ($R_e = 6\,378\,137$ м) всего на 21 385 м. Обычно относительную разницу этих радиусов выражает в виде полярного сжатия Земли:

$$\frac{R_e - R_p}{R_e} = \frac{1}{298,26}.$$

Иными словами, отличие Земли от шара составляет 0,3 %.

1.17. Голубая планета Земля

Действительно, нашу Землю стали называть «голубой планетой» задолго до того, как ее увидели со стороны космонавты и сфотографировали космические роботы. С какого бы расстояния — от Юпитера, Сатурна или даже из-за пределов планетной системы — мы ни посмотрели бы на нашу планету, она голубая. Это стало ее нарицательным именем и даже проявилось в названиях книг (например, «Голубая точка» Карла Сагана. М.: Альпина нон-фикшн, 2016). О том, что Земля голубая, ученые узнали еще в начале XX в. благодаря работам российских астрономов Г. А. Тихова и С. С. Гальперсона, которые наблюдали отраженный от Земли свет, падающий на темную сторону лунного диска — так называемый «пепельный свет Луны». Кстати, по-английски это явление ученые называют именно «earthshine» — «отблеск Земли», хотя иногда используется и «Moon's ashen glow» — «пепельный свет Луны», и даже поэтичное народное «the old Moon in the new Moon's arms» — «старая Луна в объятьях молодой». Можно вспомнить, что еще Аристотель полагал, будто бы лунный диск — это зеркало, в котором отражается Земля. Сколь наивными казались эти мысли в эпоху Просвещения! Но оказалось, что в определенном смысле древнегреческий мудрец был прав: в начале XX в. астрономы, глядя на Луну, изучали Землю!

Детали этого исследования мы узнаем из статьи Гавриила Адриановича Тихова, опубликованной в журнале «Природа» (1914, № 12). К ней мы уже обращались в задаче о пепельном свете Луны. В этой статье в разделе «Цвет пепельного света» Тихов пишет:

Несколько лет тому назад мне пришла в голову мысль исследовать при помощи фотографии цвет пепельного света, чтобы таким образом составить понятие о том, какого цвета кажется из пространства наша Земля. Для решения этой задачи я начал производить снимки пепельного света и серпа через разные светофильтры: красный, желтый, зеленый и

фиолетовый. На каждой пластинке фотографировался с длинной выдержкой пепельный свет, а рядом — несколько раз (с короткими выдержками разной продолжительности) серп; при этом выдержки для серпа были, на основании предварительных опытов, таковы, чтобы на каждой пластинке получались среди других и такие изображения серпа, яркость которых равна по возможности яркости пепельного света. Такая серия пластинок позволила определить яркость пепельного света относительно серпа в разных цветах. Таким образом, явилась возможность сравнить цвет Земли с цветом Солнца, так как, повторяем, пепельный свет — это есть Луна, освещенная Землею, а яркий серп — Луна, освещенная Солнцем.

Наблюдения Тихова показали, что

сравнительно с серпом пепельный свет вдвое богаче фиолетовыми лучами, чем красными; при этом яркость увеличивается весьма последовательно при переходе через лучи желтые и зеленые. Уже отсюда мы можем заключить, что Земля, рассматриваемая из пространства, имеет голубоватый цвет. Это заключение, естественно, привело к мысли, что в отражении Землею света в пространство значительную роль играет наша атмосфера, которая, вероятно, и придает Земле голубоватый цвет.

Далее Тихов обращается к работе о голубом цвете неба, опубликованной в 1871 г. знаменитым английским физиком лордом Рэлеем. Основываясь на созданной им теории рассеяния света мелкими частицами, диаметры которых малы по сравнению с длиной световых волн, Рэлей объяснил голубой цвет нашего неба тем, что короткие световые волны рассеиваются такими частицами значительно сильнее, чем длинные: обратно пропорционально четвертой степени длины волны. Так, например, крайние фиолетовые лучи имеют длину волны в два раза меньшую, чем крайние красные, а потому первые рассеиваются в 16 раз сильнее, чем последние. Если же диаметры частиц больше, чем длина волны, то лучи всех цветов рассеиваются

одинаково и мы наблюдаем цвет совершенно белый, как, например, цвет облаков. Тихов заключает:

Таким образом, цвет Земли представляет смесь нормальной синевы неба с значительным количеством белого света; иными словами, Земля имеет цвет сильно белесоватого неба. Смотря на Землю из пространства, мы увидели бы диск указанного цвета.

Ну а если посмотрим издалека, то увидим не диск, а точку. Именно так назвал свою книгу по-английски Карл Саган — «Pale Blue Dot», «бледно-голубая точка». Ведь поводом для этого названия послужил снимок Солнечной системы, переданный 14 февраля 1990 г. «Вояджером-1» с расстояния 6 млрд км (40 а. е.), откуда Земля — точка.

Продолжая наблюдения Луны, Тихов заметил изменения в окраске и яркости пепельного света и заключил:

Мы нашли, что пепельный свет происходит от освещения Луны светом, отраженным нашей атмосферой и всем, что в ней взвешено, а потому, если меняется отражательная способность атмосферы в целом, то должны меняться яркость и цвет пепельного света. Что отражательная способность нашей атмосферы в целом меняется, об этом можно судить по многим фактам. Над каждым данным местом изменения отражательной способности атмосферы очевидны и зависят от облачности неба, прозрачности воздуха и от других метеорологических элементов. Эти изменения в разных местах могут взаимно уравнивать друг друга, но, несомненно, не всегда. Бывают целые месяцы необыкновенной облачности или ясности, захватывающих громадные пространства земной поверхности. Кроме того, бывают периоды, когда вся земная атмосфера становится как бы загрязненной вулканической или даже космической пылью, вызывающей особенно яркие зори. Все это вызывает изменение отражательной способности нашей атмосферы в целом и, как в зеркале,

должно отражаться на яркости и цвете пепельного света. Из этого видно, какой интерес представляют систематические наблюдения пепельного света Луны. Исследуя пепельный свет, мы изучаем нашу Землю в том виде, как она видна из пространства.

Так в начале XX в. ученый нашел способ, чтобы изучать нашу планету «со стороны». Астрономы использовали этот метод. Наблюдая пепельный свет, они выяснили, что его яркость месяц от месяца меняется. Это связывают с интенсивностью облачности на дневном полушарии Земли: чем больше облаков в атмосфере, тем больше солнечного света Земля отражает к Луне. Разумеется, теперь, в эпоху искусственных спутников, непрерывно фотографирующих Землю со всех сторон, метод Тихова выглядит архаичным. Но недавно о нем вспомнили вот по какому поводу.

За последние десятилетия астрономы обнаружили тысячи экзопланет, т. е. планет у других звезд. Среди них есть похожие на Землю. Как узнать, существует ли на них жизнь? В ближайшие годы вступят в строй гигантские телескопы, которые смогут не только получить изображения некоторых землеподобных экзопланет, но и собрать от них достаточно света, чтобы разложить его в спектр для поиска в нем молекулярных линий. Мы надеемся обнаружить *биомаркеры* — молекулы, характерные для земной жизни (другой-то мы пока не знаем!), т. е. молекулы кислорода, воды, метана... Было бы неплохо отработать этот метод на нашей Земле. Но запускать космическую обсерваторию, чтобы она издали посмотрела на Землю, очень дорого. Как же быть?

И тут астрономы вспомнили про метод Гавриила Тихова. Они направили телескоп со спектрометром на темную сторону молодой Луны и узнали, каков спектр нашей планеты при взгляде на нее из далекого космоса. Ведь пепельный свет образуют лучи, трижды прошедшие сквозь земную атмосферу: от Солнца к поверхности Земли, от нее к Луне и обратно к телескопу. Спектр пепельного света в ближнем инфракрасном диапазоне показал, что в нашей атмосфере содержатся двуокись углерода, вода, кислород и озон. Это и есть признаки планеты, на которой присутствует основанная на воде жизнь и происходит фотосинтез. Мощные линии воды, кислорода и озона

отличают спектр Земли от спектров Марса и Венеры. Если фотосинтез на Земле остановится, кислород в атмосфере будет сохраняться не более 6000 лет, так что, когда жизнь на Земле погибнет, кислород исчезнет почти мгновенно. Его наличие служит верным признаком жизни. Именно эти заметные детали в спектрах экзопланет астрономы будут искать в ближайшие годы.

1.18. Пепельный свет

1) Вот как объясняет пепельный свет Луны сам Г. А. Тихов в той же статье:

Причина этого явления хорошо известна со времен Леонардо да Винчи и Местлина, учителя Кеплера, впервые давших верное объяснение пепельному свету. Объяснение Местлина опубликовано в 1604 г. в сочинении Кеплера «*Astronomiae Pars Optica*», объяснение же Леонардо да Винчи, данное на сто лет раньше, найдено в его рукописях.

Представим себе момент, когда Луна проходит между Землей и Солнцем. Если центры всех трех светил лежат близко от одной прямой линии, то для наблюдателя с Земли произойдет полное или частное солнечное затмение. Если же Луна удалена более значительно от прямой Земля — Солнце, то она не будет видна на диске Солнца. Момент прохождения Луны в ближайшем расстоянии от прямой Земля — Солнце носит название новолуния. В этот момент к Земле обращена темная, не освещенная Солнцем сторона Луны, и мы ее не видим вовсе. Но что увидели бы мы, глядя в этот момент с Луны на Землю? Обращенная к Луне сторона Земли обращена в то же время и к Солнцу, а потому с Луны мы увидели бы Землю в виде полного освещенного диска, так сказать, «полноземелие». Этот свет «полной» Земли должен освещать Луну весьма значительно, гораздо сильнее, чем то освещение, которое посылает на Землю полная Луна, так как земной диск, видимый с Луны, имеет поверхность приблизительно в 13 раз бóльшую, чем поверхность Луны, видимая с Земли. За несколько дней до новолуния или через

несколько дней после него, когда Луна удалена на некоторое расстояние от прямой Земля — Солнце, мы видим небольшую часть освещенной Солнцем ее поверхности в виде узкого серпа. В это самое время Земля с Луны кажется несколько «ущербленной», но все еще весьма яркой. Земля освещает Луну, и мы видим пепельный свет рядом с серпом, освещенным самим Солнцем.

Это и есть верное объяснение пепельного света. Как оно ни просто, людям понадобилось несколько тысячелетий занятия астрономией, чтобы найти его. До Леонардо да Винчи и Местлина одни объясняли пепельный свет флуоресценцией Луны, другие (напр., философ древности — Посидоний) — тем, что вещество Луны прозрачно. Знаменитый астроном XVI века Тихо Браге объяснял пепельный свет Луны освещением ее поверхности планетой Венерой.

Пепельный свет дает прекрасный способ сравнить яркость Земли, освещенной Солнцем, с яркостью самого Солнца. В самом деле, яркий серп и пепельный свет Луны представляют собою части одного и того же тела, освещенные соответственно Солнцем и Землею. Поэтому, измерив отношение яркости серпа и пепельного света, можно получить отношение яркости Солнца и Земли. Мы как бы получаем возможность взглянуть на нашу Землю с Луны.

Оказалось, что Земля отражает свет в не меньшей степени, чем планета Венера, которая превосходит в этом отношении все остальные планеты. Известно, что на Венере никогда не видно каких-либо резких и определенных подробностей. Видимые на ней пятна всегда очень слабы и неопределенны. Из этого, а также из-за сильной отражательной способности Венеры заключили, что она всегда покрыта густыми облаками, закрывающими от нас самую ее поверхность. Исследования... приводят к мысли, что Земля наша, рассматриваемая из пространства, весьма схожа с Венерой. Земля также весьма ревниво скрывает от посторонних взоров свою поверхность, закутываясь атмосферой и облаками.

Прервем на этом цитату из статьи Тихова и заметим, что простые методы измерения яркости в ту эпоху не обладали высокой точностью, поэтому полного подобия между Землей и Венерой, как мы теперь знаем, нет. Однако заключение Тихова оказалось близким к реальности: по значению своего геометрического альbedo (т. е. оптической отражательной способности) среди планет земного типа Земля идет вслед за Венерой.

	Луна	Меркурий	Марс	Земля	Венера
Альbedo	0,12	0,142	0,170	0,367	0,67

Одно время казалось, что астрономические исследования планет, которыми занимался Тихов, потеряли актуальность. Действительно, сегодня космические зонды передают с поверхности планет и из их окрестностей такую детальную информацию, какую никогда бы не смогли получить астрономы, наблюдая эти планеты с поверхности Земли. Но в истории науки не раз случалось, что старые приемы обретали новую жизнь.

Сумев задолго до космической эры посмотреть на Землю со стороны, астрономы как бы поставили ее в ряд с другими планетами, изучавшимися тогда дистанционно. В первой половине XX в. были предприняты фотометрические и спектроскопические исследования планет, результаты которых частично подтвердились, а частично были опровергнуты прямыми измерениями космических зондов. На время дистанционные методы потеряли актуальность, но не были забыты. О них вспомнили после 1995 г., когда началась эпоха открытия экзопланет — далеких планет у иных звезд. Вряд ли в обозримой перспективе мы сможем послать к ним исследовательские автоматы, поэтому вся надежда на астрономические методы: работы Гавриила Тихова и его последователей вновь становятся актуальными.

2) Разобравшись с природой пепельного света Луны, мы легко ответим на второй вопрос: поскольку с обратной стороны Луны Земля не видна, то и пепельного света там нет.

3) Поверхностная яркость пепельного света невелика и не всегда способна соперничать с яркостью голубого неба. Чем темнее сумеречное небо, тем легче заметить пепельный свет. Весной Солнце находится близ точки весеннего равноденствия, поэтому после его

захода на западе эклиптика круто поднимается над горизонтом, и молодая Луна, которая всегда недалеко от эклиптики, стоит высоко, на фоне заметно потемневшего сумеречного сегмента неба. Такая же ситуация и осенью на востоке.

1.19. Звездопад

Чтобы получить аккуратную оценку, необходимо сделать некоторые предположения о «наблюдательности наблюдателя». Мой личный опыт подсказывает, что при длительном наблюдении ночного неба поле зрения человека ограничено окружностью диаметром $50 \div 60^\circ$. Значит, в атмосфере, на высоте 90 км, мы охватываем зрением круг радиусом около $90 \text{ км} \times \text{tg}(55^\circ/2) = 37 \text{ км}$. Площадь этого круга около 4400 км^2 . А полная площадь атмосферы на этой высоте равна $4\pi (R_\oplus + 90 \text{ км})^2$, где $R_\oplus = 6371 \text{ км}$ — средний радиус Земли. Вычислим эту площадь «метеорной сферы» и получим около 525 млн км^2 . Следовательно, в атмосфере Земли вспыхивает

$$(5 \div 10) \times \frac{525\,000\,000}{4400} = (5 \div 10) \times 120\,000 \approx 1 \text{ млн}$$

метеоров за час. Это около 24 млн метеоров в сутки. Или около 300 метеоров в секунду.

Масса метеороидов, вызывающих вспышки метеоров, обычно оценивается в 0,01 г. Проверить порядок этой величины мы с вами можем. Используем связь между болометрической звездной величиной (m_b) и потоком энергии вблизи наблюдателя (Сурдин, 2012; статья «Звездная величина»):

$$f = 2,5 \times 10^{-8} \times \text{dex}\{-0,4m_b\} \text{ Вт/м}^2$$

Обозначение « $\text{dex}\{\dots\}$ » означает «десять в степени...». Используя эту формулу для визуального диапазона, перейдем к видимым звездным величинам:

$$f = 2,5 \cdot 10^{-8} \times 10^{-0,4m} \text{ Вт/м}^2.$$

Пусть $m = 3$, расстояние до метеора 100 км, а продолжительность его вспышки составляет 1 сек. Тогда $f = 1,6 \cdot 10^{-9}$ Вт/м², полная мощность вспышки $F = 4\pi f (100 \text{ км})^2 = 200$ Вт, а ее полная энергия $E = 200$ Дж. Весьма произвольно примем эффективность преобразования кинетической энергии метеороида ($MV^2/2$) в свет равной $\eta = 10\%$. При средней скорости метеороида 30 км/с это даст его массу

$$M = \frac{2E}{\eta V^2} = \frac{4000 \text{ Дж}}{(30 \text{ км/с})^2} = 4,4 \text{ мг},$$

что практически не отличается от 0,01 г.

Профессиональные исследователи метеоров дают весьма близкие оценки: «При условии, что метеор достигает 1 звездной величины при скорости вхождения в атмосферу Земли 40 км/с, загорается на высоте 100 км, а потухает на высоте 80 км, при длине пути в 60 км и расстоянии до наблюдателя в 150 км, продолжительность полета составит 1,5 сек, а средний размер составит 0,6 мм при массе 6 мг» (Петров В. Н. Некоторые проблемы физики метеоров // УФН. 1939. Т. 22, вып. 4. С. 449).

Итак, мы выяснили, что принимаемая обычно масса частицы, вызывающей вспышку метеора, действительно порядка 0,01 г. Это масса пляжной песчинки. Умножив эту массу на количество наблюдаемых в сутки метеоров (24 млн), получим 240 кг/сут. В год это около 100 т. Весьма мало по сравнению с массой самой Земли.

Разумеется, кроме тех частиц, что регулярно вызывают вспышки метеоров, еще бывают кратковременные, но обильные метеорные дожди, изредка падают крупные метеориты и невидимыми остаются многочисленные очень мелкие частицы. Например, если раз в столетие падает метеорит размером 20 м (Тунгусский, Челябинский), то в среднем это дает еще 100 т/год.

1.20. Месяц всходит и заходит...

Тут сразу две астрономические неточности. Во-первых, период между восходами Луны около 25 часов, поэтому бывают сутки без восходов Луны. Во-вторых, по этой же причине (25 часов длиннее

солнечных суток) восходы Луны происходят в произвольное время суток, а не только по ночам.

1.21. Передвинем города

Утверждение Б. Паркера неверно. На разных (по абсолютной величине) широтах одинаковое линейное смещение по-разному изменяет долготу, поскольку длина параллелей зависит от широты. Расположение городов, а значит, и расстояние между городами, лежащими на разных широтах, при этом изменится. Это легко понять на простом примере. Пусть два города лежат на одном меридиане. Передвинем их по долготе на одинаковое линейное расстояние. После этого они окажутся на разных меридианах, но на исходных широтах. Теперь расстояние между ними определяется длиной гипотенузы, хотя исходное расстояние было лишь катетом в этом треугольнике. А гипотенуза, как известно, длиннее катета.

Похоже, Б. Паркер знаком лишь с плоской картой Земли и никогда не видел глобуса. И пример для иллюстрации своего утверждения он выбрал крайне неудачный, поскольку широты Нью-Йорка ($40^{\circ} 3' 42''$ с. ш.) и Лос-Анджелеса ($34^{\circ} 02' 00''$ с. ш.) существенно различаются. Вот если бы он выбрал Сан-Франциско и Вашингтон, ошибка была бы намного меньше.

1.22. «Наутилус» на Южном полюсе

Во-первых, подводной лодке не попасть на Южный полюс, поскольку Антарктида — это материк, а не океан, покрытый льдом, как Арктика. Во-вторых, созвездие Южный Крест не может быть в зените над Южным полюсом, поскольку оно располагается на расстоянии около 30° от южного полюса мира. Это ошибки писателя. А в чем же он неожиданно оказался прав? Если лодка подошла по открытой воде к границе антарктических льдов зимой, то она остановилась приблизительно на 60° ю. ш. Там один раз в сутки Южный Крест в зените. К концу лета граница льдов прижимается к берегу материка и проходит между 65° и 70° . Но и на этих широтах Южный Крест поднимается почти в зенит.

1.23. Урожайная Луна

В период осеннего равноденствия на северной широте около 67° , когда и где по вечерам в момент восхода точки весеннего равноденствия эклиптика располагается вдоль горизонта. Наклон лунной орбиты к эклиптике в расчет не принимаем, поскольку он невелик.

В самом деле, период осеннего равноденствия Солнце находится вблизи точки осеннего равноденствия, следовательно, Луна в период полнолуния располагается вблизи точки весеннего равноденствия. Если наблюдатель на широте 67° с. ш., то небесный экватор пересекает его небесный меридиан на высоте 23° от горизонта. В момент захода Солнца одна точка эклиптики (точка осеннего равноденствия, та, где Солнце) лежит на горизонте. Дальше к югу эклиптика проходит ниже небесного экватора на 23° , а значит, вся эклиптика в момент захода Солнца совпадает с математическим горизонтом.

Если забыть о небольшом наклоне лунной орбиты, то можно считать, что и она движется по эклиптике. Следовательно, в конце сентября полная Луна в течение нескольких дней восходит в момент захода Солнца, то есть практически в одно и то же время. Это очень удобно для крестьян в период сбора урожая, поскольку после захода Солнца сразу появляется «ночное светило» и можно продолжать полевые работы. В другие сезоны полная Луна каждый следующий вечер восходит почти на час позже, поскольку ежедневно перемещается по эклиптике на 13° , а эклиптика образует с горизонтом довольно большой угол.

Разумеется, на широте 67° полевые работы не особенно продуктивны, но и на значительно более южных широтах эффект «урожайной Луны» вполне заметен. Даже на широте 40° последовательные восходы Луны сдвигаются на полчаса, а не на 50 мин, как в среднем в течение года.

1.24. Горы и долины

Действительно, высочайшая гора на Земле — Эверест (8848 м) меньше глубочайшей Марианской впадины, а точнее, ее самой глубокой точки — Бездны Челленджера (10 994 м), если ту и другую

мерить от уровня моря. И горные цепи, и морские желоба возникают в результате движения литосферных плит, их наплзания друг на друга, подныривания или выжимания при столкновении. Гора растет до тех пор, пока своей тяжестью она не продавливают основание. Это легко проверить. Удельный вес пород земной коры около $\rho = 3000 \text{ кг/м}^3$. Прочность на сжатие гранита около $\sigma = 300 \text{ МПа}$. Подсчитаем, какова максимальная высота гранитного столба (L), который начинает своим весом (ρL) разрушать свое основание (мы помним, что один килограмм силы примерно равен 10 ньютонам):

$$L = \frac{300 \text{ МПа}}{3000 \text{ кг/м}^3} = 10 \text{ км.}$$

Как видим, на Земле невозможны горы высотой более 10 км, что и доказывает Эверест. Впрочем, слава Эвереста не вполне заслуженная: на нашей планете найдутся горы и выше Эвереста. Чемпионом высоты считается потухший вулкан Мауна-Кеа, высочайшая вершина острова Гавайи (4205 м над уровнем моря). Дело в том, что большая часть этой горы находится под водой. Относительно подножия, находящегося на дне Тихого океана, ее высота составляет 10 203 м. Даже удивительно, что наша оценка оказалась такой точной.

Океанический желоб тоже можно представить как долину между двух гор. Давление на основание этих гор создает их собственный вес, а также вес столба воды над ними. Глубина океана рядом с Марианским желобом около $H = 3500 \text{ м}$, плотность воды около 1000 кг/м^3 . Отсюда для максимальной глубины желоба:

$$(L - H) \times 3000 \text{ кг/м}^3 + H \times 1000 \text{ кг/м}^3 = 300 \text{ МПа}$$

Окончательно получаем глубину скального основания Марианской впадины около 12 км. Измеренная глубина составляет около 11 км, но не исключено, что разницу в 1 км заполняют рыхлые морские осадки, скопившиеся в Марианской впадине. Так или иначе, перепад высот примерно в 10 км как вверх, так и вниз относительно уровня твердой земной поверхности определяется прочностью и удельным весом пород.

Эти же рассуждения можно отнести и к другим телам Солнечной системы с учетом плотности и прочности их пород, а также силы тяжести на поверхности. Например, если плотность и прочность марсианской коры такая же, как земной, а сила тяжести в 2,6 раза меньше, то высочайшие горы на Марсе должны достигать $2,6 \cdot 10 \text{ км} = 26 \text{ км}$. Действительно, именно такова высочайшая вершина Марса — гора Олимп.

Можете продолжить эти изыскания в отношении других планет. А если наша простая теория не будет «сходиться» с наблюдениями, то подумайте — почему?

1.25. Короткие сумерки

Сумерки — это период плавного перехода от дневного света к ночной темноте и обратно. Это время суток, когда Солнце находится под горизонтом (перед рассветом или после заката), но еще или уже виден солнечный свет, рассеянный в верхних слоях земной атмосферы. Сумерки наблюдаются на любой планете, имеющей атмосферу, но нас сейчас интересуют земные сумерки, продолжительность которых диктуется свойствами земной атмосферы, наклоном земной оси и положением наблюдателя.

Продолжительность сумерек определяется промежутком времени между заходом Солнца и временем, когда надо прибегать к искусственному освещению; зависит от географической широты места, сокращаясь с приближением к экватору. При ясном небе гражданские сумерки заканчиваются, когда Солнце опускается на 6° под горизонт; в этот момент становится трудно различать окружающие предметы и требуется включать искусственное освещение. Навигационные сумерки заканчиваются, когда Солнце опускается на 12° под горизонт; в этот момент на чистом небе становятся видны яркие (навигационные) звезды. А когда Солнце опускается на 18° , заканчиваются астрономические сумерки и окончательно наступает ночь.

В районе экватора независимо от сезона солнечный диск пересекает горизонт почти перпендикулярно и поэтому опускается очень быстро. Легко оценить, какова продолжительность суток на экваторе. За час солнечный диск проходит по небу $15^\circ (= 360^\circ/24 \text{ ч})$.

Поэтому продолжительность гражданских сумерек составляет $60 \text{ мин} \times 6^\circ/15^\circ = 24 \text{ мин}$. Навигационные сумерки заканчиваются после захода Солнца через $60 \text{ мин} \times 12^\circ/15^\circ = 48 \text{ мин}$, а астрономическая ночь наступает через $60 \text{ мин} \times 18^\circ/15^\circ = 1 \text{ час } 12 \text{ мин}$. Мы не стали здесь учитывать атмосферную рефракцию и годичное движение Солнца, поскольку это слабые эффекты.

Наши вычисления довольно точно согласуются с субъективными впечатлениями путешественников, побывавших в районе экватора. Из записок туриста, побывавшего на о. Пхукет (Таиланд, широта около 8° с. ш.):

Еще только полчаса назад солнце нещадно палило над головой, и вы не знали, куда же от него скрыться, а уже сейчас вокруг вас крошечная тьма. Причем наступила она так быстро, что вы даже не успели насладиться погружающимся в море солнцем. А времени всего лишь чуть больше 18 часов...

1.26. Полная Луна

Судя по описанию, Солнце только что скрылось за горизонтом, значит, полная Луна должна была только что появиться из-за горизонта и никак не могла быть видна «в высоте». К тому же лунный диск должен был иметь красноватый оттенок, как у любого светила вблизи горизонта (из-за сильного рассеяния голубых лучей в атмосфере).

1.27. Арктический НЛО

Валентин Иванович Аккуратов (1909–1993) — действительно архипытный полярный летчик, легендарный человек. В его профессиональных знаниях трудно сомневаться. Однако в приведенном тексте, якобы записанным с его слов, есть грубая географическая ошибка, которая говорит о том, что «охотники за НЛО» обладают поверхностными знаниями и некритически относятся к своим текстам. Все направления от Северного полюса лежат строго на меридианах и являются направлениями на юг, поэтому опытный штурман не мог указать направление «к юго-юго-востоку от Северного

полюса». Такого направления не существует. А значит, и точку встречи самолета с НЛО на карте найти невозможно.

1.28. Календарь Магеллана

Корабельный календарь отстал на 1 день. Обогнув Землю с востока на запад, моряки совершили на 1 суточный оборот меньше, чем неподвижный порт на материке, откуда они vyplыли и куда вернулись.

1.29. Прохождения Венеры

1) Орбита Венеры наклонена к эклиптике на $3,4^\circ$, а угловой размер солнечного диска, наблюдаемого с Земли, $0,5^\circ$, поэтому мы можем увидеть Венеру на фоне Солнца только в те моменты, когда она и Земля находятся вблизи одного из узлов орбиты Венеры. Долгота ее восходящего узла $76,7^\circ$. Чтобы Земле от точки весеннего равноденствия (21 марта) пройти такой путь по своей орбите (считаем ее круговой), требуется

$$\frac{76,7^\circ}{360^\circ} \times 365 \text{ сут} = 78 \text{ сут.}$$

Получаем дату возможного прохождения Венеры по Солнцу в районе восходящего узла:

$$21 \text{ марта} + 78 \text{ сут} = 7 \text{ июня.}$$

Конечно, дата приблизительная, поскольку календарь конкретного года (либо простого, либо високосного) может менять ее на 1–2 дня. К тому же угловой размер Солнца делает возможным прохождение по его диску в пределах 2–3 дней до или после пересечения Венерой эклиптики ($0,5^\circ / \sin 3,4^\circ = 8,4^\circ$; их Венера проходит за 5 суток). Ну а вторая возможная дата прохождения наступает, когда Земля проходит у нисходящего узла венерианской орбиты — полгода спустя.

2) Через окрестности узла орбиты Венеры должны одновременно пройти Земля и Венера с точностью до 2–3 сут, т. е. до $1/100$ года.

Орбитальный период Венеры — 0,61521 года. Умножая его последовательно на целые числа (1, 2, 3, ...), впервые получим целое число с точностью выше $\frac{1}{100}$ при умножении на 13:

$$0,61521 \text{ года} \times 13 = 7,998 \text{ года.}$$

То есть через 13 оборотов Венеры и 8 оборотов Земли они снова сходятся у того же узла орбиты Венеры.

3) В этом случае нам надо решить уравнение:

$$0,61521 \text{ года} \times (k + 0,5) = (n + 0,5) \text{ года,}$$

где k и n — целые числа, с точностью до $\frac{1}{100}$.

Приводим уравнение к виду

$$0,61521 k - 0,192395 = n$$

и методом перебора находим пары ($k = 171, n = 105$) и ($k = 197, n = 121$).

1.30. Инспекция

Начальник станции был вежливый человек. Он согласился с замечанием и пообещал исправить оплошность. «Однако, — добавил он, — поскольку станция находится на свободно дрейфующей льдине, которую течением и ветром сносит иногда на несколько километров в сутки, отметку земной оси придется каждый день переставлять. Для этого понадобится дополнительная штатная единица, а также снегоход или вертолет и топливо». Руководитель комиссии замахал руками и сказал, что в смету эти расходы не заложены, дополнительных фондов нет и он не выделит на это ни копейки. Начальник станции пожалел, что такая хорошая идея не может быть реализована. «Бюджет — святое дело», — вздохнул он, и дискуссия о земной оси завершилась к обоюдному удовольствию. Мораль: учитесь разговаривать с чиновниками!

1.31. Эх, раз! Еще раз?

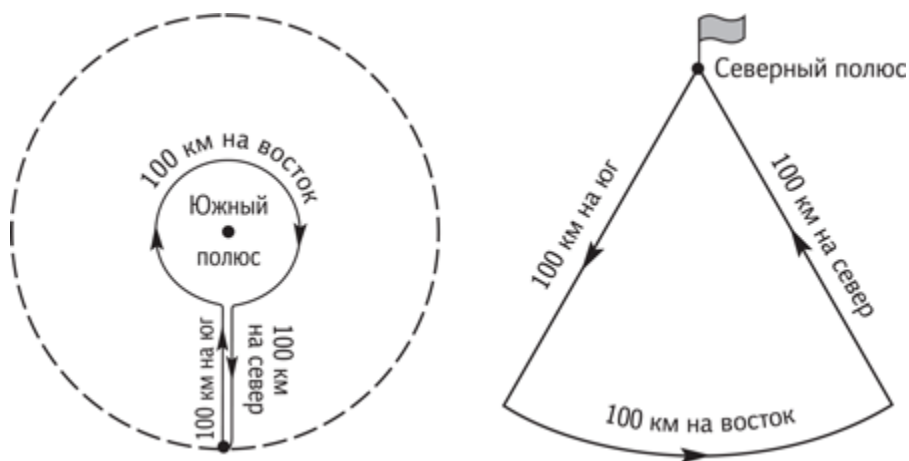
Как известно, звездные сутки длятся 23 часа 56 минут. Следовательно, в следующий раз звезда взойдет в 23:57 того же дня. Но между двумя восходами звезда должна пересечь линию горизонта при заходе. Следовательно, в течение текущих суток звезда появится на горизонте еще как минимум дважды.

Но и это не предел! Звезда может проходить видимую (из данного места) часть своего пути очень низко над горизонтом, и тогда после второго восхода она еще может успеть сесть за оставшиеся до окончания суток три минуты. Поэтому полный ответ: звезда пересечет горизонт еще минимум 2, но, возможно, и 3 раза.

1.32. Замкнутый маршрут

Задача кажется очень легкой: искомая точка — Северный полюс. Но не торопитесь: существуют и другие решения.

Кроме одной точки на Северном полюсе существует также бесконечное множество точек в окрестности Южного полюса, также удовлетворяющих условию задачи. Они лежат на концентрических окружностях с центром в Южном полюсе, имеющих радиусы $R_k = 100 \times (1 + \frac{1}{2} \pi k)$ км, где $k = 1, 2, 3, \dots$. Например, при $k = 1$ мы выходим с расстояния около 116 км от полюса и, двигаясь на юг, приближаемся к нему до расстояния 16 км. Затем поворачиваем на восток и обходим вокруг полюса целый круг (длина окружности $2\pi \cdot 16 = 100$ км. Затем по уже пройденному пути возвращаемся на север в исходную точку. При $k = 2$ придется сделать два обхода вокруг полюса по кругу вдвое меньшего размера. При этом движение происходит все время строго на восток. Между расстояниями 116 и 100 км от Южного полюса заключено бесконечное число окружностей, все точки которых удовлетворяют условию задачи.



Решая эту задачу, мы считали поверхность Земли в районе полюса плоской, поскольку расстояния невелики. Но можно было бы учесть кривизну Земли. Это имело бы смысл, если бы в условии задачи был задан путь не 100 км, а 1000 км, 10 000 км, 20 000 км. Попробуйте решить эту задачу с такими условиями. Последнее из них особенно интересно. Землю мы считаем шаром с окружностью 40 000 км по экватору.

1.33. На все четыре стороны

Такие точки расположены на параллели, отстоящей на 5 км к югу от экватора.



1.34. Небо вверх ногами

Перемещение наблюдателя из Восточного в Западное полушарие принципиально не меняет ориентацию созвездий относительно

горизонта (это происходит только при существенном изменении широты, например при перемещении из Северного полушария в Южное). Тем не менее небольшое, но заметное даже для любителя астрономии изменение вида звездного неба при переезде из Москвы (широта около 56°) в Сан-Франциско (широта около 38°) все же происходит.

1.35. Что позади?

Позади фотографа — Солнце вблизи горизонта.

1.36. Зимний пейзаж

Судя по фазе Луны в виде тонкого месяца, она либо близка к новолунию, либо недавно прошла через него, т. е. расположена на небе недалеко от Солнца. Значит, это либо раннее утро перед восходом Солнца, либо ранний вечер, сразу после захода Солнца. Чтобы сделать однозначный выбор, нам нужно знать, в каком полушарии Земли находится эта местность. Если это Северное полушарие, то ориентация лунного серпа подсказывает, что на картине изображен вечер в средних широтах, если Южное — то утро в средних широтах. Однозначный выбор сделать невозможно. Однако общий вид пейзажа и строений на нем скорее соответствует Северному полушарию. Поэтому с большой вероятностью это вечер.

О хорошей наблюдательности художника говорит тот факт, что он не забыл изобразить пепельный свет на темной стороне молодой Луны и правильно сориентировал «рога» лунного серпа, не направив их вниз (чем нередко грешат ненаблюдательные художники). Лунный серп у горизонта всегда имеет форму «лодочки», ориентированной «рогами» вверх и выпуклым «доньшком» вниз, поскольку Солнце освещает Луну в этой фазе из-под горизонта. В экваториальных областях Земли «лодочка плывет» почти параллельно горизонту, в средних широтах — под наклоном, и чем ближе к полюсу, тем сильнее поднимается «нос лодочки» и опускается «корма». Но «лодочка» никогда не переворачивается.

1.37. Подзорная труба

Поскольку действие происходило практически на уровне моря, в трубу с любым увеличением поверхность моря видна не далее чем на 5–6 миль. На этом расстоянии проходит линия горизонта. Но если бы персонаж романа воскликнул: «Господа, миль на 100 квадратных вокруг не видно обломков кораблекрушения!», то он был бы прав: при $R = 5,5$ км площадь круга $\pi R^2 \approx 100$ км².



2. Визит в обсерваторию

2.1. Темная сторона Луны

В момент солнечного затмения ночная сторона Луны освещена солнечным светом, отраженным дневной стороной Земли. Это слабое сияние называют «пепельным светом Луны».

2.2. Тропики

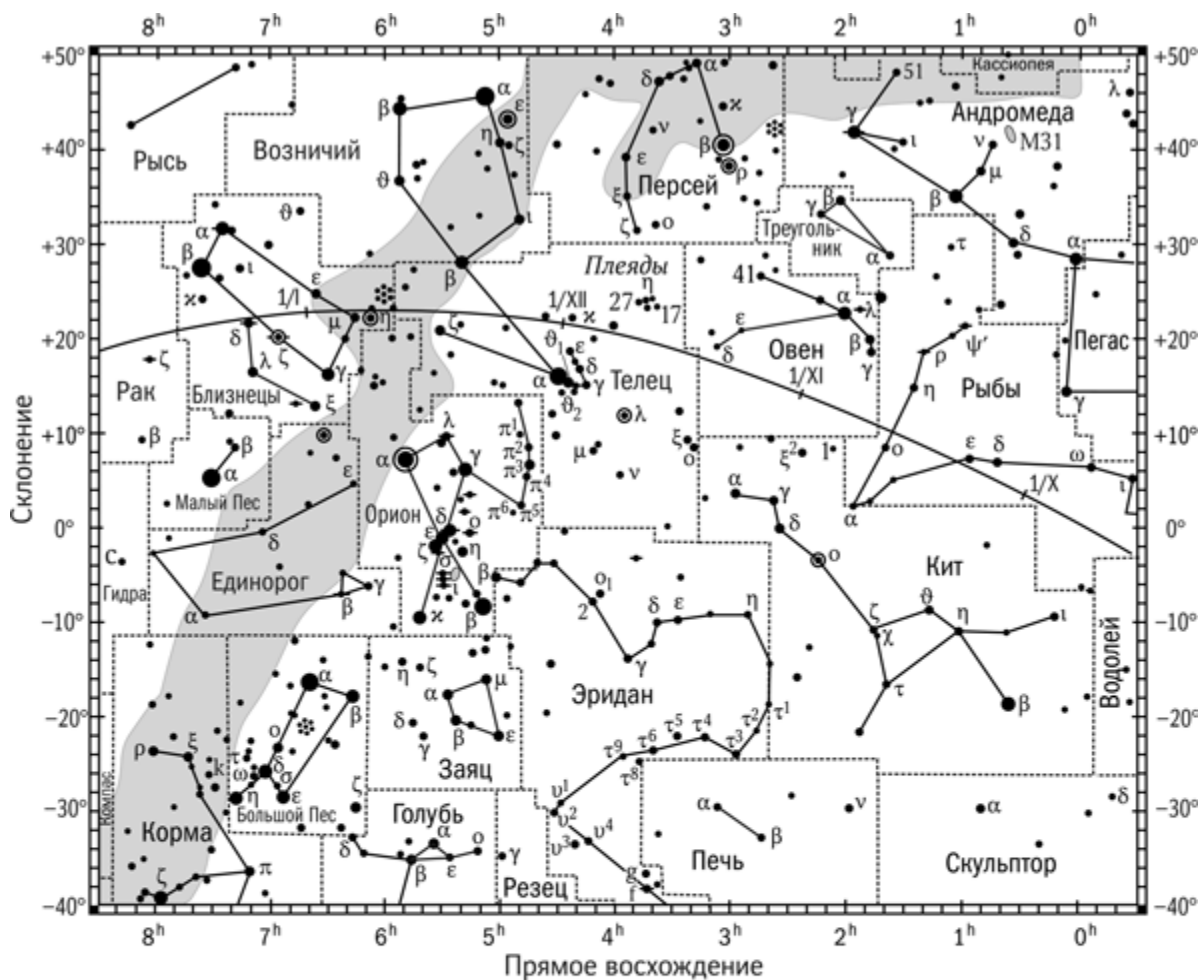
Между тропиками заключен тот широтный пояс Земли, где солнце хотя бы раз в году достигает зенита. Широта тропиков, естественно, связана с наклоном земной оси ($23,5^\circ$ относительно перпендикуляра к плоскости земной орбиты, т. е. к эклиптике). В день летнего солнцестояния солнце проходит через зенит на широте северного тропика, а день зимнего солнцестояния — на широте южного. В эти дни солнце, перемещаясь по эклиптике, максимально удаляется от небесного экватора. Само слово «тропик» произошло от греческого *τροπικός* (поворот) и связано с «разворотом» движения Солнца от небесного экватора к нему в день солнцестояния.

Если мы посмотрим на современную карту звездного неба, то увидим, что точка летнего солнцестояния на эклиптике лежит на границе созвездий Близнецы, Орион и Телец, а созвездие Рак находится значительно восточнее, на расстоянии $2 \div 3^h$ (т. е. $30 \div 45^\circ$) по прямому восхождению. То же самое мы увидим и в отношении южного тропика: сегодня точка зимнего солнцестояния располагается в Стрельце, на расстоянии $2^h \div 3^h$ по прямому восхождению от Козерога. И это не случайно.

Ось Земли, а вместе с ней и земной экватор со своим продолжением, небесным экватором, испытывают прецессию — медленное конусообразное движение вокруг полюса эклиптики. Вызвано это движение гравитационным влиянием Луны и Солнца на экваториальную выпуклость Земли. Вследствие прецессии небесный экватор поворачивается с периодом 25 800 лет в направлении суточного движения светил, а точки его пересечения с эклиптикой

(точки равноденствия) перемещаются навстречу видимому годичному движению Солнца по эклиптике со скоростью около $50''$ в год, делая более ранними (т. е. предваряя) моменты равноденствий. Слово «прецессия» как раз и происходит от латинского *praecessio* — предварение.

Вместе с точками равноденствия перемещаются по эклиптике и точки солнцестояния, отстоящие от них на 90° . За 2000 лет это перемещение происходит почти на 30° к западу по прямому восхождению (наклон эклиптики к экватору при этих оценках можно не учитывать, поскольку в областях солнцестояния небесный экватор и эклиптика практически параллельны). Таким образом, 2÷3 тысячи лет назад точки солнцестояний действительно были на территории современных созвездий Рак и Козерог. Разумеется, в древности не существовало нынешних точных границ созвездий, но их традиционные фигуры (астеризмы) были на тех же местах. Поэтому можно заключить, что представление о тропиках сложилось около 2500 лет назад.



Обозначения

Звёздная величина: ● 1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5

☼ Звёздное скопление

— 1/V — Эклиптика

◆ Двойная или кратная звезда

◎ Переменная звезда

■ Млечный Путь

Современная карта участка звездного неба, содержащего на эклиптике точку летнего солнцестояния (ее прямое восхождение = 6^h). Сетка экваториальных координат эпохи 1900 г. Границы созвездий проходят вдоль небесных меридианов и параллелей эпохи 1875 г. На эклиптике отмечены даты, когда проходящие через них небесные меридианы кульминируют в среднюю полночь

2.3. Вакуумный телескоп

Солнечное излучение сильно нагревает трубу телескопа, отчего возникают мощные турбулентные потоки воздуха, портящие изображение Солнца. Вакуумный телескоп лишен этого недостатка.

2.4. Взгляд со стороны

Вторая звезда этой системы — полный аналог нашего Солнца. Следовательно, и Солнце на небе той гипотетической планеты будет иметь блеск около $5,22^m$. Абсолютная звездная величина Солнца $M_V = +4,82^m$, следовательно, расстояние до него (а также от него до Дзеты Сетки) составляет

$$R = 10 \times 10^{(m - M)/5} = 12,0 \text{ пк.}$$

Межзвездным поглощением света на столь ничтожном расстоянии мы, естественно, пренебрегли. Эта оценка расстояния, сделанная методом спектрального параллакса, чрезвычайно точно совпадает с прямым измерением расстояния Дзеты Сетки, полученным методом тригонометрического параллакса ($p = 0,0833'' \pm 0,0002''$, $R = 12,01 \pm 0,03$ пк).

Положение Солнца на небе той планеты определим как диаметрально противоположное положению Дзеты Сетки на нашем небе, т. е. Солнце будет видно в направлении $\alpha = 15^h 18^m$, $\delta = +62^\circ 32'$. На нашем небе эта точка находится в созвездии Дракон, недалеко от границы с Большой Медведицей. Поскольку Дзета Сетки недалеко от нас, рисунок ее звездного неба не должен сильно отличаться от нашего. Хотя имена созвездий там, конечно, иные.

Оценим скорости движения звезд в системе Дзеты Сетки. Минимальное расстояние между компонентами составляет $L = 12 \text{ пк} \times 5,2'/3438$ (это количество минут в радиане) $= 0,018 \text{ пк} = 3700 \text{ а. е.}$ Будем считать обе звезды аналогами нашего Солнца. Тогда расстояние каждой от центра массы системы составляет $L/2$, а центростремительное ускорение — $GM_\odot/L^2$. Отсюда найдем орбитальную скорость v :

$$\frac{v^2}{L/2} = \frac{GM_\odot}{L^2},$$

откуда

$$v = \sqrt{\frac{GM_{\odot}}{2L}}.$$

Чтобы упростить вычисления, вспомним, что $\sqrt{GM_{\odot}/1}$ а. е. = 30 км/с — орбитальная скорость Земли. Значит, если L выражена в астрономических единицах, то $v = (30/\sqrt{2})/\sqrt{L}$ км/с = $21/\sqrt{L}$ км/с. При $L = 3700$ а. е. орбитальная скорость компонентов этой двойной звезды составит 0,35 км/с. И это ее максимальное значение, поскольку из наблюдаемого углового расстояния между компонентами мы нашли их минимальное разделение в пространстве. Значит, независимо от положения компонентов на орбите, лучевая скорость Солнца относительно родительской звезды той планеты будет около +12 км/с.

2.5. Дневные звезды — 1

Разумеется, красота ночного звездного неба днем недоступна. В этом наш астроном прав. Тем не менее, имея телескоп, можно увидеть звезды даже днем! Не все, а лишь наиболее яркие.

Прежде всего давайте подумаем, почему звезды днем не видны? Да просто потому, что небо яркое от рассеянного солнечного света. Если по какой-то причине рассеянный свет ослабнет, например произойдет полное солнечное затмение, то яркие звезды и планеты станут прекрасно видимыми днем. Так же хорошо они видны в открытом космическом пространстве или с поверхности Луны. Почему же рассеянный в атмосфере солнечный свет скрывает их от нас? Ведь свет звезд при этом не ослабевает.

Чтобы понять это, нужно представлять себе механизм нашего зрения. Как известно, объектив глаза (т. е. роговица и хрусталик) создает изображение на задней поверхности глаза, покрытой светочувствительным слоем — сетчаткой, которая содержит большое число специализированных клеток — фоторецепторов, элементарных приемников света. Они передают в мозг информацию о потоке падающего на них света, а мозг синтезирует из этих отдельных сообщений (сигналов) цельную картину увиденного.

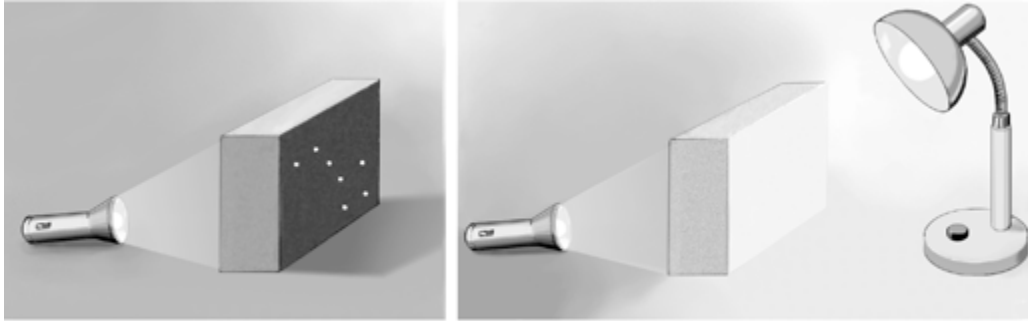
Глаз — очень сложный приемник информации, и в некотором роде он подобен «умному» электронному устройству, например радиоприемнику. У глаза также есть система автоматической

регуливировки усиления, которая снижает его чувствительность при ярком свете и повышает в темноте. Есть у него и система шумоподавления, которая сглаживает случайные флуктуации светового потока как по времени, так и по поверхности сетчатки. Эта система имеет определенные пороговые характеристики, поэтому глаз не замечает быстрых изменений изображения (принцип кино) и малых флуктуаций яркости.

Когда мы наблюдаем звезду ночью, поток света от нее на один фоторецептор хотя и мал, но существенно превосходит поток от темного неба, падающий на соседние рецепторы. Поэтому мозг фиксирует это как значимый сигнал. Но днем на все рецепторы падает так много света от неба, что небольшая добавка в виде света звезды, приходящая на один из этих элементов, не ощущается мозгом как реальное различие потоков света, а «списывается на флуктуации».

Звезда может стать видимой на фоне дневного неба только в том случае, если поток света от нее сравним с потоком от площадки неба, которую зрачок проецирует на одну светочувствительную клетку. Угловой размер этой площадки называется угловой разрешающей способностью человеческого глаза и составляет около 1'.

Из всех звездообразных объектов лишь Венера иногда видна на дневном небе. Увидеть ее очень непросто: небо должно быть идеально чистым, и нужно хотя бы приблизительно знать, в каком месте на небе в данный момент находится Венера. Все остальные планеты и звезды имеют блеск значительно слабее, чем у Венеры, поэтому увидеть их без телескопа днем совершенно невозможно. Впрочем, некоторые астрономы утверждают, что при идеальных условиях им удавалось днем наблюдать Юпитер, который в несколько раз слабее Венеры. Но вот ярчайшую звезду нашего небосвода — Сириус — пока еще никому не удалось увидеть днем на уровне моря. Говорят, что его видели высоко в горах, на фоне темно-фиолетового неба.



Опыт, демонстрирующий исчезновение звезд при дневном свете

Довольно легко убедиться, что яркий фон скрывает от нас светлые точки. Вот что советует по этому поводу Яков Перельман (1949, с. 155):

Несложный опыт может наглядно пояснить это исчезновение звезд при дневном свете. В боковой стенке картонного ящика пробивают несколько дырочек, расположенных наподобие какого-нибудь созвездия, а снаружи наклеивают лист белой бумаги. Ящик помещают в темную комнату и освещают изнутри: на пробитой стенке явственно выступают тогда освещенные изнутри дырочки — это звезды на ночном небе. Но стоит только, не прекращая освещения изнутри, зажечь в комнате достаточно яркую лампу — и искусственные звезды на листе бумаги бесследно исчезают: это «дневной свет» гасит звезды.

Что же делает телескоп, позволяя нам без труда наблюдать днем ночные светила? Разумеется, объектив телескопа собирает значительно больше света, чем зрачок глаза. Но в этом смысле изображение звезды и неба равноценны — при наблюдении в телескоп поток света от них в глаз увеличивается в одинаковое число раз, приблизительно равное отношению площади объектива к площади зрачка. Гораздо важнее другое — телескоп улучшает разрешающую способность глаза, ведь он увеличивает угловой размер наблюдаемых объектов. При этом та же площадка неба проецируется на большее число фоторецепторов, и значит, на каждый из них приходится пропорционально меньше света. Например, если телескоп увеличивает угловой размер объектов в A раз, то наблюдаемая яркость неба уменьшается в A^2 раз. Однако звезда

имеет очень малый угловой размер, и ее свет по-прежнему попадает на один рецептор.

Но теперь добавочный свет звезды может уже стать «солидным» на фоне уменьшенной яркости неба. Например, при 45-кратном увеличении телескопа яркость неба эффективно снижается в $45^2 \approx 2000$ раз, и на фоне неба становятся видны некоторые — самые яркие — звезды и планеты.

Что же получается: бери телескоп с большим увеличением и можешь рассматривать днем самые слабые звезды? Нет, это не так. Земная атмосфера неоднородна, поэтому изображение звезды размывается и имеет вполне определенный угловой размер, хотя и очень малый. Ночью при хорошей погоде высоко в горах он составляет около 1", а днем на уровне моря — не менее 2–3". Поэтому, если телескоп увеличивает более чем в 30÷60 раз, угловой размер звезды для наблюдателя превышает разрешающую способность глаза и ее изображение попадает на несколько фоторецепторов. Поэтому в более сильном увеличении смысла нет: яркость изображения звезды будет ослабевать так же, как и яркость неба.

Давайте оценим, какие звезды можно увидеть днем в телескоп. В ясную погоду дневное небо имеет яркость примерно -5^m на квадратную минуту дуги, т. е. приблизительно на одну светочувствительную клетку сетчатки. Блеск Венеры около -4^m . Поэтому будем считать, что звезда становится видна, если ее блеск не более чем на 1^m меньше поверхностной яркости неба с квадратной минуты. Как мы выяснили, используя телескоп, мы можем понизить яркость неба не более чем в 2000 раз, т. е. примерно на 8^m . Значит, яркость неба снизится до $(-5^m + 8^m) = 3^m$ с квадратной минуты и станут видны звезды с блеском до 4^m . Опыт астрономических наблюдений показывает, что так оно и есть.

Важное замечание. Если вы сами решите проверить, видны ли звезды днем в телескоп, то запомните, что наблюдать в телескоп звезды днем очень опасно! Ведь ненароком вы можете повернуть трубу в сторону Солнца — и тогда вы ослепнете.

2.6. Дневные звезды — 2

Автор книжки забыл про атмосферу. Именно она, рассеивая солнечный свет, служит ярким фоном, на котором не видно днем звезд. Ранним вечером, когда Солнце уже опустилось под горизонт, звезды не видны из-за рассеянного в атмосфере света. Они плохо видны даже ночью при полной Луне, поскольку и ее свет заметно рассеивается в воздухе. На небесных телах, лишенных атмосферы, звезды днем видны.

2.7. Круги на небе

Если иметь в виду звездные сутки, то каждое светило за это время завершает свою суточную параллель, дважды пересекая при этом любой из альмукантаратов, лежащих между точками верхней и нижней кульминаций светила, а также небесный меридиан, понимаемый в широком смысле — как большой круг, проходящий через зенит и полюсы мира.

Если же иметь в виду солнечные сутки, то возможно и троекратное пересечение этих кругов, если светило стартует вблизи одного из них и пересекает его первый раз не позже чем через 3 мин 56 сек солнечного времени. Частным случаем альмукантарата служит линия математического горизонта, поэтому все сказанное относится и к ней (см. задачу «Эх, раз! Еще раз?» в разделе «Прогулка по Земле»).

Исключениями в этой задаче служат географические полюса Земли, где суточные параллели светил не пересекают альмукантараты (поскольку у них нет кульминаций), а небесный меридиан не определен.

2.8. Масштаб изображения

Поскольку угол мал (что типично для астрономических наблюдений), можно не использовать синусы или тангенсы, а просто составить пропорцию из тех соображений, что $1 \text{ радиан} = 180^\circ/\pi = 57,2958^\circ = 3437,75' = 206265''$ (мы округлили все числа до 6 значащих цифр). Тогда масштаб изображения в фокальной плоскости нашего телескопа составит

$$\frac{1 \text{ рад}}{F} = \frac{1 \text{ рад}}{300 \text{ мм}} = 0,0190986' / \text{мм} = 1,14592' / \text{мм} = 68,7549' / \text{мм}.$$

Кстати, исходя из этих пропорций, в прошлом для астрометрических целей строились специальные инструменты: короткофокусные камеры ($F = 57,3 \text{ см}$) с масштабом изображения $1^\circ / \text{см}$, зонные астрографы ($F = 206 \text{ см}$) с масштабом изображения $100'' / \text{см}$ и нормальные астрографы ($F = 3,44 \text{ м}$) с масштабом изображения $1' / \text{мм}$. При отсутствии электронных калькуляторов в ту эпоху это существенно облегчало измерения и последующие вычисления.

Вернемся к нашему астрографу. Теперь мы можем любой небольшой угол на небе перевести в миллиметры в его фокальной плоскости. Если угловое расстояние между звездами $5'$, то в фокальной плоскости их разделяет $5' / (1,14592' / \text{мм}) = 4,363 \text{ мм}$.

2.9. Миллион снимков «Хаббла»

Будем считать, что 90 % времени «Хаббл» тратит на экспозиции. В году $3 \cdot 10^7$ секунд. За 20 лет это дает $6 \cdot 10^8$ сек. Делим на миллион и получаем среднюю длительность экспозиции: $600 \text{ с} = 10 \text{ мин}$.

2.10. Ртутный телескоп

Ясно, что под «большим скоплением звезд в созвездии Геркулеса» подразумевается Great Globular Cluster in Hercules, т. е. шаровое скопление M13 (NGC 6205). Его склонение $36^\circ 28'$. Если оно проходило точно через зенит (а иначе бы ртутный телескоп его не увидел), то и географическая широта места была такой же. Проверим: современный Ист-Хэмптон (East Hampton) лежит в штате Мэриленд к югу от Балтимора на широте $37^\circ 02'$. Где именно был сарай-лаборатория Вуда, сказать трудно, но поле зрения в $0,5^\circ$ у рефлектора с параболическим зеркалом вполне возможно.

По поводу газет. «Нью-Йорк Таймс» ошиблась в том смысле, что линзы в телескопе все же были — в его окуляре. Хотя понятно, что имелся в виду объектив телескопа. Вторая газета оказалась еще менее аккуратной: ни Луна, ни Марс далеко от эклиптики не отходят (не

более чем на $5\div 6$ градусов), поэтому на широтах севернее 30° видны в зените быть не могут. В балтиморской *The Sun* этого не знали.

Следует заметить, что физики, коллеги Вуда, не до конца оценили его изобретение. В книге Сибрука читаем:

Артур Гордон Вебстер, тогда руководитель отделения физики в Университете Кларка, одним из первых посетил Ист-Хэмптон. Он добродушно посмеялся над ртутным телескопом и написал в книгу гостей Вуда стихи. Вот они в переводе на русский:

Динг, донг, звон,
В колодце он.
Что же Вуд взял в путь?
Лоханку, и в ней ртуть.
Что же вышло из сего?
Почти что ничего!

Однако астрономы оказались более прозорливы. Астроном В. Х. Пикеринг тоже приехал к Вуду, и, когда тот разрешил при нем квадруплет (четверную звезду) Эпсилон Лиры в свой телескоп, написал в ту же книгу следующую шутку:

Эпсилон Лиры виден прекрасно,
Зеркало истину ищет,
Значит, совсем не напрасно.

Его брат, еще более знаменитый, Эдуард Пикеринг, директор Гарвардской обсерватории, сказал, среди горячки и возбуждения вокруг нового изобретения: «Я думаю, лучше подождать...». Сам Вуд, найдя на стене коровника старую надпись карандашом: «Май 1860. Первый теленок», добавил к ней другую: «Июнь 1908. Ртутный телескоп» — и был вполне согласен с Пикерингом.



Р. Вуд у зеркала

Действительно, ждать пришлось долго. Небольшие неподвижные ртутные зеркала астрономы в течение всего XX века использовали в качестве искусственного горизонта, однако строить большие вращающиеся зеркала с вогнутой поверхностью не решались, опасаясь ядовитых испарений ртути. Но в конце XX в. способ нашелся: налив тонкий слой прозрачного полимера поверх ртути, можно не опасаться ее испарений. В наши дни ртутные телескопы используются в некоторых обсерваториях и достигли диаметра 6 м.

2.11. На мысе Доброй Надежды

Если высота Луны и Солнца над горизонтом одинакова, то атмосферное поглощение света, падающего на гору и приходящего от Луны, также будет одинаковым. Желательно также, чтобы наблюдатель располагался недалеко от горы, чтобы исключить атмосферное рассеяние света между ним и горой.

2.12. Поиск планет у Солнца — 1

Расстояние до α Кентавра составляет $1,33 \text{ пк} = 274 \text{ 000 а. е.}$. Поскольку с расстояния в 1 пк отрезок длиной 1 а. е. виден под углом в

1", максимальные видимые расстояния наших планет от Солнца для кентаврского астронома составят $\alpha_{\max} = (a/1,33)''$, где a — большая полуось орбиты планеты:

Планета	a	$\alpha_{\max}$	m_0	Δ	m
Меркурий	0,4 а.е.	0,3''	−0,2 ^m	0,92 а.е.	27 ^m
Венера	0,7	0,5	−4,1	0,69	24
Земля	1,0	0,8	(−3)	(0,69)	25
Марс	1,5	1,1	−1,9	0,52	27
Юпитер	5,2	3,9	−2,4	4,2	22
Сатурн	9,6	7,2	+0,8	8,6	23
Уран	19,2	14,4	+5,8	18,2	27
Нептун	30,1	22,6	+7,6	29,1	27
Плутон	39,4	29,6	+14,7	38,4	34

Зная, какой блеск имеют планеты при их наблюдении с Земли в период противостояния или — для Меркурия и Венеры — наибольшей элонгации (m_0), а также зная расстояние до них в этот момент (Δ), мы можем оценить их звездную величину при наблюдении от α Кентавра: $m = m_0 + 5 \lg (274\,000 \text{ а. е.}/\Delta)$.

Вообще говоря, для современных телескопов доступны объекты 22÷25^m, как и угловое разрешение в 0,3÷0,5''. Но нужно иметь в виду, что для астронома, живущего у α Кентавра, Солнце будет сиять ярко, как звезда Вега на нашем небе. Такое соседство исключает возможность обнаружить планету с поверхности Земли. Но если поднять телескоп в космос, то отсутствие рассеянного в атмосфере света сделает эту проблему разрешимой. Например, космический телескоп «Хаббл» обладает угловым разрешением до 0,05'' и проницающей способностью не хуже 26^m (а при особо длительных экспозициях — вплоть до 30^m). Разумеется, космический телескоп нужно будет снабдить специальной маской, закрывающей свет самой α Кентавра, т. е. превратить его в нечто подобное внеатмосферному солнечному коронографу (такие инструменты принято называть звездными коронографами).

2.13. Поиск планет у Солнца — 2

Если их звезда расположена вблизи плоскости эклиптики, то смогут. Основное влияние на Солнце оказывает Юпитер. Оба они обращаются вокруг общего центра масс: Юпитер со скоростью 13 км/с, а Солнце, соответственно, со скоростью

$$V_{\odot} = \frac{V_{\text{Юп}} M_{\text{Юп}}}{M_{\odot}} = 13 \text{ м/с}.$$

Если эклиптическая широта наших «братьев» равна β , то проекция лучевой скорости Солнца на их луч зрения составляет $13 \text{ м/с} \cos \beta$. Значит, при $\beta > 40^\circ$ они не смогут заметить периодического движения Солнца, а при меньшем угле — смогут.

Заметим, что, когда эта задача впервые была сформулирована в начале 2000-х гг., ее условие (точность 10 м/с) вполне соответствовало уровню развития астрономии тех лет. Однако нынешний (2017 г.) уровень существенно возрос, и уже можно ориентироваться на точность измерения лучевой скорости в 1 м/с. Вычислите, каков будет при этом критический угол β .

2.14. Поиск планет у Солнца — 3

Практически вся масса нашей планетной системы заключена в Юпитере, поэтому в подобных задачах можно рассматривать двойную систему Солнце — Юпитер, обращающуюся вокруг общего центра масс. Расстояние Солнца от центра масс

$$r_{\odot} = \frac{r_{\text{Ю}} M_{\text{Ю}}}{M_{\odot}},$$

где $r_{\text{Ю}}$ — расстояние Юпитера от центра масс, практически совпадающее с радиусом его орбиты (5,2 а. е.). Тогда амплитуда углового перемещения Солнца при наблюдении с α Кентавра при расстоянии до нее D будет

$$\alpha = \frac{206265'' r_{\odot}}{D} = p r_{\odot} (\text{а. е.}) = p r_{\text{Ю}} (\text{а. е.}) \frac{M_{\text{Ю}}}{M_{\odot}}.$$

Положив $M_{\odot}/M_{\text{Ю}} = 1000$, получим $\alpha = 0,751 \times 5,2/1000 = 0,004''$. Значит, астрономы из системы α Кентавра не узнают, что у Солнца есть планеты.

2.15. Снимок издалека

Ясно, что вопрос задан не о расстоянии фотографа от Луны. Поскольку видно, что Луна у горизонта (а что на это указывает?), то расстояние фотографа от Луны такое же, как ее расстояние от центра Земли, 384 000 км (а если бы Луна была в зените?). Значит, нас интересует расстояние до группы людей, наблюдаемых на фоне лунного диска.

Берем линейку и измеряем на картинке рост среднего человека и диаметр лунного диска (разумеется, горизонтальный диаметр, поскольку вертикальный уменьшился за счет дифференциальной атмосферной рефракции, да и виден не полностью). Делим одно на другое и видим, что рост человека укладывается вдоль лунного диаметра 11 раз. Значит, угловой размер роста человека с расстояния наблюдателя составляет $1800''/11 \approx 164''$ (мы приняли угловой диаметр Луны равным $30'$). Этот угол мал, поэтому для расчета можно не пользоваться тригонометрическими функциями, а просто вспомнить, сколько угловых секунд в радиане (примерно 206 265), и найти длинную сторону треугольника: $L = 206\,265/164 = 1258$ (в единицах роста человека). Если человек на снимке имеет рост 175 см, то $L = 1258 \times 1,75 \text{ м} = 2,2 \text{ км}$. Весьма далеко. Сам фотограф (Mark Gee) оценил это расстояние в 2,1 км (<https://alexandrz.com/full-moon-silhouettes>). Неплохое совпадение.

Чтобы убедиться, что мы имели право заменить тригонометрические функции простым отношением углов, вычислим $\sin(164'')$ и $\text{tg}(164'')$. Взяв в руки калькулятор, вы увидите, что значения обеих этих функций с большой точностью равны $1/1258$.

2.16. Наблюдаем Марс

Фламарион имел в виду прецессию оси вращения Марса, вызванную приливным гравитационным влиянием Солнца на

экваториальное вздутие планеты. Период прецессии оценивается примерно в 175 000 лет. По истечении половины этого периода северное полушарие планеты будет повернуто к Земле в эпоху великого противостояния, совпадающую с эпохой прохождения Марса через перигелий.

2.17. Свеча на Луне

На расстоянии 570 км блеск свечи ослабнет на $5 \times \lg 570 = 13,8^m$. Следовательно, свеча на земле (ночью!) будет с орбиты «Хаббла» видна как звезда $13,8^m + 8,25^m = 22^m$. Поэтому «Хаббл» легко заметит ее. А на Луне (расстояние 384 000 км) свеча будет иметь блеск 36^m , что делает ее неразличимой даже для «Хаббла».

2.18. «Модные» телескопы

Телескоп-рефрактор с объективом диаметром более 1 м 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. Ахроматический объектив рефрактора имеет четыре такие поверхности, поэтому потери велики. К тому же тяжелая линза деформируется собственным весом, и созданное ею изображение портится. Телескоп-рефлектор лишен всех этих недостатков, поэтому он может быть значительно крупнее, а для астрономов это очень важно. Разумеется, у рефлектора есть свои недостатки. Поэтому в современных крупных телескопах сочетаются большие зеркала с относительно небольшими линзами.

2.19. Мира Кита

Мира Кита расположена на небе недалеко от эклиптики, всего в 16° . Поэтому ежегодно весной звезда скрывается в лучах Солнца, так что наблюдать ее с Земли невозможно.

2.20. Радионебо

Во-первых, оптические лучи рассеиваются в земной атмосфере значительно сильнее, чем радиоволны. Во-вторых, Солнце — относительно слабый источник радиоизлучения. Оптический поток от Солнца в миллионы раз сильнее, чем от всех прочих источников вместе взятых, за исключением Луны, хотя и она в полнолуние светит почти в полмиллиона раз слабее Солнца. А в радиодиапазоне Солнце не намного превосходит другие ярчайшие объекты. Вкупе со слабым рассеянием радиоволн в атмосфере это делает наше дневное радионебо «темным», позволяя изучать даже слабые радиоисточники. Хотя ночь все же предпочтительнее даже для радиоастрономии.

2.21. За орбитой Плутона

Заметим, что альбедо астероида такое же, как у Луны, а его диаметр в 10 раз меньше. Значит, он будет отражать в 100 раз меньше света, что даст проигрыш на 5^m . Астероид в 100 раз дальше от Солнца, чем Луна. Значит, освещенность его поверхности в 10 000 раз ниже, что даст дополнительный проигрыш на 10^m . Наконец, от Земли астероид в 100×150 млн км / 384 400 км = 39 022 раза дальше Луны, что снижает его блеск в 1,53 млрд раз, т. е. на 23^m . В сумме мы теряем относительно Луны 38^m . Поскольку астероид очень далеко, мы всегда видим его поверхность полностью освещенной Солнцем (фаза = 1,0), следовательно, сравнивать его блеск следует с блеском Луны в полнолуние ($-12,7^m$). В результате блеск астероида будет равен $38^m - 12,7^m = 25,3^m$. Для указанного телескопа он будет недоступен.

2.22. Откуда лучше видно?

Источником возмущения света служит атмосфера Земли. Линейное разрешение составляет $l = \alpha L$, где α — угловое возмущение, L — расстояние от источника возмущения до объекта наблюдения. Пусть $\alpha = 1''$ для ночной атмосферы Земли и $\alpha = 3''$ для дневной.

Будем считать, что земной наблюдатель смотрит на Луну сквозь ночную атмосферу, а лунный наблюдатель смотрит на Землю сквозь

дневную атмосферу Земли. Характерную толщину атмосферы примем равной $L = 15$ км. Тогда атмосферное размытие сделает принципиально возможным наблюдение деталей следующего линейного размера:

— с Луны на Земле днем: $15 \text{ км} \times 3''/206265 = 22 \text{ см}$;

— с Земли на Луне ночью: $380\,000 \text{ км} \times 1''/206265 = 2 \text{ км}$.

Сможет ли телескоп диаметром 10 м с учетом дифракции на его апертуре реализовать такое разрешение? Дифракционное разрешение $(1,22\lambda/D)$ для $\lambda = 5500 \text{ Å}$ и $D = 10 \text{ м}$ составляет около $0,014''$. На расстоянии Земля — Луна это соответствует линейному разрешению $380\,000 \text{ км} \times 0,014''/206265 = 26 \text{ м}$.

Следовательно, возможности наземного телескопа ограничивает неоднородность земной атмосферы, не позволяющая увидеть на Луне детали размером менее 2 км. А возможности лунного телескопа ограничивает лишь диаметр его объектива, не позволяющий различить на Земле детали размером менее 26 м. Чтобы реализовать на земной поверхности линейное разрешение в 22 см, лунный астроном должен был бы иметь телескоп диаметром не менее 1 км!

2.23. Спичка

Предельная чувствительность зрения человека обычно принимается равной $6 \cdot 10^{-17} \text{ Вт}$ (Флиндт, 1992, с. 141). Это соответствует приблизительно 100 квантам света в секунду. Примем для нашей задачи полную мощность спички 1 Вт, ее КПД в оптическом диапазоне 10 %, диаметр зрачка $d = 7 \text{ мм}$ и условие различимости огонька глазом — оптический поток 10^{-16} Вт . Тогда при отсутствии поглощения света расстояние определим из условия:

$$1 \text{ Вт} \times 0,1 \times \frac{\pi/4 \times d^2}{4\pi L^2} = 10^{-16} \text{ Вт}.$$

Отсюда $L = 55 \text{ км}$.

Однако это справедливо лишь в вакууме, т. е. на Луне, причем высота горы должна быть более 1 км, чтобы с равнины на расстоянии 55 км была видна ее вершина (проверьте!)

Но на Земле даже в чистой атмосфере свет поглощается; в оптическом диапазоне ослабление света звезды, наблюдаемой в зените, составляет $0,23^m$ (Мартынов, 1977). Высота однородной атмосферы на Земле (т. е. толщина слоя воздуха, имеющего приземную плотность и по числу молекул в проекции на луч зрения эквивалентного нашей атмосфере в зените) составляет 8 км. Если наблюдатель смотрит вдоль земной поверхности, то на расстоянии 55 км этот эффект ослабит свет на $0,23^m \times (55 \text{ км} / 8 \text{ км}) = 1,6^m$, или в 4,4 раза. Причем это минимальная оценка для совершенно чистого воздуха. Поэтому расстояние, полученное для безвоздушного пространства, нужно сократить как минимум в 1,6 раза ($1,6^2 / 2,512^{1,6m/1,6} \approx 1$), т. е. до 34 км.

2.24. Черное облако

По определению, оптическая толща есть $\tau = k\rho L$, где k — удельный коэффициент поглощения (на единицу плотности среды и единицу расстояния пути светового луча), ρ — плотность среды, L — путь луча. При сжатии облака в 10 раз его плотность возросла в 1000 раз, следовательно, значение τ увеличилось в 100 раз.

2.25. Межзвездные пылинки

Рассмотрим столбик пространства сечением 1 см^2 и длиной $L = 10$ пк. Проходя вдоль него, свет ослабляется во столько раз, какую долю сечения перекрывают пылинки:

$$\frac{S}{1 \text{ см}^2} = \tau,$$

где S — площадь сечения, перекрытая пылинками, τ — поглощение (= 1 % по условию задачи). Площадь сечения одной пылинки составляет $s = \pi r^2$. Если поглощение невелико, то пылинки практически не проецируются друг на друга и закрывают площадь, равную суммарной площади их сечений: $S = sN$, где N — число пылинок в столбике. Отсюда

$$N = \frac{S}{s} = \frac{\tau \cdot 1 \text{ см}^2}{\pi r^2} = 8 \cdot 10^6.$$

Считая пылинки распределенными равномерно вдоль столбика длины L , найдем среднее расстояние между ними:

$$l = \frac{L}{N} = \frac{10 \text{ пк}}{8 \cdot 10^6} = 0,25 \text{ а. е.}$$

2.26. Полюс эклиптики

Вспомнив смысл точки весеннего равноденствия, ее координаты ($\alpha = 0^h$, $\delta = 0^\circ$) и величину наклона земной оси ($23,4^\circ$), без труда определим, что полюс эклиптики имеет прямое восхождение 18^h и склонение $66,6^\circ$.

2.27. Солнечный телескоп

Солнце — очень яркий объект. Поэтому солнечные инструменты имеют большое фокусное расстояние (до 80 м), позволяющее получить в фокальной плоскости достаточно яркое изображение большого размера, удобное для его детального изучения. Однако нелегко было бы работать с поворачивающейся трубой такой длины. Поэтому объектив и трубу телескопа делают неподвижными, используя для наведения на Солнце целостат. А потеря света при отражении от зеркал целостата не очень важна для солнечного инструмента.



3. На космодроме

3.1. Первые космические полеты

Если вы думаете, что Дж. Гленн стремился побить рекорд Гагарина по продолжительности космического полета, то это неверно: Гленн совершил свой полет 20 февраля 1962 г. а за полгода до этого, 6–7 августа 1961 г., советский космонавт Герман Титов выполнил космический полет продолжительностью 1 сутки и 1 час, сделав 17 оборотов вокруг Земли.

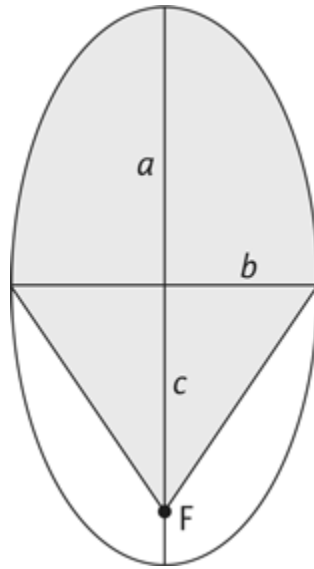
Дело тут совсем в другом. Оборот вокруг Земли на низкой орбите длится около 1,5 часа. Земной шар за время полета поворачивается с запада на восток за каждый час на один часовой пояс. При старте с Байконура Гагарин мог сделать один оборот и приземлиться на 1,5 часовых пояса западнее, в Саратовской области. На втором обороте он бы уже попал за пределы территории СССР. По этой же причине следующий полет советского космонавта — Титова — продолжался сутки, чтобы приземлиться недалеко от места старта.

Космический корабль Джона Гленна был рассчитан на приводнение, поэтому при старте из Флориды он не мог приземлиться, пока под ним была сухопутная территория США. Ему нужно было дожидаться, пока Земля под ним повернется на 4 часовых пояса, проходящих по континентальной части США, и «подставит» ему для приводнения Тихий океан. Поскольку приводнение планировалось примерно на той же широте, что и старт, кораблю предстояло сделать как минимум три полных оборота по орбите, затратив на это 4,5 часа. Еще некоторое время понадобилось для стартового разгона и спуска на парашюте (примерно по 10 мин). Отсюда и время полета — около 5 часов. По этой же причине первый полет двухместного американского корабля «Джемини» тоже продолжался 4 часа 53 минуты.

3.2. С первой космической

Большая полуось (a) и орбитальный период (T) зависят только от удельной полной энергии тела (кинетическая + потенциальная),

следовательно, полуоси и периоды орбит обоих объектов будут одинаковыми и равными радиусу Земли. Запущенный вертикально вверх (случай запуска вниз не рассматриваем), объект достигнет высоты около 6400 км и вернется на Землю.



Это легко проверить, пользуясь законом сохранения энергии: удельная кинетическая энергия объекта ($v^2/2$) должна быть равна разности его удельных потенциальных энергий в гравитационном поле у поверхности Земли (M и R — ее масса и радиус) и в точке максимального подъема: $GM/R - GM/R_{\max}$. А поскольку скорость старта — это первая космическая скорость $v^2 = GM/R$, то

$$\frac{GM}{2R} = -\frac{GM}{R_{\max}},$$

откуда $R_{\max} = 2R$. Значит, объект поднимется над поверхностью Земли на высоту, равную ее радиусу, около 6400 км.

Длительность полета вычислить сложнее. Она равна продолжительности (t) движения по апоцентрической половине эллиптической орбиты при $e \rightarrow 1$. Согласно второму закону Кеплера (закон площадей),

$$\frac{t}{T} = \frac{0,5\pi ab + bc}{\pi ab},$$

Учитывая, что $c = ae$, получим: $bc = abe$. Тогда

$$\frac{t}{T} = \frac{0,5\pi ab + abe}{\pi ab} = 0,5 + \frac{e}{\pi}.$$

При $e \rightarrow 1$ получим $t/T = 0,5 + 1/\pi = 0,81831\dots$

Для $T = 90$ мин получим $t = 74$ мин, а вовсе не 45 мин, как думают некоторые! (См. статью А. Кларка «Введение» в книге «Исследование мирового пространства», М.: Физматгиз, 1959, с. 9.)

3.3. Выстрел ракетой в Луну

Положение Луны относительно космодрома повторится через «лунные сутки» (P_L), равные периоду обращения Луны относительно поверхности Земли. Период обращения Луны вокруг центра Земли (сидерический месяц) равен $P_c = 27,321662$ сут, период вращения Земли равен $P_\oplus = 23$ час 56 мин 04 сек = 23,934469 час = 0,9972696 сут. Поскольку орбита Луны не круговая, можно говорить лишь о средних лунных сутках, которые равны

$$P_L = \frac{1}{1/P_\oplus - 1/P_c} = 1,03505 \text{ сут} = 24 \text{ час } 50 \text{ мин } 28 \text{ сек.}$$

Таким образом, на следующие сутки Луна окажется примерно в том же положении на небе относительно небесного меридиана космодрома на 50,5 минут позже. Учитывая неравномерность движения Луны, можно сказать, что через сутки Луна «запаздывает» примерно на 1 час. Действительно, 9 сентября 1959 г. старт к Луне был назначен на 6 час 39 мин 50 сек. Однако он тоже не состоялся. Следующая (успешная!) попытка состоялась 12 сентября в 9 час 39 мин 26 сек.

Глядя на назначенные моменты старта, легко догадаться, в какой части своей орбиты была Луна. В среднем Земля «догоняет» ее 50,5 мин, а в те дни ей каждый раз требовался без малого час. Следовательно, Луна двигалась быстрее среднего, значит, была в

районе перигея своей орбиты. Заглянув в астрономический календарь или электронный планетарий, мы увидим, что это действительно так!

3.4. Спутник упал

Трение о разреженные верхние слои атмосферы действительно стало причиной падения первого спутника (как и многих других после него). Однако, приближаясь к Земле, спутник не терял скорость движения, а напротив — увеличивал ее. Это один из «парадоксов» космонавтики (см. Штернфельд, 1991). Какой бы эллиптической орбита спутника ни была вначале, в результате трения об атмосферу она округляется, поскольку максимальное трение наблюдается в области перигея. А для скорости движения по круговой орбите справедлива формула, определяющая первую космическую скорость:

$$V^2 = \frac{GM}{R},$$

где G — гравитационная постоянная, M — масса Земли, R — радиус орбиты. Если R уменьшается, то V возрастает. Казалось бы, парадокс: трение приводит к росту скорости! Но ясно, что к росту скорости приводит не трение, а гравитация: работа силы тяжести ускоряет движение спутника и компенсирует потерю энергии на трение. При этом работа силы тяжести делится ровно пополам: половина идет на рост кинетической энергии спутника (т. е. скорости), а вторая половина уходит в тепло из-за трения.

Действительно, гравитационная энергия на единицу массы спутника равна GM/R , а ее изменение при небольшом сокращении радиуса орбиты составляет

$$dU = -\frac{GM}{R^2} dR.$$

При этом удельная кинетическая энергия ($V^2/2$) возрастает на

$$-\frac{GM}{2R^2} dR = \frac{1}{2} dU,$$

а вторая половина dU рассеивается через трение в тепло. Это частный случай теоремы вириала.

Скорость спутника возрастает до той поры, пока он не проник в плотные слои атмосферы. Начиная с некоторой высоты, гравитация уже не в состоянии компенсировать потерю энергии на сопротивление воздуха, и спутник начинает замедляться, а если он недостаточно прочный, то и разрушаться. Конкретное значение этой высоты зависит от массы и размера спутника. Обычно оно лежит в интервале 70–90 км.

3.5. Стыковки на орбите

Одновременный запуск двух ракет с одного космодрома невозможен по техническим причинам: при подготовке запуска и в первые минуты полета каждой ракеты задействованы все службы контроля космодрома. А следующая возможность запустить ракету на орбиту так, чтобы она оказалась недалеко от первой, представляется в тот момент, когда запущенная первой завершает свой первый виток вокруг Земли и пролетает сравнительно недалеко от космодрома. На низкой околоземной орбите один облет Земли длится как раз 1,5 часа.

Кроме того, эта задержка во времени дает возможность точно определить параметры орбиты первой ракеты и точнее нацелить к ней вторую ракету. Разумеется, за 1,5 часа из-за вращения Земли космодром переместится от точки первого старта. Поскольку речь идет о космодроме на мысе Канаверал (Флорида, США), расположенном на $28,5^\circ$ с. ш., то это смещение составит

$$40\,000 \text{ км} \times \cos(28,5^\circ) \times \frac{1,5 \text{ час}}{24 \text{ час}} = 2200 \text{ км.}$$

Но за несколько часов маневрирования на орбите корабль «Джемини» сокращал это расстояние до сотен метров и начинал операцию стыковки.

3.6. Суточный спутник

Очевидно, автор имеет в виду геостационарную орбиту. Это круговая экваториальная орбита с периодом в одни звездные сутки. Двигаясь по ней в восточном направлении на высоте около 35 800 км от поверхности Земли, ИСЗ постоянно висит над одной точкой планеты. В объяснении автора круговая орбита подразумевается, поскольку указана лишь одна высота. Однако, термин «высота» относится к расстоянию от земной поверхности, а оно составляет 5,6 радиуса Земли. Если же автор имел в виду расстояние от центра Земли, то это 6,6 земного радиуса. Видимо, полной определенности у автора не было. К тому же не указано направление движения (на восток) и наклон орбиты (нулевой, т. е. орбита лежит в плоскости экватора).

Под определение, данное автором, попадает значительно более широкий класс орбит, называемых геосинхронными, единственный признак которых — равенство орбитального периода звездным суткам. Двигаясь по таким орбитам в восточном направлении, спутники для наземного наблюдателя не остаются в одной точке неба, а в общем случае выписывают на небе «восьмерки», периодически смещаясь к югу и северу в соответствии с наклоном их орбиты.

3.7. Ориентация в пространстве

Три ортогональных оси координат необходимы для указания положения объекта в пространстве. Если же речь идет об определении направления (а именно это и требовалось для правильной ориентации космического корабля перед включением тормозных двигателей), то достаточно осуществить поворот по двум осям. Именно столько их у телескопа и артиллерийского орудия.

Однако в аэродинамике летательных аппаратов (самолетов), откуда терминология перекечевала в космонавтику, направление летящего самолета описывается тремя углами: крен, тангаж и рыскание. Крен изменяется при покачивании крыльями, тангаж — при покачивании с носа на корму, а рыскание — это повороты вправо-влево. Дело в том, что при полете в атмосфере важна ориентация плоскости крыльев, создающих подъемную силу, относительно направления силы тяжести, которую эта сила должна компенсировать.

У космического корабля нет крыльев, а если и есть (ракетоплан), то в вакууме они не создают подъемной силы. Поэтому крен для

корабля на орбите, вообще говоря, безразличен. Но он важен для работы космонавта. Правильный выбор крена позволяет ему увидеть в иллюминатор или перископ поверхность Земли, видимое движение которой указывает направление полета корабля. Именно в этом направлении должна быть сориентирована продольная ось корабля, чтобы работа тормозных двигателей привела к сходу с орбиты и посадке на Землю. Так что в описании полета Джона Гленна неточности не было.

Автоматические межпланетные зонды для ориентации в пространстве осуществляют развороты по двум осям, используя в качестве опорных направления на Солнце и какую-нибудь яркую звезду, например Канопус или Сириус. При этом информацию о направлении своего движения сам зонд получить не может, и ее определяют на Земле путем небесно-механических расчетов.

3.8. От Солнца до Земли

Формально, двигаясь с постоянной начальной скоростью, снаряд преодолел бы это расстояние за 3,5 года. Однако, учитывая, что вторая космическая скорость на поверхности Солнца $\sqrt{2GM_{\odot}/R_{\odot}} = 618$ км/с, а скорость снаряда 1,5 км/с, ясно, что снаряд вообще не покинет Солнце.

3.9. Спрыгнуть с астероида

Чтобы улететь далеко-далеко, нужно развить вторую космическую скорость:

$$V_{\infty} = \sqrt{\frac{2GM}{R}},$$

где M и R — масса и радиус космического тела. Чтобы облегчить расчеты, преобразуем эту формулу. Для сферического тела

$$M = \frac{4\pi}{3} \rho R^3,$$

где ρ — средняя плотность тела. Используя значение второй космической скорости для Земли (11,2 км/с), запишем

$$V_{\infty} = 11,2 \text{ км/с} \times \frac{R}{R_{\oplus}} \times \sqrt{\frac{\rho}{\rho_{\oplus}}},$$

где $R_{\oplus} = 6371$ км и $\rho_{\oplus} = 5,52$ г/см³ — радиус и средняя плотность Земли. Примем плотность типичного астероида равной 2 г/см³ и получим простую формулу для второй космической скорости:

$$V_{\infty} = 1 \text{ м/с} \times R \text{ (км)}.$$

То есть вторая космическая скорость, выраженная в метрах в секунду, равна радиусу астероида, выраженному в километрах. Если у тела иная средняя плотность, следует умножить значение V_{∞} на $\sqrt{\rho/2 \text{ г/см}^3}$.

А теперь вопрос посложнее: какую вертикальную скорость может развить человек в прыжке? Подпрыгивая вверх на Земле, мы в основном тратим запас мышечной энергии на преодоление силы тяжести, а на астероиде — на сообщение телу кинетической энергии. Поэтому запишем уравнение так:

$$\frac{mV^2}{2} = mgH,$$

где V — максимальная скорость нашего прыжка на астероиде, m — масса тела человека (она сокращается), g — ускорение свободного падения на Земле, H — максимальное вертикальное перемещение человека в прыжке на Земле. Присев и подпрыгнув, мы перемещаем свое тело примерно на 1 м. Следовательно, $V = \sqrt{2gH} \approx 4$ м/с. Трудно сказать, насколько скафандр затрудняет прыжки: ждем подсказки от тех, кто прыгал в скафандре. А пока примем оценку в 4 м/с как максимальную. Тогда максимальный размер астероида, с которого человек может спрыгнуть в космос и улететь далеко-далеко, составит

$$R = 4 \text{ км} \times \sqrt{\frac{2 \text{ г/см}^3}{\rho}}.$$

У самых плотных астероидов средняя плотность не превышает 4 г/см^3 , а у рыхлых ядер комет она около $0,5 \text{ г/см}^3$, поэтому диапазон значений R составляет от 3 до 8 км. Скорее всего, эти оценки немного завышены. Ведь мы с вами никогда не прыгали в космическом скафандре на астероиде. Может быть, это совсем не легко? Ждем уточнения от тех, кому впервые удастся это сделать.

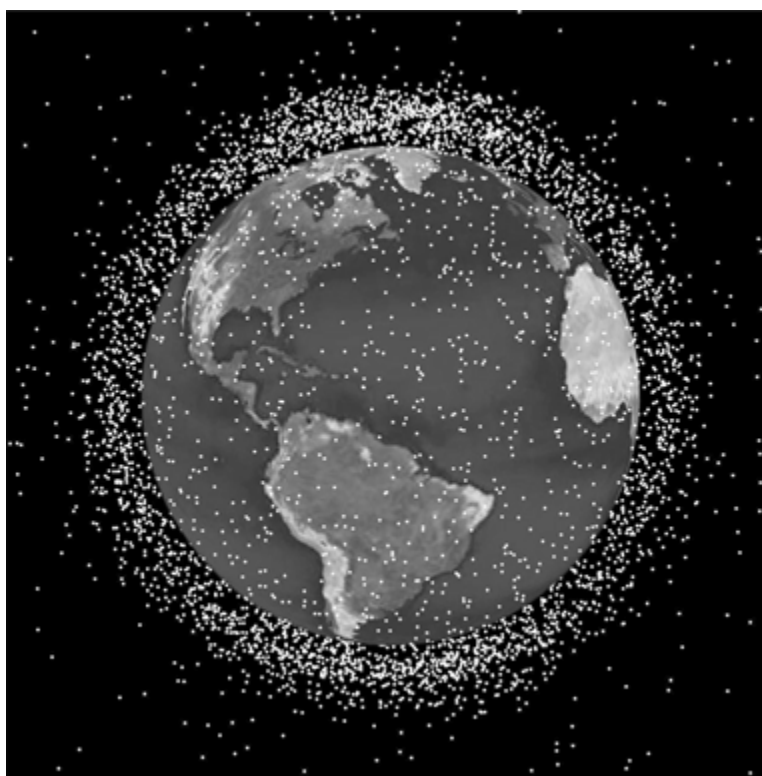
3.10. Карта Луны

Солнцем освещена половина лунного шара, поэтому на каждом орбитальном витке спутник будет снимать только половину времени. Если съемка ведется в оптическом диапазоне, то за 14 дней (примерно половина орбитального периода Луны, равного 27,3 сут) спутник снимет только половину лунного шара. Если же это тепловая (ИК) или нейтронная съемка, то можно исследовать весь шар.

Быстрее всего под спутником будут перемещаться экваториальные области Луны. Если орбитальный период аппарата P , то линейное смещение экваториальной области за это время составляет $2\pi RP/27,3$ сут, где $R = 1737 \text{ км}$ — радиус Луны. Орбитальный период спутника составляет $P = 2\sqrt{R^3/GM}$, где $M = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$ — масса Луны. Чтобы не проводить длительных вычислений, воспользуемся знанием того, что период обращения на низкой (около 200 км) околоземной орбите равен 90 мин. Масса Луны — 0,0123 земной массы, радиус Луны — 0,273 земного радиуса, а с учетом высоты орбиты над Луной (100 км) и над Землей (200 км) — 0,280 земного радиуса. Поэтому $P = 90 \text{ мин} \times \sqrt{0,283/0,0123} = 120 \text{ мин}$. Тогда ширина полосы составит $2\pi \times 1737 \text{ км} \times 2 \text{ час} / 27,3 \text{ сут} = 33,3 \text{ км}$. С высоты 100 км эта полоса видна под углом $\alpha = 2\pi \arctg(33,3/200) = 18,9^\circ$. Таким образом, минимальный угол поля зрения прибора составляет около 19° . Но если это оптический прибор, то съемкой будет покрыта лишь половина Луны.

3.11. Космический мусор

Самопроизвольное размножение космического мусора происходит по принципу цепной реакции: при столкновении любых двух объектов возникают тысячи новых осколков, поэтому вероятность их последующих столкновений с другими объектами возрастает. До тех пор, пока все осколки не раздробятся до миниатюрного размера, их количество должно было бы возрасти экспоненциально. Однако есть и конкурирующий процесс: осколки на самых низких орбитах интенсивно тормозятся в разреженных слоях земной атмосферы, сгорают в ней или падают на поверхность Земли. Этим объясняется первоначальный спад теоретических кривых (быстро падают фрагменты с самых низких орбит), который затем сменяется ростом числа осколков на более высоких орбитах. Самое тревожное, что даже при полном запрете новых запусков этот рост не прекратится и работать на околоземных орбитах будет все опаснее. Если искусственно не очищать их от мусора. Проектами такой очистки сегодня заняты многие космические инженеры.



Космический мусор в околоземном пространстве. Компьютерная модель, отражающая реальную ситуацию. Данные NASA

Пилообразная форма кривых связана с «дыханием» земной атмосферы. Синхронно с изменением солнечной активности,

происходящим со средним периодом 11,2 года, верхние слои нашей атмосферы «вспухают» и «оппадают». В годы повышенной активности Солнца на высотах до 600 км плотность воздуха заметно возрастает, увеличивая сопротивление движению спутников и фрагментов мусора, поэтому они чаще падают на Землю; убыль осколков превышает их размножение. В годы низкой активности Солнца торможение в атмосфере ослабевает и на первый план выходит размножение осколков.

3.12. Странные космодромы

Почти каждый космодром выполняет две функции — военную и гражданскую. Важнейшая военная задача — запуск баллистических ракет в сторону потенциального противника. Все «потенциальные противники» расположены в Северном полушарии, поэтому для минимального подлетного времени требуется полет ракеты через область Северного полюса. Кроме того, для разведывательных и гражданских целей запускают спутники дистанционного наблюдения всей поверхности Земли, которые по определению должны двигаться на полярных орбитах. Действительно, на экваториальной орбите спутник «видит» только область экватора. Чем больше наклон орбиты к экватору, тем шире область наблюдения. На полярной орбите спутник благодаря вращению Земли за 12 часов может «увидеть» всю Землю.

Кроме этого, большие преимущества для наблюдения земной поверхности дает солнечно-синхронная орбита (иногда ее называют гелиосинхронной) — это геоцентрическая орбита с такими параметрами, что объект, находящийся на ней, проходит над любой точкой земной поверхности приблизительно в одно и то же местное солнечное время. Например, наблюдение в утреннее и вечернее время, благодаря длинным теням, позволяет заметить небольшие объекты. Поэтому спутник должен все время двигаться недалеко от линии терминатора, которая всегда проходит недалеко от полюсов (не дальше $23,4^\circ$).

Чтобы орбита была гелиосинхронной, ее параметры выбирают такими, чтобы она прецессировала в восточном направлении на 360° в год (приблизительно на 1 градус в день), компенсируя вращение Земли

вокруг Солнца. Прецессия происходит за счет взаимодействия спутника с Землей, несферичной из-за полярного сжатия. Скорость прецессии зависит от наклона орбиты. Нужной скорости прецессии можно достичь лишь для определенного диапазона высот орбит (как правило, выбираются значения $600 \div 800$ км, с периодами $96 \div 100$ минут), необходимое наклонение для упомянутого диапазона высот — около 98° . Иными словами, гелиосинхронная орбита — это практически полярная орбита.

При запуске спутника на полярную орбиту с экваториального космодрома пришлось бы скоростью ракеты *компенсировать* вращение Земли, которое в данном случае только мешает. Поэтому высокоширотные космодромы в этом случае выгоднее.

3.13. К антиподам

Пусть $M_\oplus$ — масса Земли и $R_\oplus$ — радиус Земли. Полет спутника по низкой орбите от одного полюса к другому займет половину его орбитального периода:

$$T_1 = 0,5P = \pi \sqrt{\frac{R_\oplus^3}{GM_\oplus}}.$$

Теперь определим продолжительность полета снаряда через шахту. Поскольку распределение плотности вещества внутри Земли имеет довольно сложный вид, мы рассмотрим два крайних случая.

а) Пусть Земля — однородный шар. На расстоянии r от центра Земли снаряд испытывает притяжение только от внутренней части планеты радиусом r и массой $M(r) = M_\oplus(r/R_\oplus)^3$. Следовательно, он движется с ускорением

$$a = -\frac{GM(r)}{r^2} = -\frac{GM_\oplus r}{R_\oplus^3}.$$

(знак *минус* говорит здесь о том, что направления векторов r и a противоположны). Как видим, это уравнение простых гармонических колебаний, возникающих в том случае, когда возвращающая сила

пропорциональна отклонению тела от точки равновесия. В нашем случае эта точка — центр Земли.

Решить это уравнение можно по аналогии с уравнением малых колебаний маятника:

$$a = -\frac{gr}{L},$$

где g — ускорение свободного падения, L — длина маятника, r — его отклонение. Как известно, период колебания маятника составляет

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{r}{a}}.$$

Значит, период колебания снаряда в шахте (независимо от амплитуды колебания!) составит

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{R_{\oplus}^3}{GM_{\oplus}}}.$$

А полет между полюсами будет длиться

$$T_{2a} = 0,5P = \pi \sqrt{\frac{R_{\oplus}^3}{GM_{\oplus}}}$$

Таким образом, в случае однородной Земли снаряды придут к Южному полюсу одновременно ($T_1 = T_{2a}$).

Однако известно, что к центру Земли плотность увеличивается, поэтому рассмотрим другой крайний случай.

б) Пусть вся масса Земли сосредоточена в ее центре. Тогда ускорение снаряда

$$a = \frac{GM_{\oplus}}{r^2}.$$

Это уравнение движения в поле точечной массы, типичное для тел Солнечной системы. Движение нашего снаряда по радиальной орбите можно представить как движение по вырожденному эллипсу с эксцентриситетом, практически равным единице. Тогда большая полуось этого эллипса равна $R_{\oplus}/2$, а орбитальный период

$$T_{26} = 2\pi\sqrt{\frac{(R_{\oplus}/2)^3}{GM_{\oplus}}} = \pi\sqrt{\frac{R_{\oplus}^3}{2GM_{\oplus}}}.$$

Это в $\sqrt{2}$ раз меньше, чем T_1 или T_{2a} . Очевидно, что истинное значение времени полета снаряда через шахту (T_2) удовлетворяет неравенству $T_{2a} > T_2 > T_{26}$. Следовательно, $T_2 < T_1$, т. е. снаряд, отпущенный падать в шахту, достигнет противоположной точки Земли быстрее, чем снаряд, выведенный на орбиту. Как видим, это очень удобный вид межконтинентального транспорта и к тому же совершенно бесплатный (если не считать затрат на создание шахты и поддержания в ней вакуума!).

Задача решена. А теперь попробуйте рассмотреть третий вариант распределения плотности Земли — совершенно невероятный: пусть вся масса планеты сосредоточена в ее бесконечно тонкой оболочке, а внутри — пусто. Желаю успеха!

3.14. К антиподам разными путями

На снаряд, движущийся в плоскости экватора, будет (в системе отсчета, связанной с Землей) действовать центробежная сила, ослабляющая силу тяготения. Поэтому он пройдет через центр Земли позже и не столкнется с полярным снарядом, а на путь к антиподам затратит большее время. Полярный снаряд его опередит.

3.15. Связь между полюсами

Максимальную широту, на которой геостационарные спутники еще видны над горизонтом, определим из условия видимости объекта на горизонте

$$\varphi = 90^\circ - \arcsin \frac{R_\oplus}{r_{\text{ГС}}},$$

где $r_{\text{ГС}} = 42\,166$ км — радиус орбиты геостационарного спутника. Приняв Землю за шар и взяв $R_\oplus = 6371$ км, получим $\varphi = 90^\circ - 8,7^\circ \approx 81^\circ$. На более высоких широтах и тем более на полюсах Земли геостационарные спутники не видны с уровня моря. Значит, и связь с их помощью невозможна.

3.16. Маршрут по Луне

Кроме очевидного решения (южный полюс) существует еще бесконечное число таких точек в районе северного полюса, на расстоянии от него $(35 + 20/2\pi n)$ км, при $n = 1, 2, \dots$

3.17. Посадка на Марс

Автор ошибочно привел значение скорости на низкой околоземной орбите, тогда как для Марса значение этой скорости существенно меньше — всего около 12 800 км/ч.

3.18. Летим на Солнце

Простейшее решение — после разрыва гравитационной связи с Землей развить скорость ее орбитального движения (около 30 км/с) в сторону, противоположную этому движению, т. е. «остановиться» на орбите и начать падать на Солнце по радиусу-вектору. Для этого вблизи Земли с учетом ее притяжения ракете необходимо развить скорость (мы помним, что сумма кинетических энергий — это сумма квадратов скоростей)

$$\sqrt{29,82 + 11,22} = 31,8 \text{ км/с} \approx 32 \text{ км/с}.$$

Заметим, что до такой скорости еще ни одна ракета не разгонялась. Поэтому более разумное решение — использовать для изменения скорости ракеты притяжение какой-либо планеты,

совершив вблизи нее пертурбационный (гравитационный) маневр. Например, направив ракету к Юпитеру со скоростью около 16 км/с, можно таким образом рассчитать ее движение, что, сблизившись с планетой-гигантом, она изменит траекторию и упадет на Солнце. К сожалению, притяжения Марса для этого недостаточно.

3.19. Взлетаем

Пусть F — сила притяжения тела к Земле. Вес — это сила, с которой тело давит на опору. С такой же по величине силой опора давит на тело (третий закон Ньютона). Обозначим эту силу через F_1 . Вместе с ракетой тело движется вверх с ускорением g , и, следовательно, сумма F_2 всех действующих на него сил равна mg (второй закон Ньютона). Положительным направлением мы выбрали направление движения ракеты, т. е. вверх. Поскольку

$$F_2 = F + F_1,$$

получим

$$F_1 = F_2 - F,$$

где $F_2 = mg$ и $F = -mg$. Отсюда $F_1 = 2mg$. Таким образом, у поверхности Земли вес тела равен $2mg$. С удалением от Земли сила притяжения F уменьшается, приближаясь к нулю (закон тяготения Ньютона). В предельном случае при $F = 0$ и $F_1 = F_2$ вес тела будет равен mg . Итак, вес тела убывает от $2mg$ у поверхности Земли до mg на бесконечности.

3.20. Из пушки на Луну — 1

Если при выстреле сообщить аппарату достаточно большую скорость, такую, чтобы, выйдя за пределы земной атмосферы, он двигался со скоростью больше второй космической, то при правильном выборе направления выстрела аппарат будет двигаться по кеплеровской орбите и сможет достигнуть Луны, Марса, Солнца. Но

спутником Земли он не станет. Ведь в этом случае, двигаясь по эллипсу вокруг Земли и завершая первый оборот, аппарат должен будет пройти через точку старта, что непременно приведет к его столкновению с Землей или по крайней мере с ее атмосферой.

Поэтому просто из пушки запустить ИСЗ нельзя. Однако идея наземного ускорителя («пушки») для запуска ИСЗ все же не отброшена. Подумайте, при каких условиях она может быть реализована.

3.21. Из пушки на Луну — 2

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

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

Такую глубокую шахту создать невозможно. Вес человека в момент выстрела увеличился бы в 11 раз (см. задачу 3.17 «Взлетаем»). Для человека это предельная перегрузка. Однако приборы спутников могут выдерживать ускорение до $10^4 g$. При этом длина пушки сокращается до 1 км, что технически вполне осуществимо.

3.22. Бег в невесомости

Из формулы для центростремительного ускорения ($a = v^2/r$) найдем 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.

3.23. Объехать астероид

Нет, не смогут. Вездеход должен двигаться со скоростью не больше первой космической (V_I), иначе он оторвется от поверхности и потеряет опору. Найдем время облета астероида по низкой орбите с этой предельной скоростью:

$$T = \frac{2\pi R}{V_1} = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}.$$

Учтем, что плотность астероида выражается так:

$$\rho = \frac{3M}{4\pi R^3}.$$

Тогда

$$T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}.$$

Это очень важная формула. Она показывает, что время оборота по низкой орбите зависит не от размера притягивающего тела, а только от его средней плотности.

Для поиска численных значений удобно помнить, что у низколетящего спутника Земли $T = 1,5$ часа, а плотность Земли $\rho_{\oplus} = 5,5 \text{ г/см}^3$. Тогда для планеты плотности ρ получим: $T = 1,5 \text{ час} \times \sqrt{5,5 \text{ г/см}^3 / \rho} = 3,5 \text{ час} \times 1/\sqrt{\rho}$, если плотность измеряется в граммах на 1 см^3 .

Зная плотность астероида, определим $T = 3,5/\sqrt{2,5} = 2,2$ часа. Значит, вездеход не сможет объехать астероид за 2 часа. За такое время его нельзя облететь даже на ракете с выключенными двигателями. А с включенными? См. задачу 3.25 «Спасти космонавтов».

До сих пор мы предполагали астероид не вращающимся. Но если он вращается вокруг оси (а большинство астероидов вращается, и довольно быстро, с периодами в несколько часов), то, двигаясь в сторону, противоположную вращению, космонавты могли бы объехать астероид за указанное время, не оторвавшись от его поверхности.

3.24. Маятник

Период колебания маятника в вакууме $P \sim \sqrt{L/a}$, где L — его длина, a — ускорение силы тяжести. Но при прочих равных условиях

маятник в сопротивляющейся среде будет колебаться с бóльшим периодом. Поэтому самыми быстрыми будут часы на Земле, а самыми медленными — лунные часы, помещенные в воздушную среду.

3.25. Спасти космонавтов

Если ракета будет лететь на низкой орбите по инерции, с выключенным двигателем, то двух часов ей не хватит, чтобы облететь астероид (см. задачу 3.23 «Объехать астероид»). Однако есть выход: гравитационной силе притяжения астероида можно «помочь», включив двигатель ракеты. При этом корабль должен быть направлен носом к центру астероида, а двигателем — от него. Давление двигателя увеличит центростремительное ускорение и сократит орбитальный период. Действительно, полное центростремительное ускорение $a = V^2/R$, откуда $V = \sqrt{aR}$. Тогда орбитальный период на низкой круговой орбите $T = 2\pi R/V = 2\pi\sqrt{R/a}$. Чем больше ускорение, тем короче период. Лишь бы хватило топлива.

3.26. Слабая ракета

Из условия задачи не ясно, начальному или текущему весу ракеты равна тяга ее двигателей. Поэтому рассмотрим оба варианта. Сразу после начала работы двигателей масса ракеты, а вместе с ней и ее вес начинают уменьшаться за счет выброса сгоревшего топлива. Поэтому тяга двигателей начнет сначала немного, а затем все больше и больше превышать вес ракеты, и она полетит.

Во втором случае предполагается, что тяга и вес постоянно равны. Но и в этом случае полет возможен, если ракета будет разгоняться горизонтально, пока не приобретет первую космическую скорость. Но если старт происходит на планете с атмосферой, то ракета должна быть очень прочной и термостойкой, чтобы не разрушиться от напора воздуха и не сгореть, как метеор.

3.27. К центру Галактики

Поскольку Солнце обращается вокруг центра Галактики со скоростью около 220 км/с, результирующая скорость корабля будет почти такой же и направленной в ту же сторону, что и у Солнца. Иными словами, орбита космического корабля не будет существенно отличаться от галактической орбиты Солнечной системы, и корабль никогда не попадет в центр Галактики.

3.28. Измеряем плотность планеты

Как показано в задаче 3.21 «Объехать астероид», время оборота на низкой орбите

$$T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}} = 3,5 \text{ час} \cdot \sqrt{\rho} \text{ (плотность } \rho \text{ в граммах на } 1 \text{ см}^3\text{)}.$$

Отсюда $\rho = (3,5 \text{ час}/T)^2 \text{ г/см}^3$. Например, из того факта, что ИСЗ на низкой орбите оборачиваются за 1,5 часа, следует, что средняя плотность Земли

$$\rho_{\oplus} = \frac{3\pi}{G\rho} \left(\frac{3,5}{1,5} \right)^2 = 5,5 \text{ г/см}^3.$$

Казалось бы, все просто. Нужно лишь определить орбитальный период. Но как космонавты смогут это сделать? Ведь планета под ними вращается, поэтому ее ориентиры не годятся. Закройте книгу и подумайте.

Нужно перейти на полярную орбиту или заметить время между
двумя последовательными восходами из-за горизонтальной
поверхности планеты

3.29. БАК и черная дыра

Действительно, черная дыра, имея ничтожное сечение и практически не встречая сопротивления, будет падать к центру Земли почти свободно. А пройдя через него, она еще долго будет совершать затухающие колебания между диаметрально противоположными

точками земной поверхности, пока не остановится вблизи центра планеты. За какое же время черная дыра впервые достигнет центра планеты?

Вспомним задачу 3.12 «К антиподам». Период обращения спутника на низкой околоземной орбите составляет

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{R_{\oplus}^3}{GM_{\oplus}}} = 90 \text{ мин.}$$

Свободный полет к центру Земли длится от $T_1 = \pi/2 \times \sqrt{R_{\oplus}^3/GM_{\oplus}}$ до $T_2 = \pi/2 \times \sqrt{R_{\oplus}^3/2GM_{\oplus}}$ в зависимости от степени концентрации ее вещества к центру. Следовательно, $T_1 = 0,25 P = 22,5$ мин, а $T_2 = 0,177 P = 15,9$ мин. Очевидно, для Земли это время составит около 20 минут. Именно столько будет падать черная дыра к ее центру, а отнюдь не мгновенно.

3.30. Земля в иллюминаторе

Если со стороны Луны мы видим практически полностью освещенный Солнцем диск Земли, значит, со стороны Земли в этот момент видна темная сторона Луны, иными словами — Луна близка к фазе новолуния. В декабре 1972 г. новолуние было в ночь с 5 на 6 декабря, а полнолуние наступило 20 декабря. Следовательно, это фото Земли было сделано при отлете от Земли к Луне. Дополнительно об этом свидетельствует внешний вид Земли: хорошо видна Антарктида с областью Южного полюса, т. е. наблюдатель был смещен к югу от экватора. Но так и должно быть, поскольку в декабре Солнце на эклиптике находится глубоко к югу от экватора, а Луна в новолуние расположена на небе рядом с Солнцем. Действительно, склонение Луны 6 декабря 1972 г. было $-25,5^\circ$.

Нужно заметить, что момент старта к Луне выбирался не из желания получить фото «полной» Земли, а из совсем иных соображений. Через 4 дня после старта участники экспедиции прилунились. В этот момент в точке прилунения должно было быть раннее утро, чтобы тени были достаточно длинными для удобства ориентации пилотов и поверхность Луны еще не успела бы сильно

нагреться и не повредила астронавтов и посадочный модуль. Экспедиция «Аполлон-17» прилунилась в конце дня 11 декабря в восточной части лунного диска, где при фазе Луны в этот момент 0,38 Солнце взошло совсем недавно.



4. В Солнечной системе

4.1. Восьмая или девятая?

В данном случае журналисты не ошиблись: часть орбиты Плутона вследствие ее большого эксцентриситета лежит внутри орбиты Нептуна, поэтому, двигаясь в области перигелия Плутона, «Пионер-10» действительно сначала пересек орбиту девятой планеты и только затем — восьмой. Любопытно, что как раз в те годы и сам Плутон был в этой же области: с 1979 по 1998 г. он был ближе к Солнцу, чем Нептун. Однако о встрече аппарата с планетой не могло быть речи: орбита Плутона слишком сильно наклонена к эклиптике. По этой причине понятие «пересечь орбиту» носит условный характер: имеется в виду, что пересечение траекторий состоялось бы, если бы они лежали в одной плоскости, например, в плоскости эклиптики.

Что касается судьбы «Пионера-10», то многие годы он передавал на Землю данные о магнитосфере Солнца, распределении яркости Млечного Пути, зодиакального света и т. п. Однако 6 августа 2000 г. он перестал отзываться, но в апреле 2001 г. связь была восстановлена. В последний раз сигнал от этого зонда был пойман 23 января 2003 г.; он шел к Земле 11 часов 20 минут. В 12 490 г. «Пионер-10» окажется вблизи Летящей звезды Барнарда, на расстоянии 1,8 пк от нас.

4.2. Сезон великих противостояний

Великими называют такие противостояния, в период которых Марс находится в районе перигелия своей орбиты, т. е. ближе всего к Солнцу и к практически круговой орбите Земли. Поскольку ориентация орбит в пространстве меняется чрезвычайно медленно, великие противостояния происходят приблизительно при одном и том же положении на своих орбитах Земли и Марса. С другой стороны, времена года на планете привязаны к ее положению на орбите. Вот почему великие противостояния Марса приходятся на один и тот же сезон года — приблизительно на 1 сентября.

4.3. Птолемей

Вероятно, Птолемей бы изумился и возмущенно сказал: «Где учился этот нерадивый художник? Я уже не спрашиваю, читал ли он мой великий астрономический трактат, но смотрел ли он когда-нибудь на небо? Каждый древнегреческий ребенок и даже каждый раб знает, что Меркурий и Венера всегда видны недалеко от Солнца. А на этом рисунке они удалились Зевс знает куда! Мы, наблюдая небесные светила с неподвижной Земли, никогда не видим Меркурий под углом более 28° , а Венеру — 47° от Солнца. Это их наибольшие элонгации. Но на этой картине они „убежали“ от Солнца более чем на четверть окружности! Это неслыханная профанация нашей великой древнегреческой науки!»

И мы согласны с Птолемеем. Две тысячи лет назад астрономия была одним из главных школьных предметов, а ныне с ней знакомы немногие. Но лишь этим немногим ведомо, как устроен наш мир на самом деле.

4.4. Светло ли на Плутоне?

Сначала определим, во сколько раз Солнце освещает поверхность Земли сильнее, чем полная Луна. Вычислив разность их видимых звездных величин ($26,7^m - 12,7^m = 14^m$), найдем это отношение: $2,512^{14} \approx 400\,000$. У планеты, удаленной от Солнца на R а. е., поток солнечного света ослаблен в R^2 раз. Следовательно, Солнце будет освещать эту планету в $400\,000/R^2$ ярче, чем полная Луна освещает Землю. Для Плутона ($R = 40$ а. е.) это составит $400\,000/1600 = 250$. Иными словами, поверхность Плутона на его среднем расстоянии от Солнца днем освещена так же ярко, как если бы ночью на земном небосклоне сияло 250 полных Лун. Это весьма яркое освещение, при котором можно не только гулять без фонаря, но и читать мелкий шрифт.

4.5. Когда на Плутоне светлее?

Немного округлив числа, будем считать, что Плутон в разных точках своей орбиты располагается от Солнца на расстояниях от 30 до 50 а. е. Вычислим, на сколько звездных величин видимый блеск Солнца для него будет меньше, чем для Земли:

$$\Delta m = 5 \times \lg (30 \div 50) = 7,4 \div 8,5.$$

Видимая звездная величина Солнца у Земли $-26,7^m$. Значит, на Плутоне она будет в разные периоды года (плутонианского) от $-18,2^m$ до $-19,3^m$. С другой стороны, блеск Луны в полнолуние составляет $-12,7^m$. Значит, когда Плутон в афелии, Солнце будет освещать его как $2,512^{(18,2 - 12,7)} = 159$ полных лун освещает Землю. А когда Плутон в перигелии, поток света от Солнца у его поверхности повышается до $2,512^{(19,3 - 12,7)} = 437$ полных лун. В среднем можно считать, что Солнце освещает Плутон почти в 300 раз ярче, чем Луна в полнолуние освещает Землю. Этого света вполне достаточно, чтобы без фонаря читать книгу и чинить космический скафандр.

4.6. Луна готовит побег?

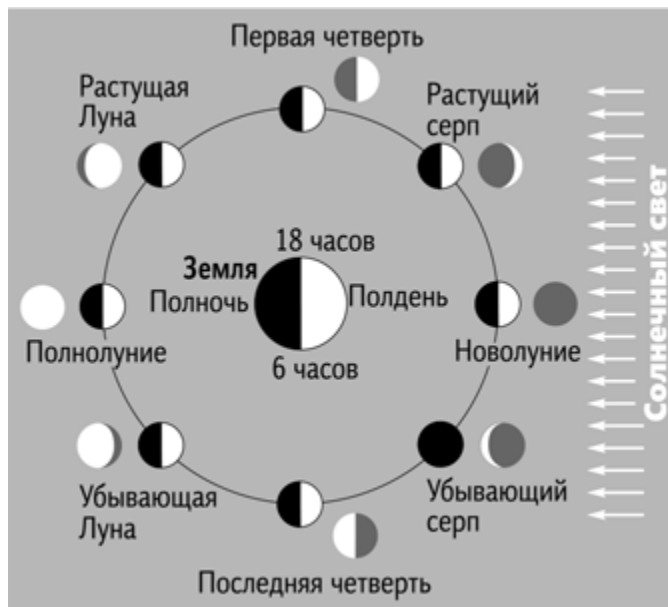
Подсчитаем: $0,04 \text{ м/год} \times 3\,000\,000 \text{ лет} = 120 \text{ км}$. По отношению к нынешнему расстоянию до Луны (384 000 км) это составляет всего лишь 0,03 %. На столько же изменится видимый диаметр лунного диска (30'), т. е. всего лишь на 0,5", что с большим трудом можно будет заметить в телескоп и совершенно невозможно заметить невооруженным глазом.

В чем же ошибся автор? Вероятно, он спутал миллионы с миллиардами. За миллиарды лет Луна, действительно, заметно удалится от Земли. Правда, этот «побег» будет происходить все медленнее и медленнее, поскольку с расстоянием быстро убывает гравитационное приливное влияние Земли на Луну (см.: Сурдин, 1986 и 2002), которое и служит причиной ее удаления. Расчеты показывают, что окончательный побег Луны так и не состоится, приливный эффект не только удаляет Луну, но и замедляет вращение Земли. Когда орбитальный период Луны возрастет примерно вдвое к нынешнему, земные сутки станут такой же длины. Земля будет смотреть на Луну одним своим полушарием (так же, как Луна сейчас смотрит на Землю),

приливный эффект исчезнет, и удаление Луны прекратится. Она останется спутницей Земли. Полагаю, автор детской книжки об этом не знал.

4.7. Фазы Луны

Главная ошибка автора в том, что он перепутал смену лунных фаз с затмениями Луны. Фазы и затмения — не одно и то же! В новолуние мы не видим диск Луны не потому, что на него падает земная тень. Как раз наоборот — Луна в этот момент находится дальше всего от земной тени, в противоположном от нее направлении! Мы не видим Луну в новолуние потому, что к Земле повернута ее темная сторона, не освещенная Солнцем. После новолуния в течение двух недель положение Земли и Луны по отношению к Солнцу меняется из-за движения Луны по орбите. Происходит смена лунных фаз — узкий серп, первая четверть, растущая луна — и постепенно к Земле поворачивается освещенное Солнцем лунное полушарие: наступает полнолуние. Именно в этот момент, в фазе полнолуния, изредка происходят лунные затмения, если тень Земли ложится на Луну. Затмение длится недолго — несколько часов, а смена фаз — месяц.



Как можно перепутать два этих явления? Наверное, авторы некоторых детских книг, а также их редакторы, плохо учились в школе.

Вот из таких — любознательных, но неграмотных — и вырастают многие уфологи, охотники за НЛО. Кстати, посмотрим в интернете: Станислав Николаевич Зигуненко — инженер, журналист, исследователь аномальных явлений (т. е. уфолог). Прежде чем исследовать аномальные явления, не худо было бы разобраться с нормальными, особенно таким простыми, как фазы Луны.

4.8. Куда падает Луна?

Казалось бы, ответ на этот вопрос настолько очевиден, что и расчеты-то не нужны: Луна — спутник Земли, следовательно, Земля притягивает ее сильнее всех прочих тел Солнечной системы. Однако доверчивость может нас подвести. Не станем верить на слово, а лучше подсчитаем. Сравнивать будем не силы, а ускорения, поскольку масса самой Луны одинаково входит в формулу для притяжения как к Земле, так и к Солнцу. Пусть a_z и $a_\odot$ — ускорения Луны по направлению к Земле и Солнцу, R_z и $R_\odot$ — расстояния Луны от Земли и от Солнца, а $M_\oplus$ и $M_\odot$ — массы Земли и Солнца. Тогда

$$a_\oplus = \frac{GM_\oplus}{R_\oplus^2} \text{ и } a_\odot = \frac{GM_\odot}{R_\odot^2}.$$

Найдем их отношение:

$$\frac{a_\odot}{a_\oplus} = \frac{M_\odot/M_\oplus}{(R_\odot/R_\oplus)^2} = \frac{333000}{(150000/384)^2} = 2,2.$$

Итак, притяжение Луны к Солнцу более чем вдвое превосходит ее притяжение к Земле. Но Луна не покидает окрестности нашей планеты, потому что *разность* притяжений Луны и Земли к Солнцу меньше их взаимного притяжения друг к другу! Солнце не в состоянии разорвать взаимную гравитационную связь Земли с Луной.

И вновь мы вспоминаем замечательную (по количеству ошибок) книжку С. Зигуненко «Почему Луна на Землю не падает?» (М.: АСТ, 2015). Теперь на этот вопрос мы можем ответить: «Потому что она

падает на Солнце!» Действительно, Луна вместе с Землей находится в состоянии свободного падения на Солнце. Притяжение Земли лишь немного «подправляет» движение Луны так, чтобы она далеко не уходила от нашей планеты.

А как вы думаете, уникальное ли это свойство Луны, или же у других планет тоже есть спутники, которые притягиваются к Солнцу сильнее, чем к собственной планете?

4.9. Экспедиции к Луне

С 1968 по 1972 г. к Луне было запущено девять космических кораблей с экипажем из трех астронавтов в каждом; всего 27 астронавтов. Из них шесть «Аполлонов» успешно осуществили высадку астронавтов на поверхность Луны («Аполлон-11, -12, -14, -15, -16, -17»). Остальные совершили облет Луны («Аполлон-13») или ее орбитальное исследование («Аполлон-8 и -10»). Экспедиция «Аполлон-11» осуществила первую посадку на Луну (Н. Армстронг, Э. Олдрин, 1969). Всего на Луну высаживались 12 астронавтов.

4.10. Упасть на Луне

Пониженная по сравнению с земной сила тяжести на Луне действительно делает падение не столь опасным. Однако потеря равновесия при наклонах тела не связана с величиной силы тяжести: равновесие нарушается в тот момент, когда вертикальная линия, опущенная из центра масс тела, перестает пересекать поверхность опоры (т. е. ступню космонавта, если он опирается одной ногой, или площадку между ступнями, если стоит на двух). Поэтому угол максимального наклона зависит лишь от фигуры и позы космонавта, а не от силы тяжести на планете.

Более того, на планетах с пониженной (относительно Земли) силой тяжести даже легче упасть. Дело в том, что наклон своего тела мы привыкли контролировать не только визуально — по положению окружающих предметов, — но и по ощущению мышечного напряжения. Можете проверить это прямо сейчас: встаньте, закройте глаза и, не сгибаясь в пояснице, попробуйте наклониться вперед. Чувствуя напряжение мышц в стопах ног и спине, вы не позволите

себе упасть. Но на планете с малой силой тяжести это «мышечное чувство» подводит. Даже вместе со скафандром человек на Луне весит в 2–3 раза меньше, чем на Земле. Поэтому ему сложнее оценить своим мышечным чувством тот критический наклон, за которым следует падение.

4.11. Восход Земли на Луне — 1

Грамотный любитель астрономии сразу заметит, что утверждение «на лунном небе Земля не должна перемещаться» ошибочно. Она должна перемещаться и действительно перемещается, поскольку Луна испытывает широтные и долготные либрации, т. е. с точки зрения земного наблюдателя она покачивается. Либрации вызваны тем, что Луна движется по эллиптической орбите (это вызывает либрации по долготе), и ее ось не перпендикулярна орбитальной плоскости (чем вызваны либрации по широте). И те и другие происходят с периодом в месяц, причем их размах весьма велик: около $\pm 8^\circ$ по долготе и около $\pm 7^\circ$ по широте.

Кроме этих двух наблюдается также суточная, или параллактическая, либрация, которая имеет небольшую амплитуду, около $\pm 1^\circ$, и возникает по причине вращения Земли, перемещающей наблюдателя относительно центра планеты. Но к нашей задаче она отношения не имеет.

Итак, находясь в краевых зонах лунного диска, протянувшихся вдоль видимого с Земли лунного лимба и покрывающих примерно 15 % лунной поверхности, мы могли бы наблюдать восходы и заходы Земли, поскольку видимый с Луны размер земного диска составляет $1,8^\circ$, что намного меньше диапазона либраций. Разумеется, об этом отлично знал художник, автор сюжета марки, герой-космонавт Алексей Архипович Леонов, который в те годы интенсивно готовился к полету на Луну. Зато редактор марки оказался недостаточно подготовлен в области астрономии, что и привело к забавному филателистическому казусу. Впрочем, как любая ошибка на марках, это лишь усилило интерес филателистов к «запечатанной лунной марке» и повысило ее коммерческую стоимость.

4.12. Восход Земли на Луне — 2

Положение земного диска вблизи лунного горизонта сразу же говорит нам о том, что наблюдатель располагался в либрационных секторах Луны, находящихся на границе ее видимого и невидимого с Земли полушарий. Судя по полностью освещенному Солнцем земному диску, съемка проводилась в период новолуния. Между крайними кадрами Земля переместилась чуть больше, чем на свой угловой диаметр ($1,8^\circ$), т. е. примерно на 2° , что вполне укладывается в амплитуду либраций Луны по долготе (около $\pm 8^\circ$) и по широте (около $\pm 7^\circ$). Поскольку очертания материков на Земле не видны, а значит, установить ориентацию земной оси невозможно, трудно сказать, в каком именно месте либрационных секторов Луны сделаны эти снимки. (Хотя повышенная облачность в двух местах земного диска намекает нам на то, что это полярные области. А значит, и наш наблюдатель, скорее всего, находится в высоких широтах Луны.)

Казалось бы, все сходится: перед нами эффект либрации. Однако некоторые детали на снимках указывают, что это не так. Во-первых, внешний вид Земли между снимками не изменился, а значит, между крайними кадрами прошли минуты или часы, но не дни или недели, что требуется для заметного эффекта либраций. Во-вторых, изменился вид лунной поверхности, следовательно, наблюдатель перемещается по ней или над ней. В-третьих, на снимках стоит копия японского космического агентства. Все вместе это говорит о том, что снимки сделаны с борта японского лунного спутника «Кагуя» (Kaguya, 2007–2008), который двигался по полярной орбите высотой 100 км. Дата съемки — 11 апреля 2008 г.

4.13. Полярная Луны

Полюс вращения Луны практически совпадает (разница на $1,5^\circ$) с полюсом эклиптики, который лежит в Драконе. Там нет ярких звезд. Но «черпак» Ковша Малой Медведицы удален от него на такое же расстояние, как и от конца своей «ручки», где расположена Полярная звезда. Так что, если не требовать высокой точности, то «черпак» Малого Ковша отмечает область северного полюса мира и может быть использован для ориентации на поверхности Луны.

4.14. Приливы

Для начала отметим небольшую неточность. Когда мы говорим о приливах на Земле, то не следует забывать и Солнце: его приливное влияние лишь вдвое слабее лунного. Но главная ошибка автора книги не в этом. Он путает преобразователь энергии с ее источником.

Рассмотрим пример: на реке построили гидроэлектростанцию. Она вырабатывает ток. Что служит его источником? Генератор? Турбина? Плотина? Нет: энергия падающей воды. Плотина — это концентратор энергии воды, которая без нее была бы «размазана» вдоль русла реки. Турбина преобразует потенциальную гравитационную энергию воды в кинетическую энергию ротора генератора, а тот — в энергию электрического тока. Не будь гидростанции, мы бы не смогли извлечь энергию речной воды, но источником этой энергии служит не сама станция, а вода в гравитационном поле Земли.

А теперь вернемся к приливам. Что служит источником энергии приливов? Какое тело теряет энергию, которая передается приливному движению океанской воды? Луна? Нет! Она сама забирает часть этой энергии, медленно удаляясь от нашей планеты за счет взаимодействия с приливными «горбами» Земли (см.: Дарвин, 1965; Сурдин, 1986, 2002). Если бы Земля не вращалась относительно направления на Луну (и Солнце), то не было бы приливного движения океанской воды, не происходили бы приливы и отливы, невозможно было бы использовать их энергию для работы приливных электростанций. Значит, энергия приливов черпается из энергии вращения Земли? Да! Именно поэтому вращение Земли замедляется и продолжительность суток увеличивается.

За последние полвека атомные часы и лазерная локация Луны позволили очень точно измерить действие приливных эффектов. Из-за приливного взаимодействия с Землей радиус лунной орбиты в нашу эпоху возрастает со средней скоростью 38 мм/год, а длительность земных суток под действием тех же приливов возросла на 23 микросекунды в год. Казалось бы, изменения очень малы. Но умножьте их, например, на миллиард лет, и вы почувствуете, как это много.

Правда, в нашу эпоху движение материков так изменило конфигурацию океанов, что это способствует приливам. Раньше они были слабее. По палеонтологическим данным (дающим число

солнечных суток в году), за последние 620 млн лет средняя скорость удаления Луны составила 22 мм/год, а длительность суток возрастала в среднем на 12 мкс/год. Но в далеком прошлом приливы были сильнее, поскольку Луна была ближе к Земле. Впрочем, ее роль, как мы уже поняли, та же, что и у плотины ГЭС: она лишь создает условия для превращения энергии вращения Земли в энергию приливов, но сама не служит источником энергии, а, напротив, частично потребляет ее.

Итак, на вопрос задачи мы ответим: автор не понял физику приливов и запутал юного читателя. К сожалению, в детской литературе это не редкость (см., например, задачи 4.7 «Фазы Луны» и 4.6 «Луна готовит побег?»). Будьте внимательны! Неверные представления могут остаться с вами надолго, а то и навсегда. В этом я регулярно убеждаюсь, общаясь со студентами и даже школьными учителями.

4.15. Земля остановилась

Падение по радиусу-вектору к Солнцу с расстояния R можно представить как движение по предельно сжатому эллипсу с большой полуосью $a = R/2$. Время падения t равно половине орбитального периода P на этой орбите. Значение P легко определяется из 3-го закона Кеплера путем сравнения с движением Земли: $(P/1 \text{ год})^2 = (0,5R/R)^3$. Отсюда $P = 1/2^{3/2}$ года, а $t = P/2 = 1/2^{5/2} = 65$ суток.

Скорость падения издалека на поверхность небесного тела равна второй космической скорости на этой поверхности

$$V_{\infty} = \sqrt{\frac{2GM_{\odot}}{R_{\odot}}} = 618 \text{ км/с.}$$

4.16. Метеоритные кратеры на Венере

Это объясняется защитным действием плотной атмосферы Венеры. Метеорное тело легко, почти без потери скорости, пробивает атмосферу планеты, если поверхностная плотность тела не уступает значительно поверхностной плотности атмосферы (т. е. массе атмосферного столба на квадратный сантиметр его поверхности). Для

Венеры ее легко оценить, сравнив атмосферы Венеры и Земли. Поскольку ускорения силы тяжести на этих двух планетах почти одинаковы, поверхностные плотности атмосфер пропорциональны их давлениям у поверхности. Давление земной атмосферы 1 бар, т. е. 1 кг/см², что эквивалентно столбу воды высотой 10 м или камня высотой 3–4 м. На Венере давление почти в 100 раз выше, что эквивалентно 1 км водяного столба или 300–400 м каменного. Эти оценки относятся к перпендикулярному к поверхности полету тела. Если же учесть, что в большинстве случаев метеорное тело входит в атмосферу под углом к поверхности, то полученные значения следует увеличить в 1,5÷2 раза.

Таким образом, без потери своей космической скорости к поверхности Венеры сквозь ее атмосферу может прорваться ледяная глыба (ядро кометы) размером более 1÷2 км или каменная размером 0,5÷1 км. Для метеоритных кратеров на Земле неплохо выполняется соотношение между диаметром кратера и ударника — 20: 1. Поверхность Венеры и сила тяжести похожи на земные, поэтому и для нее можно принять такое же соотношение. Километровый метеорит образует на Венере кратер диаметром около 20 км. Более крупные кратеры будут возникать на Венере так же легко, как кратеры диаметром 100÷200 м возникают на Земле: для их ударников атмосфера не служит препятствием. А вот кратеров мельче 20 км на Венере должно быть очень мало. Действительно, кратеров диаметром менее 2 км на Венере нет, а диаметром до 25÷30 км — относительно мало.

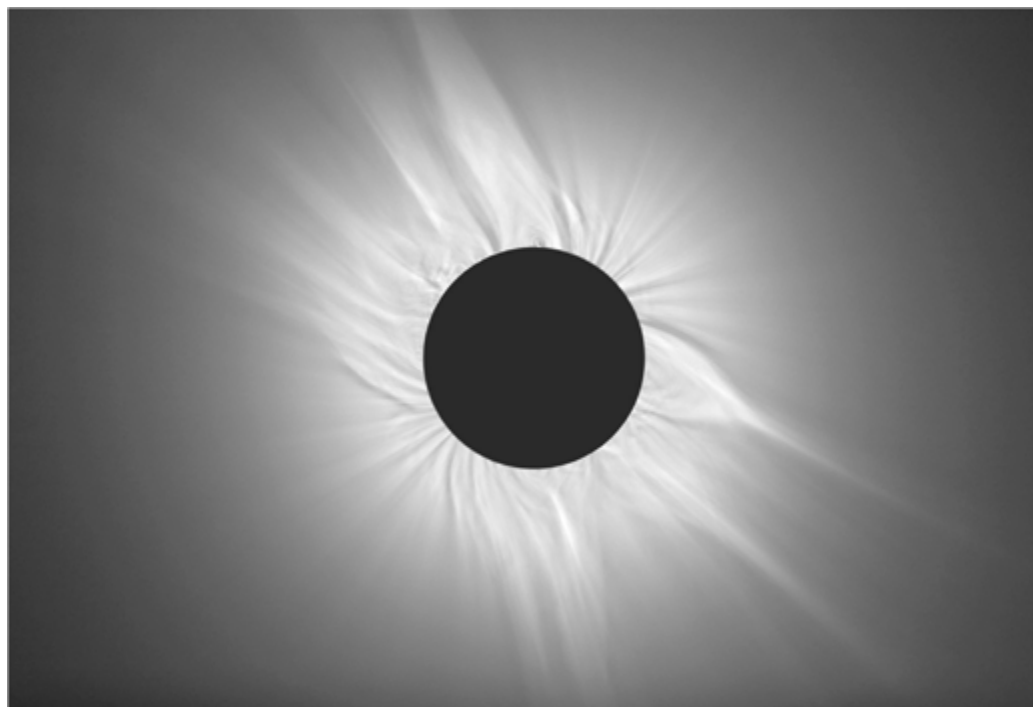
4.17. Ошибки в системах мира

На рисунке 1 шесть ошибок: 1, 2 — неверное положение Меркурия и Венеры относительно Солнца (они должны располагаться между Солнцем и Землей), 3 — неверное направление освещенной стороны Луны (она должна быть направлена к Солнцу), 4, 5, 6 — Марс, Юпитер и Сатурн неверно размещены на своих эпициклах (их положение должно быть связано с положением Солнца).

На рисунке 2 одна ошибка: неверное направление освещенной стороны Луны (она должна быть направлена к Солнцу).

4.18. Солнце с крыльями

Вероятно, изображение Солнца с крыльями показывает, что во время полных солнечных затмений древние египтяне обнаружили корону Солнца, которая действительно иногда имеет форму широко распахнутых крыльев.



Корона Солнца в момент его полного затмения 29 марта 2006 г.

4.19. Земля и Марс

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, явления смены времен года у Земли 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 на Марсе. Прежде всего это касается возможности существования воды в трех фазах — твердой, жидкой и газообразной.

В то время как на поверхности Венеры жизнь исключена, на Марсе она возможна.

4.20. Марс и Земля

Противостояние и наибольшее сближение пришлись на разные дни из-за того, что орбита Марса не круговая, а существенно эллиптическая. После момента противостояния Земля и Марс двигались к точке перигелия орбиты Марса, продолжая при этом некоторое время сближаться.

Земля проходит вблизи точки перигелия марсианской орбиты в конце августа, а вблизи точки афелия — в конце февраля. Если она встречается там с Марсом (т. е. происходят его противостояния), то расстояние Марса от Солнца в эти дни не меняется, а значит, не меняется его расстояние и от Земли, если считать ее орбиту круговой. (Для знатоков высшей математики: в точках максимума и минимума функции ее производная равна нулю.)

Напротив, в точках орбиты, лежащих между афелием и перигелием, расстояние Марса от Солнца, а значит, и от почти круговой орбиты Земли, изменяется с наибольшей скоростью: в конце мая оно уменьшается, а в конце ноября возрастает. Поэтому наибольшее сближение Земли с Марсом в ноябре опережает момент противостояния, а в мае запаздывает относительно него.

4.21. Проект «Марс»

Понятно, что эвакуироваться с поверхности удобно лишь в те моменты, когда базовый корабль проходит над местом посадки, что происходит, как сказано в проекте, с периодичностью $P_S = 2$ час 26 мин.

Пусть H — высота орбиты над поверхностью планеты, а M и R — масса и радиус Марса. Тогда орбитальный период корабля

$$P_H = \frac{2\pi(R+H)}{V_H},$$

где $V_H = \sqrt{GM/(R+H)}$ — первая космическая скорость (т. е. скорость движения по круговой орбите) на высоте H . Сама планета и находящаяся на ее поверхности экспедиция тоже вращаются с периодом, равным звездным (сидерическим) суткам Марса $P_0 = 24,623$ часа. Если корабль движется в направлении вращения планеты, то частоту его обращения относительно поверхности ($1/P_S$) найдем как разность его орбитальной частоты ($1/P_H$) и частоты вращения планеты ($1/P_0$):

$$\frac{1}{P_S} = \frac{1}{P_H} - \frac{1}{P_0}.$$

Отсюда

$$\frac{1}{P_H} = \frac{1}{P_S} + \frac{1}{P_0} = \frac{P_0 + P_S}{P_0 P_S}.$$

Отсюда

$$P_H = 2\pi \sqrt{\frac{(R+H)^3}{GM}} = \frac{P_0 P_S}{P_0 + P_S}.$$

Отсюда

$$H = \sqrt[3]{GM} \sqrt[3]{\left(\frac{P_0 P_S}{2\pi(P_0 + P_S)}\right)^2} - R.$$

Подставив все известные нам современные значения переменных, в ответе получаем $H = 705$ км. Как же так? Ведь должно было получиться ровно 1000 км. Неужели в середине XX в. плохо были известны масса и радиус Марса? Нет, они уже были измерены достаточно точно. Так неужели великий инженер В. фон Браун ошибся и допустил ошибку почти в 300 км? Невероятно! Ведь он был очень грамотный инженер и строил прекрасные ракеты. Быть может, он что-то не учел? Проверим. Если высота орбиты 1000 км, то каков будет ее период? $P_H = 2$ час 25 мин. С точностью до секунды он совпадает с указанным фон Брауном! Значит, великий инженер просто вычислил орбитальный период базового корабля, но не учел вращение планеты. На самом деле корабль на высоте 1000 км будет пролетать над экваториальной базой с периодом

$$P_s = \frac{P_0 P_H}{P_0 - P_H} = 2 \text{ час } 41 \text{ мин.}$$

А вот вопрос, над которым Вернер фон Браун очевидно размышлял и пришел к правильному выводу: почему базовый корабль должен летать так высоко над Марсом. Будь он ближе к Марсу — чаще бы пролетал над экваториальной базой, и к нему легче было бы подняться на взлетной ступени. Например, МКС летает над Землей на высоте 400 км. Но фон Браун выбрал для своего корабля орбиту высотой 1000 км.

Даю подсказку: сила тяжести на Марсе в 2,6 раза слабее земной. Следовательно, атмосфера... Дальше подумайте сами.

4.22. Марсоход

Расстояние между Землей и Марсом изменяется от 0,5 а. е. в противостоянии до 2,5 а. е. в соединении. К тому же, после получения изображения, оператор должен отправить команду управления, поэтому время задержки реакции марсохода удваивается, доводя эффективное расстояние до $1 \div 5$ а. е. Как известно, солнечный свет (а значит, и радиоволна) проходит расстояние в 1 а. е. за 500 секунд, значит, после появления препятствия на расстоянии 50 м от марсохода управляющая команда с Земли придет к нему через $500 \div 2500$ секунд. Наихудший вариант — это 2500 секунд, следовательно, скорость аппарата при этой конфигурации Марса и Земли не должна превышать $50 \text{ м} / 2500 \text{ с} = 2 \text{ см/с}$. В эпоху противостояния ее можно повысить до 10 см/с.

4.23. Полет к Сатурну

Используя 3-й закон Кеплера, гласящий, что квадраты периодов обращения планет пропорциональны кубам больших полуосей их орбит, найдем период астероида (P), сравнив его с орбитальным периодом Земли. Большая полуось орбиты астероида равна $(1 + 9,5)/2$ а. е. Поэтому

$$\left(\frac{P}{1 \text{ год}}\right)^2 = \left(\frac{1+9,5}{2}\right)^3,$$

откуда $P = 12$ лет.

Мы видим, что перелет с Земли к Сатурну по самой выгодной траектории (полуэллиптической траектории Гомана — Цандера) должен продолжаться 6 лет. Однако космический зонд «Кассини» (NASA), ставший спутником Сатурна, был запущен с Земли 15 октября 1997 года, а прибыл к Сатурну 30 июня 2004 года, т. е. провел в пути 6 лет и 8,5 месяца. Как ему удалось нарушить законы небесной механики и с какой целью это было сделано? Разберитесь!

4.24. Пепельный свет Титана

Мы видим пепельный свет Луны, потому что сами находимся на источнике освещения, т. е. на Земле (см. задачу «Пепельный свет» в разделе «Прогулка по Земле»). Именно поэтому солнечный свет, отраженный Землей, полностью освещает ту часть темной стороны Луны, которая в данный момент видна с Земли. Фото Титана сделано космическим зондом «Кассини» (NASA) не со стороны Сатурна, поэтому не видно пепельного света.

Мы можем оценить ожидаемую яркость пепельного света Титана (T) по сравнению с пепельным светом Луны (L), сравнивая потоки солнечного света (I) у Земли ($\oplus$) и Сатурна (S), видимый со спутника диаметр планеты (D) и альбедо (A) планеты и спутника. Для этого мы используем расстояния планет от Солнца (R) и спутников от планет (r). Итак, отношение яркостей пепельного света (E) составит:

$$\frac{E_T}{E_L} = \left(\frac{R_{\oplus}}{R_S}\right)^2 \left(\frac{A_S}{A_{\oplus}}\right) \left(\frac{D_S r_L}{D_{\oplus} r_T}\right)^2 \left(\frac{A_T}{A_L}\right).$$

В астрономических справочниках мы легко найдем значения этих величин и вычислим их отношения.

$$\begin{aligned}\frac{R_{\oplus}}{R_c} &= \frac{1}{9,55} & \frac{r_L}{r_T} &= \frac{384\,000}{1\,222\,000} \\ \frac{A_c}{A_z} &= \frac{0,47}{0,367} & \frac{A_T}{A_L} &= \frac{0,22}{0,12} \\ \frac{D_c}{D_{\oplus}} &= 9,14\end{aligned}$$

А теперь можно вычислить отношение

$$\frac{E_T}{E_L} = \left(\frac{1}{9,55}\right)^2 \left(\frac{0,47}{0,367}\right) \times 9,142 \times \left(\frac{384\,000}{1\,222\,000}\right)^2 \left(\frac{0,22}{0,12}\right) = 0,21.$$

Как видим, ожидаемая яркость пепельного света Титана почти в 5 раз меньше лунного. Какие же факторы играют в этом основную роль? Удаленность Сатурна от Солнца почти полностью компенсируется его большим собственным размером. Альbedo Сатурна и Титана больше, чем Земли и Луны, что дает преимущество Титану. Но главную роль в слабости его пепельного света играет относительная удаленность Титана от Сатурна. Тем не менее на фоне космической темноты пепельный свет Титана должен быть виден. Надо лишь поймать удобный ракурс — сфотографировать Титан со стороны Сатурна в фазе, близкой к «новолунию».

4.25. Кольцо Сатурна

Ослабление света на 1^m , т. е. примерно в 2,5 раза, говорит о том, что не менее половины проходящих сквозь кольцо фотонов поглощается или рассеивается в нем. А значит, и твердые частицы самого кольца, пересекая его по толщине (из-за небольшого различия в наклонах орбитальных плоскостей), имеют шанс не менее 50 % столкнуться с другими частицами. Двух пересечений достаточно, чтобы считать этот шанс близким к 100 %. За один орбитальный оборот частица как раз испытывает два пересечения, если не движется точно в центральной плоскости кольца. А если и движется в центральной плоскости, то все равно имеет не меньший шанс столкнуться с теми частицами, которые пересекают эту плоскость.

Орбитальный период (P) частиц в разных областях кольца разный в зависимости от расстояния (R) до центра планеты:

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}},$$

где M — масса Сатурна. Для упрощения вычислений выразим M и R через массу и радиус Земли ($\oplus$), чтобы использовать известный нам орбитальный период на низкой околоземной (гагаринской!) орбите:

$$P = 1,5 \text{ часа} \sqrt[2]{\left(\frac{R}{R_{\oplus}}\right)^3} \sqrt{\frac{M_{\oplus}}{M}}.$$

Масса Сатурна равна $95,16 M_{\oplus}$, а радиус наиболее плотной части ярчайшего кольца В — около 100 000 км. Следовательно, орбитальный период частиц в нем равен

$$P = 1,5 \text{ часа} \frac{\sqrt[2]{\left(\frac{100000}{6371}\right)^3}}{\sqrt{95,16}} = 9,6 \text{ час.}$$

Это и есть характерное время между столкновениями частиц. За один орбитальный оборот частица дважды пересекает кольцо по толщине (L). Поэтому характерная скорость взаимного столкновения частиц $V \approx 2L/P$. Толщина колец Сатурна оценивается от 10 м до 1 км. Примем $L = 100$ м, тогда $V \approx 200 \text{ м} / 9,6 \text{ час} = 6 \text{ мм/с}$. Столь мягкие касания скорее могут привести к слипанию частиц, чем к их разрушению.



5. В гостях у братьев Стругацких

5.1. «Подсолнечник» над Леонидой

Для оценки блеска звездолета используем простейший метод — сравним его с Луной, полагая, что звездолет обращается вокруг Земли. Пусть A_3 и A_L — альбедо звездолета и Луны, L_L и D_L — расстояние до Луны и ее диаметр, L_3 и D_3 — расстояние и средний диаметр звездолета. Тогда при их одинаковом освещении Солнцем отношение потоков света от них у поверхности Земли составит $(A_3/A_L)(D_3 L_L / D_L L_3)^2$. Пусть видимая поверхность обоих полностью освещена Солнцем. При этом Луна в фазе полнолуния, а значит, ее звездная величина, как известно, составляет $-12,7^m$. Тогда звездная величина звездолета составит

$$m_3 = -12,7 - 2,5 \lg \left[\frac{A_3}{A_L} \left(\frac{D_3 L_L}{D_L L_3} \right)^2 \right].$$

Подставим значения величин: $L_L = 384\,000$ км, $D_L = 3475$ км, $A_L = 0,12$ и $L_3 = 2000$ км (это расстояние от поверхности планеты, но поскольку звездолет прошел через зенит, то в этот момент таким же было и расстояние от наблюдателя). Осталось определиться со средним диаметром и альбедо звездолета. Пусть $D_3 = 1$ км и альбедо как у Луны (мы ничего не знаем о материале звездолета, но знаем точно, что от длительного пребывания в космосе любой твердый материал темнеет, как Луна, Меркурий и астероиды). Подставив указанные значения, получим $m_3 = -6,4$. Действительно, «Подсолнечник» — очень яркое светило, в несколько раз ярче Венеры. Авторы не ошиблись в цифрах. Да и не могли ошибиться, ведь Борис Стругацкий — профессиональный астроном, а его брат Аркадий, переводчик, с детства также увлекался астрономией.

Итак, задача решена — слово «яркая» подтвердилось. Но не торопитесь расставаться с замечательной повестью Стругацких.

Прочитайте фразу еще раз: «Среди мигающих звезд неторопливо прошло через зенит яркое белое пятнышко». Астроном не назовет точечный источник света «пятнышком». Следовательно, звездолет имел заметный угловой размер? Проверим: $1,5 \text{ км} / 2000 \text{ км} = 0,00075 \text{ рад} = 2,6'$. Считается, что нормальное зрение человека имеет угловое разрешение около $1'$. Значит, и здесь авторы не ошиблись: звездолет имел заметный угловой размер, чем и отличался от звезд. Впрочем, не только этим.

Авторы подчеркнули, что звезды «мигали» (точнее было бы сказать «мерцали», но не будем придираться к классикам), подразумевая, что звездолет светил ровным светом. Действительно, при прохождении света через атмосферу земного типа и при угловом размере более нескольких секунд дуги объект не мерцает, как звезды, а светит ровно, как планеты на нашем небе. Еще одно очко в зачет авторам.

Наконец, оценим, насколько медленно двигался звездолет по небу. Считая Леониду копией Земли, вычислим скорость звездолета на круговой орбите высотой 2000 км от поверхности:

$$8 \text{ км/с} \times \sqrt{\frac{6400 \text{ км}}{8400 \text{ км}}} = 7 \text{ км/с}.$$

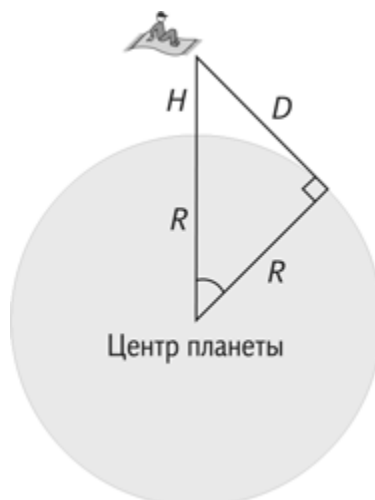
Следовательно, дугу в 1 радиан ($57,3''$) он пройдет примерно за 5 минут ($= 2000 \text{ км} / 7 \text{ км/с}$). Действительно — неторопливо.

Если, дорогой друг, вы не ограничитесь приведенным отрывком из повести, а прочитаете ее целиком, то узнаете, что описанное событие происходило в начале ночи. А мог ли звездолет в это время суток быть виден в зените в солнечных лучах? Поскольку Солнце заходит на западе, тень планеты поднимается на востоке и приближается к зениту ближе к полуночи. Поэтому в первые ночные часы спутник в зените действительно освещен Солнцем — в этом авторы правы. И это не случайное совпадение: Стругацкие отлично знают астрономию, о чем говорит заключительная фраза эпизода: «Белое пятнышко потускнело и скрылось — „Подсолнечник“ ушел в тень Леониды». Теперь мы знаем, что звездолет двигался по орбите с запада на восток. Авторы об этом умолчали, но мы с вами выяснили это сами.

5.2. Обозреваем окрестности

Сразу ясно, что атмосфера планеты весьма прозрачная, не хуже земной. На Земле, на уровне моря, при наблюдении на 5÷6 км уже вполне заметным становится рассеяние и поглощение света в атмосфере. Правда, в тексте Стругацких сказано о тумане над болотом. Но, видимо, он был низким и не мешал наблюдению.

Угол в 360° — это полная окружность; следовательно, камера смотрела во все стороны, осматривая весь горизонт. Если понимать текст так, что во всех направлениях было видно на 7 км, то это означает, что местность плоская, равнинная, лишенная высоких холмов и растений (болото!).



А теперь самое интересное: если во всех направлениях было видно на одно и то же расстояние (7 км), то это расстояние до истинного горизонта, т. е. до точки, где луч зрения параллелен поверхности планеты и перпендикулярен отвесной линии, т. е. радиусу планеты, проходящему через точку наблюдения (полагаем, что форма планеты — шар). Обратимся к рисунку. Пусть R — радиус планеты, H — высота наблюдателя над ее поверхностью, D — расстояние до горизонта. Если пренебречь атмосферной рефракцией, искривляющей ход световых лучей, то эти три отрезка составляют прямоугольный треугольник. Из теоремы Пифагора $(R + H)^2 = R^2 + D^2$. Раскроем скобки и сократим подобные члены: $2RH + H^2 = D^2$. Поскольку планета удерживает атмосферу (туман!), ее радиус не менее 1000 км, а

значит, $R \gg H$. Следовательно, в левой части уравнения можно пренебречь членом H^2 . Окончательно получаем:

$$2RH = D^2.$$

Эта формула очень полезная. Например, зная радиус планеты и высоту глаз наблюдателя, можно найти расстояние до видимого горизонта: $D = \sqrt{2RH}$. Для Земли ($R = 6371$ км) и наблюдателя ростом 180 см на берегу моря (высота глаз от поверхности 170 см) получим расстояние до морского горизонта $D = 4,65$ км. В общем случае

$$D = 3,57\sqrt{H/1\text{ м}} \text{ км.}$$

Вернемся к нашей задаче. Для нее формула принимает вид:

$$R = \frac{D^2}{2H}.$$

При $D = 7$ км и $H = 3$ м получим $R = 8167$ км. Как видим, планета в повести Стругацких оказалась немногим больше Земли.

5.3. Стажеры — 1

Зафиксированные приборами пиковые температуры марсианской поверхности таковы: -143 °С полярной ночью на северной полярной шапке и $+30$ °С летним днем в средних широтах южного полушария. Типичная температура: от -85 °С зимней ночью до -5 °С летним днем. Поэтому температура -83 °С в конце ночи на Марсе — это очень точное попадание авторов повести, опубликованной в 1962 г., до первых полетов автоматических зондов к Красной планете.

5.4. Стажеры — 2

Пусть суммарная масса всех обломков и пыли, оставшихся от Эйномии, равна m , а радиус облака $r = 350$ км. Приливный гравитационный эффект, «слегка растянувший» это облако, состоит в том, что разные его части находятся на разном расстоянии от Солнца и

поэтому испытывает разное ускорение под действием его притяжения (см.: Сурдин, 1986 и 2002). Пусть $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ кг — масса Солнца, а $R = 2,15$ а. е. — минимальное расстояние астероида от него. Ускорение к Солнцу, вызванное силой его притяжения, равно GM/R^2 , а его разница в разных частях облака относительно его центра равна

$$r \frac{d(GM_{\odot}/R^2)}{dR} = \frac{2rGM_{\odot}}{R^3}.$$

Знак мы опустили, поскольку он не важен.

В тексте сказано, что облако обломков слегка растянато приливной силой. Значит, приливное ускорение сравнимо с ускорением собственной гравитации облака (Gm/r^2), но в несколько раз слабее него. В астрофизике сравнение «в несколько раз» обычно обозначает «в 10 раз», т. е. «на порядок»; примем и мы это предположение. Тогда

$$\frac{Gm}{r^2} = \frac{20rGM_{\odot}}{R^3},$$

откуда

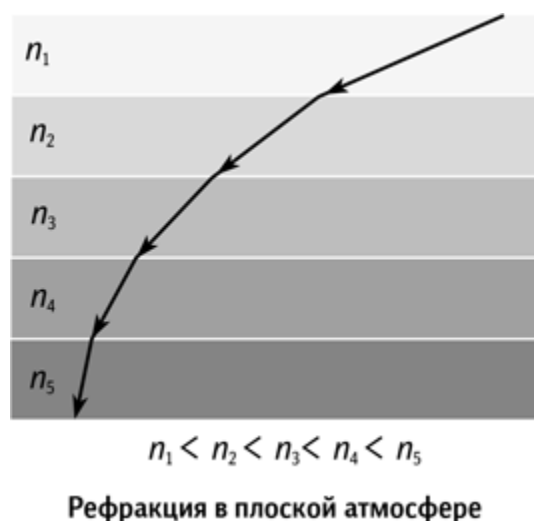
$$m = 20M_{\odot} \left(\frac{r}{R} \right)^2 = 4 \cdot 10^{31} \left(\frac{350}{2,15 \times 150 \times 10^6} \right)^3 = 5 \cdot 10^{13} \text{ кг}.$$

Как видим, по сравнению с исходной, масса астероида уменьшилась в миллион раз. Если собрать оставшееся вещество в один фрагмент плотностью 3 г/см^3 , то его размер был бы около 2,6 км.

5.5. Рефракция

Атмосферной рефракцией астрономы называют преломление в атмосфере планеты световых лучей, проходящих от объектов наблюдения. У астрономов объекты наблюдения обычно находятся за пределом атмосферы, в далеком космосе, поэтому лучам света приходится преодолевать всю толщу атмосферы: от ее верхней границы, где атмосфера крайне разрежена, до поверхности Земли, где

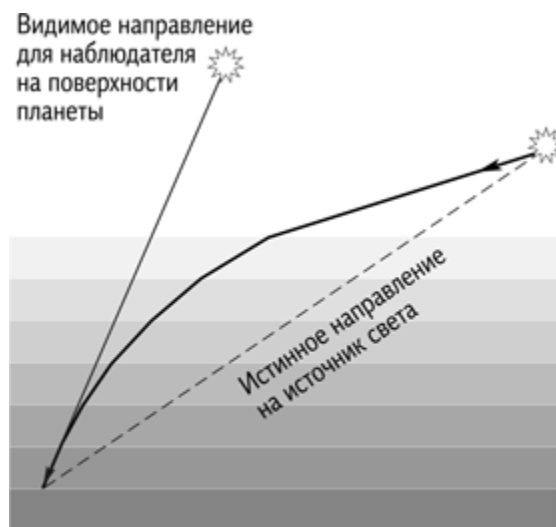
воздух имеет максимальную плотность. Понять, почему луч света изменяет направление, легко, если условно разделить атмосферу на горизонтальные слои равной плотности (кривизной земной поверхности в нашем случае можно пренебречь) и посмотреть, как преломляется луч на границах слоев, двигаясь из менее плотных слоев в более плотные.



В результате атмосферной рефракции направление лучей, достигших наблюдателя, отличается от их первоначального направления. При нормальном распределении температуры и плотности в атмосфере коэффициент преломления n возрастает сверху вниз, поэтому из-за рефракции наблюдаемая высота светила над горизонтом увеличивается. Часто это явление называют «астрономической рефракцией», имея в виду ночные наблюдения с поверхности планеты удаленных объектов, находящихся за пределом атмосферы.

Днем солнечные лучи сильно нагревают землю, поэтому находящийся с ней в контакте нижний слой атмосферы может иметь более низкий коэффициент преломления, чем слой, лежащий над ним. Это вызывает отклонение лучей света, проходящих через приземный слой, не вниз, а вверх и способствует появлению миражей: изображение опускается ниже уровня горизонта. Например, пассажиры автомобиля в жаркий солнечный день часто видят вдали «лужи» на поверхности асфальта, а приблизившись, обнаруживают, что асфальт сух. «Лужи» — это мираж, отражение неба в горячем слое

воздуха над асфальтом. Но миражи — явление редкое, требующее специальных условий: горячий асфальт, горячий песок в пустыне, теплая морская поверхность при остывающем вечернем воздухе... А в нормальных условиях наблюдается астрономическая рефракция, поднимающая изображение в сторону зенита.



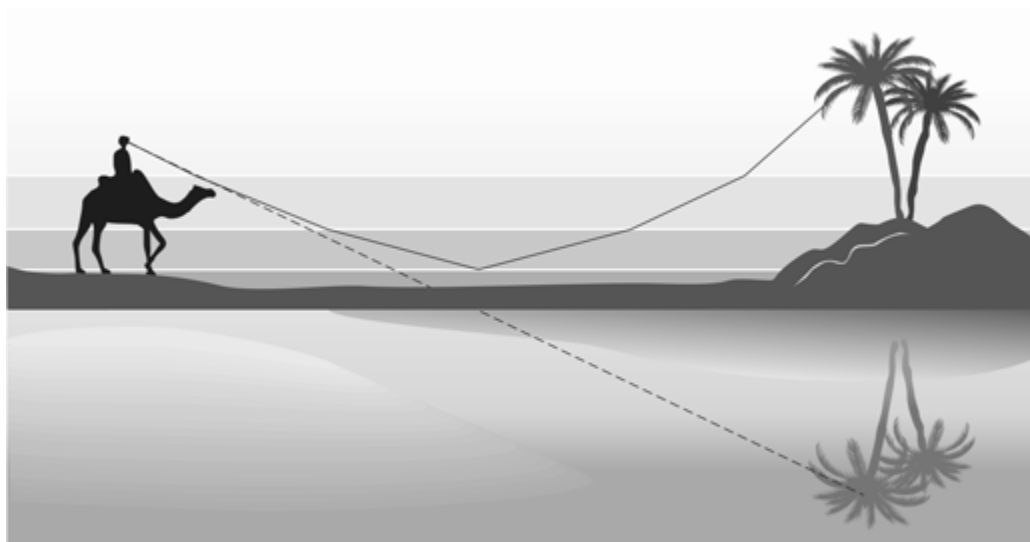
Изменение видимого с поверхности планеты направления на небесный объект по сравнению с истинным направлением



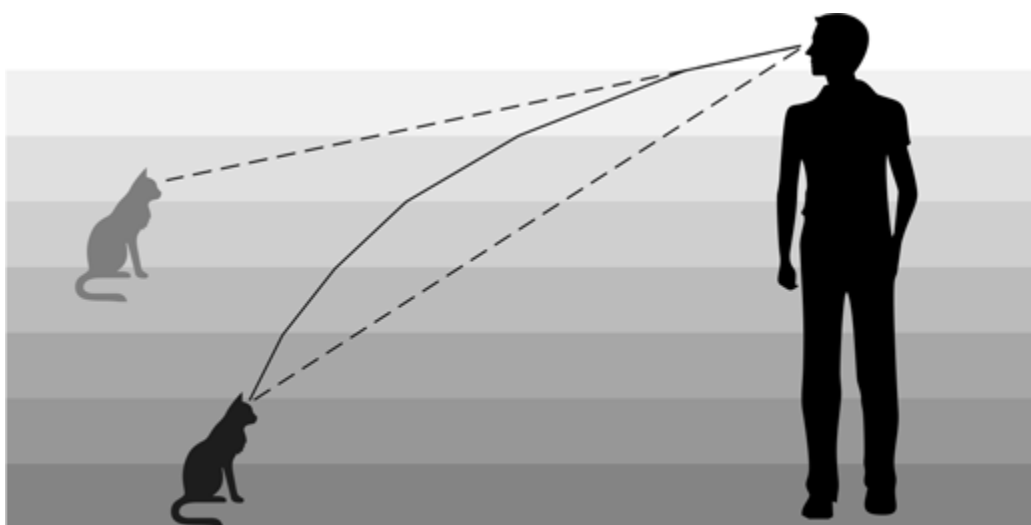
Миражи над горячим асфальтом

Степень рефракции зависит от угла падения луча на границу атмосферы. При наблюдении светила в зените угол рефракции,

естественно, равен нулю. А у горизонта рефракция достигает максимального значения: для наблюдателя на уровне моря ее угол составляет около $35'$ (т. е. 35 угловых минут). Это чуть больше видимого диаметра диска Луны или Солнца. Поэтому, когда мы видим сквозь атмосферу, что диск Луны или Солнца своим нижним краем коснулся горизонта, в действительности — если бы атмосфера не искажала направление лучей света — мы бы уже не увидели их диски, поскольку они скрылись бы под горизонтом.



Мираж над горячим песком создает впечатление озера, в котором отражается пальма



Эффект сильной атмосферной рефракции для наблюдателя, находящегося выше объекта

Разобравшись с рефракцией, вернемся к задаче из повести Стругацких. Река течет медленно, но наблюдатель видит, что она «спускается с востока», что уже настораживает: заметный уклон русла реки виден лишь в горной местности, но там реки стремительные, а не спокойные. Но окончательное недоумение вызывает взгляд на запад: в этом направлении река течет вверх! Поэтому наблюдатель верно заключает, что причиной видимого искривления поверхности реки служит сильная атмосферная рефракция, приподнимающая изображение удаленных объектов. Наблюдатель ощущает себя как бы в центре чаши, края которой приподняты до уровня его головы.

5.6. «Хиус» над полигоном

1) Геодезический азимут (в отличие от астрономического) отсчитывается от точки севера к востоку. Следовательно, «Хиус» был чуть (на $8^{\circ} 44'$) к востоку от направления на север.

2) Если пауза между приказанием и его исполнением была недолгой, то можно считать, что измерение углов было сделано в тот же момент, когда ракета была на высоте 60 км от поверхности. Поскольку масштаб задачи много меньше размера Земли, поверхность планеты можно считать плоской. Если угловая высота над горизонтом равна 60° , а расстояние до поверхности 60 км, то расстояние до планетолета по прямой (гипотенуза) составляет $60/\sin(60^{\circ}) = 69,3$ км.

5.7. Путь на Амальтею — 1

1) Орбитальный период Амальтеи действительно близок к 12 час, но вокруг своей оси спутник тоже вращается за 12 час, а не 35. Синхронизация осевого вращения и орбитального обращения обусловлена приливным эффектом.

В порядке открытия Амальтея действительно пятый спутник (после четырех галиевых), но отнюдь не ближайший к планете. Правда, в год опубликования повести (1960) Амальтея была ближайшим из известных спутников, так что авторов не в чем упрекнуть.

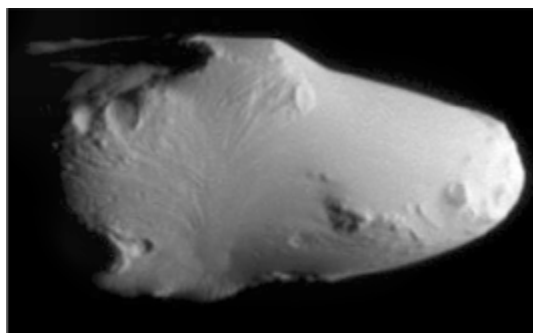
Горизонт на Амальтее действительно близкий, поскольку спутник мал: если представить его как трехосный эллипсоид, то диаметры составляют $250 \times 146 \times 128$ км. По объему это эквивалентно шару диаметром 167 км. Полагая высоту глаз наблюдателя над поверхностью $H = 1,7$ м и используя формулу из задачи «Обозреваем окрестности», найдем среднее расстояние до горизонта: $D = \sqrt{2RH} = 533$ м. С учетом формы спутника оно немного зависит от положения наблюдателя и направления его взгляда, но в любом случае незначительно отличается от 0,5 км.

2) Ближайшим спутником Амальтея оставалась до 1979 г., когда были открыты еще более близкие Метида и Адрастея. Очевидно, повесть была написана раньше.

3) Удивительно, но здесь авторы допустили ошибку. Если оба вращения происходят в одном направлении, то Юпитер должен восходить через $(12^{-1} - 35^{-1})^{-1} = 18,3$ часа, если же в разных направлениях, то через $(12^{-1} + 35^{-1})^{-1} = 8,9$ часа. Для астронома Бориса Стругацкого это непростительная ошибка.

5.8. Путь на Амальтею — 2

Амальтея имеет не сплюснутую, а вытянутую форму. Ее «диаметры» составляют $250 \times 146 \times 128$ км. У сплюснутого сфероида один диаметр короче двух других, а у вытянутого — длиннее двух других. Правда, если подходить к делу скрупулезно, то фигура Амальтеи ближе всего к трехосному эллипсоиду. Что же касается состава спутника, то авторы правы: средняя плотность Амальтеи $0,86 \pm 0,1$ г/см³ действительно соответствует плотности водяного льда.



Амальтея. Фото зонда «Кассини» (NASA, 2010)

5.9. Путь на Амальтею — 3

Прав оказался Юрковский. Кольцо Юпитера было открыто намного позже, чем была написана эта повесть Стругацких. Интуиция не подвела писателей!

5.10. Радиомаяк на Венере

За полный период сканирования (3 сек) маяк излучил около 300 импульсов, дважды покрыв ими полусферу неба. Следовательно, площадь, а точнее, телесный угол его луча равен $1/300$ полной площади (т. е. телесного угла) небесной сферы. Как известно, площадь сферы равна $4\pi R^2$, а ее полный центральный телесный угол составляет 4π стерadian. Вспоминая, что 1 радиан = $180^\circ/\pi \approx 57,3^\circ$, находим, что 1 стерadian = $(57,3^\circ)^2$. Значит, площадь всей небесной сферы составляет $S \approx 4\pi(57,3^\circ)^2 \approx 4,13 \cdot 10^4$ квадратных градуса. Точное значение площади небесной сферы, округленное до целых, равно 41 253 кв. град. Таким образом, телесный угол радиолуча составляет около $41\,253/300 = 138$ кв. град., а ширина — около $\sqrt{138} \approx 12^\circ$.

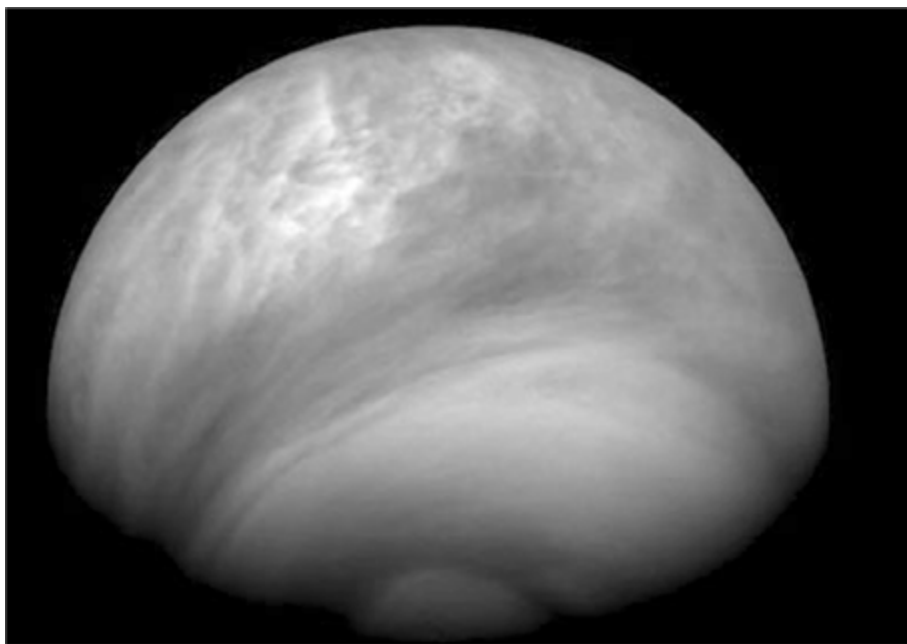
5.11. Созвездия на Фобосе

Звездный узор, который мы обычно запоминаем в том или ином созвездии, сложен наиболее яркими его звездами и называется астеризмом. Например, Ковш — это астеризм в созвездии Большая Медведица. Рисунок Ковша легко узнаваем, а расположение множества слабых звезд в этом созвездии запомнить и распознать очень трудно. На сером городском ночном небе обычно проявляются лишь самые яркие звезды, поэтому астеризмы многих созвездий легко узнаваемы. Но за городом или, еще лучше, в горах ночное небо значительно темнее, и на нем проступают многочисленные слабые звезды, мешающие нам выделить знакомую фигуру астеризма. Нужна определенная тренировка — и астрономы ею обладают, — чтобы на фоне богатого звездами горного неба узнать знакомые созвездия. В космосе этот эффект еще заметнее.

Фобос — маленький безатмосферный спутник Марса. Находясь на его поверхности, наблюдатель увидит «бездонное черное небо», так густо усыпанное звездами, что с трудом сможет отыскать среди них знакомые очертания астеризмов. Этот же эффект проявится и на любом другом безатмосферном теле.

5.12. Венера

Сведения о Венере в повести Стругацких в целом соответствуют современным данным об этой планете. Некоторое расхождение в размере, объеме, площади поверхности, силе тяжести и средней плотности связано с тем, что в 1950-е гг. планету измеряли по наблюдениям в телескоп по верхней границе облаков, а сегодня у нас есть данные о ее твердом теле, диаметр которого почти на 200 км меньше. Состав атмосферы тоже указан верно: в основном это диоксид углерода (CO_2), названный в повести углекислотой.



Облачный покров Венеры. Фото аппарата «Venus Express» (ESA, 2007)

Главная же и по большому счету единственная ошибка авторов состоит в указании периода вращения планеты вокруг оси (57 час = 2,4 сут), ибо на самом деле планета вращается с периодом в сто раз большим (243 сут). Впрочем, в те годы все астрономы мира разделяли

это заблуждение. Впервые вращение Венеры было измерено с помощью радиолокации в 1962 г. А причина ошибки заключалась в том, что с периодом в несколько суток вращается верхний слой атмосферы Венеры, т. е. наблюдаемая с Земли картина облаков. Физический механизм этой суперротации атмосферы Венеры до сих пор не до конца понятен.

5.13. Спутник Венеры

Спутник Венеры — это фантастический прогноз авторов повести. Насколько известно современным астрономам, у Венеры нет естественных спутников, хотя вблизи ее орбиты движется несколько астероидов-троянецов и один квазиспутник. Начиная с XVII в. Джованни Кассини и другие астрономы неоднократно заявляли об открытии спутников Венеры, но каждый раз выяснялось, что это заблуждение. Обычно за спутник принимали звезду, рядом с которой по небу проходила Венера.

5.14. Перевернутая радуга

Радуга показалась героям повести странной, потому что это была не радуга, а гало. Радугу мы наблюдаем, когда Солнце у нас за спиной, а перед нами облако водяных капель. Солнечные лучи попадают к нам, дважды испытав преломление (на входе в каплю и на выходе из нее) и один раз полное внутреннее отражение в капле. Сильнее всех преломляются фиолетовые лучи; поэтому фиолетовый луч оказывается ближе других к входящему лучу, направленному в антисолярную точку (которая на небе отстоит на 180° от направления на Солнце). Угловой радиус фиолетового круга равен $40^\circ 40'$. Дальше всего от антисолярной точки располагается красный круг, на расстоянии $42^\circ 30'$. Так и получается последовательность цветов в радуге — изнутри наружу весь спектр от фиолетового к красному.

Если же источник света не сзади, а перед нами, то в преломляющей среде образуется гало с обратной последовательностью цветов. Обычно мы видим радужный круг гало, если Солнце или Луна просвечивают через тонкие перисто-слоистые облака, состоящие из ледяных кристаллов. Проходя через них, луч света испытывает два

преломления (на входе и на выходе) без внутреннего отражения и попадает к наблюдателю под углом около 22° . Фиолетовый луч преломляется сильнее и поэтому находится дальше других от направления на источник света. Поэтому в гало и возникает последовательность цветов обратная той, что мы видим у радуги. Гало окрашено изнутри наружу от красного к фиолетовому. Вот почему «над тундрой заиграла странная перевернутая радуга».

5.15. Вогнутое зеркало

В первом приближении параболоидное зеркало можно представить как сферическое радиусом R , у которого есть центр кривизны (центр сферы) и фокус на расстоянии $R/2$ от центра кривизны и от поверхности зеркала. Находясь к центру кривизны, глаз видит только себя, поскольку все лучи падают по нормали к поверхности зеркала. На большем расстоянии глаз видит перевернутое изображение, а на меньшем — прямое. Вы можете проверить это экспериментально, используя вогнутое («увеличивающее») зеркало для бритья и макияжа. Если у вас нет такого зеркала, поэкспериментируйте с положительной линзой: эффект тот же.

Если глаз находится в точке фокуса, он видит прямое изображение, увеличенное примерно вдвое по сравнению с плоским зеркалом. Параболоидное зеркало демонстрирует те же эффекты, что и сферическое, но с некоторыми искажениями, вызванными внеосевыми аберрациями. Быков находился в области фокуса такого зеркала; именно поэтому он «увидел над головой свое донельзя искаженное и увеличенное отражение».

5.16. Испытания «Хиуса»

В конце фрагмента повести мы обнаруживаем утверждение о том, что у Венеры есть естественный спутник — Венита. Это фантастический прогноз авторов, который до сих пор не подтвердился и, судя по всему, уже не подтвердится никогда. В нашу эпоху Венера лишена сколько-нибудь крупных природных спутников.

Однако сейчас нас больше интересует полет «Хиуса». Он двигался с постоянным ускорением $a = 9,7 \text{ м/с}^2$ и достиг скорости $V =$

4000 км/с. Это происходило в гравитационном поле Солнца, поэтому мы должны сначала проверить, насколько его влияние могло исказить равномерно ускоренное движение планетолета. У орбиты Земли ($R = 1$ а. е.) Солнце создает ускорение $a_{\odot} = GM_{\odot}/R^2 = 6 \text{ мм/с}^2$. С приближением к Солнцу оно возрастает, но, поскольку планетолет «устремился к точке встречи с Венерой в обход Солнца», он не слишком приближался к светилу, следовательно, его притяжением в нашей задаче можно пренебречь.

«Хиус» стартовал с нулевой скоростью, поэтому время его разгона составило

$$t = \frac{V}{a} = \frac{4000 \text{ км/с}}{9,7 \text{ м/с}^2} = 412\,371 \text{ с} = 4,77 \text{ сут.}$$

Пройдя половину пути, планетолет развернулся и начал торможение. Он выровнял свою скорость с орбитальной скоростью Венеры (35 км/с), которая гораздо меньше максимальной скорости планетолета (4000 км/с), значит, ее можно не учитывать. Следовательно, еще 4,77 сут «Хиус» потратил на торможение. Даже без учета времени, затраченного на разворот, ракета потратила на ускорение и торможение 9,5 суток, а не 8,5 суток, как утверждают авторы повести. Прокомментируем эту неточность словами самих Стругацких из этой же повести: «Работник он был прекрасный, ошибался редко».

Впрочем, мы еще не закончили анализ полета «Хиуса». А какое расстояние он прошел за эти 9,5 суток, двигаясь практически по прямой? При равноускоренном движении пройденное расстояние составляет $at^2/2$. Если t — время разгона, то «Хиус» за время разгона и торможения прошел путь $2at^2/2 = at^2 = 9,7 \text{ м/с}^2 (4,77 \text{ сут})^2 = 1,6 \cdot 10^9 \text{ км} = 11 \text{ а. е.}$ А вот это уже грубая ошибка авторов. Пройдя такое расстояние, «Хиус» давно миновал бы не только орбиту Венеры, но даже пересек бы орбиту Сатурна! При самом неблагоприятном расположении планет (Венера в верхнем соединении) путь от Земли до Венеры занял бы у «Хиуса» всего 3,8 сут.

5.17. Стремительный «Хиус»

Чтобы при ускорении около $9,7 \text{ м/с}^2$ скорость изменилась на 1200 км/с , требуется время

$$t = \frac{1200 \text{ км/с}}{9,7 \text{ м/с}^2} = 1,24 \cdot 10^5 \text{ с} = 34,4 \text{ час.}$$

Это не очень сильно отличается от тех 40 часов, о которых говорится в повести. Время разгона (55 час) было на 21 час больше, но, вероятно, оно учитывало маневры у Земли. Об этом с полной определенностью говорит фраза: «В соответствии с планом испытательного перелета „Хиус“ через двадцать часов после старта принял неподвижное по отношению к Солнцу положение и затем... устремился к точке встречи с Венерой».

А каков был пройденный путь? Он вдвое длиннее пути торможения: $2at^2/2 = at^2 = 9,7 \text{ м/с}^2 (34,4 \text{ час})^2 = 149 \text{ млн км} \approx 1 \text{ а. е.}$ Эти цифры отлично согласуются с полетом от Земли к Венере. И вновь мы не можем не процитировать любимую повесть Стругацких: «Анатолий Борисович Ермаков, командир лучшего в мире планетолета, ошибался редко». Это очень точная характеристика хорошего работника. Не ошибается только тот, кто ничего не делает.

5.18. Температура Венеры

Итак, в повести Стругацких нормальной у поверхности Венеры считается температура от 54 до $100 \text{ }^\circ\text{C}$, и лишь в исключительных случаях (извержение вулкана) она может подниматься до $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Именно на это были рассчитаны силикетовые скафандры космонавта:

Быков выбрался из костюма и еще раз внимательно рассмотрел его.

— А излучения? Предохраняет он от излучений?

— Разумеется. В этом отношении силикет незаменим.

— Как «абсолютный отражатель» фотонного реактора?

Он вытер со лба пот и уселся рядом с Дауге. Тот сказал:

— «Абсолютный отражатель» тверд и хрупок. Как материал для комбинезона он не годен. Силикет достаточно

надежен. Например, сегодня утром мы — Краюхин, Володя и я — час просидели в костюмах в «могильнике».

— Что ты говоришь!

— Серьезно. Температура около двухсот градусов, альфа-излучение, гамма-лучи и все такое прочее. И тем не менее великолепно держит. Жарковато, разумеется, немного...

Но авторы недооценили Венеру. Как мы теперь точно знаем, температура у поверхности планеты составляет 462 °С и практически не зависит ни от географической широты, ни от времени суток, хотя немного зависит от высоты местности. Любопытно, что планетоход «Мальчик», доставленный «Хиусом» на Венеру, мог бы легко выдержать такую температуру, однако и он не годился для работы на реальной Венере:

«Мальчик» являлся танком-транспортёром высокой проходимости, предназначенным для передвижения по твердым, вязким и сыпучим грунтам и по сильно пересеченной местности, в газообразной и жидкой среде при давлениях до двадцати атмосфер и температурах до тысячи градусов.

Дело в том, что давление атмосферы у поверхности Венеры составляет 92 бара, т. е. 90 атмосфер. Оно бы легко расплющило фантастический планетоход. Впрочем, в годы создания Стругацкими повести о Венере никто из специалистов не представлял себе истинных условий у ее поверхности. Об этом свидетельствует история первых попыток создать спускаемый аппарат. При создании «Венеры-4» (1967) были учтены параметры атмосферы планеты, полученные межпланетной станцией «Венера-3». Спускаемый аппарат был рассчитан на работу при температуре 425 °С и давлении до 10 атмосфер. При создании «Венеры-5» (1969) учитывались параметры атмосферы Венеры, полученные зондом «Венера-4». Спускаемый аппарат должен был выдержать 290 °С и давление до 25 атмосфер. В конструкции АМС «Венера-7» (1970) были учтены данные, полученные предшествующими станциями «Венера-4», «Венера-5» и

«Венера-6». Из расчетов, сделанных на основе этих данных, предполагалось, что на поверхности планеты давление может достигать 100 атмосфер, температура — 500 °С и скорость ветра у поверхности — 1,5 м/с. Чтобы выдержать такие условия, корпус спускаемого аппарата изготовили не из алюминиево-магниевого сплава АМГ 6, как у предыдущих «Венер», а из титана, благодаря чему он был способен выдержать давление до 180 атмосфер. Только такой прочный корпус спускаемых аппаратов позволил провести исследования на поверхности Венеры. Но это был уже конец 1970 г., более чем 10 лет спустя после создания повести Стругацких.

5.19. Высокое напряжение

В те годы, когда создавалась повесть «Путь на Амальтею», самыми передовыми приборами для усиления и измерения потоков света, а также для преобразования инфракрасного излучения в видимое были электронно-оптический преобразователь (ЭОП) и фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), в которых использовались внешний фотоэффект и ускорение электронов с электрическим полем. Поэтому на приборы подавалось высокое напряжение — около 2,3 киловольта на ФЭУ и порядка 30,40 киловольта на ЭОП. Правда, токи были небольшие, поэтому серьезных травм нанести не могли. Низковольтные оптические датчики (ПЗС), использующие внутренний фотоэффект, были изобретены значительно позже, поэтому Стругацкие знать о них не могли.

5.20. В недрах Юпитера

Шкала высоты атмосферы (она же высота однородной атмосферы) — это расстояние по вертикали (H_0), на котором давление изменяется в $e = 2,718...$ раз. Следовательно, если на нулевой отметке высоты давление равно P_0 , то на глубине H оно равно

$$P = P_0 \exp \frac{H}{H_0}.$$

В нашем случае $P_0 = 1$ атм и $H_0 = 30$ км. Найдем глубину, на которой достигается критическое давление $P = 200\,000$ атм при неизменной шкале высоты:

$$H = H_0 \ln \frac{200\,000 \text{ атм}}{1 \text{ атм}} = 366 \text{ км.}$$

Это гораздо меньше, чем 6700 км, названные штурманом.

Читая повесть дальше, мы узнаем, что «Тахмасиб» опустился еще глубже, чем ожидал штурман:

Перелет заканчивается. Через несколько минут тяжесть станет двойной и над головой будет десять тысяч километров сжатого водорода, а под ногами шестьдесят тысяч километров очень сжатого, жидкого, твердого водорода.

Современные численные расчеты показывают, что на глубине 10 000 км в недрах Юпитера давление составляет не менее 1 млн атм (скорее всего, даже ближе к 1,5 млн. атм), а температура около 4000 К. Кстати, в отношении высокой температуры авторы сделали верное замечание: когда «Тахмасиб» перестал погружаться, его экипаж увидел «розовое сияние» окружающего газа. Именно так светится плотный газ при температуре 4000 К. В отношении плотности вещества на этой глубине авторы также попали в точку: вокруг «Тахмасиба» плавали огромные скалы — захваченные Юпитером астероиды и ядра комет. Как мы знаем, их плотность порядка 1 г/см^3 , и современные модели Юпитера на глубине 10 000 км дают такую же плотность.

В отношении силы тяжести в верхних слоях Юпитера штурман планетолета не ошибся: в районе облачного слоя Юпитера она действительно составляет $2,5 \text{ g}$. Впрочем, это значение легко вычисляется по массе и радиусу Юпитера, которые весьма точно были измерены еще в XVIII в.



6. Астрономические часы

6.1. 24 часа

Вблизи полюса магнитный компас бесполезен, а такие часы могут показывать направление. Дело в том, что в районе полюса в летнее время Солнце движется невысоко над горизонтом по кругу, почти не поднимаясь и не опускаясь в течение суток. Если часовая стрелка на часах путешественника делает, как и Солнце, один оборот в сутки, то часы могут служить «компасом». Например, если поставить часы в пункте выхода по местному солнечному времени и в пути ориентировать их часовой стрелкой на Солнце, то отметка «24 часа» всегда будет указывать направление на Северный полюс, а отметка «12 часов» — на Южный.



6.2. Время остановилось

Используя решение задачи 6.8 «Догнать время» и выразив длину параллели (l) через длину экватора (L) и географическую широту (φ):

$$l = L \cos \varphi,$$

получим выражение для широты:

$$\cos \varphi = \frac{850 \text{ км/час}}{40\,000 \text{ км} / 24 \text{ час}} = \frac{850}{1667} = 0,51.$$

Отсюда $\varphi = \arccos(0,51) = 59,3^\circ$. Возможно, самолет летел из Магадана в Санкт-Петербург, выбрав такой странный маршрут (по параллели путь длиннее, чем по дуге большого круга), чтобы в течение 8 часов любоваться восходом Солнца.

6.3. Гарри Поттер

Одно и то же солнечное (и основанное на нем гражданское, т. е. поясное, декретное, зимнее, летнее) время соответствует разному звездному времени, от которого зависит положение звезд над горизонтом. Поэтому если наблюдать звездное небо «каждую среду ровно в полночь», то в течение полугода можно изучить его полностью.

6.4. Наше время

В России мы живем по декретному времени, на 1 час опережающему поясное время. В последние годы вместо термина «часовой пояс» чаще используется понятие «часовая зона» как географическая область, на которой установлено единое время. Границы часовых зон — государственные и административные (т. е. границы областей, краев, штатов), поэтому они, как правило, существенно отличаются от границ часовых поясов. Например, московское время ровно на 3 часа больше всемирного (гринвичского) времени. При этом, учитывая долготу г. Москва ($37^\circ 37'$ в. д.), Солнце в Москве пересекает небесный меридиан на $37,6^\circ/15^\circ = 2,5$ часа раньше, чем в Гринвиче. По московскому времени живет большая часть территории России к западу от Урала. К востоку от Урала располагается еще 8 часовых зон.

6.5. Ломоносов и Венера

Дата 26 мая указана по действовавшему тогда в России юлианскому календарю. А по современному григорианскому

календарю это было 6 июня. Прохождения планеты по Солнцу можно наблюдать только на тех гелиоцентрических долготах (почти однозначно связанных с календарными датами), где лежат узлы орбиты планеты, т. е. точки ее пересечения с эклиптикой — орбитой Земли. Для Венеры это начало июня и начало декабря.

6.6. Покрытия звезд Луной

Такие явления называют покрытиями звезд Луной. Максимальной длительности они достигают при центральных покрытиях, когда, с точки зрения наблюдателя, путь светила проходит через центр лунного диска. Скорость перемещения Луны на фоне звездного неба задана длительностью сидерического лунного месяца (27,32 сут). Отсюда средняя угловая скорость Луны на звездном небе равна $360^\circ/27,32 = 13,18^\circ/\text{сут}$, или $0,55^\circ$ в час. Поскольку угловой диаметр лунного диска равен примерно $0,5^\circ$, звезда скроется за ним не более чем на час. А если покрытие не центральное, то на любое время короче часа.

6.7. Неправильная полночь

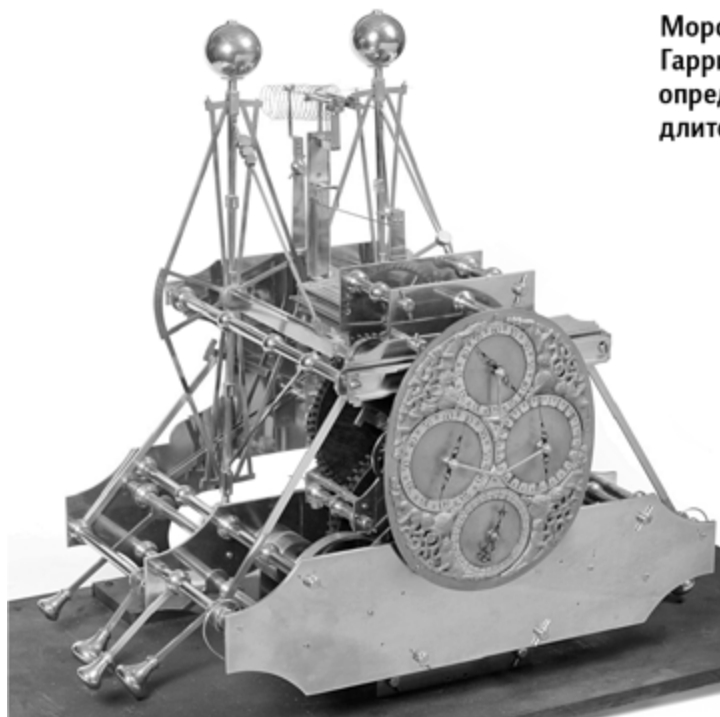
В конце первой декады ноября весьма велико уравнение времени, оно превосходит 15 минут (см. в «Справочнике любителя астрономии», 2002, рис. 171 на с. 246, или в книге «Вселенная от А до Я», 2012, статью «Уравнение времени»). Поэтому истинная местная солнечная полночь в Москве 9/10 ноября наступила раньше, в 0 ч 15 мин московского декретного времени. Первое наблюдение отстояло от нее менее чем на 6 ч 45 мин, а второе — более чем на 7 ч 15 мин. (Автор идеи этой задачи — Н. Н. Самусь.)

6.8. Догнать время

Самолет должен лететь на запад со скоростью вращения Земли: $V = 40\,000 \text{ км} / 24 \text{ часа} = 463 \text{ м/с}$. Эта скорость (1,5 скорости звука) вполне доступна для некоторых современных самолетов.

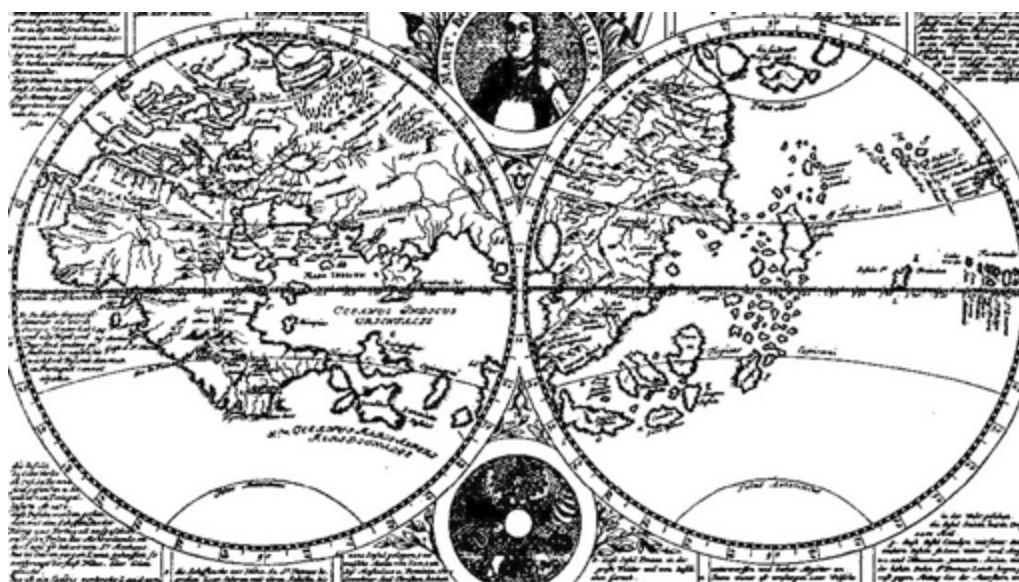
6.9. Надежная широта

Имея секстант — а у моряков он в той или иной форме был всегда, — можно весьма точно измерить географическую широту места наблюдения, например, по высоте Полярной звезды. А вот с долготой дело обстоит значительно хуже. До появления надежных часов, так называемого морского хронометра, определение долготы было очень неточным. Ведь долгота — это угол между Гринвичским меридианом и меридианом наблюдателя. Его измеряют, фиксируя прохождение определенных звезд через небесный меридиан. Если у штурмана есть на борту точные часы, идущие по времени Гринвича, и астрономические таблицы, в которых указано, когда в Гринвиче та или иная звезда проходит через гринвичский меридиан (t_0), то штурману остается лишь заметить момент прохождения этой звезды через местный меридиан (t_1) и определить разницу моментов прохождения — наблюдаемого и указанного в таблице для Гринвича ($\Delta t = t_0 - t_1$). Это и есть долгота (λ) в виде часов, минут и секунд. Из часовой меры ее легко перевести в градусную: $\lambda = 360^\circ \cdot \Delta t / 24$ часа. Разумеется, здесь 24 часа звездного времени, поскольку это длительность одного оборота Земли вокруг оси.



Морской хронометр Джона Гаррисона, позволявший точно определять долготы во время длительных путешествий

Разумеется, есть и более точные методы определения долготы и широты, чем фиксация моментов пересечения меридиана (он ведь не нарисован на небе!). Например, метод Сомнера, состоящий в измерении зенитного расстояния звезд («Небо и телескоп», 2017, раздел 1.5.1). Но все без исключения подобные методы требуют точной фиксации времени измерения, т. е. наличия на корабле точных часов. В настоящее время определение моментов не представляет трудностей — часы всегда можно проверить по радио. До появления радио морякам приходилось возить с собой часы, специально приспособленные для хранения времени на корабле — морской хронометр, изобретенный английским мастером Гаррисоном в XVII в. До изобретения хронометра время определяли по положению Луны среди звезд или по конфигурации спутников Юпитера. Их заранее рассчитывали астрономы и публиковали в виде таблиц для штурманов. А пока все это не появилось, «лот, широта и осмотрительность» были главными помощниками штурмана и капитана.



До изобретения морского хронометра географическая долгота измерялась очень неточно, что хорошо демонстрирует эта карта, рисованная с глобуса немецкого картографа Мартина Бехайма (1492)

6.10. Конец света

На Земле солнечные часы остановиться не могут: солнце непрерывно перемещается по небосводу, а значит, и тень от гномона

тоже перемещается по циферблату часов. Правда, можно вообразить ситуацию, когда солнечные часы «практически» остановятся. Например, горизонтальные солнечные часы на экваторе в дни весеннего и осеннего равноденствий. В эти дни солнце движется практически по экватору. Поэтому тень от вертикального гномона не будет менять свой азимут, а лишь будет укорачиваться и удлиняться. А в местный солнечный полдень она вообще исчезнет!

Другая ситуация — это солнечные часы на планете, обращающейся вокруг своей звезды по круговой орбите и синхронно вращающейся вокруг своей оси. Среди экзопланет таких немало, но в Солнечной системе подобных нет. У нас много синхронно вращающихся тел среди спутников планет, но ни одна планета синхронно не обращается вокруг Солнца. Ближе всех к этому состоянию Меркурий, у которого суточное вращение находится в резонансе 3:2 с орбитальным обращением: за время трех оборотов вокруг оси он совершает два оборота вокруг Солнца. Но вот что любопытно: Меркурий движется по заметно вытянутой орбите, поэтому в области перигелия угловая скорость его орбитального движения возрастает и сравнивается с угловой скоростью суточного вращения. В эти периоды Солнце на небосводе Меркурия действительно останавливается! Замирает и тень на циферблате солнечных часов.

Возможно, действие нашего анекдота происходило на Меркурии?



Горизонтальные
солнечные часы
с вертикальным
гномоном

6.11. Перелет к антиподам

Если часы с 12-часовым циферблатом, то стрелки переводить, как правило, вообще не надо, поскольку «на той стороне Земли», т. е. в точках, отстоящих по долготе на 180° , поясное время различается на 12 часов. Это в идеале. Но все же нужно учитывать местные особенности, поскольку границы часовых зон часто проводят по государственным и административным границам, которые могут значительно отличаться от астрономических. К тому же в некоторых странах есть свои «национальные особенности» счета времени. Например, в России это декретное время, опережающее поясное на час. Китай вообще не признает часовых поясов: вся страна живет по пекинскому времени. В некоторых мусульманских странах время отличается от всемирного (UTC) не на целое число часов (N), как предписывает традиция часовых поясов, а на N часов 30 минут и даже на N часов 45 минут!

Но даже если с часовыми поясами все в порядке и вам не нужно переводить стрелки на своих часах с 12-часовым циферблатом, все же нужно помнить, что при таком перелете вы попадаете в другую половину суток. Если самолет вылетел из Восточного полушария, то при достижении Северного полюса следует считать время на 12 часов меньше, а если из западного, то на 12 часов больше.

Замечание относительно 12-часового циферблата сделано потому, что не только на цифровых часах нередко используется 24-часовая индикация, но и на аналоговых часах она тоже встречается (см. задачу 6.1 «24 часа»).

6.12. День равноденствия

Долготой дня считается промежуток времени между моментами появления и исчезновения за горизонтом не центра солнечного диска, а его верхнего края. С учетом углового радиуса Солнца ($16'$) и атмосферной рефракции у горизонта ($35'$), приподнимающей изображение Солнца на небе Земли, это делает восход на 5 минут раньше, а заход на 5 минут позже, увеличивая продолжительность дня на 10 минут в день формального равноденствия.

6.13. Начало века

Поскольку в современном летосчислении не было нулевого года, то полные века истекают 31 декабря **00 г., а новый век начинается 1 января **01 г. Соответственно, новое тысячелетие начинается 1 января *001 г. Значит, началом XXI века, а с ним и третьего тысячелетия, следует считать 1 января 2001 г. Тем не менее большинство людей праздновали 1 января 2000 г. как начало нового века и тысячелетия.



7. Завтрак с астрофизиком

7.1. Человек против Солнца

Действительно, полная мощность энерговыделения у Солнца чрезвычайно высока — около $4 \cdot 10^{26}$ Вт. Астрономы называют это *светимостью* Солнца, поскольку большая часть этой энергии испускается в оптическом диапазоне, т. е. в виде света. А ведь никакая бабушка столько энергии не излучает и в темноте не светится! Однако речь шла об эффективности генерации энергии, поэтому студент решил проверить, какова мощность Солнца в расчете на единицу его массы. Как известно, масса нашего светила около $2 \cdot 10^{30}$ кг. Следовательно, Солнце генерирует энергию в количестве $2 \cdot 10^{-4}$ Вт/кг.

А человек?

Заглянув в справочник по физиологии человека, студент узнал, что в состоянии абсолютного покоя, например во сне, человеческое тело выделяет тепло в количестве $50 \div 60$ Вт. В состоянии бодрствования, сидя за столом, — около 100 Вт. При быстрой ходьбе — $150 \div 200$ Вт. При интенсивной физической работе — около 300 Вт. А при крайнем напряжении сил (работа кузнеца-молотобойца, схватка боксеров) — около $500 \div 700$ Вт. Бабушка у студента была небольшая, весила около 60 кг и не способна была работать в кузнице или боксировать на ринге. Обычно она работала на кухне за столом или неспешно ходила в магазин за продуктами. Поэтому студент решил, что средняя мощность бабушки составляет около 120 Вт (на языке автомобилистов это 0,16 лошадиной силы). Таким образом, удельное энерговыделение бабушки составляет 2 Вт/кг. То есть в 10 000 раз больше, чем у Солнца! Аспирант оказался прав.

Продолжая свои изыскания, студент выяснил, что с такой же эффективностью, как Солнце, выделяет тепло куча прелых листьев. Решив проверить это, студент вышел на улицу и быстро нашел то, что искал. Был конец сентября, и дворники сметали в кучи мокрые опавшие листья, которые потихоньку гнили на ветру. Засунув руку в кучу листьев, студент почувствовал, что там немного теплее, чем снаружи. Но это были не те миллионы градусов, при которых

протекают термоядерные реакции, и кучи листьев не светились, как маленькие солнышки. И тем не менее расчет был верным; просто дворники были недостаточно расторопными. Если бы они собрали из прелых листьев огромную кучу с массой как у Солнца, то она и засветилась бы как Солнце! А если такую же кучу сложить из бабушек...

«Впрочем, — подумал студент, — даже одна моя бабушка — это настоящее маленькое солнышко. От нее в доме всем теплее и светлее на душе».

7.2. Солнце из угля

Очевидно, длительность свечения угольного или нефтяного Солнца составит $t = QM_{\odot}/L_{\odot}$, где $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ кг и $L_{\odot} = 4 \cdot 10^{26}$ Вт — масса и светимость Солнца; $Q = 2 \cdot 10^7$ Дж/кг. Тогда $t = 3000$ лет. Это даже короче письменной истории человечества.

7.3. Солнце сжимается

У этой задачи интересная история. Еще в середине XIX века астрономы поняли, что тепло, выделяющееся при химических реакциях, не может поддерживать солнечную светимость на современном уровне дольше нескольких тысяч лет (см. задачу «Солнце из угля»). Тогда немецкий врач Юлиус Майер (1814–1878), исследования которого привели к открытию закона сохранения энергии, предположил, что Солнце светит за счет тепла, выделяющегося при падении на его поверхность комет и метеоритов. Но притяжение Солнца не может разогнать падающие тела до скорости свыше 618 км/с (вторая космическая скорость на поверхности Солнца). Учитывая, что при торможении в тепло переходит кинетическая энергия тела ($mv^2/2$), легко подсчитать, что для поддержания светимости Солнца на него ежегодно должна падать масса, почти равная массе Луны. При таком темпе аккреции через 30 млн лет масса Солнца возросла бы вдвое по сравнению с нынешней. Как выяснилось позже, именно падение околозвездного вещества обеспечивает высокую светимость самых молодых звезд и

некоторых старых «звездных остатков» — белых карликов, нейтронных звезд, черных дыр. Но к Солнцу и подобным ему звездам среднего возраста, пребывающим «в полном расцвете сил», процесс аккреции отношения не имеет. Астрономы XIX в. подтвердили, что не наблюдают падения комет на Солнце в таком количестве.

Обдумывая идею Майера, немецкий естествоиспытатель Герман Гельмгольц (Hermann von Helmholtz, 1821–1894) предположил, что на Солнце не обязательно должно что-то падать снаружи: «падать» на него может... вещество самого Солнца. Посмотрим еще раз на формулу для кинетической энергии ($mv^2/2$): большой приток энергии обеспечивается либо высокой скоростью, либо большой массой. Поддержание высокой температуры звезды может происходить вследствие ее медленного сжатия. Сила тяготения при сжатии звезды совершает над газом работу, и это приводит к его нагреву. По расчетам английского физика Уильяма Томсона, барона Кельвина (William Thomson, 1st Baron Kelvin, 1824–1907), чтобы поддерживать свою светимость на современном уровне, Солнце должно ежегодно сжиматься всего на 90 метров, т. е. примерно на $1/15\,000\,000$ долю своего радиуса. По оценке Томсона, сжимающееся Солнце могло светить не менее ярко, чем сегодня, на протяжении почти 30 млн лет.

Проверим это самостоятельным расчетом. Если ускорение силы свободного падения $g = GM/R^2$, то работа силы тяжести по перемещению массы m на расстояние h составляет

$$E = mgh = \frac{mGMh}{R^2}.$$

Если сжатие звезды происходит под действием собственной силы тяжести, то $m = M$ и $h \approx R$. Тогда

$$E \approx \frac{GM^2}{R}.$$

Это приблизительная оценка, но если вы умеете интегрировать, то можно доказать это точно. Гравитационная энергия тела, выделяющаяся при его сжатии от очень большого размера до радиуса

R , составляет $\alpha GM^2/R$, где α — коэффициент порядка единицы, зависящий от распределения массы внутри тела.

Если сжатие происходит медленно, квазистатически, то в недрах звезды должно поддерживаться гидростатическое равновесие, а значит, по мере сжатия должны возрасти давление и температура. Несложно показать, что выделяющаяся при сжатии гравитационная энергия будет при этом делиться пополам: одна половина пойдет на нагрев недр звезды, а вторая — на излучение. Для знатоков теоретической механики сошлюсь на теорему о вириале. А для любителей небесной механики и космонавтики — на соотношение энергий у тел, движущихся с первой и второй космическими скоростями.

Приняв $\alpha = 1$ (к большой ошибке это не приведет), получим характерное время излучения сжимающейся звезды $t \approx GM^2/(2RL)$, где L — светимость (т. е. мощность излучения) звезды. В честь Кельвина и Гельмгольца астрофизики называют эту величину временем Кельвина — Гельмгольца ($t_{\text{КН}}$). Для Солнца $t_{\text{КН}} \approx GM_{\odot}^2/(2R_{\odot}L_{\odot})$, где $L_{\odot} = 4 \cdot 10^{26}$ Вт, $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ кг и $R_{\odot} = 7 \cdot 10^8$ м — светимость, масса и радиус Солнца. Подставляя эти значения в формулу, получим $t_{\text{КН}} = 30$ млн лет — в точности как у Кельвина! Это характерное время высвечивания Солнцем его гравитационной энергии связи.

7.4. Солнце гаснет

Если у нас есть чувствительный детектор нейтрино, то мы заметим это сразу по прекращению потока солнечных нейтрино, рождающихся в термоядерных реакциях. Но не раньше чем через 8 мин 20 сек — времени, необходимого нейтрино, чтобы со скоростью близкой к световой долететь до Земли. Плюс время срабатывания самого детектора.

Если же у нас нет детектора нейтрино, то обычные астрономические наблюдения долго не позволят нам заметить выключение ядерного источника энергии Солнца, поскольку поддерживать его светимость будет другой источник — гравитационный (см. задачу «Солнце сжимается»). Размер Солнца при этом начнет уменьшаться. Современный угловой радиус Солнца около $15' = 900''$. Он существенно изменится за время Кельвина —

Гельмгольца (см. задачу «Солнце сжимается») равное 30 млн лет. То есть скорость его изменения составляет примерно $900''/30 \text{ млн лет} = 3 \cdot 10^{-5}$ угловой секунды в год. Если мы регулярно будем измерять радиус Солнца с точностью до $3''$ (это типичное качество изображений на дневном небе), то сможем заметить его изменение лишь через 100 тысяч лет! Обычно размером солнечного диска интересуются астрономы, прогнозирующие и изучающие солнечные затмения. Они-то первыми и заметят уменьшение Солнца.

Кроме размера будет меняться и светимость Солнца, но медленнее, поскольку с уменьшением площади поверхности будет возрастать ее температура. Характерная скорость этого процесса также определяется временем Кельвина — Гельмгольца (30 млн лет). Наблюдаемые сейчас переменность солнечной светимости лежит в пределах 0,1 % и не сказывается на биосфере Земли. Однако расчеты показывают, что изменение светимости на 1 % приведет к изменению средней температуры Земли на $1 \div 2 \text{ К}$, что, вероятно, будет отмечено биосферой. Характерное время этого изменения не короче 300 тысяч лет.

7.5. Солнце испаряет Землю

Чтобы вода с Земли улетучилась в космос, ее надо нагреть до 100°С , испарить и сообщить ее молекулам вторую космическую скорость. Теплоемкость воды — $4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, а теплота ее испарения — $2256 \text{ кДж}/\text{кг}$. В глубине океанов вода холодная, так что нагреть ее придется от 0°С до 100°С . Полная работа по испарению килограмма воды составит 2676 кДж . А чтобы удалить молекулы в космос, нужно сообщить им 2-ю космическую скорость: $V_2 = 11,2 \text{ км}/\text{с}$. Для удаления с Земли 1 кг чего угодно потребуются $\eta = (1 \text{ кг}) V_2^2/2 = 6,27 \cdot 10^7 \text{ Дж}$. Это значение настолько больше теплоты нагревания и испарения воды, что только им и можно ограничиться.



Справочники подсказывают нам, что объем Мирового океана составляет 1340,74 млн км³, общий объем воды на планете — 1390 млн км³, а общая масса воды $M = 1,46 \cdot 10^{21}$ кг, что в 4000 раз меньше массы самой Земли. Светимость Солнца $L_{\odot} = 4 \cdot 10^{26}$ Вт. И у нас все готово, чтобы получить результат. Время испарения Мирового океана (или всей земной воды, что практически одно и то же) составит

$$t = \frac{\eta M}{L_{\odot}} = \frac{6,27 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг} \cdot 1,46 \cdot 10^{21} \text{ кг}}{4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}} = 229 \text{ с} = 3,8 \text{ мин.}$$

Иными словами, Солнце высушит Землю менее чем через 4 минуты.

Вычислить время полного разрушения Земли немного сложнее, поскольку по мере испарения ее внешних частей на поверхности оставшейся внутренней части будет меняться 2-я космическая скорость. Но, учитывая, что основная масса планеты лежит вблизи ее поверхности (благодаря росту площади шара как R^2), ошибка будет невелика, если мы не станем учитывать этот факт. Тогда время полного испарения Земли будет в 4000 раз больше, чем время испарения воды (просто пропорционально их массам). Оно составит 10,6 суток.

Полторы недели — и Земли нет. Вот на что способно наше Солнце. Хорошо, что оно этого не делает.

7.6. Пылинка у Солнца

Поскольку это пылинка, т. е. радиус ее (r) мал, будем считать, что она быстро прогревается на всю глубину и всюду — и внутри, и на поверхности — имеет одинаковую температуру (T). Солнце, имеющее светимость $L_{\odot}$, создает на расстоянии R , вблизи пылинки, освещенность $L_{\odot}/(4\pi R^2)$. Пылинка абсолютно черная, полностью поглощающая солнечный свет, следовательно, на нее падает поток тепла $\pi r^2 L_{\odot}/(4\pi R^2)$. В стационарном состоянии такое же количество тепла должно излучаться с поверхности пылинки, площадь которой $4\pi r^2$. Излучение абсолютно черного тела описывается законом Стефана — Больцмана:

$$\varepsilon = \sigma T^4,$$

где ε — поток энергии, уходящий с единицы поверхности тела, а $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт м}^{-2} \text{ К}^{-4}$ — постоянная Стефана — Больцмана. Значит, пылинка будет излучать с мощностью $4\pi r^2 \sigma T^4$. Из равенства потоков приходящего и уходящего тепла

$$\frac{\pi r^2 L_{\odot}}{4\pi R^2} = 4\pi r^2 \sigma T^4$$

получим выражение для температуры:

$$T = \sqrt[4]{\frac{L_{\odot}}{16\pi\sigma R^2}}.$$

Обратите внимание, что температура пылинки не зависит от ее размера, пока выполняются принятые выше условия. То есть, она не должна быть слишком маленькая (при размере, сравнимом или меньше длины волны излучения, закон Стефана — Больцмана использовать нельзя) или слишком большая (температура на поверхности не будет

езде одинаковой). Как известно, $L_{\odot} = 4 \cdot 10^{26}$ Вт. Тогда температура составит

$$D = 3,57\sqrt{H/1\text{ м}} \text{ км.}$$

Как видим, на орбите Земли у пылинки вполне «комнатная» температура — около 8 °С. На орбите Юпитера ($R = 5,2$ а. е.) она существенно ниже (123 К = −150 °С), а на орбите Нептуна ($R = 30,1$ а. е.) пылинка будет совсем холодная (51 К = −222 °С). С другой стороны, на орбите Меркурия ($R \approx 0,39$ а. е.) пылинка нагреется до такой степени (450 К = 177 °С), что полностью потеряет летучие вещества (молекулы воды и других легких газов). А вблизи поверхности Солнца ($R = R_{\odot} = 4,7 \cdot 10^{-3}$ а. е.) пылинка нагреется до 4113 К = 3840 °С, а значит, наверняка испарится.

7.7. Прозрачное Солнце

Если Солнце мгновенно станет прозрачным, то все фотоны из его недр тут же вырвутся наружу. Нетрудно оценить среднюю энергию фотонов, заполняющих Солнце: по своей температуре излучение находится в равновесии с веществом, а температура последнего характеризуется удельной гравитационной энергией, которая близка к квадрату первой космической скорости на поверхности (440 км/с). Поскольку характерная температура 10^4 К соответствует скорости 10 км/с, то для скорости 400 км/с получим температуру $1,6 \cdot 10^7$ К (не возбраняется и сразу вспомнить центральную температуру Солнца). Для фотонов, по закону Вина, это $\lambda = 3 \text{ мм}/T \approx 2 \text{ \AA}$ (энергия кванта = 5 кэВ — довольно жесткий рентген).

Продолжительность вспышки легко оценить по световому размеру Солнца: $R_{\odot}/c = 2 \div 3$ сек. А мощность — по закону Стефана — Больцмана: $4\pi R^2 \sigma T^4$ (где $T = 16$ млн К) = $2 \cdot 10^{40}$ Вт = $5 \cdot 10^{13} L_{\odot}$. Это будет рентгеновская вспышка невероятной мощности!

7.8. Пятно на Солнце

На второй вопрос ответить легко. Если гигантское пятно полностью состоит из тени, то его температура около 4000 К, а эффективная температура чистой солнечной поверхности около 5800 К. Закон Стефана — Больцмана говорит, что поток солнечного тепла ослабнет в $(5800/4000)^4$ раз, а равновесная температура маленького (или быстро вращающегося) тела понизится в 5800/4000 раз (см. задачу «Пылинка у Солнца»). Если сейчас она составляет около 281 К, то станет 194 К = -79 °С. На самом деле она будет еще ниже, поскольку вся Земля покроется снегом и льдом, отражающими обратно большую часть света. Пожалуй, станет холоднее, чем в лунную ночь в Антарктиде.

На первый вопрос задачи ответить сложнее, поскольку нужно определить, какая часть солнечного излучения попадает в визуальный диапазон спектра при разных температурах поверхности светила. В принципе это можно сделать, если проинтегрировать по частоте излучения произведение двух функций: функции, описывающей солнечный спектр (она близка к функции Планка для спектра абсолютно черного тела), и функции, описывающей чувствительность нашего глаза. Но это сложно. А мы поступим проще: сравним излучение охладившейся до 4000 К поверхности Солнца с излучением лампы накаливания. У обычных лампочек вольфрамовая спираль раскалена до температуры 2700 К, и поэтому основная мощность ее излучения лежит в невидимом инфракрасном диапазоне (закон смещения Вина). Световой КПД такой лампы составляет около 5 %. Если спираль лампы раскалить до температуры около 3400 К (что близко к температуре плавления вольфрама), то КПД достигает 15 %, но лампа при этом быстро сгорает. У энергосберегающих люминесцентных ламп цветовая температура 4200 К и световая эффективность (если верить рекламе) в 5 раз выше, чем у ламп накаливания, т. е. КПД около 25 %. Учитывая это, мы можем с чистой совестью принять для солнечного пятна значение световой эффективности равным 22 %. В этом случае поток видимого света от полностью «запятненного» Солнца понизится в

$$\frac{1}{0,23} \left(\frac{5800}{4000} \right)^4 = 20 \text{ раз.}$$

Теперь понятно, почему пятно на фоне солнечной поверхности выглядит таким темным.

Цвет «запятнанного» Солнца немного сдвинется в красную сторону, но не очень сильно. Дело в том, что голубая часть солнечного света рассеивается в земной атмосфере и в прямых солнечных лучах все равно до нас не доходит (зато тени на снегу в солнечный день имеют голубой оттенок). Именно поэтому свет ламп с цветовой температурой 4200 К называют «дневным».

Поскольку «запятнанное» Солнце будет посылать намного меньше голубых лучей, дневное небо станет значительно темнее. Но освещение земной поверхности понизится всего в 20 раз. Вспомнив, что полная Луна освещает Землю в 400 000 раз слабее Солнца (см. задачу 4.4 «Светло ли на Плутоне?»), мы увидим, что «запятнанное» Солнце будет светить в 20 000 раз ярче Луны, а это не хуже, чем само Солнце освещает землю в облачный осенний день.

7.9. Черный-черный...

Ответ: в — а — б. Черное тело испускает все, что получило извне. Черный ящик (понятие из кибернетики) выдает хотя бы что-то на выходе. Классическая черная дыра не испускает ничего. Квантовая может, но очень мало.

7.10. Почти со скоростью света

Если звездолет летит со скоростью, близкой к скорости света, то эффект Доплера и эффект абберации света будут хорошо заметны «на глаз». Первый приведет к тому, что звезды по курсу корабля поглубеют и станут ярче, а за кормой — покраснеют и ослабнут. Второй эффект сдвинет все звезды вперед по курсу. Поэтому в направлении полета на небе будет много ярких голубых звезд, а за кормой — несколько слабеньких красных.

7.11. Солнечный ветер — 1

Давление солнечного ветра равно удвоенному (из-за отражения) потоку импульса летящих протонов:

$$m_p n v^2 = 2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 10^7 \text{ м}^{-3} (4,5 \cdot 10^5 \text{ м/с})^2 = 6,8 \cdot 10^{-9} \text{ Н/м}^2.$$

А давление света — удвоенному потоку импульса квантов:

$$2I/c = \frac{2 \cdot 1400 \text{ Вт/м}^2}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 9,3 \cdot 10^{-6} \text{ Н/м}^2.$$

То есть давление света в тысячу раз сильнее, чем давление ветра на ту же площадь отражателя.

7.12. Солнечный ветер — 2

Будем считать солнечный ветер сферически симметричным с такими же параметрами, как у орбиты Земли (хотя это не совсем так). Тогда удельный поток массы солнечного ветра составит

$$m_p n v = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 10^7 \text{ м}^{-3} \cdot 4,5 \cdot 10^5 \text{ м/с} = 7,5 \cdot 10^{-15} \text{ кг м}^{-2} \text{ с}^{-1}.$$

Для солнечного ветра эквивалентный удельный поток массы составляет

$$I/c^2 = \frac{2 \cdot 1400 \text{ Вт/м}^2}{(3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2} = 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ кг м}^{-2} \text{ с}^{-1}.$$

То есть в форме излучения Солнце теряет вдвое больше массы, чем в форме корпускулярного потока.

Сложив оба потока ($2,4 \cdot 10^{-14} \text{ кг м}^{-2} \text{ с}^{-1}$) и умножив на площадь сферы радиусом 1 а. е., $4\pi (150 \text{ млн км})^2 = 2,8 \cdot 10^{23} \text{ м}^2$, получим полный темп потери массы Солнцем: $6,7 \cdot 10^9 \text{ кг/с}$ или $2 \cdot 10^{17} \text{ кг/год}$. Учитывая полную массу Солнца ($2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$), видим, что относительная потеря массы в нашу эпоху составляет $10^{-13}/\text{год}$.

7.13. Гиганты и карлики

Карлики горячее, поскольку для получения одинаковой степени ионизации и возбуждения элементов (которыми и определяется вид спектра) при более высокой плотности необходима более высокая температура. Высокая плотность в атмосфере карликов связана с их большей силой тяжести, дающей меньшую шкалу высот, при которой заметная оптическая толща набирается уже в более плотных областях. В протяженной атмосфере гигантов та же толща набирается еще в очень разреженных, верхних областях атмосферы.

7.14. Нуклеосинтез

По мере выгорания легких элементов в ядре звезды температура и плотность растут со временем, что позволяет формироваться все более сильно связанным ядрам тяжелых элементов. А в ранней Вселенной в результате быстрого расширения температура и плотность уменьшались. Когда температура снизилась настолько, что синтез легких элементов еще мог протекать и при этом ядра дейтерия и гелия уже не разрушались, для синтеза более тяжелых элементов температура и плотность стали уже малы. Произошла так называемая «закалка» — химический состав вещества стабилизировался.

7.15. Синтез гелия

В недрах звезд нет свободных нейтронов, поскольку время их жизни порядка 10 минут. Поэтому в синтезе гелия необходима реакция превращения протона в нейтрон, самая медленная в цепи термоядерных реакций. В ранней Вселенной в первые минуты расширения нейтронов было почти столько же, сколько и протонов, поэтому реакция их объединения в дейтерий и далее в гелий шла очень быстро. Через 5 минут температура и плотность снизились, и реакция прекратилась.



8. Звездные системы

8.1. Скопление одинаковых звезд

Вспомним, что при увеличении потока света в 100 раз блеск небесного объекта, по определению, сокращается на 5 звездных величин. Математически это можно выразить так: группа из N одинаковых звезд на $2,5 \lg N$ звездных величин ярче каждой из них. Действительно, десятичный логарифм 100 равен двум:

$$\lg 100 = \lg 10^2 = 2 \lg 10 = 2 \cdot 1 = 2,$$

поэтому $2,5 \lg 100 = 5$. Заметьте, что 2,5 — это не сокращенное основание шкалы звездных величин 2,512..., а именно и ровно 2,5.

Теперь наша задача решается легко: полный блеск скопления равен $m - 2,5 \lg N$.

8.2. Скопление разных звезд

Сначала решим задачку попроще: есть две звезды с блеском m_1 и m_2 . Каков их суммарный блеск? Сначала перейдем к потокам света, сложим их, а затем вернемся к звездным величинам. Тогда суммарный блеск (m_{sum}) составит

$$m_{\text{sum}} = -2,5 \lg (2,512^{-m_1} + 2,512^{-m_2}).$$

Теперь вспомним задачу «Скопление одинаковых звезд» и найдем суммарный блеск N_1 одинаковых звезд с блеском m_1 у каждой, обозначив его m (1), и суммарный блеск N_2 одинаковых звезд с блеском m_2 у каждой, обозначив его m (2):

$$m(1) = m_1 - 2,5 \lg N_1$$

$$m(2) = m_2 - 2,5 \lg N_2.$$

А теперь используем первую формулу, чтобы найти суммарный блеск скопления:

$$m_{\text{sum}} = -2,5 \lg (2,512 - m(1) + 2,512 - m(2)).$$

Подобным методом можно суммировать блеск любого количества однотипных звезд. В высшей математике суммирование большого количества небольших чисел называют интегрированием. Поэтому астрономы вместо слов «полный» или «суммарный» обычно говорят «интегральный блеск звездного скопления».

8.3. Двигается звезда

В году $3,156 \cdot 10^7$ секунд, а в столетии $3,156 \cdot 10^9$ секунд. За это время звезда пройдет $V \cdot 3,156 \cdot 10^9$ км, или $V \cdot 3,156 \cdot 10^9 / 150 \cdot 10^6 = 21V$ астрономических единиц. По определению парсека, одна астрономическая единица с расстояния в 1 парсек видна под углом в 1". А $21V$ а. е. с расстояния R парсеков видны под углом $21''(V/R)$. Например, если звезда летит со скоростью 50 км/с на расстоянии 100 пк от нас, то за 100 лет она сместится относительно более далеких светил на 10,5", что без труда можно заметить даже с помощью небольшого телескопа.

8.4. Сверхновая Тихо Браге

Любой электронный планетарий поможет вам восстановить картину той ночи. Если в вашей программе не обозначена Nova Tycho, то ее приблизительные координаты $0^{\text{h}}, +62^{\circ}$. В эти дни Тихо жил в Швеции, в местечке с координатами 56° с. ш., 13° в. д.

Как видим, ночное небо в тот период было очень привлекательным для астронома: Луна приближалась к первой четверти и еще не засвечивала небо, к полуночи высоко поднимался яркий (-3^{m}) Юпитер. А новая звезда сияла недалеко от зенита. Не заметить ее было просто невозможно, поскольку располагалась она прямо внутри астеризма «W» Кассиопеи. В конце ночи поднималась Венера, а в лучах утренней зори восходил Меркурий.

Под утро, когда Венера была уже на высоте 20° , Нова опускалась на севере до 30° . Сравнивать их блеск было удобно. До полудня Нова проходила через нижнюю кульминацию на высоте около 28° и к вечеру вновь поднималась над горизонтом к высоте 70° . Трудно было бы ожидать более удобных условий для наблюдения этого замечательного события — взрыва сверхновой звезды в эпоху рождения современной науки. А самое приятное и неожиданное, что в те дни поздней осени над Северной Европой было ясное небо!

8.5. Сверхновая Кеплера

В эти дни было редкое сочетание планет: в южной части Змееносца на расстоянии всего нескольких градусов друг от друга сошлись Юпитер, Сатурн и Марс, притягивая к себе внимание астрономов. И в этом же месте вспыхнула сверхновая! Правда, вся эта компания ярких светил скрывалась на юго-западе под горизонтом вскоре после захода Солнца. Луна в эти дни была близка к полнолунию и уже довольно высоко поднималась на востоке. Оценить блеск сверхновой удавалось именно благодаря ее близости к ярким планетам. Во второй половине дня Сверхновая Кеплера кульминировала на высоте около 18° над горизонтом, что делало ее дневное наблюдение весьма непростым делом.

После этих двух вспышек сверхновых — Тихо и Кеплера — прошло три века, пока в 1885 г. на земном небосклоне люди вновь заметили вспышку сверхновой, но уже в соседней галактике Туманность Андромеды (S Andromedae, 6^m). Скорее всего, она осталась бы незамеченной, если бы в те годы астрономы уже активно не пользовались телескопами. Следующую сверхновую невооруженным глазом увидели лишь четыре века спустя — в 1987 г. Она вспыхнула совсем недалеко от нашей Галактики, в Большом Магеллановом Облаке, и в максимуме блеска достигла $+2,9^m$.

8.6. Хаббл на шаре

Расстояние между точками на сфере $D = \alpha R$, где α — центральный угол, R — радиус сферы. Скорость взаимного удаления точек

$$V = \frac{dD}{dt} = R \frac{d\alpha}{dt} + \alpha \frac{dR}{dt}.$$

Но для любой пары точек $d\alpha/dt = 0$. Поэтому

$$V = \alpha \frac{dR}{dt} = \alpha \frac{(D/R)dR}{dt} = \frac{D(1/R)dR}{dt}.$$

Но $(1/R)dR/dt$ для всех точек на шаре одинаково, поэтому в любой фиксированный момент времени $V \sim D$.

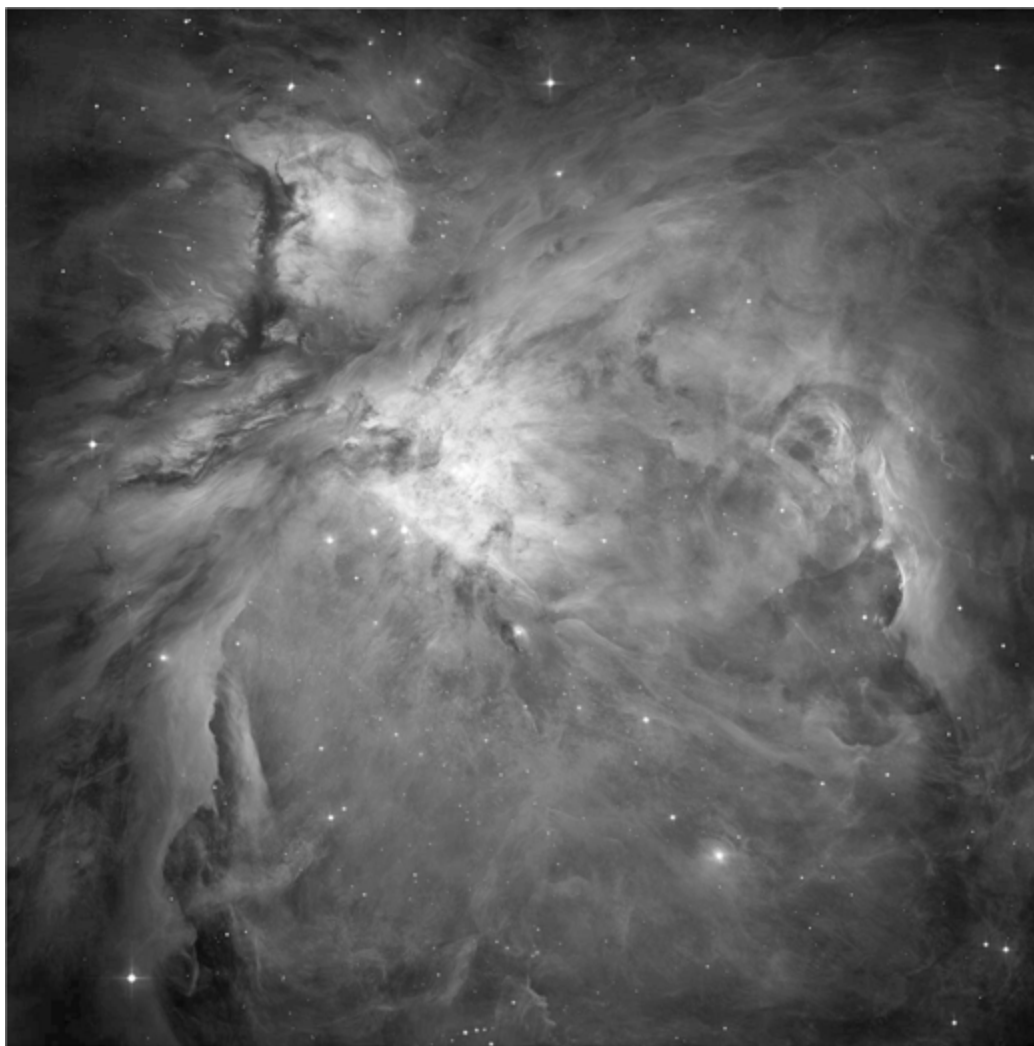
Для модели в виде точек на поверхности надуваемого шара закон Хаббла справедлив.

8.7. Отверстие в небе

Гюйгенс открыл Большую туманность Ориона, известную сегодня всем любителям астрономии. 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 это должного внимания.

8.8. Путешествие света

Красным смещением называют относительное изменение длины волны линий в спектре удаляющейся галактики: $z \equiv \Delta\lambda/\lambda$. Оно возникает в результате эффекта Доплера. Если скорость удаления галактики значительно меньше скорости света ($v \ll c$), то эффект Доплера описывается очень простой формулой: $\Delta\lambda/\lambda = v/c$. Отсюда $v = cz$.



Большая туманность Ориона. Комбинированный снимок, полученный космическим телескопом «Хаббл» и 2,2-метровым телескопом Европейской южной обсерватории в Ла-Силья (Чили)

Закон Хаббла говорит, что скорость удаления галактики и расстояние до нее (D) связаны линейной зависимостью: $v = H_0 D$. Следовательно, $D = cz/H_0$. А время путешествия света от галактики до наблюдателя составит $t = D/c = z/H_0$.

Осталось вычислить значение H_0^{-1} . Как известно, 1 парсек = 206 265 а. е. = $206\,265 \cdot 150$ млн км = $3,1 \cdot 10^{13}$ км. А 1 Мпк = 10^6 пк. Дальше совсем просто:

$$H_0^{-1} = \frac{3,1 \cdot 10^{19} \text{ км}}{70 \text{ км}} \text{ с} = 4,4 \cdot 10^{17} \text{ с} = 14 \text{ млрд лет.}$$

Итак, если красное смещение линий в спектре галактики равно z и при этом не очень велико (скажем, не более $0,2 \cdot 0,3$), то свет от нее до наблюдателя путешествовал $t = z \cdot 14$ млрд лет.

8.9. «Гайя» смотрит на Солнце

Радиус орбиты Юпитера 5,2 а. е., а его масса в 1000 раз меньше солнечной, значит, полный размах колебаний Солнца относительно их общего с Юпитером центра масс составляет 10,4 а. е./1000. Отрезок в 1 а. е. с расстояния в 1 пк виден под углом в $1''$ (по определению парсека). Значит, отрезок в $(10,4/1000)$ а. е. под углом в $0,00002''$ будет виден с расстояния $(10,4/1000)/0,00002 = 520$ пк.

8.10. Андромеда и Треугольник

Угловое расстояние на небе между галактиками М31 и М33 составляет $14,8^\circ$. Расстояние до М31 оценивается в 778 ± 33 кпк. Расстояние до М33 оценивается со значительно меньшей точностью: от 730 до 940 кпк. Поэтому минимальным расстоянием между ними в пространстве будет такое, при котором мы будем считать их на одинаковом расстоянии от Земли. Пусть это будет расстояние до М31 (778 км), поскольку оно известно лучше. Учитывая невысокую точность измеренных расстояний, угол $14,8^\circ$ можно считать небольшим по сравнению с радианом ($\approx 57,3^\circ$) и ограничиться простой пропорцией: минимальное расстояние между галактиками составляет $778 \text{ кпк} - (14,8/57,3) \approx 200 \text{ кпк}$.

8.11. Сколько скоплений в Галактике

Диск Галактики — плоская звездная система с характерной толщиной существенно меньше чем 3 кпк. Поэтому наши наблюдения «вырезают» из него не сферу, а круг радиусом 3 кпк, составляющий от полной площади диска $(3/18)^2 = 1/36$ часть. Если плотность числа звездных скоплений в других частях диска примерно такая же, как в окрестности Солнца, то всего в диске $1500 \cdot 36 = 54\,000$ скоплений.

8.12. Столкновение с Андромедой

Скорость света 300 000 км/с, значит, за год наши две галактики сближаются на $(110/300\,000) = 3,7 \cdot 10^{-4}$ светового года. Соответственно, на путь в 2,5 млн световых лет им понадобится $2,5 \cdot 10^6 / 3,7 \cdot 10^{-4} = 6,8 \cdot 10^9$ лет, т. е. около 7 млрд лет. На самом деле взаимное притяжение галактик ускоряет их сближение и сократит его время до 4 млрд лет. При этом, скорее всего, галактики не столкнутся «в лоб», а лишь пройдут недалеко друг от друга. Но приливное взаимодействие затормозит их движение, и, развернувшись обратно, они окончательно сольются через 6 млрд лет.

8.13. Галактики столкнулись

Представим галактику как плоскую мишень радиусом R , содержащую N звезд. Средняя поверхностная плотность числа звезд в ней составляет $N/\pi R^2$. Все звезды будем считать одинаковыми, имеющими радиус r . Поскольку скорость сближения галактик (1000 км/с) существенно больше второй космической скорости на поверхности звезд (типичная, как у Солнца, около 620 км/с), слаб будет эффект гравитационной фокусировки, т. е. сближения траекторий звезд под действием взаимного тяготения можно не учитывать. Поэтому будем считать их траектории прямыми, а фактом столкновения — пролет на взаимном расстоянии менее $2r$ между их центрами. Следовательно, вероятность для одной звезды, пролетающей сквозь галактику, испытать столкновение составит $4\pi r^2 N / \pi R^2$. А для оценки полного числа столкновений нужно умножить эту вероятность на количество звезд в галактике. Получим

$$\frac{4\pi r^2 N^2}{\pi R^2} = 4N^2 \left(\frac{r}{R} \right)^2.$$

Подставим типичные для нашей Галактики значения: $N = 10^{11}$, $R = 10$ кпк, $r = R_\odot$. В результате получим вероятность столкновения хотя бы одной пары звезд равной 0,2. С чистой совестью мы можем сказать,

что при столкновении галактик в большинстве случаев не происходит ни одного столкновения их звезд.

8.14. Перемены в звездном небе

Утверждение о том, что по сравнению с земным небом картина звездного неба на Марсе или Сатурне будет совсем иной и с детства знакомая всем Большая Медведица вполне может «разойтись» по разным созвездиям, совершенно неверно. Расстояние между планетами в сотни тысяч и даже миллионы раз меньше, чем расстояние до окосолнечных звезд, определяющих картину звездного неба. Поэтому перемещение наблюдателя с одной планеты Солнечной системы на другую никак не скажется на картине звездного неба, доступной невооруженному глазу.

Утверждение о том, что Полярная звезда утратит свою способность показывать на север, в общем случае совершенно справедливо. У каждой планеты своя ориентация оси вращения, следовательно, и свое положение северного полюса мира, т. е. точки на небе, в которую направлен северный конец оси вращения планеты. У Земли этот полюс располагается вблизи Полярной звезды (α Малой Медведицы). У Марса — близ границы созвездий Лебедь и Цефей, не очень далеко от яркой звезды Денеб (α Лебеда). У Сатурна — в северной части созвездия Цефей, недалеко от нашей Полярной звезды, всего лишь в 5 градусах. Так что для путешественников по поверхности Сатурна Полярная звезда вполне могла бы служить указателем севера. Жаль только, что твердой поверхности у Сатурна нет.



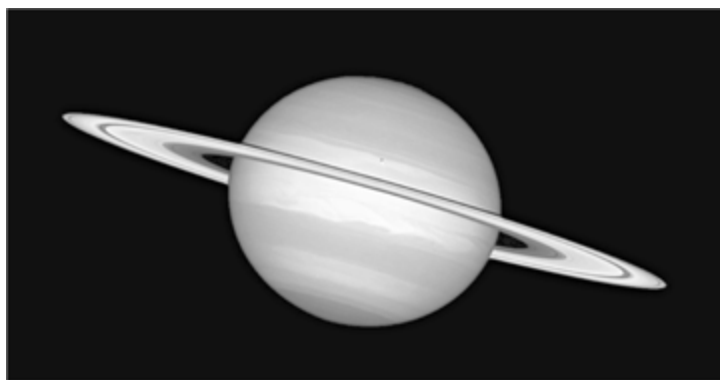
Последнее утверждение в приведенном отрывке состоит в том, что «конфигурация созвездий меняется со временем: 100 000 лет назад та же Большая Медведица могла выглядеть несколько иначе». Заметим сразу, что М. Э. Рут путает понятия «созвездие» (площадка на небе) и «астеризм» (фигура из ярких звезд). Разумеется, речь идет об астеризмах. И тут автор пособия права: собственное движение звезд в пространстве (в том числе и движение Солнца) приводит за длительное время к существенному изменению конфигураций звезд. Например, Ковш Большой Медведицы сильно меняет свою форму за 150 000 лет.



9. Проверь себя

Простые вопросы по астрономии

1. На экваторе вблизи точки севера.
2. Сириус, за ним Вега, а блеск Полярной по сравнению с ними весьма невелик.
3. Около 6000 звезд (при идеальных условиях наблюдения и стопроцентном зрении).
4. Два — Фобос и Деймос.
5. Затмения происходили бы чаще — ежемесячно.
6. Корабельный календарь отстал на 1 день. Плывая за запад, моряки совершили на 1 суточный оборот меньше, чем неподвижный порт на материке.
7. Сатурн действительно сплюснут вдоль полярной оси из-за быстрого вращения.



Сатурн. Фото
космического
телескопа «Хаббл»

8. Это Луна убывающая, «старая».
9. Зимой, в начале января, проходя через перигелий своей орбиты.
10. В начале января, в перигелии своей орбиты.
11. Почти из чистого углекислого газа.
12. Почти из чистого углекислого газа.
13. Смена дня и ночи на Земле будет, поскольку орбитальное движение Земли приводит к кажущемуся обращению Солнца вокруг нее с периодом в 1 год.

14. Восемь: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.

15. Два меркурианских года, т. е. 176 земных суток.

16. Титан, спутник Сатурна.

17. У Меркурия и Венеры.

18. Космическое тело с массой больше, чем у планеты, но меньше, чем у звезды.

19. В космосе атмосфера не портит изображения.

20. 366 суток.

21. Блеск, т. е. поток излучения вблизи наблюдателя.

22. Причиной смены сезонов, происходящей в противофазе в Северном и Южном полушариях Земли, служит наклон земной оси вращения к плоскости ее орбиты, из-за которого Солнце полгода лучше греет одно полушарие Земли, а вторые полгода — другое.

23. Дважды — в дни равноденствий.

24. Требовалась прямая радиосвязь с Землей, а с обратной стороны Луны Земля не видна.

25. 88.

26. Во-первых, в «зимние» месяцы холоднее не везде: в Южном полушарии теплее. Во-вторых, изменение температуры от сезона к сезону в подавляющей степени связано с наклоном земной оси к плоскости орбиты (к эклиптике) и вытекающей из этого различной высоте Солнца над горизонтом и продолжительности дня зимой и летом. Небольшое изменение расстояния от Солнца, вызванное эксцентricностью земной орбиты, лишь чуть-чуть сглаживает сезонные колебания температуры в Северном полушарии и усиливает их в Южном.



Изображение Луны, полученное наложением снимков, сделанных разными телескопами с разной экспозицией (звездное небо снято со значительно большей экспозицией). Только с видимой стороны Луны видна Земля (к задаче 24)

Фото: Т. А. Rector,
I. P Dell'Antonio / NOAO/
AURA/NSF



Движение звезд вокруг полюса мира легко проследить на фотографии с длительной экспозицией

27. Ближе всего. В период противостояния, с точки зрения земного наблюдателя, Марс и Солнце располагаются в диаметрально противоположных направлениях на небе, т. е. противостоят друг другу.

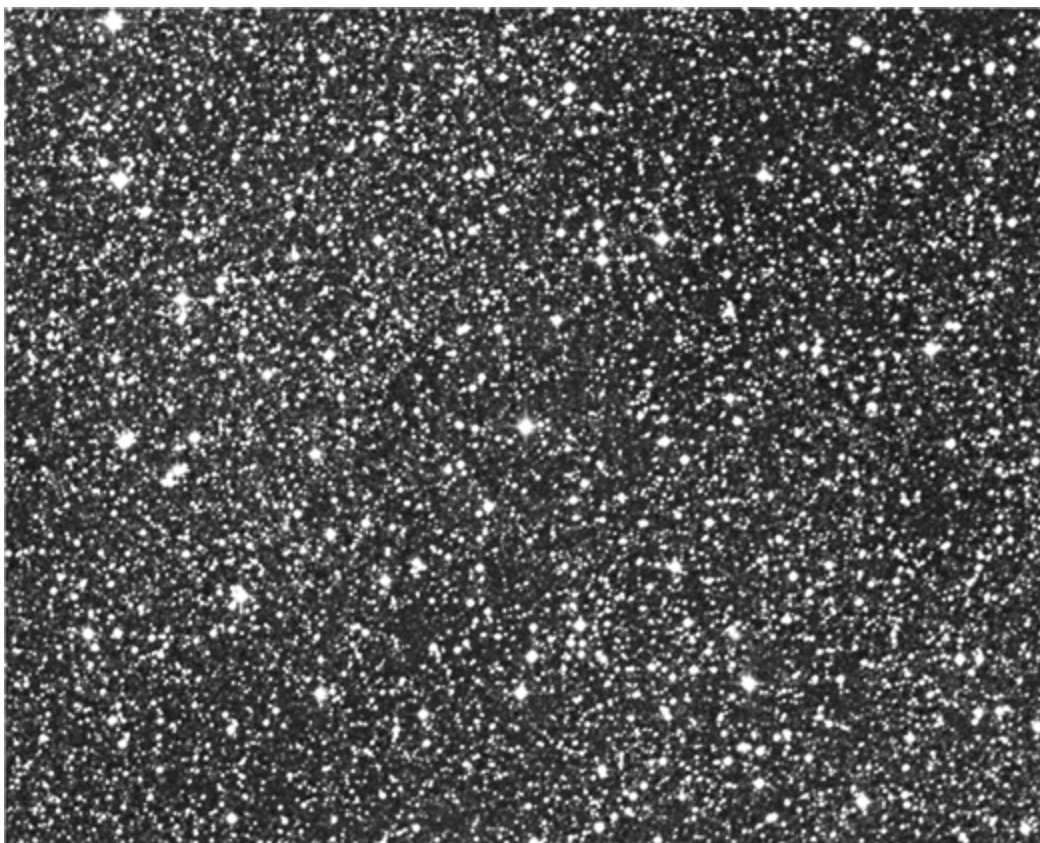
При этом расстояние от Земли до Марса достигает текущего минимума. А если противостояние «великое», то практически абсолютного минимума. Последнее великое противостояние было в 2003 г. Его даже называли «величайшим», поскольку оно было самым тесным за ближайшие несколько столетий. Следующее великое будет в 2018 г. Вместо слова «противостояние» астрономы нередко используют слово «оппозиция», от лат. *oppositio* и англ. *opposition*.

28. Венера ближе к Земле в нижнем соединении.

29. Меркурий виден по вечерам в период его наибольшей восточной элонгации.

30. Попытное движение Марса наблюдается в период его противостояния, поскольку Земля в этот период обгоняет его в орбитальном движении.

31. В соединении, когда диск Марса освещен полностью. Однако в этой конфигурации наблюдать его с Земли практически невозможно — мешает Солнце.



В центре этого фото ближайшая к нам звезда — Проксима в созвездии Кентавр. Несмотря на близость, по яркости она не превосходит миллионы других звезд, поскольку мощность ее излучения очень низка

32. В наибольшей восточной элонгации.

33. День равен ночи сегодня и всегда — на экваторе. Но если сегодня день весеннего или осеннего равноденствия, то день равен ночи и во всех прочих местах Земли (кроме полюсов, конечно).

34. Чтобы уменьшить искажающее влияние атмосферы.

35. Соответственно в полнолуние и в новолуние.

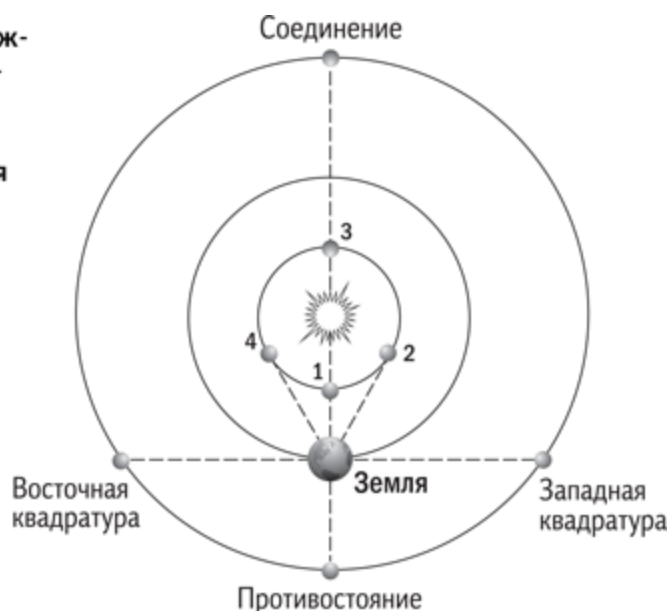
36. Одни звездные и ни одних солнечных суток.

37. Вращение Солнца было доказано по движению пятен на солнечном диске (Й. Фабрициус, Г. Галилей).

38. По внешнему виду трудно отличить небольшое круглое пятно без полутени от диска планеты. Но за несколько минут наблюдений солнечное пятно практически не переместится, тогда как планета за это время заметно передвинется на фоне солнечного диска.

39. Древние греки полагали, что утреннюю видимость демонстрирует планета Фосфорос, а вечернюю — планета Гесперис.

Конфигурации планет. 1 — нижнее соединение, 2 — наибольшая западная элонгация, 3 — верхнее соединение, 4 — наибольшая восточная элонгация



40. Температура на поверхности Венеры, измеренная космическими аппаратами, оказалась около 480°C , что больше критической температуры для воды ($T = 374,4^{\circ}\text{C}$), выше которой она не может существовать в жидкой фазе ни при каком давлении.

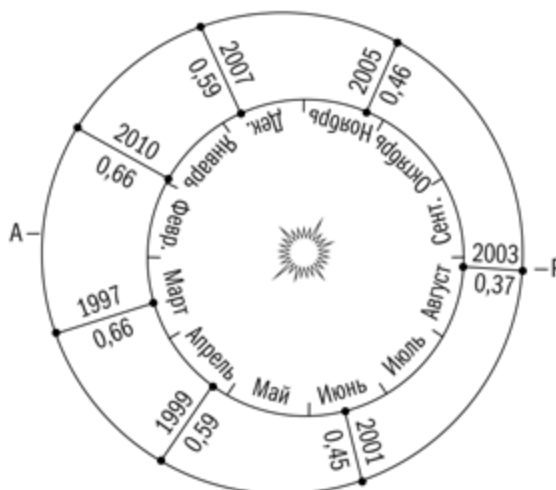
41. «Фобос» и «Деймос» в переводе на русский язык означают соответственно «Страх» и «Ужас». Марс в римской мифологии — бог войны. В мифах его сопровождают Фобос и Деймос (по одним мифам — сыновья Марса, по другим — его псы), точно так же, как в реальной жизни война несет с собой страх и ужас.

42. От имен тел Солнечной системы получили свои названия восемь химических элементов: 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 имен крупнейших астероидов, Паллады и Цереры.

43. На спутнике Юпитера Ио много действующих вулканов. На планете Венера есть косвенные признаки вулканической деятельности; самих вулканов пока не видно. На спутнике Нептуна Тритоне и на спутнике Сатурна Энцеладе найдены действующие «сухие вулканы», выбрасывающие водяной и азотный снег, поэтому их еще называют криовулканами или криогейзерами. Следы криовулканизма найдены и на карликовой планете Церера.

44. «Антарес» в переводе с греческого означает «соперник Ареса» (Марса). Эта звезда по своему красному цвету, блеску и близости к эклиптике похожа на Марс, когда тот находится в противостоянии.

Орбиты Земли (внутренняя окружность) и Марса. Вдоль орбиты Земли указаны месяцы ее прохождения по данному участку. У орбиты Марса указаны точки ее перигелия (Р) и афелия (А). На радиальных линиях, соединяющих планеты в моменты противостояний, указаны год и минимальное расстояние от Земли до Марса в астрономических единицах



45. Кроме Солнца на дневном небе невооруженным глазом видны два ночных светила — Луна и Венера.

46. Период вращения Земли равен звездным суткам — 23 часа 56 мин 04 сек.

47. Поскольку Луна движется недалеко от эклиптики, вблизи полнолуния зимой она находится там же, где Солнце летом, т. е. в северной части эклиптики. Поэтому Луна зимой повторяет дневной путь Солнца в разгар лета, т. е. поднимается высоко над горизонтом.

48. Может, если суточное вращение планеты и ее обращение вокруг Солнца происходят в одном направлении и с близкими периодами. Например, на Меркурии, где продолжительность суточного периода (т. е. звездные сутки) составляет $\frac{2}{3}$ орбитального периода (т. е. года), солнечные сутки делятся 2 меркурианских года, а световой день — 1 год. Если бы суточный и орбитальный периоды совпадали, то смена дня и ночи вообще прекратилась бы.

49. Задача кажется очень легкой: искомая точка — Северный полюс. Но не торопитесь: существуют и другие решения. Попробуйте найти их все! А если не удастся, посмотрите решение задачи.

50. Во-первых, когда звезда видна у горизонта, ее свет проходит длинный путь в атмосфере (почти в 40 раз больший, чем при наблюдении звезды в зените) и, соответственно, испытывает большое

поглощение. Во-вторых, собственное свечение атмосферы по той же причине больше у горизонта, чем вблизи зенита. Поэтому на более ярком фоне у горизонта ослабленный свет звезды кажется еще слабее.



Простые тесты по астрономии

Тесты с 3 вариантами ответа

1а	2а	3а	4б	5в	6а	7в	8б	9в	10б
11б	12б	13в	14б	15б	16в	17в	18б	19б	20в
21б	22б	23б	24в	25а	26в	27а	28в	29б	30а
31в	32а	33б	34в	35а	36в	37в	38а	39б	40в
41б	42а	43б	44в	45а	46в	47в	48а	49б	50б
51а	52б	53а	54в	55а	56а	57а	58в	59а	60а
61б	62а	63а	64б	65в	66в	67в	68в	69б	70б
71б	72а	73б	74а	75а	76а	77б	78в	79б	80в
81б	82а	83б	84а	85а	86в	87а	88а	89в	90а
91б	92б	93в	94б	95в	96в	97в	98а	99в	100б
101в	102а	103б	104в	105б	106в	107б	108а	109а	110в
111а	112в	113а	114б	115в	116а	117б	118а	119а	120в
121в	122б	123б	124в	125б	126в	127а	128б	129а	130в
131в	132б	133б	134а	135б	136а	137а	138в	139б	140в
141а	142в	143а	144в	145а	146а	147в	148в	149б	150б
151а	152б	153а	154а	155б	156а	157в	158в	159б	160а
161в	162а	163в	164б	165б	166а	167в	168в	169а	170в
171а	172в	173в	174а	175б	176в	177а	178в	179б	180в
181б	182а	183б	184в	185в	186б	187а	188в	189а	190б
191в	192в	193а	194а	195б	196б	197а	198б	199б	200в
201а	202а	203в	204а	205б	206б	207в	208а	209в	210а
211в	212в	213а	214а	215в	216в	217б	218б	219в	220а
221в	222б	223б	224б	225а	226в	227б	228а	229б	230в
231а	232в	233а	234б	235в	236а	237в	238а	239б	240б
241б	242а	243а	244а	245в	246в	247а	248а	249в	250б
251б	252б	253а	254б	255в	256а	257а	258в	259а	260а
261б	262б	263в	264б	265б	266а	267в	268б	269в	270б
271в	272б	273б	274а	275б	276б	277а	278в	279в	280а
281а	282б	283в	284в	285а	286а	287а	288в	289а	290б
291б	292б	293а	294а	295в	296в	297б	298в	299б	300а

Тесты с 5 вариантами ответа

1г, 2а, 3 г, 4д, 5а, 6 г, 7в, 8а, 9б, 10а, 11 г, 12в, 13б, 14б, 15 г, 16б, 17в, 18д, 19б.

Литература

Гусев Е. Б. Сборник вопросов и качественных задач по астрономии. М.: Просвещение, 2002.

Гусев Е. Б., Сурдин В. Г. Расширяя границы Вселенной: история астрономии в задачах. М.: МЦНМО, 2003.

Дарвин Дж. Приливы и родственные им явления в Солнечной системе. М.: Наука, 1965.

Кононович Э. В., Мороз В. И. Общий курс астрономии. М.: УРСС, 2004–2015.

Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии / под ред. В. Г. Сурдина. М.: Либроком, 2009.

Литцман В. Великаны и карлики в мире чисел. М.: Физматлит, 1959.

Мартынов Д. Я. Курс практической астрофизики. М.: Наука, 1977.

Мартынов Д. Я., Липунов В. М. Сборник задач по астрофизике. М.: Наука, 1986.

Перельман Я. И. Занимательная астрономия. М.; Л.: Гостехиздат, 1949.

Романов А. М. Занимательные вопросы по астрономии и не только. М.: МЦНМО, 2005.

Субботин Г. П. Сборник задач по астрономии: задания, упражнения, тесты. М.: Аквариум, 1997.

Сурдин В. Г. Вселенная от А до Я. М.: Эксмо, 2012.

Сурдин В. Г. Приливные явления во Вселенной. М.: Знание, 1986.

Сурдин В. Г. Пятая сила. М.: МЦНМО, 2002.

Сурдин В. Г. Астрономические олимпиады. Задачи с решениями. М.: МГУ, 1995.

Сурдин В. Г. Астрономические задачи с решениями. М.: Едиториал УРСС, 2002.

Сурдин В. Г. Задачи Старика Хоттабыча // Квант. 1992. № 8. С. 43–45.

Флиндт Р. Биология в цифрах. М.: Мир, 1992.

Штернфельд А. А. Парадоксы космонавтики. М.: Наука, 1991.

Использованные иллюстрации

Фото: Aaron J. Groen, www.moonipulations.com/road-to-nowhere; Constantinos Emmanoulidis, обработка — Miloslav Druckmüller; Adam Block, www.caelumobservatory.com and Tim Puckett, www.cometwatch.com; Vincent Jacques; Международное общество наблюдателей переменных звезд, www.aavso.org; T. A. Rector, I. P. Dell’Antonio, NOAO/AURA/NSF; APOD; ESA; ESO; JNASA; AXA (Японское космическое агентство).

Рисунки И. Ильинского (задачи 5.6, 5.15, 5.16).

~

Издание подготовлено в партнерстве с Фондом некоммерческих инициатив «Траектория» (при финансовой поддержке Н. В. Каторжного).



ТРАЕКТОРИЯ

Фонд поддержки научных, образовательных и культурных инициатив «Траектория» (www.traektoriafdn.ru) создан в 2015 году. Программы фонда направлены на стимулирование интереса к науке и научным исследованиям, реализацию образовательных программ, повышение интеллектуального уровня и творческого потенциала молодежи, повышение конкурентоспособности отечественных науки и образования, популяризацию науки и культуры, продвижение идей сохранения культурного наследия. Фонд организует образовательные и научно-популярные мероприятия по всей России, способствует созданию успешных практик взаимодействия внутри образовательного и научного сообщества.

В рамках издательского проекта Фонд «Траектория» поддерживает издание лучших образцов российской и зарубежной научно-популярной литературы.